

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE IBN KHALDOUN DE TIARET
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES



Thèse

En vue de l'obtention du diplôme
De DOCTORAT ES SCIENCES
Spécialité : Sciences Vétérinaires

Présenté par

Mr. AYAD Mohamed Amine

THEME :

Effet de la supplémentation des rations de poulinières par saccharomyces cerevisiae sur la concentration des IgG1 colostrales, l'immunité passive, les paramètres biochimiques et de reproduction dans la région de Tiaret

Devant le jury composé de:

Nom et Prénom :	Grade	Affiliation	Qualité
AGGAD Hebib	Professeur	Université de Tiaret	Président
BENALLOU Bouabdellah	Professeur	Université de Tiaret	Directeur de thèse
ABDELHADI Si Ameer	Professeur	Université de Tiaret	Co-directeur de thèse
MEZIANE Toufik	Professeur	Université Hadj Lakhdar Batna	Examineur
KAIDI Rachid	Professeur	Université Saad Dahleb Blida	Examineur
Benmakhlouf Abdelmalek	Professeur	Université Mentouri Constantine	Examineur

Année universitaire : 2017 – 2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE IBN KHALDOUN DE TIARET
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES



Thèse

En vue de l'obtention du diplôme
De DOCTORAT ES SCIENCES
Spécialité : Sciences Vétérinaires

Présenté par
Mr. AYAD Mohamed Amine

THEME :

Effet de la supplémentation des rations de poulinières par *saccharomyces cerevisiae* sur la concentration des IgG1 colostrales, l'immunité passive, les paramètres biochimiques et de reproduction dans la région de Tiaret

Devant le jury composé de:

Nom et Prénom	Grade	Affiliation	Qualité
AGGAD Hebib	Professeur	Université de Tiaret	Président
BENALLOU Bouabdellah	Professeur	Université de Tiaret	Directeur de thèse
ABDELHADI Si Ameur	Professeur	Université de Tiaret	Co-directeur de thèse
MEZIANE Toufik	Professeur	Université Hadj Lakhdar Batna	Examineur
KAIDI Rachid	Professeur	Université Saad Dahleb Blida	Examineur
Benmakhlouf Abdelmalek	Professeur	Université Mentouri Constantine	Examineur

Année universitaire : 2017 – 2018

Remerciements



Remerciements

A DIEU le tout puissant pour m'avoir facilité ce travail

A NOTRE DIRECTEUR DE THÈSE
MONSIEUR LE PROFESSEUR BENALLOU BOUABDELLAH
Professeur et directeur de l'Institut des Sciences Vétérinaires de Tiaret



Nous vous reconnaissons la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez bien voulu diriger ce travail.

Vous vous y êtes grandement impliqués par vos directives, vos remarques et suggestions, mais aussi par vos encouragements dans les moments clés de son élaboration.

Nous tenons à vous remercier aussi pour cette liberté que vous avez permise, votre manière de penser et de procéder, votre manière d'être, ainsi que toute votre personnalité.

Remerciements

A NOTRE MAITRE ET CO-RAPPORTEUR
MONSIEUR LE DOCTEUR ABDELHADI SI-AMEUR
Professeur en Reproduction Animale à l'ISV de Tiaret



Votre compétence, votre dynamique, votre rigueur et vos qualités humaines et professionnelles ont suscité en nous une grande admiration et un profond respect.

Nous voudrions être digne de la confiance que vous nous avez accordée et vous prions, chère Maître, de trouver ici le témoignage de notre sincère reconnaissance et profonde gratitude.

Remerciements

A NOTRE MAITRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE MONSIEUR LE PROFESSEUR AGGAD HEBIB

Professeur à l'université Ibn khaldoun de Tiaret
et directeur de laboratoire



Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous avez fait en acceptant la présidence de notre jury de thèse.

Vos qualités scientifiques, pédagogiques et surtout humaines seront pour nous un exemple à suivre dans l'exercice de notre profession.

Nous vous remercions d'avoir guidé nos premiers pas dans le chemin de la médecine vétérinaire.

Et nous tenons à vous remercier pour le meilleur accueil que vous nous avez réservé.

Veillez croire à l'expression de notre grande admiration et notre profond respect.

Remerciements

A NOTRE MAITRE ET JURY DE THÈSE MONSIEUR LE PROFESSEUR MEZIANE TOUFIK

Professeur en nutrition et alimentation animale
à l'université hadj Lakhdar Batna



Nous vous sommes très reconnaissants de l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail.

Vous avez eu l'amabilité de discuter avec nous certains points clés de notre analyse, vos remarques pertinentes contribueront sans doute au perfectionnement du présent travail.

Nous avons toujours admiré vos qualités humaines et professionnelles ainsi que votre compétence et votre disponibilité chaque fois que vous étiez sollicités.

Veillez accepter, cher Maître, l'assurance de notre estime et profond respect.

Remerciements

A NOTRE MAITRE ET JURY DE THÈSE
MONSIEUR LE PROFESSEUR KAIDI RACHID
Professeur en reproduction animale à l'université de Blida



Nous vous sommes très reconnaissants de l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail.

Vos qualités humaines et professionnelles jointes à votre compétence et votre disponibilité seront pour nous un exemple à suivre dans l'exercice de notre profession.

Veillez accepter, cher Maître, l'assurance de notre estime et profond respect.

Remerciements

**A NOTRE MAITRE ET JURY DE THÈSE
MONSIEUR LE PROFESSEUR BENMAKHOUF
ABDELMALEK**

Professeur à l'université de Constantine



*C'est pour nous un grand honneur que vous accepter de
siéger parmi cet honorable jury.*

*Nous avons toujours admiré vos qualités humaines et
professionnelles ainsi votre modestie qui reste exemplaires.*

*Qu'il nous soit permis de vous exprimer notre
reconnaissance et notre grand estime.*

Remerciements

Je remercie également tous les membres des Laboratoire de : Reproduction des Animaux de la Ferme, Hygiène et pathologies infectieuses, Maachi et à leurs tête les directeurs de ces laboratoires Dr. ZIDANE Khaled, Pr. AGGAD Hebib et Dr. Maachi respectivement pour leurs contributions à la réalisation des analyses.

Un merci à Madame HADOUCH Zohra et BENMEDJAHED Mostafa ainsi que Mr ABDELMOUMEN qui ont participé à la réalisation de ce travail au niveau du HARAS de Chaouchaoua Tiaret.

*Merci également aux représentants des Laboratoires Lallemand Mr YAYOUCH Mounir et Biosaf Mr ABDESSMAD pour m'avoir sponsorisé avec les deux variétés de levure probiotique à base de *saccharomyces cerevisiae*.*

Merci également à mes amis et particulièrement Saim, Derrar, Bousaada, qui ont participé à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie enfin toutes les personnes qui m'ont aidée à réaliser ce travail et dont je n'ai pas cité le nom.

Dédicaces

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour,
Le respect, la reconnaissance...
Aussi, c'est tout simplement que*

*Je dédie cette
Thèse... *

Dédicaces

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE :

ABDI Halima

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi.

Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours.

Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait.

En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profond estime.

Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

A MON TRÈS CHER PÈRE :

AYAD Ghlamallah

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance.

Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie.

Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite.

Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter.

Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir.

que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.

Dédicaces

A Ma chère grand-mère maternelle

Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières.

Que Dieu vous préserve santé et longue vie.

A MA TRÈS CHÈRE EPOUSE FATIMA ZOHRA

Ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles, de solitude et de souffrance.

Merci d'être toujours à mes côtés, par ta présence, par ton amour dévoué et ta tendresse, pour donner du goût et du sens à notre vie de famille

En témoignage de mon amour, de mon admiration et de ma grande affection, je te prie de trouver dans ce travail l'expression de mon estime et mon sincère attachement.

Je prie dieu le tout puissant pour qu'il te donne bonheur et prospérité.

A mes petits anges

IMADEDLINE, ANAS DJAWED, qui sont ma motivation, ma récompense.

A mes frères.

ISSAM, TOUFIK ET NADJIB

Dédicaces

A ma grande famille :

Mes tantes, mes oncles ainsi que mes cousins et cousines.

spécialement Abdi Sahraoui qui nous a quitté cette année et je prie ALLAH le tout puissant de lui accorder sa sainte miséricorde et de l'accueillir en son vaste paradis.

A mes beaux-parents :

BELKHEIR Hassane et KHALED Fatiha

Je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour vous.

Vos prières, vos encouragements et votre soutien m'ont toujours été d'un grand secours.

Puisse Dieu, le tout puissant vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

A mon beau-frère et soeur:

Mohamed Islam et Hadjer

A mes très chers amis :

Said, Sofiane, L'Hadj Feghoul, Yassine, Mahmoud

Hamdi, Aidouni, Abdellatif et à leurs famille

A tous ceux dont l'oubli du nom n'est pas celui du cœur.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Sommaire

Remerciements	I
Dédicaces	II
Sommaire	
Liste des tableaux	III
Liste des figures	IV
Liste des abréviations	V
Introduction	01
Chapitre I	03
Première partie le colostrum de la jument.....	03
I. Définitions du colostrum	03
a. Production de colostrum.....	03
1. La sécrétion des composants du colostrum	04
2. Initiation de la lactation et fin de la production de colostrum.....	05
b. Composition chimique et rôle de composants du colostrum	06
1. Composition chimique du colostrum	06
a. Les éléments majeurs	07
b. Les éléments mineurs	07
c. Importance du colostrum pour le poulain.....	10
1. Colostrum et immunité systémique	10
2. Colostrum et immunité locale.....	10
3. Les autres rôles du colostrum chez le poulain	11
II. Les immunoglobulines colostrales	11
1. Les anticorps présents dans le colostrum	12
a. IgG.....	14
b. IgM	15
c. IgA.....	16
l'immunité mucoale	17
d. IgE.....	17
III. Les facteurs influençant la concentration des Immunoglobulines colostrales	18
a. La Pré-lactation	18
b. Race	18
c. Âge	19
d. Variations individuelles.....	19
1. Statut vaccinal de la jument et immunostimulation	19

Sommaire

2. Autres facteurs.....	20
Deuxième partie le système immunitaire du poulain	22
a. Placentation des équidés	22
b. Système immunitaire du fœtus.....	22
c. Le développement du système immunitaire	23
1. Facteurs influant sur le développement du système immunitaire des poulains	25
2. Développement du tractus Gastro-intestinal et l'environnement microbien chez le poulain	26
3. L'écosystème microbien intestinal du Cheval	26
d. L'immunité passive.....	27
e. Fermeture intestinale "Gut Closure"	28
f. Facteurs affectant le transfert passif.....	29
Troisième partie évaluation de la qualité du colostrum	31
I. Qualité du colostrum	31
A. Mesure du taux d'immunoglobulines.....	31
1. Appréciation qualitative	31
a. Couleur	31
b. Consistance.....	31
2. Mesure de la densité	31
3. Mesure de l'indice de réfraction de la lumière	33
a. Principe.....	33
b. Réfractomètre à sucre.....	33
c. Réfractomètre à alcool	34
d. Colotest.....	35
4. L'immunodiffusion Radiale (IDR, technique de référence).....	36
5. Electrophorèse des protéines	37
B. Banque de colostrum congelé	38
1. Choix des juments donneuses.....	38
2. Réfrigération du colostrum.....	39
3. Principe et intérêts de la congélation.....	39
a. Action sur les germes présents dans le colostrum	40
b. Valeur nutritive.....	40
4. Conservation des immunoglobulines.....	40

Sommaire

5. Contraintes et limites	40
a. Perte d'eau	41
b. Vitamines	41
6. Décongélation et traitement à la chaleur du colostrum	41
7. Alternative au colostrum maternel	42
a. Les colostroremplaceurs	42
1. Colostrum équin lyophilisé	42
2. Colostrum bovin.....	42
3. Succédanés de colostrum commercialisés	43
Chapitre II	44
Les levures probiotiques et leurs applications en nutrition animale	44
I. Généralités sur les probiotiques	44
I.1. Définition.....	44
I.2. Caractères généraux des bactéries probiotiques	45
I.3. Effet des bactéries probiotiques chez les monogastriques.....	47
I.4. Effet des bactéries probiotiques chez les ruminants	48
II. Etude d'une levure probiotique <i>saccharomyces cerevisiae</i>	49
II.1. Généralités	49
II.1.1. Classification de <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	51
II.2. Les additifs alimentaires à base de levure	52
III. Mode d'action de la levure dans les espèces monogastriques.....	53
1. Stimulation de la bordure en brosse disaccharidases	53
2. Mannose et les propriétés anti-adhésives des levures	53
3. La levure et la stimulation de l'immunité	54
4. L'action d'inhibition des Toxines	55
5. L'antagonisme avec les micro-organismes pathogènes in vitro	56
6. L'antagonisme contre les micro-organismes pathogènes in vivo	57
IV. Les compléments alimentaires	58
IV.1. Les prébiotiques	58
IV.2. Les probiotiques	59
IV.3. Les levure	61
IV.3.1. Impact de <i>S. Cerevisiae</i> sur l'utilisation digestive de la ration chez les équidés	66

Sommaire

IV.3.2. Effet de l'alimentation maternelle sur la croissance et le développement des poulains	67
IV.3.3. Impact de <i>S. Cerevisiae</i> sur l'immunité chez les équidés.....	68
Partie expérimentale	71
I. Matériel et méthode	71
I.1. Lieu de travail	71
I.2. Animaux et période de l'expérimentation	72
I.3. La période pré expérimentale	73
II. Le schéma expérimental	73
III. Alimentation	76
III.1. Modalité de la supplémentation en levure probiotique	76
III.2. Abreuvement	78
IV. Les prélèvements réalisés	78
IV.1. Prélèvement de sang	78
a. Les juments	78
b. Les poulain	81
V. Les analyses réalisées	81
V.1 .L'immunodiffusion radiale (IDR).....	81
a. Domaine d'application	82
b. Principe	82
c. Composition du kit	82
d. Réactifs et équipements requis	83
e. Réactifs	83
f. Equipements et consommables	83
g. Préparation des réactifs	83
h. Préparation du tampon de dilution SRID Buffer	84
i. Préparation d'une solution d'acide acétique à 2% (v/v).....	84
j. Préparation des échantillons	84
1. Colostrums	85
2. Sérums ou plasmas	85
k. Mode opératoire	86
l. Résultats.....	88
VI. La réfractométrie	89

Sommaire

1. Description de l'appareil	89
2. Etalonnage de l'appareil	90
3. Utilisation.....	90
3.1 Procédure de mesure	90
VII. La pesée des poulains.....	91
VIII. Paramètres de reproduction.....	92
IX. Analyses statistiques	93
Résultats	94
PREMIER VOLET : COLOSTRUM, SERUM IgG1 CONCENTRATION ET CROISSANCE DES POULAINS.....	94
1. Concentration des IgG1 colostrales.....	94
2. Concentration des IgG1 dans le sérum des poulains	95
3. Variation de la concentration des IgG1 colostrales en fonction de l'âge des juments	96
4. Variation de la concentration des IgG1 colostrales en fonction de la race des juments.....	97
5. Effet de la supplémentation en levure de la ration des poulinières sur la croissance des poulains	98
6. Corrélation entre le dosage des IgG1 par l'IDR et le réfractomètre	105
DEUXIEME VOLET : EFFET DU PROBIOTIQUE S. CEREVISIAE SUR LES PARAMETRES METABOLIQUES	107
A. Biochimie	107
1. Effet sur la glycémie	107
2. Effet sur l'Urémie	108
3. Effet sur la Créatininémie	109
4. Effet sur les protéines totales	110
5. Effet sur la Cholestérolémie	111
6. Effet sur les Triglycérides	112
7. Effet sur l'albuminémie	113
B. Enzymes	114
1. Effet sur les TGO (AST)	114
2. Effet sur les TGP (ALT)	115
3. Effet sur la Gamma Glutamyl Transférase (GGT)	116
C. Ionogramme	117

Sommaire

1. Effet sur la Calcémie	117
2. Effet sur la Phosphatémie	118
D. Hormones	119
1. Effet sur la Cortisolémie	119
2. Effet sur l'Insulinémie.....	120
TROISIEME VOLET : EFFET DES LEVURES PROBIOTIQUES S. CEREVISAE SUR LA REPRODUCTION	121
A. Paramètres de reproduction	121
a. Intervalle poulinage première saillie (poul/1 ^{er} saillie J)	121
b. Nombre de saillie par cycle (n° de saillie)	121
c. Nombre de cycle (n° de cycle)	121
d. Croissance folliculaire par jours (croi folliculaire mm)	121
e. Intervalle poulinage conception (poul/concept J)	122
B. La croissance folliculaire	123
Discussion	125
Conclusion.....	145
Recommandation.....	147
Références bibliographiques	148
Annexes	

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Comparaison du colostrum et du lait chez la jument (PECKA et al, 2012).....	09
Tableau 2 : Teneur moyenne en minéraux dans le colostrum et le lait de jument (CSAPO et al, 1995b).....	09
Tableau 3 : Nomenclature et fonction des Ig chez les chevaux adultes.....	13
Tableau 4 : concentrations normales des Ig (mg/ml) dans les sérums, colostrums et du lait des chevaux adultes et des poulains.	14
Tableau 5 : Variation de la concentration en IgG du colostrum en fonction de la race de la jument....	19
Tableau 6 : Facteurs influençant la qualité du colostrum d'une jument (GENIN, 1989)	21
Tableau 7 : Concentration en IgG dans le colostrum en fonction de sa densité (MCCUE, 2014b).....	32
Tableau 8 : Qualité du colostrum en fonction de son indice de réfraction (CASH, 1999 ; CHAVATTE et al, 1998a)	35
Tableau 9 : Les micro-organismes considérés comme probiotiques (adapté de hozalpfel et al , 1998).....	46
Tableau 10 : Composition chimique d'une cellule de levure.....	51
Tableau 11 : Classification de <i>saccharomyces cerevesiae</i> (Adapté de Kurtzman & Fell, 1998).	51
Tableau 12 : Evolution du poids des poulains durant les 6 premier mois de vies comparaison entre le lot supplémenté par <i>saccharomyces cerevisiae souche</i> (CNCM I-1077) et le lot témoin	98
Tableau 13 : évolution du poids des poulains durant les 6 premier mois de vies comparaison entre le lot supplémenté par <i>saccharomyces cerevisiae</i> SC 47 et le lot témoin	101
Tableau 14 : GMQ des poulains supplémenté et non supplémenté par <i>Saccharomyces cerevisiae souche</i> (CNCM I-1077).....	103
Tableau 15 : GMQ des poulains supplémenté et non supplémenté par <i>Saccharomyces cerevisiae</i> SC47	104
Tableau 16 : Comparaison des concentrations d'IgG1 colostrales déterminée par l'IDR et le Réfractomètre.....	106
Tableau 17 : évaluation des paramètres de reproduction pour le lot levure.....	122
Tableau 18 : évaluation des paramètres de reproduction pour le lot témoin.....	123
Tableau 19 : Concentrations moyennes des IgG dans le colostrum des juments à la parturition.	126

Liste des Figures

Figure 1 : Coupe sagittale d'une mamelle de jument après injection colorée des deux sinus lactifères (BARONE, 2001)	04
Figure 2 : structure d'une cellule épithéliale mammaire et mécanisme de sécrétion des constituants du colostrum (adapté de Delouis et al, 2001).	05
Figure 3 : Concentration en IgG et quantité cumulée de colostrum collecté toutes les deux heures pendant les 24 premières heures après le poulinage (DROGOUL et al, 2006).....	06
Figure 4 : Structure des Ig, d'après (CAMPBELL&REECE, 2004).....	12
Figure 5 : Concentration en IgG dans les sécrétions mammaires avant le poulinage mesurée par immunodiffusion radiale et par réfractométrie (MCCUE et al, 2011) <i>La production de colostrum est maximale dans les 14 jours qui précèdent le poulinage</i>	15
Figure 6 : Structure de la forme sécrétée des IgM (MAYER et al, 2012).....	16
Figure 7 : Structure de la forme sécrétée des IgA (MAYER et al, 2012)	17
Figure 8 : Placentation de type épithéliochoriale (Senger, 2003)	22
Figure 9 : Colostromètre dans un cylindre d'eau distillée (MCCUE, 2014b).....	32
Figure 10 : Réfractomètre	33
Figure 11 : Concentration en IgG dans le colostrum en fonction du pourcentage en sucre lu sur le réfractomètre (CASH, 1999)	34.
Figure 12 : Etalonnage du colotest (DOLIGEZ et al, 2011) Le colotest est gradué de 0 à 110 g d'IgG/L. Des icônes permettent une lecture facile du résultat en distinguant les colostrums de bonne qualité (> 60 g d'IgG/L), de qualité intermédiaire et de mauvaise qualité (< 40 g d'IgG/L).	45
Figure 13 : photo d'une gélose après une réaction d'IDR (http://images.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.idbiotech.com%2Fwp	36
Figure 14 : Profil d'électrophorèse normal des protéines	38
Figure 15 : IMMUNOFOAL® du laboratoire Audevard.....	43
Figure 16 : Classification des levures en fonction de leurs spécificités technologiques de fermentation.....	52
Figure 17 : Antagonistic effect of <i>Saccharomyces cerevisiae</i> against K88 <i>E. coli</i>	56
Figure 18 : Modèle de système d'examen du mode d'action de la culture de levure dans le tube digestif des équidés (J. HILL, 2006).	58
Figure 19 : quelque effet des probiotiques	60
Figure 20 : Rôle des probiotiques sur l'immunité (Dr Kellon, Forageplus Ltd 2016)	70
Figure 21 : Situation géographique et présentation du HARAS	72
Figure 22 : conservation des échantillons à -20°C	79
Figure 23 : Vacutainer à l'héparinate de lithium (improvacuter®, evacuated blood collection tube for in vitro diagnostic use)	81

Liste des Figures

Figure 24 : Effet de la supplémentation en levure SC sur la concentration en IgG1 du colostrum des poulinières avant la première tété (n=21).....	94
Figure 25 : Effet de la supplémentation en levure SC sur la concentration en IgG1 du colostrum des poulinières avant la première tété (n=24).....	95
Figure 26 : Effet de la supplémentation en levure SC sur la concentration en IgG1 du sérum des poulains (n=21)	95
Figure 27 : Effet de la supplémentation en levure SC sur la concentration en IgG1 du sérum des poulains (n=24)	96
Figure 28 : Concentration des IgG1 colostrales en fonction des classes d'âges des juments	97
Figure 29 : Concentration des IgG1 colostrales en fonction des races de juments	97
Figure 30 : Effet de la supplémentation en <i>saccharomyces cerevisiae souche</i> (CNCM I-1077) sur l'évolution du poids des poulains.	100
Figure 31 : effet de la supplémentation en <i>saccharomyces cerevisiae</i> SC 47 sur l'évolution du poids des poulains	102
Figure 32 : variation du gain moyen quotidien des poulains supplémenté et non supplémenté par <i>Saccharomyces cerevisiae souche</i> (CNCM I-1077).....	103
Figure 33 : variation du gain moyen quotidien des poulains supplémenté et non supplémenté par <i>Saccharomyces cerevisiae</i> SC 47.....	104
Figure 34 : Corrélation entre les concentrations des IgG1 colostrales doser avec deux méthodes l'IDR et la Réfractométrie	106
Figure 35 : évolution de la Glycémie (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	107
Figure 36 : évolution de l'urémie (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	108
Figure 37 : évolution de la créatininémie (mg/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	109
Figure 38 : évolution de la protéine totale (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	110
Figure 39 : évolution de la Cholestérolémie (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	111

Liste des Figures

Figure 40 : évolution des Triglycérides (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	112
Figure 41 : évolution de L'albuminémie (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	113
Figure 42 : évolution des TGO (U/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	114
Figure 43 : évolution des TGP (U/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	115
Figure 44 : évolution de la GGT (U/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	116
Figure 45 : évolution de la Calcémie (mg/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	117
Figure 46 : évolution de la Phosphatémie (mg/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	118
Figure 47 : évolution de la Cortisolémie (nmol/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	119
Figure 48 : évolution de l'insulinémie (U/ml) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30 ^{ème} jour postpartum (J+30PP).	120
Figure 49 : évolution du diamètre folliculaire (mm) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> durant la période pré ovulatoire.	124

Liste des Figures

Photo 1 : Photographies de <i>S. cerevisiae</i> : A et B vue à l'œil nu sur boîte de pétrie en milieu gélosé (B est une colonie) ; C et D vue au microscope électronique (D cellule isolée) (Source internet)	50
Photo 2 : Pesé et répartition de la levure (photo personnelle)	77
Photo 3 : Mélange de la levure avec l'orge mouillé (photo personnelle)	77
Photo 4 : Prélèvement du sang (veine jugulaire) (Photo personnelle).....	79
Photo 5 : La boîte du kit IDR Horse IgG.....	82
Photo 6 : Les standards de la gamme d'étalonnage	84
Photo 7 : Préparation des dilutions de colostrum	85
Photo 8 : Les sérums des poulains	86
Photo 9 : préparation des échantillons pour incubation	87
Photo 10 : Préparation des échantillons pour la lecture	88
Photo 11 : Lecture des plaques IDR par le lecteur IDRing Viewer.....	89
Photo 12 : mesure de poids à l'aide d'un ruban mètre spécial (les Haras nationaux).....	92

Liste des Abréviations

°C : degrés Celsius	I : Iode
ADF : Acide Détergent Fiber	IDR : Immunodiffusion Radiale
AGV : Acides gras volatiles	IFCE : Institut français du cheval et de l'équitation
ANOVA : Analyse de la Variance	IFN : Interferon Gamma
ARNm : Acide ribonucléique messager	Ig : immunoglobulines
C14:0 : acide myricique	IgA : Immunoglobulines A
C16:0 : acide palmique	IgD : Immunoglobulines D
C16:1 : acide palmitoléique	IgE : Immunoglobulines E
C18:0 : acide stéarique	IGF I et II : <i>insulin-like Growth Factor I et II</i>
C18:1 : acide oléique	IgG : Immunoglobulines G
C18:2 : acide linoléique	IgM : Immunoglobulines M
C18:3 : acide linoléique	K : Potassium
Ca : Calcium	L = light
Co : Cobalt	L: litre
Cu : Cuivre	LAB : Les bactéries lactiques
DFM : direct-fed microbials	MAX : Maximum
DGGE : Dénaturant Gradient Gel Electrophoresis	Mg : Magnésium
EHV-1 = equine herpesvirus-1	mg/dL : milligramme par décilitre
EMS : syndrome métabolique équin	mg/kg : milligramme par kilogramme
FOS : Fructo-oligosaccharides	mg/l : milligramme par litre
FPT : Failure of passive Transfer	MIN : Minimum
g/L : gramme par litre	ml : Millilitre
GALT : gut associated lymphoid tissue	Mn : Manganèse
GH : growth Hormone	MS : matière sèche
GI : Tractus gastro-intestinal	mU/ml : micro unité par litre
GMQ : Gain moyen quotidien	NA = not available
GRAS : generally regarded as safe	Na : Sodium
H = heavy	ND = not detectable

Liste des Abréviations

NDF : Neutral Detergent Fiber

NH₃ : ammoniac

nmol/l : nanomol par litre

P : Phosphore

p.p. = *post partum*

PPID : dysfonctionnement médian intermittent de l'hypophyse

PBS : *phosphate buffered saline*

PCR : Polymerase chaine reaction

RES : système réticulo-endothélial

S : Soufre

SC : *Saccharomyces cerevisiae*

TGF 1 et 2 : Beta Transforming Growth Factors

TGGE : Température Gradient Gel Electrophoresis

U.E : union européenne

U/l : Unité par litre

ufc / ml : Unité formant colonies par millilitre

UFC/g : Unités Formants Colonie par gramme

vitamines B₆ : pyridoxine

vitamines C : acide ascorbique

Zn : Zinc

µg/l : microgramme par litre

Abstract

The main objective of this study was to evaluate the effect of maternal dietary yeast supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* (SC 47 and CNCM I-1077) on the concentration of IgG1 (Immunoglobuline G1) in colostrum and in foal serum, as well as the biochemical, hormonal parameters and reproductive parameters of mares, in the HARAS of Chaouchaoua -Tiaret

The experiment began about 30 days before the presumed parturition to 30 days postpartum, 90 mares (Arabian, Barbe, Arabian-Barbe and Anglo-Arab) over two years of study, (8,54 ± 3,72 yr) were randomly assigned to two of four groups : yeast or control., All mares received a basal diet of barley wet supplemented or not with *Saccharomyces cerevisiae* (2g / mare / days of SC CNCM I-1077 and 10g / mare / days of SC 47). Colostrum samples from mares, blood and foal weight were taken, as well as evaluation of reproductive parameters. For the statistical analysis, the program MYSTAT Version English ® 12.02.00. (© 2007 SYSTAT Software, Inc.) was used for all statistical analyzes.

The addition of probiotic yeast to the ration increased significantly the concentration of IgG1 in the colostrum: yeast group 122.25 ± 145.59 g / l control group 104.51 ± 157.15 g / l with P = 0,02 and foal serum: 98.43 ± 39.76 g / l & 76.92 ± 51.23 g / l, with P = 0.008 for the yeast group and the control group respectively for the variety SC 47,

For the age effect, the concentration of IgG1 showed a very significant rate for the age class of mares ranged between 12-14 years with a P = 0.005.

For the breed effect, the concentration of IgG1 was the most significant in Arabian-Barbe mares with a concentration of 166.6 g / L.

As regards foal growth, supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* (SC 47 and CNCM I-1077) has a very significant effect, with an improvement in DGM.

A positive correlation is observed between the use of the refractometer and the IDR (Immuno-diffusion Radial) for the determination of colostrum IgG1 with a coefficient r = 0.65.

In addition, probiotics induced very interesting biochemical changes characterized by stabilization of blood sugar throughout the experimental period, an increase in total plasma proteins, and albuminemia with a very significant decrease in uremia, serum creatinine and cortisol.

One observed that the supplementation of mares to show a significant difference for insulinemia during postpartum.

No significant differences were noted for Phosphorus, triglycerides, TGP and GGT.

In terms of reproduction, the mares supplemented with probiotics expressed a more rapid follicular growth and an ovulation shifted by one day compared to the control group.

In this study, The dietary yeast supplementation influence significantly colostrum immunoglobulins G of mares and has a positive influence on the transfer of passive immunity in foals with an improvement in the DGM and their growth. On the biochemical and reproductive levels, an improvement in the levels of total plasma protein, albumin, glucose and follicular growth. A decrease in serum creatinine, uremia and cortisol were observed.

Key words: supplementation, colostrum, probiotic, mare, IgG1, biochemical parameters.

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de la supplémentation alimentaire en *Saccharomyces cerevisiae* (SC 47 et CNCM I-1077) sur la concentration des IgG1 dans le colostrum et le sérum des poulains, ainsi que les paramètres biochimiques, hormonaux des juments et les paramètres de reproduction, dans le **HARAS de Chaouchaoua de Tiaret**.

L'expérimentation a débuté environ – 30 jours prepartum jusqu'au 30^{ème} jour postpartum, 90 juments (de race Arabe, Barbe, Arabe-Barbe et Anglo-Arabe) sur deux ans d'étude, ont été divisées en quatre groupes homogènes, nourries de la même manière et du même aliment de base additionné ou non avec *Saccharomyces cerevisiae* (2g/jument/jours de SC CNCM I-1077 et 10g/jument/jours de SC 47). Des prélèvements de colostrum, de sang chez les juments, et le poids des poulains ont été pris, ainsi que l'évaluation des paramètres de reproduction. Pour l'analyse statistique, le programme MYSTAT English version ® 12.02.00. (© 2007 SYSTAT Software, Inc) était utilisé pour la totalité des analyses statistiques.

L'addition de la levure probiotique à la ration a significativement augmenté la concentration des IgG1 dans le colostrum : lot levure **122,25 ±145,59 g/l** & lot témoin **104,51± 157,15 g/l** avec un **P=0,02** et le sérum des poulains : **98,43±39,76 g/l** & **76,92±51,23 g/l**, avec un **P= 0,008** pour le lot levure et le lot témoin respectivement pour la variété SC 47,

Pour l'effet « âge » la concentration des IgG1 a montré un taux très significatif pour la classe d'âge des juments comprise entre **12-14 ans** avec un **P= 0,005**.

Pour la « race » la concentration des IgG1 était la plus significative chez les juments Arabe-Barbe avec une concentration de **166,6 g/L**.

En ce qui concerne la croissance des poulains la supplémentation en *Saccharomyces cerevisiae* (SC 47 et CNCM I-1077) a un effet très significatif, avec une amélioration du GMQ.

Une corrélation positive est observée entre l'utilisation du réfractomètre et l'RID (Radial Immuno-Diffusion) pour le dosage des IgG1 colostrales avec un coefficient **r = 0,65**.

De plus, les probiotiques ont induit des modifications biochimiques très intéressantes caractérisées par une stabilisation de la glycémie durant toute la période expérimentale, une augmentation des protéines totales plasmatiques, et de l'albuminémie avec une diminution très significatives de l'urémie, de la créatininémie et du cortisol.

On a observé que la supplémentation des juments a montré une différence significative pour l'insulinémie durant le post partum.

Aucune différence significative n'a été notée pour le Phosphore, les triglycérides, la TGP et la GGT.

Sur le plan reproduction, les juments supplémentées en probiotique ont exprimé une croissance folliculaire plus rapide et une ovulation décalée d'un jour par rapport au lot témoin.

La supplémentation de la ration en *S. cerevisiae* a un effet positif sur la concentration des immunoglobulines G colostrales, et une influence positive sur le transfert de l'immunité passive chez les poulains avec une amélioration du GMQ et de leur croissance. Sur le plan biochimique et reproductif, une augmentation des taux de protéines plasmatiques totales, de l'albumine, de glucose et de la croissance folliculaire. Une diminution de la créatininémie, de l'urémie et du cortisol ont été observées.

Mots clés : supplémentation, colostrum, probiotique, jument, IgG1, paramètres biochimiques .

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم المكمل الغذائي خميرة الخباز (sc47 CNCM-1077) على تركيز IgG1
مصل الامهار, القياسات البيوكيميائية, الهرمونية في المركز الوطني لتربية و تكاثر الخيول شوشاوة تيارت.
30- يوم قبل المخاض الى غاية +30 يوم بعد الولادة, 90 فرس (سلالة عربية , - ,
انجليزي-عربي) على مدى عامين من الدراسة, قسمت الى اربع مجموعات متجانسة تمت تغذيتها بنفس الطريقة و نفس
النظام الغذائي الاساسي تستكمل او لا بخميرة الخباز 2غ/فرس/يوم CNCM-1077 10 غ /فرس/يوم من sc47
عينات اللبأ من الافراس و اخذت عينات دم و الوزن للأمهارة و كذلك تم تقييم المعلمات التكاثرية .
استعمل للتحليل الاحصائي برنامج MYSTAT ® 00/12/02 SYSTAT Software, Inc) © 2007
استخدم في جميع التحليلات الإحصائية .
أضافة خميرة البروبيوتيك زيادة كبيرة في تركيز IgG1 في اللبأ فوج الخميرة 122,25±145.59 / ±104.51
157.15 غ/ل للفوج الشاهد مع p=0.02 و زيادة في مصال الامهار 39.76 98.43 / & 51.23 76.72 / ,
p=0.008 لفوج الخميرة و فوج الشاهد على الترتيب للصنف sc47 .
فيما يخص تأثير عمر الافراس على تركيز ال IgG1 فقد اظهر زيادة جد معتبرة للفئة العمرية ما بين 12 14
p=0.005
بالنسبة للسلالة الأفراس فقد كان تركيز IgG1 الأكبر عند سلالة العربي البربري بتركيز يعادل 166.6 / .
فيما يتعلق بنمو الامهار فقد أوضح المكمل الغذائي ساكارومييسيسيريفيسي (sc47 CNCM-1077) تأثير كبير جدا مع
تحسين متوسط زيادة الوزن اليومي .
و لوحظ وجود علاقة طردية بين استخدام جهاز الانكسار وطريقة ال IDR لتحديد IgG1 r=0.65 .
فقد قام البروبيوتيك بأحداث تغييرات بيوكيميائية جد معتبرة تتمثل في استقرار نسبة السكر في الدم طوال
الفترة التجريبية زيادة في البروتين الكلي و الالبومين في البلازما مع انخفاض كبير جدا لليوريا الكرياتينين والكورتيزول
لاحظنا ان المكمل الغذائي للافراس اظهر فارق معتبر للانسولين في الدم في فترة ما بعد الولادة.
لم نلاحظ أي فارق في تركيز الفوسفور ثلاثي الغليسريد غاما غلوتاميلترانسفيراز و الانين امينو ترانسفيراز.
من ناحية المعلمات التكاثرية الافراس التي قدم لها البروبيوتيك أظهرت نمو جريبي سريع مع تقدم الاباضة بفارق ي
الافراس الشاهدة .
من هذه التجربة يتضح ان إضافة خميرة ساكارومييسيسيريفيسي الى الوجبة الغذائية له تأثير إيجابي على تركيز ال IgG1
في اللبأ مع تأثير إيجابي في نقا المناعة للامهار بالإضافة الى تحسين النمو و متوسط زيادة الوزن اليومي. على الصعيد
البيوكيميائي و التكاثر فقد تم تحسين نسبة البروتين الكلي الالبومين و الغلوكوز في الدم مع النمو الجريبي . نقص في نسبة
الكرياتينين اليوريا و الكورتيزول في الدم .

INTRODUCTION

Introduction

La reproduction dans l'espèce équine exige de la part des propriétaires de juments, des investissements financiers de plus en plus importants. Les tarifs moyens de la saillie et de la paillette ne cessent de croître et atteignent parfois des sommes colossales. Au delà de la mise à la reproduction d'une jument, une attention ainsi qu'un investissement (tout autant personnel que financier) moindres sont apportés au poulain nouveau-né. Pourtant depuis le départ, il correspond à l'aboutissement recherché !

Tant en Europe qu'aux Etats-Unis, les 20 dernières années ont vu l'essor rapide de la médecine néonatale équine. La rapidité d'évolution des symptômes et le coût élevé des soins intensifs justifient l'importance de la prévention et du diagnostic précoce des affections du nouveau-né. (CHAVATTE-AUBRY P et COLLOBERT C, 1994).

Le taux de mortalité néonatale des poulains selon la littérature est en moyenne de 9,22%, avec des extrêmes de 4,70% (Cohen ND, 1994) et 14,57% selon (Bruyas J.F.,2007).

En fonction des classes d'âge, les affections qui prédominent sont différentes, on peut les classer en deux groupes d'âge :

De 0 à 24 heures les infections in utéro, le syndrome anoxique représente les plus grands pourcentages 21% suivi par les septicémies 19%, les dystocies et les insuffisances des échanges placentaires 13% et divers causes 13% (COLLOBERT-LAUGIER C et al, 1998).

De 24 heures à 6 mois les septicémies représentent la plus grande marge avec 52% de mortalité, le syndrome anoxique 19%, la bronchopneumonie 11%, suivi par les arthrites et les entérocolites avec 5% et 8% de causes divers (COLLOBERT-LAUGIER C et al, 1998).

Les mortalités néonatales et post-natales pèsent lourdement sur le bilan général de l'élevage du cheval et affectent ainsi les bonnes performances de fertilité obtenue dans de nombreux haras. La mortalité périnatale semble plus importante chez les chevaux de trait (de 13 %, Laugier et al 2009, à 17%, Misaine A., 2010) que chez les juments de sang (de 3 à 4%, Laugier C. et al, 2009 à 7%, Misaine A., 2010) ou chez les poneys (5%, Misaine A., 2010). Afin d'obtenir un poulain, les propriétaires investissent beaucoup d'argent dans le choix de la poulinière, celui de l'étalon, les frais encourus par la saison de reproduction ainsi que ceux nécessaires au bon déroulement des 11 mois de gestation; il est dommage que les pertes en néonatalogie soient aussi élevées, c'est pourquoi, il convient aujourd'hui de développer et de promouvoir cette branche de la médecine équine.

Introduction

La première cause de mortalité néonatale du poulain est l'échec de transfert d'immunité passive, qui représente la moitié des mortalités selon (CHAVATTE-PALMER P. et al, 2000).

En Algérie, et plus spécialement au haras national de chaouchaoua suite au registres de suivi durant les 12 dernières années, le taux de mortalité néonatale varie de 00% à 7,69% sans compter celui des avortements qui le dépasse de loin.

Pour lutter contre ces mortalités, plusieurs mesures ont été proposées, et parmi elles l'amélioration de la qualité du colostrum par la supplémentation des rations des poulinières par les probiotiques.

Notre travail, se divise en deux parties une partie bibliographique qui fait un aperçu sur l'immunité du poulain et le passage de l'immunité passive avec le rôle du colostrum en premier lieu et l'effet des probiotiques sur les paramètres immunitaires de la jument.

Une partie expérimentale dont laquelle on a :

- Identifier la concentration des Immunoglobulines G dans le colostrum des juments du Haras de Chaouchaoua.
- Quantifier le taux d'immunoglobulines G dans les sérums de leurs poulains.
- Tester l'effet de l'incorporation de deux probiotiques dans l'alimentation des juments sur la teneur de leur colostrum en IgG1.
- Tester l'impact de l'incorporation de deux probiotiques dans l'alimentation des juments sur la croissance de leurs poulains.
- Etudier l'effet de *saccharomyces cerevisiae* sur quelques paramètres biochimiques, et hormonaux des juments.
- Tester l'effet des levures sur les paramètres de reproduction.

CHAPITRE I :

LE COLOSTRUM DE

LA JUMENT

A. Chapitre I: Le Colostrum :

I. Définitions du colostrum :

Le colostrum est une sécrétion lactée, de couleur jaunâtre, plus dense, plus épais et plus visqueux que le lait, produit par les glandes mammaires de la jument (Figure 1) dans les derniers jours de la gestation « les deux dernières semaines de la gestation » (McCue, 1993).

Il possède trois propriétés principales :

- Sa richesse en anticorps (ou immunoglobulines), éléments indispensables à la protection contre les infections. En effet, le poulain naît totalement dépourvu d'anticorps, le placenta ne laissant pas passer les anticorps de la poulinière vers le sang du fœtus pendant la gestation. Ce n'est que vers l'âge de deux mois qu'il pourra produire ses propres anticorps, capables de le protéger des agressions du milieu extérieur. En attendant, il est totalement dépendant de ceux que lui fournit sa mère par l'intermédiaire du colostrum : c'est ce que l'on appelle le transfert immunitaire passif de la jument au poulain. Il est essentiel de veiller à ce que le poulain boive le colostrum le plus tôt possible, idéalement dans les 6 heures qui suivent sa naissance, au maximum pendant ses premières 12 heures de vie ; en effet, les anticorps passent dans la circulation sanguine du poulain grâce à la perméabilité de sa paroi intestinale. Or, cette perméabilité dure moins de 24 heures...

- Ses propriétés laxatives qui aident à l'expulsion du méconium.

- Sa richesse en éléments nutritifs et en vitamines. Le lait produit ensuite par la jument est beaucoup moins riche, même s'il contient encore des anticorps.

Contrairement à la vache, la composition du colostrum diffère significativement de celle du lait uniquement le premier jour post-partum (SALIMEI et al, 2002).

a) Production de colostrum

On considère qu'une jument produit en moyenne 1,5 à 2 litres de colostrum mais cette production est très variable. Le colostrum est produit pendant la gestation. Juste après le poulinage, il est possible d'en récolter en moyenne 564 mL (entre 430 et 720 mL).

Après le poulinage, la production de sécrétions mammaires est de 292 ± 26 mL/h. La jument produit en moyenne $5,1 \pm 0,5$ L de colostrum et de lait dans les 18 premières heures qui suivent le poulinage.

Les 500 premiers millilitres de colostrum contiennent 20% des immunoglobulines G et 14% des immunoglobulines M produits par la jument (LAVOIE et al, 1989b).

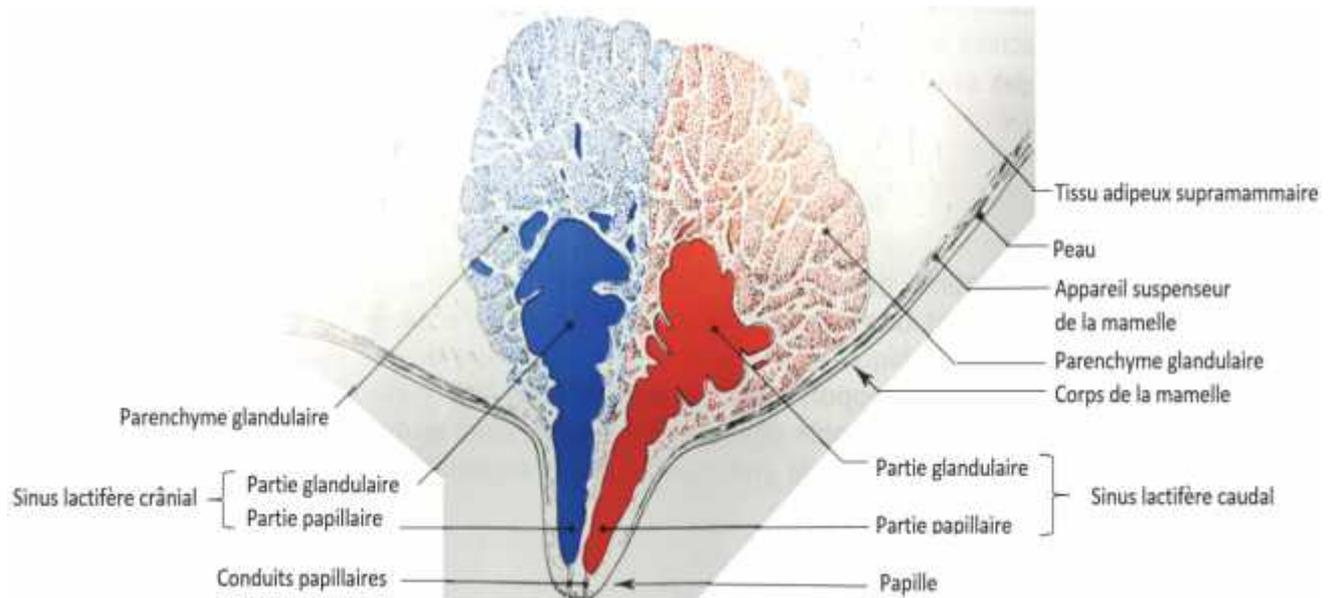


Figure 1 : Coupe sagittale d'une mamelle de jument après injection colorée des deux sinus lactifères (BARONE, 2001) *Le colostrum est produit au niveau du parenchyme glandulaire, les cellules de la glande mammaire produisent des IgA et IgM tandis que les IgG du colostrum sont issus de la circulation sanguine.*

(1) *La sécrétion des composants du colostrum*

Les cellules épithéliales des acini mammaires constituent le lieu de la sécrétion de différents composants du colostrum et du lait. En fin de gestation, les constituants du colostrum sont sécrétés dans la lumière des alvéoles à partir de quatre voies principales : exocytose, enrobage de la membrane cellulaire, voie trans-cellulaire et voie para-cellulaire (Figure 2). Les protéines et le lactose sont synthétisés dans le réticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi des cellules épithéliales (Delouis *et al*, 2001). Le contenu des vésicules est libéré dans la lumière des alvéoles par exocytose, par simple fusion des vésicules avec la membrane cellulaire (Klopfenstein *et al*, 2002). Les gouttelettes lipidiques sont libérées dans la lumière alvéolaire après enrobage par la membrane cellulaire, formant les globules lipidiques (Keenan, 2001). Une troisième voie, dite trans-cellulaire, permet aux

immunoglobulines (Ig) plasmatiques (Klopfenstein *et al*, 2002) et à plusieurs autres facteurs de croissance et hormones de traverser par exocytose la membrane cellulaire apicale des cellules pour aboutir dans la lumière alvéolaire. En fin de gestation, les jonctions serrées, qui assurent l'étanchéité de l'épithélium mammaire, sont ouvertes et permettent le passage, entre les cellules épithéliales, des cellules immunitaires, d'immunoglobulines plasmatiques et d'électrolytes vers la lumière alvéolaire (Klopfenstein *et al*, 2002).

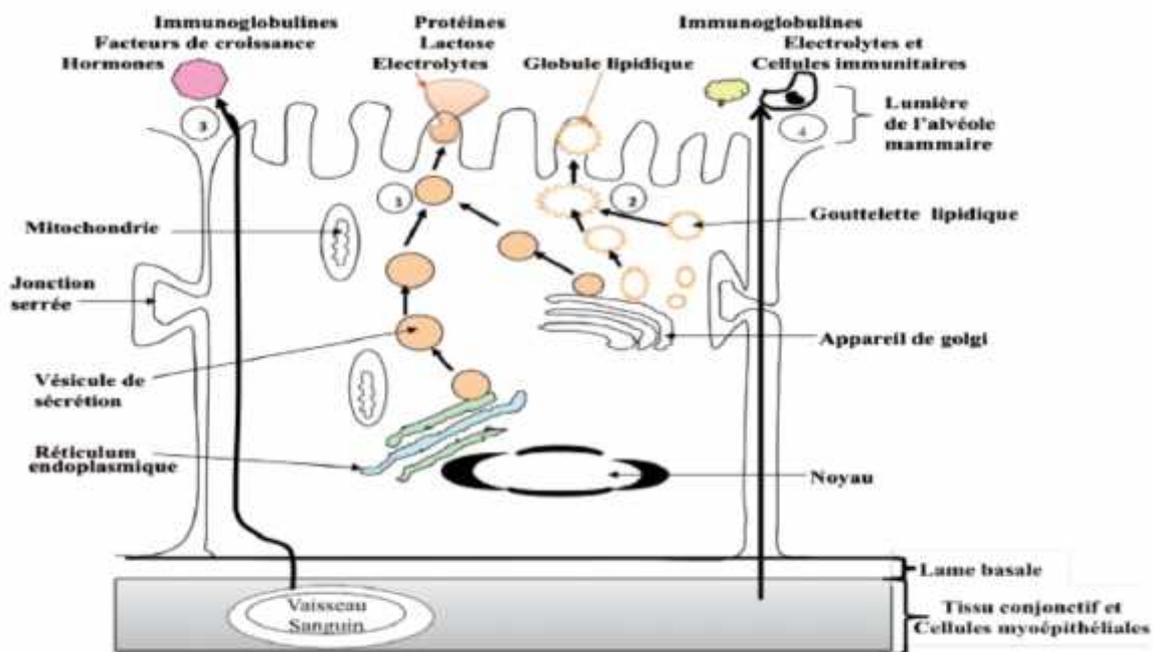


Figure 2 : structure d'une cellule épithéliale mammaire et mécanisme de sécrétion des constituants du colostrum (adapté de Delouis *et al*, 2001). Les constituants du colostrum sont sécrétés dans la lumière des alvéoles à partir de quatre voies principales : exocytose (1), sécrétion de gouttelettes lipidiques par enrobage de la membrane cellulaire (2), voie trans-cellulaire (3) et voie para-cellulaire (4).

(2) *Initiation de la lactation et fin de la production de colostrum*

Après la mise-bas, la colostrogénèse cesse sous l'effet de la prolactine et des glucocorticoïdes.

L'augmentation de la concentration en prolactine durant les dernières semaines de gestation, couplée à la diminution de la concentration en progestagènes immédiatement avant le poulinage, initie la production de lait.

Après le poulinage, la concentration en IgG dans le colostrum diminue de 5 à 6 grammes par heure (Figure 3) et devient inférieure à 10 g/L après 12 heures. Cette durée est

significativement plus longue chez les juments arabes (19h) par rapport aux pur-sang (9h) (PEARSON et al, 1984). Cette diminution n'est pas uniquement la conséquence de la vidange de la mamelle et de la dilution ou du remplacement du colostrum par du lait. Il existe aussi une résorption des IgG qui a lieu dans la glande mammaire (Figure 3). Même en absence de traite ou de tétée, la mamelle de la jument ne contient plus de colostrum 24 heures après le poulinage. C'est pourquoi il est important de traire la jument si le poulain ne tète pas sa mère dans les 6 heures qui suivent sa naissance.

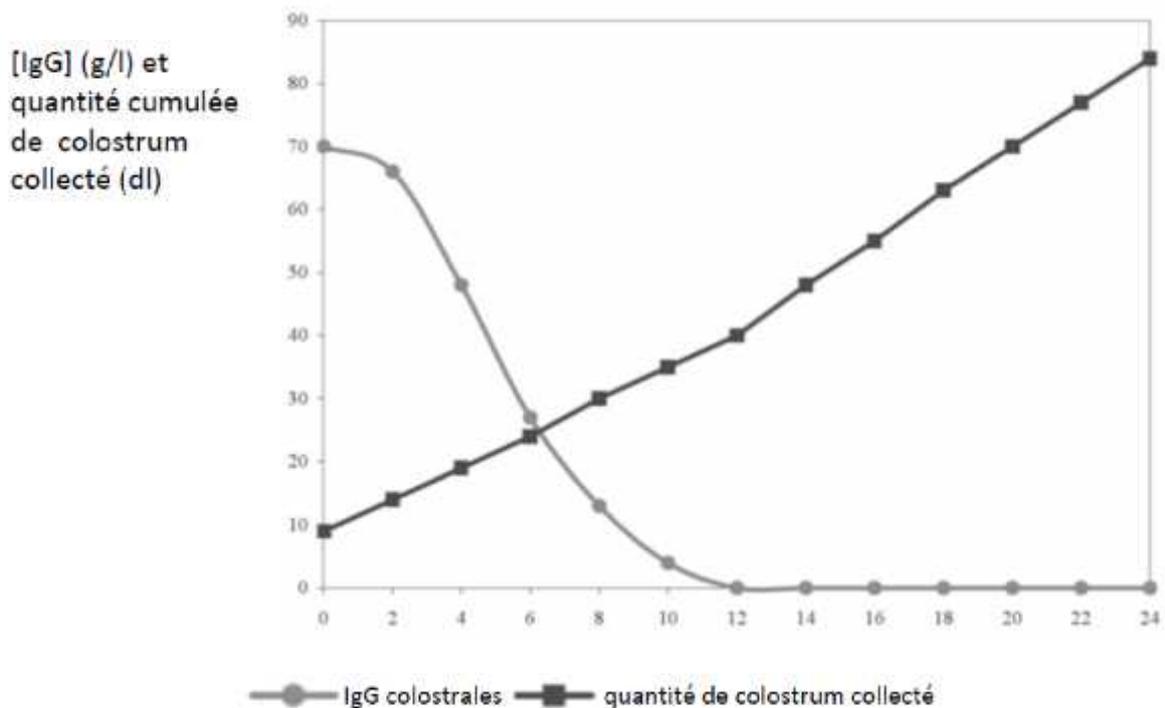


Figure 3 : Concentration en IgG et quantité cumulée de colostrum collecté toutes les deux heures pendant les 24 premières heures après le poulinage (DROGOUL et al, 2006).

b) Composition chimique et rôle de composants du colostrum

(1) Composition chimique du colostrum

Le colostrum est une source des nombreux nutriments protéiques, glucidiques, lipidiques (Kulkarni et Pimpale, 1989 ; Nowak et Poindron, 2006), vitaminiques et minéraux mais également de facteurs de croissance et d'hormones tels que les *insulin-like Growth Factor* (IGF) I et II, l'insuline, les *Beta Transforming Growth Factors* (TGF) 1 et 2

(Pakkanen *et al.*, 1997 ; Playford *et al.*, 2000) et des composés antimicrobiens – immunoglobulines, cytokines, lysozymes, lactoferrine, lactoperoxydase (Foley et Otterby 1978 ; Pearson *et al.*, 1984 ; Lavoie *et al.*, 1989 ; Leblanc *et al.*, 1992 ; Hadjipanayiotou, 1995 ; Pakkanen *et al.*, 1997 ; Kehoe *et al.*, 2007). En fonction de leurs teneurs respectives dans le colostrum, ces éléments peuvent être classés en deux principaux groupes, à savoir les éléments majeurs et les éléments mineurs.

(a) Les éléments majeurs

La composante majeure du colostrum est constituée des protéines, des lipides, des sucres et des sels minéraux (Tableau 1). Les teneurs diffèrent selon les auteurs et varient fortement d'une espèce à l'autre. Ces différences sont notamment liées à la structure placentaire (Silim *et al.*, 1990).

Les protéines du colostrum sont principalement représentées par les albumines et les immunoglobulines.

Les lipides du colostrum sont constitués d'acides gras et d'esters méthyliques.

Les principaux acides gras représentés sont l'acide myristique (C14:0), l'acide palmitique (C16:0), l'acide palmitoléique (C16:1), l'acide stéarique (C18:0), l'acide oléique (C18:1), l'acide linoléique (C18:2) et l'acide linoléique (C18:3) (Le Dividich *et al.*, 1989).

Le colostrum contient également des glucides, essentiellement le lactose (Kehoe *et al.*, 2007), et aussi une grande variété d'éléments minéraux.

Les plus importants sont le calcium (Ca), le phosphore (P), le potassium (K), le sodium (Na), le magnésium (Mg), le soufre (S).

Les oligo-éléments, tels que le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le cobalt (Co) et l'iode (I) sont également présents. Ces derniers sont deux à cinq fois plus concentrés dans le colostrum que dans le lait (Mathieu, 1985). (Tableau 2)

(b) Les éléments mineurs

Le colostrum contient des hormones, des vitamines, des enzymes, mais également des composantes cellulaires et de nombreux facteurs de croissance.

Les principales enzymes du colostrum sont la lactoperoxydase, la phosphatase alcaline, la plasmine, le lysozyme (Boudry *et al.*, 2008). Ces enzymes présentent toutes des concentrations plus élevées dans le colostrum que dans le lait et ont pour rôle de lutter contre

les microorganismes. Quelques hormones sont présentes dans le colostrum et le lait. Ces hormones, une fois assimilées par les jeunes animaux, peuvent stimuler le métabolisme de certains organes et tissus. Les IGF- 1 et 2 constituent une composante essentielle parmi les facteurs de croissance dans le colostrum (Akers *et al*, 2000 ; Hammon *et al*, 2000). En effet, des études ont mis en évidence que des ARNm codant pour deux types de récepteurs à la GH et un récepteur à l'IGF-1 sont produits dans l'épithélium mammaire, suggérant que la GH interagit directement sur les cellules épithéliales pour provoquer la production d'IGF-1 qui à son tour régule des fonctions de croissance et de sécrétion (Murphy *et al*, 1987). Les IGF-1 et 2 stimulent la croissance et la prolifération cellulaire et agissent en synergie avec les hormones du système endocrinien (Jones et Clemmons, 1995).

Dans le colostrum, les teneurs en vitamines, notamment en β -carotène et vitamine E (α -tocophérol) sont cinq à dix fois supérieures à celles du lait (Kincaid et Cronrath, 1992). Les travaux de (Foley et Otterby, 1978) et de (Kehoe et collaborateurs, 2007) rapportent des fortes concentrations en certaines vitamines dans le colostrum, telles que la thiamine (0,6 et 2,1 mg/l), la riboflavine (4,8 et 9,2 mg/l) et la niacine (1 et 1,6 mg/l) ainsi qu'en acide folique (10-5 μ g/l), et en cyanocobalamine (5 et 11 x 10-5 μ g/l).

Le colostrum renferme de nombreuses cellules vivantes, essentiellement des leucocytes (lymphocytes) et des cellules épithéliales sécrétoires. Comme chez le bovin et l'homme (Taylor et Stampfer, 1991), le colostrum de truie contient des cellules épithéliales d'origine mammaire aptes à se multiplier *in vitro*. Le rôle des cellules vivantes colostrales dans la défense immunitaire du nouveau-né serait vraisemblablement passif (Rainard et Riollot, 2006).

Tableau 1 : Comparaison du colostrum et du lait chez la jument (PECKA et al, 2012)

	Colostrum (<2h post partum)	Lait (6 semaines post partum)
Densité	1,07 *	1,03 *
Ph	6,34 *	6,75 *
Matière sèche (%)	19,34 *	11,41 *
Matières grasses (%)	1,68	1,78
Protéines (%)	15,21 *	2,05 *
Lactose (%)	2,46 *	6,64 *

* Différence significative

Tableau 2: Teneur moyenne en minéraux dans le colostrum et le lait de jument (CSAPO et al, 1995b)

	Colostrum	Lait (10 jours postpartum)
Cendres %	0,592	0,405
Macroéléments (mg/kg)		
Potassium	928	517
Sodium	320	167
Calcium	748	823
Phosphore	742	499
Magnésium	140	66
Microéléments (mg/kg)		
Zinc	2,95	1,99
Fer	1,00	1,21
Cuivre	0,61	0,23
Manganèse	0,045	0,054

c) Importance du colostrum pour le poulain

Durant la gestation, la barrière placentaire empêche le passage au poulain des germes et des anticorps maternels. Le poulain naît donc sans protection et malgré son immunocompétence, il lui faudrait au moins 2 semaines pour développer une réponse immunitaire primaire. L'absorption du colostrum est donc primordiale pour le transfert de l'immunité passive. Mais il a également d'autres rôles que nous allons aborder.

(1) Colostrum et immunité systémique

Le colostrum fournit au poulain les immunoglobulines maternelles, essentiellement des IgG et des IgM, peu d'IgA. Elles sont absorbées par les cellules épithéliales spécialisées de l'intestin grêle du poulain, selon un mécanisme de pinocytose qui diminue fortement au cours des 12 premières heures et est quasiment nul après 24 heures. Si le poulain tète correctement son colostrum, des IgG seront détectables dès 6 heures avec un maximum vers 12 à 18 heures. En moyenne, la concentration d'IgG chez le poulain de 24 heures est comprise entre 12 et 14g/L, leur temps de $\frac{1}{2}$ vie sera d'environ trente jours (Génin, C. et Clément, F, 1989 ; LeBlanc, 1990 ; Chavatte-Palmer, P et Al, 1999 ; Taouji, S. et Puyalto-Moussu, C, 2001 ; Giguère, S. et Polkes, A. C, 2005 ; Wilson, W. D, 2005 ; Palmer, J, 2007).

Ces anticorps maternels assurent la protection du poulain contre les pathogènes auxquels la mère a déjà été confrontée, dans son environnement ou par la vaccination. L'immunité conférée par les immunoglobulines colostrales est complétée par la lactoferrine qui, en fixant le fer, inhibe la croissance bactérienne. Des cytokines sont également présentes, qui initient ou amplifient d'éventuelles réponses immunitaires.

Pour optimiser la protection du poulain par le transfert d'immunité passive, on veillera donc :

- à ce que la mère développe les anticorps correspondant au futur environnement du poulain
- à améliorer l'immunité passive transmise par la vaccination de la mère
- à ce que le poulain boive le colostrum dans les 12 heures post-partum

(2) Colostrum et immunité locale

Le colostrum ne contient pas que des immunoglobulines, des cytokines et de la lactoferrine. Il apporte également des lymphocytes, des macrophages, des neutrophiles qui agissent localement, au niveau du tube digestif. D'autre part, lorsque l'intestin grêle ne peut plus absorber les macromolécules du colostrum, les immunoglobulines et la lactoferrine

toujours présentes assurent une immunité locale dans le tube digestif. Cette immunité locale aide considérablement le poulain à lutter contre les diarrhées néonatales notamment (Génin, C. et Clément, F, 1989 ; Giguère, S. et Polkes, A. C, 2005).

(3) Les autres rôles du colostrum chez le poulain

Comme on l'a vu, le colostrum est très important d'un point de vue immunitaire pour le poulain.

Ce n'est pas le seul domaine d'action du colostrum. A la naissance, le poulain a peu de réserves énergétiques, et a donc besoin d'apports conséquents, rapidement. Le colostrum est plus concentré que le lait et très riche en énergie. Le poulain doit consommer du colostrum rapidement après la naissance, sous peine de s'affaiblir rapidement (Lewis, L. D, 1995).

Enfin, le colostrum apporte également au poulain des hormones, des facteurs de croissance, des enzymes... on connaît mal les proportions dans lesquelles ces éléments sont fournis mais on suppose qu'ils interviennent notamment dans la maturation intestinale du poulain (Chavatte-Palmer, P et Al, 1999 ; Giguère, S. et Polkes, A. C, 2005).

II. Les immunoglobulines colostrales :

Les Ig sont des tetrapeptides (Figure 4), comportant quatre chaînes protéiques identiques deux à deux :

- ❖ 2 chaînes lourdes (H = heavy) enchainement de 450 acides amines pour les IgG.
- ❖ 2 chaînes légères (L = light) enchainement de 220 acides amines (Campbell, et al, 2004). En pratique, la forme en Y est réellement observée. Dans les molécules monomériques (IgG) les chaînes légères sont reliées aux chaînes lourdes par un pont disulfure et les chaînes lourdes sont reliées entre elles par deux ponts disulfures. Ces liaisons stables relient les sous-unités dans les molécules d'anticorps polymériques. En plus de ces liaisons disulfures intra caténares, il existe des liaisons disulfures intra caténares, qui permettent la formation de boucles dans la chaîne peptidique (chacune des boucles correspond à une séquence de 60 à 70 résidus). Ces boucles sont repliées de façon compacte et forment des domaines globulaires, qui ont une structure caractéristique en feuillet beta.

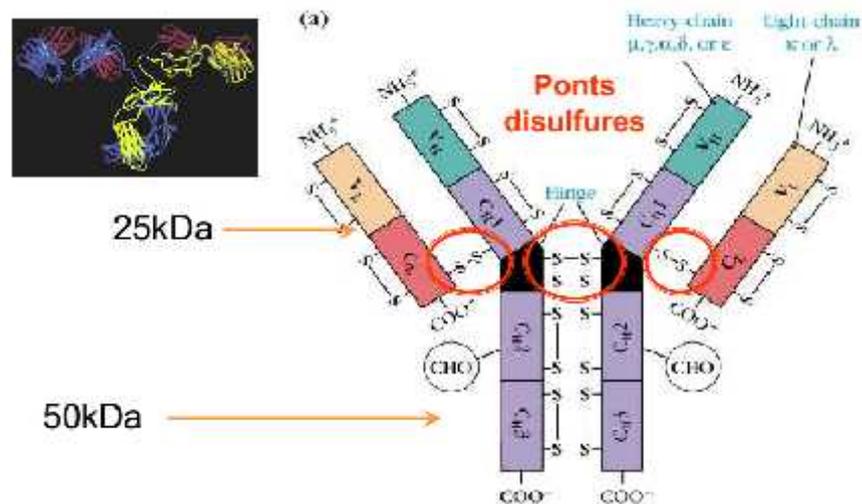


Figure 4 : Structure des Ig, d'après (CAMPBELL&REECE, 2004)

1. Les anticorps présents dans le colostrum

L'immunoglobuline G (IgG) est l'anticorps le plus abondant dans le colostrum équin tandis que l'IgA est un composant mineur du colostrum (Sheoran, A.S et Al, 2000). Les chevaux ont 7 isotypes différents d'IgG avec des fonctions immunologiques différentes (Wagner, B, 2006). La nomenclature actuelle isotype IgG pour le cheval (IgG1-IgG7) est basée sur la désignation de la chaîne lourde de l'Ig, gènes de la région constante (IGHG1-IGHG7) (Wagner, B, 2006). Les nomenclatures Ig originales et actuelles sont présentées dans le Tableau 3. En comparaison avec le sérum de jument, presque tous les isotypes IgG, IgA et IgE sont enrichis dans le colostrum (Tableau 4). IgG4/7 représente la principale sous-classe dans le sérum des chevaux adultes et dans le colostrum et a été suggéré jouer un rôle essentiel dans la protection contre les infections bactériennes et virales (McGuire, 1973 ; Nelson, K.M et Al, 1998 ; Lopez, A.M et Al, 2002). Cependant, IgG1, IgG3/5 et IgA sont également sensiblement enrichis dans le colostrum (Tableau 4), et peuvent médier des fonctions immunitaires importantes et contribuer à la protection globale du nouveau-né des maladies (Tableau 3). L'importance du transfert des anticorps maternels a été soigneusement étudiée (McGuire, 1977 ; Jeffcott, L.B, 1974) et de nombreux poulains malades présentés aux unités de soins intensifs néonataux en défaillance partielle ou complète du transfert passif (McGuire, 1977). La vaccination des juments contre divers agents pathogènes, y compris, mais sans s'y limiter, la grippe, le tétanos et le rota virus, augmente le transfert des IgG spécifiques de l'antigène aux poulains avec le colostrum (Wilson, W.D, 2001 ; Jeffcott, L.B, 1974 ; Sheoran, A.S et Al, 2000 ; Powell, D.G et Al 1997). Pour les maladies qui peuvent être évitées par des

anticorps neutralisants préexistants, comme le tétanos, des concentrations suffisantes d'anticorps maternels sont entièrement protecteur pour le poulain nouveau-né. Pour les pathogènes intracellulaires, tels que *Rhodococcus equi*, les anticorps neutralisants ont également des effets protecteurs (Lopez, A.M et Al 2002), mais elles ne confèrent pas une protection totale.

Tableau 3 : Nomenclature et fonction des Ig chez les chevaux adultes.

Ig Isotypes			
Nomenclature Originale	Désignation Actuelle	Fonction Immunitaire Basique	Augmentation des Isoypes d'Ig et /ou association avec protection des maladies infectieuses
IgM	IgM	Activation du Complément ^a	Réponse immunitaire primaire
IgD	IgD	Inconnu	Inconnu
IgGa	IgG1 IgG2	Activation du Complément ^b : IgG1, IgG4/7, IgG3	IgG1 et IgG4/7: Influenza ^c , EHV-1d-g, EHV-4h, <i>R. equi</i> , ^j
IgG(T)	IgG3	Fc-receptor binding ^b : IgG1, IgG4/7, IgG3/5	IgG3/5: <i>tetanus toxoid</i> ^k , pneumococcus ^a , nematodes ^l , <i>Theileria equi</i> (IgG3) ^m
IgGb	IgG4	Staphylococcal protein A binding ^b :	
IgG(T)	IgG5	IgG1 > IgG3 > IgG4 > IgG7 > IgG2 = IgG5 > IgG6	
IgGc	IgG6	Streptococcal protein G binding ^b :	
IgGb	IgG7	IgG1 = IgG4/7 > IgG3 >> IgG2 = IgG6	
IgE	IgE	Transport pour les récepteurs IgE à grande et petite affinité au niveau des cellules ⁿ	Immunité contre les Parasites ⁿ Réponses Allergique
IgA	IgA	Neutralisation et IgA récepteur transport ^o	Immunité Mucosale ^{a, o}

References dans le tableau: a[Wagner, B, 2006]; b[Lewis, M.J, 2008]; c[Nelson, K.M, 1998]; d[Goodman, L.B, 2006]; e[Goehring, L.S, 2010]; f[Soboll Hussey, G, 2011]; g[Goodman, L.B, 2012]; h[Mizukoshi, F, 2002];

i[Lopez, A.M, 2002]; j[Lopez, A.M, 2003]; k[McGuire, T.C, 1973]; l[Dowdall, S.M, 2002]; m[Mealey, R.H, 2012]; n[Wagner, B, 2009]; °[Lewis, M.J, 2010]. EHV-1 = equine herpesvirus-1.

Tableau 4 : concentrations normales des Ig (mg/ml) dans les sérums, colostrums et du lait des chevaux adultes et des poulains.

	IgM	IgG1	IgG4/7a	IgG3/5a	IgG6	IgE	IgA
Adult serum	1.1 ± 0.4 ^{b,c}	3.4 ± 2.0 ^d	19.6 ± 6.5 ^d	4.0 ± 2.5 ^d	0.2 ± 0.1 ^d	0.08 ± 0.09 ^e	0.4 ± 0.3 ^d
Colostrum	1.23 ± 0.32 ^b	82.0 ± 44.0 ^d	183.0 ± 38.0 ^d	44.0 ± 25.0 ^d	0.3 ± 0.1 ^d	0.773 ^e	9.0 ± 3.0 ^d
Foal serum							
Presuckle	NA	0.03 ± 0.03 ^d	ND ^d	ND ^d	ND ^d	ND ^e	ND ^d
Day 1 p.p	NA	10.0 ± 2.0 ^d	29.0 ± 3.6 ^d	4.8 ± 2.9 ^d	ND ^d	0.261 ^e	0.4 ± 0.1 ^d
Day 63 p.p	NA	14.3 ± 5.0 ^d	8.5 ± 3.1 ^d	3.8 ± 1.4 ^d	ND ^d		0.1 ± 0.1 ^d
Milk							
Day 1 p.p	NA	1.6 ± 1.0	3.1 ± 1.6	0.8 ± 0.6	0.06 ± 0.06	NA	0.3 ± 0.1
Day 7 p.	NA	0.7 ± 0.3	0.9 ± 0.4	0.3 ± 0.2	ND	NA	0.7 ± 0.2
Day 14 p.p	NA	0.4 ± 0.2	0.5 ± 0.3	0.2 ± 0.1	ND	NA	0.7 ± 0.2
Day 63 p.p	NA	0.08 ± 0.1	0.1 ± 0.06	0.06 ± 0.04	ND	NA	0.6 ± 0.2

alG4/7 represents la forme IgGb subclass du cheval et IgG3/5 la forme IgG(T) subclass. Monoclonal anticorps jusqu'à IgG4/7 ou IgG3/5 reconnaissance des both isotypes. Résultats sont obtenues par b[McGuire, T.C , 1973]; c[Perkins, G.A, 2003]; d[Sheoran, A.S, 2000]; e[Wagner, B, 2006]. Concentrations sont donner en moyenne ± sd; NA = not available; ND = non detectable; p.p. = *post partum*.

(a) **IgG :**

L'IgG est la plus abondante immunoglobuline dans le sérum et dans le colostrum. Elle est fabriquée et sécrétée par les cellules plasmatiques trouvées dans la rate, les ganglions lymphatiques et la moelle osseuse (Tizard, 1996). Les cellules plasmatiques sont des cellules sécrétrices d'anticorps qui sont différenciés des lymphocytes B (cellules B). l'IgG est la plus petite de la classe d'Ig, donc elle est facilement capables de migrer du sang vers d'autres tissus.

L'IgG se lie facilement à l'antigène étranger et entre en contact avec. Cela conduit à l'agglutination et à l'opsonisation, processus qui rend les particules étrangères sensibles à la phagocytose par les neutrophiles. Les IgG jouent également un rôle dans l'activation du

système du complément, une voie enzymatique complexe conduisant à la destruction finale des micro-organismes envahissants. Il existe cinq sous-classes d'IgG équine : IgG2a, IgG2b, IgG2c, IgG (B) et d'IgG (T), qui sont également répartis en deux sous-classes d'IgG (T)a et IgG (T)b (Tizard, 1996). Ces sous-classes d'IgG se distinguent par leurs différentes séquences -chaîne et de légères différences dans la fonction biologique (Goldsby et al, 2003). La Figure 5 montre la concentration en IgG dans les sécrétions mammaires avant le poulinage mesurée par immunodiffusion radiale et par réfractométrie (McCue et al, 2011).

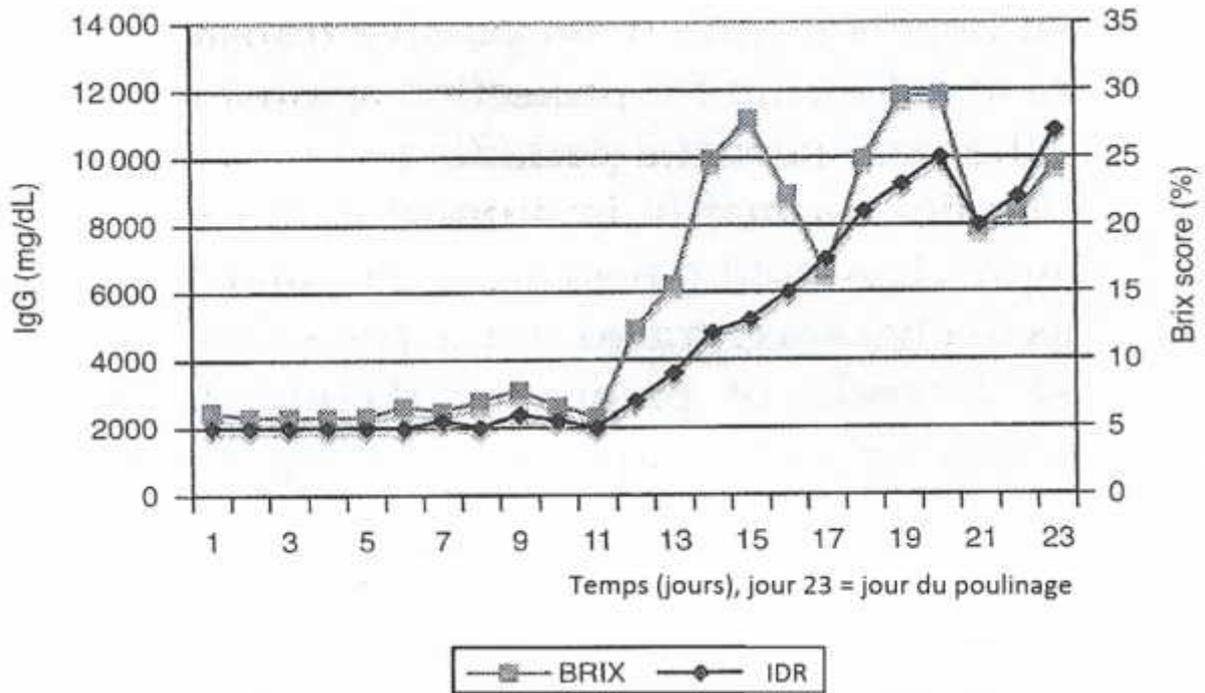


Figure 5: Concentration en IgG dans les sécrétions mammaires avant le poulinage mesurée par immunodiffusion radiale et par réfractométrie (McCue et al, 2011) *La production de colostrum est maximale dans les 14 jours qui précèdent le poulinage.*

(b) IgM :

L'IgM est la deuxième immunoglobuline abondante dans le sérum et la troisième Ig abondante dans le colostrum. L'IgM est la première classe d'Ig détectée dans une réponse immunitaire primaire et la première Ig produite par le nouveau-né (Goldsby et al, 2003).

La forme sécrétée d'IgM est la plus grande des Igs et a également plus de sites de liaison d'antigène que les autres isotypes (Figure 6). En raison de sa forte affinité pour l'antigène, l'IgM est plus efficace que l'IgG à provoquer l'agglutination, la neutralisation des particules de virus, et l'activation du complément. La grande taille d'IgM limite sa capacité à diffuser à partir du sang vers d'autres tissus. Grâce à des sites de liaisons spécialisés, les

cellules sécrétrices dans les voies respiratoires et gastro-intestinales sont capables de transporter des molécules d'IgM dans les garnitures de la muqueuse. Une fois libéré dans la lumière intestinale, ils jouent un rôle important accessoire à l'IgA, l'anticorps le plus répandu dans les sécrétions muqueuses.

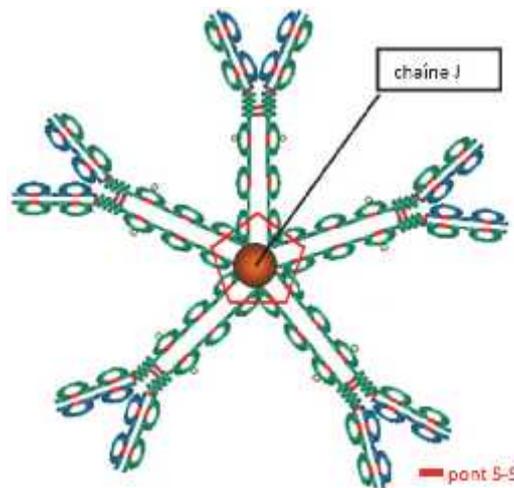


Figure 6 : Structure de la forme sécrétée des IgM (Mayer et al, 2012)

(c) **IgA :**

L'IgA est la troisième immunoglobuline abondante dans le sérum et la deuxième Ig abondante dans le colostrum. Cependant, le passage de la production colostrale à la production laitière, fait que l'IgA devient l'anticorps prédominant trouvé dans le lait. L'IgA est présente dans le colostrum, le lait et d'autres sécrétions externes, y compris les sécrétions des voies gastro-intestinales, existe principalement sous la forme d'IgA sécrétoires.

La forme d'IgA sécrétoire est différente du monomère d'IgA circulant dans le sérum (Figure 7). C'est une molécule complexe composée de forme dimère d'IgA attachée à une chaîne de glycoprotéine appelée composante sécrétoire. La composante sécrétoire médie le transport des IgA dans les surfaces de l'épithélium de la muqueuse et assure une protection contre la dégradation par les protéases qui sont abondants dans l'environnement de la muqueuse. La fonction principale d'IgA est d'empêcher la fixation des antigènes à la surface du corps. L'IgA peut également servir d'opsonine et d'activer le système du complément, mais pas aussi efficacement que les IgG.

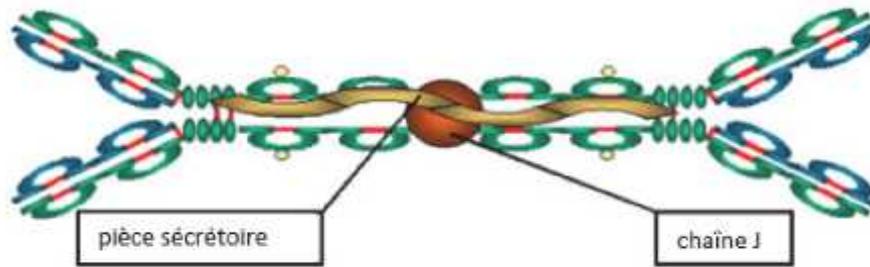


Figure 7 : Structure de la forme sécrétée des IgA (Mayeret al, 2012)

L'immunité mucoale :

La majorité des IgA sont produites par les cellules plasmiques dans les tissus lymphoïdes des muqueuses, qui sont situées sous l'épithélium des voies respiratoires et gastro-intestinales. La production journalière des IgA sécrétoires est supérieure à celle de tout autre isotype d'Ig, principalement en raison de la taille de l'intestin (Abbas et al, 2000). La plupart des invasions par des organismes pathogènes se produisent par ingestion ou inhalation. Dans l'intestin, l'IgA sécrétoire se lie à des organismes pathogènes et assure une protection en empêchant leur fixation aux cellules muqueuses. L'IgA sécrétoire empêche l'attachement de bactéries telles que *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, et *Neisseria gonorrhoeae* dans le tractus gastro-intestinal (Goldsby et al, 2003).

(d) IgE :

L'IgE est une classe mineure d'Ig trouvé en très faibles concentrations dans le sérum d'un cheval en bonne santé. IgE, comme IgA, est principalement synthétisée par les cellules plasmiques sous surfaces épithéliales (Tizard, 1996). La fonction principale de l'IgE est d'activer les mastocytes, qui sont responsables des réactions caractéristiques de l'hypersensibilité, telles que l'urticaire ou le choc anaphylactique. L'IgE est également responsable de l'immunité contre les vers parasites.

Chaque classe d'Ig joue un rôle unique dans la protection de la jument et son poulain des maladies. Un système immunitaire fonctionnant à une capacité optimale est essentiel pour la jument pour produire un poulain sain et viable.

III. Les facteurs influençant la concentration des Immunoglobulines colostrales :

De nombreux facteurs peuvent affecter la concentration d'Ig du colostrum

a- La Pré-lactation :

L'un des principaux déterminants de la teneur en Ig colostrale à la parturition est de savoir si la jument a subi ou non une perte de colostrum avant la mise bas.

La lactation prématurée, ou "pré-lactation", est l'une des causes les plus importantes de l'échec de transfert immunitaire en raison du colostrum de mauvaise qualité et pauvre en Ig (McCue, 1993). Il est relativement fréquent pour les juments de perdre leur lait avant la parturition, qui peut être associée à des changements hormonaux ou à certaines conditions telles que l'avortement imminent, gestations gémellaires, placentites et les décollements prématurés du placenta (Jeffcott 1974 McCue, 1993). Les juments qui donnent du lait prématurément pendant plus de 24 heures avant le poulinage ont tendance à avoir des concentrations d'IgG colostrales plus basses (Leblanc, 1990). Morris et al. (1985) ont constaté une tendance linéaire à la hausse significative du pourcentage de juments qui donne une pré lactation avec une concentration d'IgG diminué.

b- Race:

Il y a eu des rapports démontrants que la race de la jument peut affecter le contenu des Ig colostrales. Dans une étude, y compris pur-sang, arabe et trotteur américain, la race de la jument a affecté de manière significative la concentration d'IgG colostrale (LeBlanc et al., 1992). Dans une autre étude, la concentration moyenne d'IgG dans le colostrum était $9,691 \pm 1,639$ mg / dL dans 14 juments arabes et $4,608 \pm 2,138$ mg / dL dans 22 juments pur-sang (Pearson et al, 1984). Kohn et al. (1989) ont signalé une concentration d'IgG colostrale moyenne de $8,329 \pm 6,206.8$ mg / dL dans 36 juments trotteurs américain. Cette valeur se situe dans la fourchette indiquée dans une étude de 136 juments trotteuses américaines par Morris et al. (1985). Dans une autre étude, la concentration d'IgG colostrale moyenne dans 21 juments Quarter Horse a été jugée $5,843 \pm 722$ mg / dL (LeBlanc et al, 1986) (Tableau 5). Plus de recherches sont nécessaires pour déterminer de façon concluante le degré exact de l'influence de la race sur le contenu d'Ig colostrale.

Tableau 5 : Variation de la concentration en IgG du colostrum en fonction de la race de la jument
(LeBlanc et al, 1986)

Race	Etude		Clément et al. 1999		Pearson et al. 1984		Rouse et Ingram 1970		Kohn et al. 1989		Chavatte et al. 1998		Genin 1989		TOTAL/race	
	Effectif	[IgG] (g/L)	Effectif	[IgG] (g/L)	Effectif	[IgG] (g/L)	Effectif	[IgG] (g/L)	Effectif	[IgG] (g/L)	Effectif	[IgG] (g/L)	Effectif	[IgG] (g/L)	Effectif	[IgG] (g/L)
TB	39	50	14	75	22	46 ^A									75	53
QH	21	58													21	58
Arab	25	64	6	89	14	97 ^A									45	78
Std	15	39	17	50					36	89					68	68
AA			44	68											44	68
SF			100	65											100	65
Shetland							9	45							9	45
Warmblood											27	67	134	67 ^B	161	67
Trait			54	58							12	75	113	87 ^B	179	77
Total/étude	100	54	235	51	36	66	9	45	36	89	39	69	247	76	702	68

^A différence significative

c- Âge :

L'âge de la jument peut également être corrélé à la qualité du colostrum. Pearson et al. (1984) suggère que l'âge de la mère est un facteur qui influence la concentration d'IgG colostrale. Dans une étude qui comprenait 293 juments, la concentration d'IgG colostrale moyenne était la plus élevée chez les juments entre 3 et 10 ans, et l'échec du transfert immunitaire était le plus répandu chez les poulains dont les mères avaient plus de 15 ans (LeBlanc et al, 1992). Clabough et al. (1991) ont rapporté une association possible d'un âge > 12 ans avec l'échec du transfert immunitaire. Cependant, d'autres études suggèrent que l'âge de la jument n'a pas d'effet significatif sur le contenu du colostrum en Ig. Morris et al. (1985) ont rapporté que l'âge de la jument n'a pas affecté de façon significative le contenu colostrale d'IgG dans une étude de 136 juments Standardbred âgés de 3 à 24 ans. Les écarts entre ces rapports peuvent être dus à des variations dans le temps de collecte des échantillons de colostrum. Les études à venir avec de plus grandes tailles d'échantillon et moins de variation peuvent en outre élucider l'effet de l'âge sur le contenu d'Ig colostrale.

d- Variations individuelles

1. Statut vaccinal de la jument et immunostimulation

Il n'y a pas de corrélation entre la quantité d'IgG dans le sérum de jument et celle dans le colostrum (Kohn et al, 1989). Mais la vaccination des juments 4 à 6 semaines avant terme

augmente la concentration en IgG spécifiques contre les pathogènes, contre lesquels on a vacciné, dans le colostrum (Sheoran et al, 2000b).

Après la première semaine, des anticorps contre le tétanos et la grippe sont retrouvés dans le sérum de poulain dont les mères ont reçu des rappels dans les deux derniers mois de gestation. Ces titres en anticorps décroissent de manière exponentielle mais des IgG restent détectables jusqu'à 26 semaines après la naissance (Wilson et al, 2001). Il est alors recommandé de ne pas commencer à vacciner, contre le tétanos et la grippe, avant 6 mois, des poulains nés de juments vaccinées.

Les essais de traitement des juments gestantes avec des immunomodulateurs non spécifiques (stimulation de la fonction immunitaire) donnent des résultats contradictoires quant à l'amélioration de la concentration en IgG dans le colostrum des juments (Turner et al, 2003 ; Krakowski et al, 1999).

2. Autres facteurs

Les juments de moins de 10 ans produisent en moyenne un colostrum de meilleure qualité que celles de plus de 15 ans (Genin, 1989 ; Leblanc et al, 1992). De plus, il existe une corrélation entre la qualité du colostrum d'une même jument lors de deux poulinages consécutifs mais cette corrélation n'est pas assez forte pour pouvoir classer les juments comme productrices de bons ou mauvais colostrums (Clement et al, 2000). En revanche, le rang de lactation n'a pas d'influence sur la qualité du colostrum (Morris et al, 1985).

La durée de gestation est également corrélée à la concentration en IgG du colostrum, avec des colostrums de meilleure qualité quand le poulinage a lieu entre 338 et 350 jours de gestation.

Par contre, l'effet de la saison est controversé : certains auteurs n'ont pas montré d'effet tandis que d'autres ont montré que les juments poulinant dans des conditions ensoleillées ont un meilleur colostrum (Leblanc et al, 1992).

Enfin, les méthodes de conduite d'élevage peuvent influencer la qualité du colostrum sans qu'un paramètre précédemment cité n'intervienne (âge, race et durée de gestation).

Tableau 6 : Facteurs influençant la qualité du colostrum d'une jument (Genin, 1989)

Facteur étudié	Taux d'IgG (g/L)	Effectif	P
Race			
juments de sang	66,9±31,5	134	p<0,001
juments de trait	86,6±40,6	113	
Age			
< 5 ans	92,7±32,9	38	p<0,025
< 10 ans	79,2±38,6	109	
< 15 ans	69,3±32,4	56	
15 ans	67,6±34,4	48	
Parité			
1^{ère} mise-bas	78,1±30,3	57	p>0,05
2^{ème} mise-bas	82,1±44,8	44	
3 à 6^{ème} mise-bas	75,2±38,2	100	
7^{ème} mise-bas	70,3±29,0	37	
Lactation prématurée inexistante			
- 24h avant poulinage	64,2±29,3	52	p<0,001
+ 24h avant poulinage	50,4±24,7	24	

B. Le système immunitaire du poulain

a. Placentation des équidés

L'implantation de l'embryon commence 35 à 40 jours après l'ovulation. La placentation est diffuse et épithéliochoriale (Figure 8). Au cours de la gestation, les changements dans le stroma de la muqueuse utérine sont minimes : il y a uniquement une angiogénèse locale qui permet d'augmenter le débit sanguin et d'apporter des nutriments à la surface de l'utérus. Les cellules du trophoblaste s'attachent à la surface de l'épithélium de l'utérus sans l'envahir. Cependant, la membrane de l'allantochorion est composée de villosités qui s'associent avec des cryptes maternels. Il y a donc une grande surface de contact entre les tissus foetaux et maternels mais la barrière transplacentaire est faite de six couches cellulaires (endothélium maternel, tissu conjonctif maternel, épithélium maternel, épithélium foetal, tissu conjonctif foetal et endothélium foetal) et sépare le système circulatoire du fœtus et de la mère jusqu'à la fin de la gestation (Chucuri et al, 2010 ; Rosenfeld, 2007).

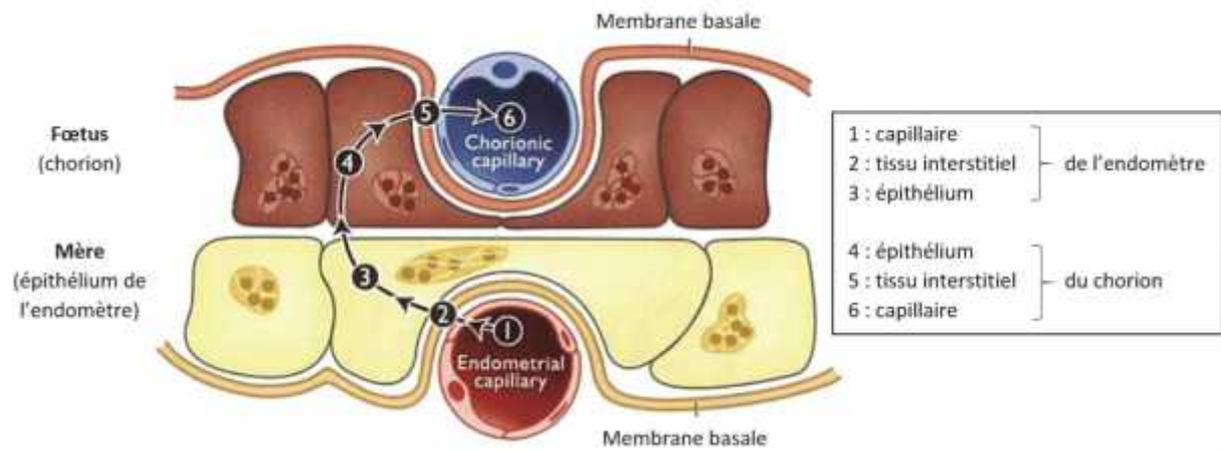


Figure 8: Placentation de type épithéliochoriale (Senger, 2003)

Ce type de placentation rend donc impossible le passage des immunoglobulines de la mère au fœtus et plus généralement le transfert de l'immunité au cours de la gestation.

b. Système immunitaire du fœtus

Chez les équidés, une grande partie du développement du système immunitaire se passe au cours de la vie foetale. Le thymus, où ont lieu le développement et la maturation des lymphocytes T, présente une organisation corticomédullaire dès 80 jours de gestation. Des lymphocytes circulants sont observés dès 120 jours et la rate devient le principal organe

lymphoïde secondaire au cours du deuxième tiers de la gestation. Bien que les nœuds lymphatiques mésentériques soient peuplés de lymphocytes dès 13 semaines de gestation, la plupart des nœuds lymphatiques augmente en taille lors de l'exposition à des antigènes après la naissance (Tallmadge, 2016 ; Flaminio et al, 2011). Une vaccination du fœtus à 200 jours de gestation peut induire la production d'IgG (Morgan et al, 1975).

Bien que le poulain naisse avec un système immunitaire capable de générer une réponse immunitaire aux pathogènes et antigènes environnementaux, celui-ci se développe en l'absence d'antigène. Le système immunitaire du poulain est donc qualifié de naïf et nécessite du temps pour le développement de la population lymphocytaire et de la mémoire immunitaire (Tallmadge, 2016 ; Flaminio et al, 2011).

Le poulain naît pratiquement agammaglobulinémique, le transfert passif de l'immunité par l'ingestion de colostrum doit se faire rapidement, car immédiatement après la naissance, le poulain est exposé à des agents pathogènes. D'autres hypothèses permettent d'expliquer la susceptibilité du poulain nouveau-né aux pathogènes présents dans l'environnement : à la naissance, les poulains sont incapables de synthétiser des IFN . Or, il a été démontré chez la souris que la production d'IFN est essentielle lors de la réponse immunitaire à *Rhodococcus equi* (Breathnach et al, 2006).

Cependant des IgG (0,03 g/L en moyenne) sont détectables dans le sérum du poulain avant la première tétée (Sheoran et al, 2000a). Il s'agit d'IgG1 et IgG4/7.

c. Le développement du système immunitaire par rapport à la colonisation microbienne :

Le tube digestif est l'un des rares organes étant donné qu'il est sous une exposition constante à des agents pathogènes à partir du monde extérieur. Par conséquent, une forte barrière doit être développée pendant le temps où le poulain est encore protégé par l'immunité maternelle et jouera un rôle crucial dans le système immunitaire des chevaux dans les étapes ultérieures de sa vie.

Avec l'ingestion du lait, l'appareil digestif augmente sa longueur, son diamètre ce qui favorise l'augmentation de la densité et la hauteur des villosités et la différenciation des entérocytes. Cette évolution augmente l'efficacité de l'absorption nutritionnelle (Ousey et al, 1995) et construit la base de la colonisation microbienne dans les intestins.

Pendant la gestation l'appareil digestif des poulains est maintenu stérile jusqu'à la naissance jusqu'à ce que le nouveau-né entre en contact avec les bactéries de sa mère (bactéries du vagin, des excréments et de la salive). Il a été constaté que les lactobacilles sont les plus dominants dans le tube digestif des chevaux, et qui commencent à se développer rapidement dès la naissance (Eadie et al, 1970). Aussi d'autres bactéries ingérées principalement via l'allaitement sont des *staphylocoques*, des *streptocoques*, des *corynébactéries*, *propionibactéries* et *bifidobactéries* (Mackie et al, 1999). En outre, il est généralement observé que les poulains commencent souvent à manger des excréments de la jument et à ingérer encore plus des bactéries bénéfiques pour établir la colonisation microbienne. Le développement de bactéries probiotiques bénéfiques dans l'intestin du poulain est nécessaire pour le développement d'une forte couche muqueuse, qui représente un mécanisme de protection directe contre la croissance et la propagation des agents pathogènes nuisibles. Une constante vise l'équilibre entre les bactéries bénéfiques et les pathogènes nuisibles potentiels commence pour assurer la santé à long terme. Cet équilibre peut cependant être facilement interrompu par des facteurs externes, qui seront discutés plus en détail.

La colonisation microbienne est nécessaire non seulement pour des processus métaboliques, tels que la fermentation et la production de substance nutritive, mais il est dit que le système immunitaire de l'intestin représente environ 80% de l'ensemble du système immunitaire. Comme déjà mentionné, un système digestif en bonne santé contient des millions de bactéries à la fois bénéfique, ainsi que des agents pathogènes potentiels. Une telle présence constante d'agents pathogènes et donc des antigènes peut être considéré comme un «entraîneur» pour le système immunitaire des nouveau-nés. Il a été constaté que les lymphocytes sont très actifs dans le système digestif, où ils peuvent à la fois prendre en charge le rôle des cellules présentatrices d'antigène, des anticorps de traitement des cellules plasmatiques et des antigènes destructifs de cellules. Les bactéries stimulent le tissu lymphoïde associé de l'intestin (GALT : gut associated lymphoid tissue), qui est très présent dans un réseau complexe de ganglions lymphatiques pour produire et «éduquer» les lymphocytes aux antigènes spécifiques (Nikles, 1991). Cette microflore ingérés principalement par la nourriture permet ainsi au système de produire constamment des anticorps (IgA en particulier) et de former à la fois l'immunité innée, ainsi que le système immunitaire adaptatif. Cette production constante de lymphocytes et d'anticorps est non seulement limitée à l'appareil digestif, mais se propage à travers les tissus lymphoïdes et la circulation sanguine à travers tout le corps. Cette interaction entre les bactéries bénéfiques et

néfastes et la formation constante du système immunitaire par cette microflore souligne l'importance d'une colonisation microbienne adéquate et saine dans le début de la vie des poulains.

1. Facteurs influant sur le développement du système immunitaire des poulains

Souvent, la gestion incorrecte des poulains peut déjà jeter les bases d'un développement optimal et le fonctionnement du système immunitaire. Des facteurs tels que les mettre dans une écurie confinée dès leurs premiers jours, leur donner des aliments concentrés à partir de l'âge précoce et les sevrer brutalement à un trop jeune âge peut avoir un impact sur le fonctionnement du système immunitaire. Entravé un cheval pendant de longues périodes dans une stabulation, représente un risque potentiel de développer un stress chronique (Visser et al, 2008), car il est souvent en décubitus, est sous haute pression de l'inhalation / ingestion de pathogènes en développement dans la litière, tels que les bactéries. Températures chaudes, l'humidité relative, les matières fécales et l'urine sont très favorables pour le développement de pathogène. L'inhalation de grandes quantités de ces agents pathogènes entraîne un risque élevé d'infection et d'inflammation possible, ce qui a une conséquence directe sur le système immunitaire. Un combat continu contre ces agents pathogènes invasifs dans des concentrations élevées signifie que le système immunitaire pourrait éventuellement ne pas être en mesure d'agir aussi efficacement à d'autres agents pathogènes dans le corps. Il a été reconnu que les chevaux ayant assez de place pour se déplacer librement évitent de manger l'herbe près des fèces et des lieux d'urine, donc pas de temps passer dans les zones de pression pathogènes (Kiley-Worthington, 2007). Ils évitent instantanément la pression pathogène et parasitaire constante à ces endroits, qui ne sont pas du tout donné lorsqu'ils sont confinés dans des stalles. Seulement dans certaines circonstances, ils chercheront spécifiquement à ingérer les fèces qui contient des bactéries bénéfiques pour soutenir la microflore et également le système immunitaire. Des facteurs tels que cette pression élevée des agents pathogènes, le stress et une mauvaise alimentation (riche en hydrates de carbone soluble) entraîneront une perturbation de l'équilibre de la micro flore ; et un système immunitaire n'étant pas capable d'effectuer à des niveaux élevés se traduisant par des conséquences potentielles à long terme de la santé des poulains.

2. Développement du tractus Gastro-intestinal et l'environnement microbien chez le poulain.

Le tractus gastro-intestinal néonatal est supposé être stérile jusqu'à ce qu'il soit exposé à des bactéries provenant du vagin, des selles, de la salive et / ou du lait de la jument (Kuhl et al, 2011; Earing et al, 2012). Le méconium du poulain a montré qu'il ne contenait pas de bactéries lors de l'utilisation des techniques de diagnostics traditionnelles, ainsi que la PCR-DGGE (dénaturant Gradient Gel Electrophoresis) et TGGE (Température Gradient Gel Electrophoresis; Sakaitani et al, 1999; Biasucci et al, 2010; Dominguez-Belloa et al, 2010;.Kuhl et al, 2011; Earing et al, 2012). diverses populations bactériennes maternelles et environnementales, y compris *Lactobacillus* et *Streptococcus*, s'installent rapidement après la naissance du poulain et sont introduites par l'ingestion de lait (Eadie et al, 1970; Mackie et al, 1999; Sakaitani et al., 1999; Yuyama et al, 2004). Le développement de l'intestin chez les chevaux se produit avec le développement de l'environnement microbien (Lawrence et Lawrence, 2009). La colonisation microbienne se produit rapidement après la naissance et dépend de l'alimentation (Favier et al, 2002). Quant le poulain arrive à maturité, les microbes dans l'intestin changent, en grande partie en raison d'un changement du régime alimentaire puisque le poulain passe lentement de la consommation unique du lait au pâturage et en consommant plus de fourrage (Boy et Duncan, 1979). Du moment où le poulain naît au moment où il est sevré, de grands changements de digestion enzymatique et de la fermentation anaérobie sont associés au changement de régime alimentaire et à la quantité ingérée par le poulain (Mackie et al, 1999). Comme le poulain consomme plus d'aliments qui sont composés de glucides complexes, tels que la cellulose et l'hémicellulose, les bactéries qui peuvent digérer ces composés, tels que *succinogenes Fibrobacter*, s'installent en plus grand nombre que lorsque le lait a été la principale source d'énergie de sorte que le poulain peut utiliser ces glucides complexes (Boy et Duncan, 1979; Mackie et al, 1999). La colonisation microbienne des voies gastro-intestinales du poulain est cruciale pour la fermentation des composants alimentaires qui permettent au poulain d'utiliser les éléments nutritifs tirés de la digestion microbienne.

3. L'écosystème microbien intestinal du Cheval :

Les chevaux ont différents types de micro-organismes qui sont présents dans leur écosystème gastro-intestinal. Ces organismes ont des relations complexes à la fois avec l'hôte et d'autres micro-organismes dans l'environnement gastro-intestinal et sont importants pour la santé de l'intestin (Julliand, 2005). Les éléments nutritifs reçus par le cheval jouent un rôle clé

dans la détermination de l'équilibre et de l'établissement des micro-organismes dans le tractus gastro-intestinal. En fonction de la zone du tractus gastro-intestinal, le profil microbien et l'action de ces micro-organismes sont différents. La plupart des travaux qui ont été faites avec préoccupation pour l'environnement gastro-intestinal chez les chevaux ont été dans l'intestin qui comprend le caecum et le côlon (Julliand, 2005).

Le gros intestin du cheval a un pH presque neutre et une vitesse de passage inférieure à celle de l'intestin antérieur, ce qui le rend un environnement favorable pour les microbes. Les recherches ont montrés que les populations microbiennes du gros intestin sont très diverses et peuvent être trouvés dans des concentrations élevées (Kern et al, 1973; Kern et al, 1974; Goodson et al, 1988; Mackie et Wilkins, 1988; Julliand , 1996; Julliand et al, 2001; Medina et al., 2002; de Fombelle et al, 2003). Pas moins de 10^9 unités formatant colonies par millilitre (ufc / ml) dans le caecum et 10^8 ufc / ml dans le côlon ont été observés (Mackie et Wilkins, 1988).

L'un des principaux rôles de l'environnement bactérien dans l'intestin postérieur est de briser les parois des cellules végétales et ensuite fermenter les en acides gras volatils (AGV) afin qu'ils puissent être utilisés par le cheval pour l'énergie (Argenzio et al, 1974). Le gros intestin du cheval a une population dense de bactéries anaérobies strictes, qui sont plus concentré dans le caecum par rapport au colon (Kern et al, 1973;.. Kern et al, 1974; Bellet, 1982;. Baruc et al, 1983; Maczulak et al, 1985;. Goodson et al, 1988;. Mackie et Wilkins, 1988; Moore et Dehority, 1993; de Vaux et Julliand, 1994; Julliand et al., 1999; Julliand et al, 2001;. Medina et al, 2002; de Fombelle et al, 2003). Le phylum Firmicutes représente la majorité des séquences identifiées trouvées dans les excréments des chevaux (46-70%), qui comprend de nombreux types de bactéries, y compris les utilisatrices des fibres (cellulolytiques), les utilisatrices de l'amidon (amilolytiques) et les bactéries utilisatrices des protéines (protéolytiques) (Kern et al, 1973 ; Shepherd et al, 2012; Dougal et al, 2013).

d. L'immunité passive

En raison du type de placenta (épithéliochorial) de la jument, le poulain ne reçoit pas des immunoglobulines maternelles, ainsi l'immunité spécifique, de la jument pendant la gestation. Cela rend le système soi-disant "agammaglobulinémique" du nouveau-né, jusqu'au moment où le poulain commence l'ingestion du colostrum maternel. Le système immunitaire des poulains avant l'ingestion du colostrum est appelé naïf, car il ne contient pas de mémoire maternellement transférée par des agents pathogènes rencontrés. Le colostrum maternel est

connu pour être très riche en immunoglobulines (la jument transfère toutes les immunoglobulines: IgG, IgA, IgM et IgE au poulain, mais surtout les IgG qui se trouve dans des concentrations très élevées dans le colostrum maternel) (Wagner et al, 2006). Cela rend incroyablement nécessaire pour le poulain de boire le colostrum et d'acquérir l'immunité adaptative passive aussi vite que possible. Le processus d'acquisition de l'immunité spécifique maternelle est aussi appelé transfert passif de l'immunité. Pendant les premières heures après la naissance d'un nouveau poulain l'intestin est appelé ainsi toujours «ouvert», cela signifie que la colonisation microbienne n'a pas encore eu lieu et l'absorption des nutriments et des immunoglobulines prend également place dans un processus de pinocytose mal défini. Déjà après environ 12 heures après la naissance, l'intestin commence à «fermer» (Brandtzaeg et al., 2003). Cela signifie aussi que les nutriments maternels et les anticorps peuvent être absorbés moins efficacement, ce qui souligne l'importance de l'ingestion rapide.

Les poulains qui ingérés avec succès le colostrum pendant les premières heures de la vie ont normalement des taux d'IgG de 2,400 mg IgG / dl, mais les taux d'immunoglobulines dans le colostrum dépendent fortement de l'état de santé général de la jument. Si le colostrum n'est pas ingéré (à temps), cela est appelé échec du transfert passif (FPT : Failure of passive Transfer). Les niveaux d'IgG inférieure à 400 mg / dl à 24 heures après la mise bas sont définis comme FPT (Sellon, 2006). Si cet échec se produit, le poulain court un grand risque d'infections graves, bien que le risque d'infections bien sûr dépend de l'environnement aussi bien. Ceci étant dit clairement que l'ingestion du colostrum est nécessaire pour le poulain pour acquérir une immunité spécifique et être en mesure de résister à la présence d'agents pathogènes dans son environnement au cas où le système immunitaire inné ne suffit pas et de gagner du temps pour développer son immunité. Les immunoglobulines transférées passivement montrent une diminution assez rapide. Après trois semaines elles sont déjà à 50% et au bout de quatre mois, les anticorps maternels sont rarement détectables (Frape, 2004). Cela signifie que le poulain est maternellement protégée de certains pathogènes au cours du premier trimestre de la première année de vie, pendant ce temps le poulain a donc besoin d'acquérir une immunité spécifique active.

e. Fermeture intestinale "Gut Closure"

La barrière intestinale ne sera plus perméable aux IgG : on parle de fermeture intestinale ou « gut closure ». Cette fermeture semble d'autant plus précoce que le colostrum est riche. Elle n'est pas retardée si une ingestion préalable de lait ou de solution glucosée a eu lieu.

De façon schématique, il existe une sorte de compétition dans le temps entre la fermeture intestinale couplée au passage des IgG et la multiplication/adhésion des bactéries sur les entérocytes (essentiellement *E. coli*). Pendant la période où l'intestin du poulain absorbe les immunoglobulines, il n'existe pas de sélection des particules ingérées au niveau de la paroi digestive. Ainsi, après la naissance, lorsque le poulain cherche la mamelle et lèche la jument, les murs et les parois du box, il ingère des bactéries qui peuvent avoir accès à la circulation sanguine ou lymphatique.

Le lavage de la jument plusieurs fois avant le poulinage, le changement de box au début du travail, la désinfection du périnée et de la mamelle de la jument après le poulinage et l'administration immédiate au biberon de 50 à 100 ml de colostrum de bonne qualité sont par ailleurs conseillés pour les élevages dans lesquels l'incidence de septicémie néonatale est élevée.

f. Facteurs affectant le transfert passif :

Les causes de l'échec de transfert passif de l'immunité sont variées. Il peut être dû à :

- **La jument** : Les facteurs qui influencent le transfert passif d'immunité sont les mêmes que ceux corrélés à la qualité du colostrum. Par exemple, l'échec de transfert passif est plus fréquent chez les juments de plus de 15 ans (Leblanc et al, 1992). La mère peut également rejeter le poulain ;

- **Le poulain peut présenter une incapacité à téter (poulain faible ou problème d'aplombs)** : l'ingestion retardée du colostrum est le deuxième facteur de risque d'échec de transfert passif d'immunité. Neuf heures après la naissance, la capacité d'absorption des IgG est réduite de 33% mais en présence d'un bon colostrum, le transfert est toujours possible (Clement et al, 2002). Cependant, une fermeture précoce de la barrière intestinale et une mauvaise absorption des IgG ont été rapportées chez les poulains prématurés (Drogoul et al, 2006) ;

- **Les conditions d'élevages** : un stress au moment de la naissance (dystocie par exemple) ou après (stress thermique par exemple) entraîne une libération de glucocorticoïdes qui affectent la perméabilité des cellules de l'intestin grêle et qui diminue l'absorption intestinale des IgG (Jeffcott, 1974). Ainsi 3 à 4% des poulains présentent un défaut d'absorption intestinale des IgG alors qu'ils ont accès à un bon colostrum et en quantité suffisante (Mcguire et al, 1975). L'alimentation de la jument peut également affecter sa production laitière : par exemple, l'ergovaline est une mycotoxine qui peut contaminer la

fétuque élevée et qui a pour conséquence un défaut de production de colostrum chez les juments ayant consommé des plantes contaminées (Putman et al, 1991). Enfin, lorsque le poulain est alimenté au biberon, la traite doit être effectuée dans de bonnes conditions d'hygiène afin d'éviter les contaminations du colostrum. Une surveillance du poulinage réduit donc le nombre d'échecs du transfert passif de l'immunité. De plus, l'environnement de vie influence le pronostic des poulains présentant un échec du transfert passif d'immunité.

L'échec de transfert passif d'immunité peut également être imposé en privant le poulain de boire le colostrum de sa mère lors de cas d'isoérythrolyse néonatale.

Le transfert de l'immunité passive dépend donc de plusieurs facteurs, liés à la mère, au nouveau-né mais aussi à leur environnement.

C. Evaluation de la qualité du colostrum

I. Qualité du colostrum

La qualité d'un colostrum fait principalement référence à sa concentration en IgG.

A. Mesure du taux d'immunoglobulines

1. Appréciation qualitative

Il est déconseillé de prévoir la qualité du colostrum en fonction de sa couleur et de sa consistance (Chavatte et al, 1998b).

a. Couleur

Si on considère uniquement deux couleurs possibles : jaune ou blanc, il y a une différence significative entre la concentration en immunoglobulines dans le colostrum en fonction de sa couleur. Le colostrum jaune est plus riche mais le taux plasmatique d'immunoglobulines chez le poulain à 24 heures ne diffère pas en fonction de la couleur du colostrum ingéré. De plus, l'évaluation de la couleur est très subjective et dépendante de l'opérateur.

b. Consistance

En considérant deux consistances : liquide ou visqueux, il n'y a pas de différence significative au niveau du taux d'IgG dans le colostrum.

L'évaluation macroscopique du colostrum n'étant pas satisfaisante, il est important de mesurer la qualité du colostrum avec une méthode objective.

2. Mesure de la densité

Dès 1986, LeBlanc décrit l'utilisation du colostromètre (fig 9) pour évaluer la concentration en IgG dans le colostrum de jument (Leblanc et al, 1986). En effet, la densité du colostrum est corrélée à son taux d'IgG (Tableau 7).

Tableau 7 : Concentration en IgG dans le colostrum en fonction de sa densité (MCCUE, 2014b)

Qualité du colostrum	[IgG] (g/L)	densité
Très bon	>80	$\geq 1,10$
Bon	50 – 80	1,08 – 1,09
Moyen	28 – 50	1,06 – 1,07
Mauvais	<28	<1,06

Mais, bien que la corrélation soit bonne, cette technique présente plusieurs inconvénients :

- L'ampoule du colostromètre doit être remplie avec exactement 15 mL de colostrum et placée dans un cylindre d'eau distillée (Mccue, 2014b) ;
- Des variations de l'ordre de 0,1 mL dans la mesure du volume de colostrum entraînent des différences importantes dans la quantification de la concentration en IgG ;
- Il faut rincer l'ampoule avec de l'alcool et la laisser sécher entre chaque mesure ;
- La température de l'eau distillée fait varier la densité lue ;
- Il est recommandé de répéter 2 voire 3 fois les mesures à cause de la variabilité des résultats.

Tous ces inconvénients font que le colostromètre (Figure 9) est peu pratique sur le terrain.

**Figure 9** : Colostromètre dans un cylindre d'eau distillée (Mccue, 2014b)

3. Mesure de l'indice de réfraction de la lumière

a. Principe

Le réfractomètre (Figure 10) est un appareil de mesure qui détermine l'indice de réfraction de la lumière d'une matrice solide ou liquide (exemple pour l'eau = 1,33, pour l'air = 1).



Figure 10 : Réfractomètre

Cet indice représente la déviation d'un faisceau lumineux suivant la nature du milieu dans lequel il se propage. L'angle du faisceau dévie en fonction du taux de matière sèche soluble dans le milieu : plus la concentration de matière sèche soluble est élevée, plus la réfraction est importante.

b. Réfractomètre à sucre

La gamme des concentrations protéiques mesurées avec un réfractomètre à protéine ne correspond pas aux concentrations dans le colostrum. Le réfractomètre à sucre, utilisé pour mesurer le pourcentage en sucre dans les jus de fruit, mesure des indices de réfraction qui correspondent à ceux du colostrum (Figure 11). De cet indice de réfraction, il est possible de déduire une mesure précise de la concentration en IgG dans le colostrum (Cash, 1999).

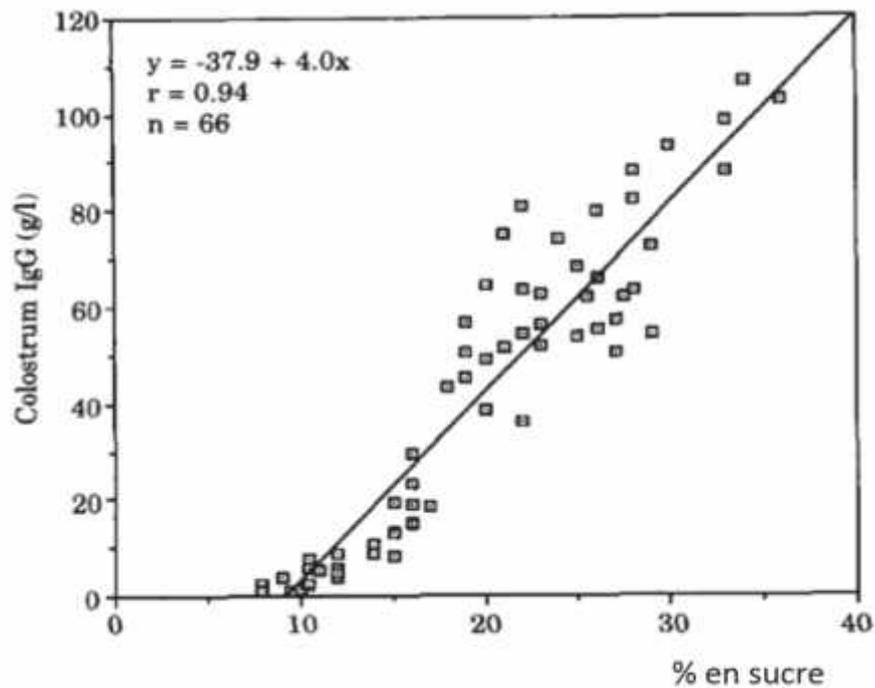


Figure 11 : Concentration en IgG dans le colostrum en fonction du pourcentage en sucre lu sur le réfractomètre (Cash, 1999) *Il existe une relation linéaire entre l'indice de réfraction donné par le réfractomètre à sucre et la concentration en IgG dans le colostrum de jument.*

c. Réfractomètre à alcool

Le réfractomètre à alcool, utilisé pour mesurer le degré d'alcool dans un vin, donne aussi une mesure précise de la concentration en IgG dans le colostrum de jument (Tableau 8). La concentration y en IgG (g/L) peut être déduite du degré en alcool x donné par le réfractomètre : $y = 8,06x - 57,14$; $r^2=0,739$ (Chavatte et al, 1998a).

Les mesures faites avec ces deux réfractomètres sont également bien corrélées avec le taux plasmatique en IgG du poulain à 24 heures. Elles sont aussi très reproductibles et il suffit d'une mesure pour estimer le colostrum de façon fiable.

Tableau 8 : Qualité du colostrum en fonction de son indice de réfraction (Cash, 1999 ; Chavatte et al, 1998a)

	Bon colostrum (>60 g/L)	Mauvais colostrum (<60 g/L)
Réfractomètre à alcool	>16°	<16°
Réfractomètre à sucre	>23%	<23%

La température peut faire varier l'indice de réfraction mais en pratique aucune différence n'est observée lors de variations de température.

d. Colotest

Le colotest des Haras nationaux est un réfractomètre à sucre qui permet une lecture directe de la qualité du colostrum (Clement et al, 2000 ; Doligez et al, 2011). (Figure 12)

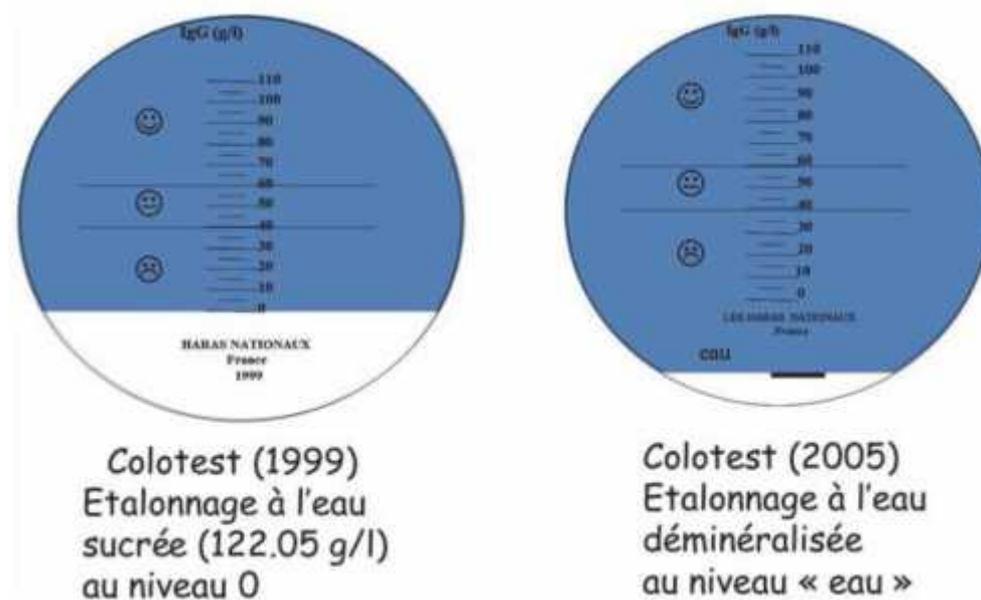


Figure 12 : Etalonnage du colotest (Doligez et al, 2011) Le colotest est gradué de 0 à 110 g d'IgG/L. Des icônes permettent une lecture facile du résultat en distinguant les colostrums de bonne qualité (> 60 g d'IgG/L), de qualité intermédiaire et de mauvaise qualité (< 40 g d'IgG/L).

En pratique, la facilité d'utilisation, la précision de la mesure et le faible volume de colostrum nécessaire (1 goutte) permettent de conseiller l'utilisation de ce réfractomètre pour évaluer la qualité du colostrum sur le terrain. Le colotest permet une mesure fiable à une température comprise entre 10 et 30°C (Doligez et al, 2011).

4. L'immunodiffusion Radiale (IDR, technique de référence)

L'immunodiffusion radiale est une mesure directe de la concentration des IgG et est considérée comme étant la technique de référence (gold standard contre laquelle toutes autres techniques seront confrontées) standard pour déterminer la concentration d'IgG dans le sérum équin et / ou le colostrum et permet d'obtenir un résultat fiable en 24 heures. Cette technique consiste en la précipitation des immunoglobulines équines avec des anticorps anti-IgG équins contenus dans un milieu gélosé permettant ainsi de distinguer la concentration en immunoglobuline sous forme d'un halo de précipitation (Guidry et Pearson, 1979). Pour faire, des anticorps anti-Ig sont incorporés dans une gélose creusée de puits ou sont versés les échantillons de sérum dilué, de lait ou du colostrum. Les immunoglobulines diffusent alors dans la gélose et se complexent avec les anticorps correspondants entraînant leur précipitation. Les plaques sont incubées pendant un temps défini selon les directives du fabricant. Visuellement cela se traduit par la formation d'un halo centré sur le puits dont le diamètre rend compte de la concentration en immunoglobulines de l'échantillon testé. (Figure 13). Les concentrations en IgG des échantillons sont déterminées en comparant le diamètre de l'anneau de précipitation avec une courbe standard générée par les normes internes de chaque kit.

Les étapes de la réalisation du dosage des IgG dans le colostrum de jument par IDR seront détaillées dans la partie expérimentale.



Figure 13 : photo d'une gélose après une réaction d'IDR

(<http://images.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.idbiotech.com%2Fwp>)

i- Forces et faiblesses: les Kits d'immunodiffusion radiale qui sont disponibles dans le commerce, ont besoin d'un très petit échantillon de lait, colostrum ou de sérum (3-15 µl), et nécessitent un minimum d'équipement pour l'effectuer (Guidry et Pearson, 1979). Il est

suggéré que l'ensemble du colostrum maternel doit être utilisé pour déterminer la concentration d'IgG par analyse par la méthode IDR, car l'élimination de la caséine et de la matière grasse du colostrum maternel ou l'utilisant du lactosérum, augmente la concentration d'Ig, entraînant ainsi une surestimation des Ig totales (Fleenor et Stott, 1981).

Une faiblesse dans l'analyse du kit IDR est que les écarts de concentration d'IgG peuvent se produire entre les kits IDR faites par différentes sociétés (Ameri et Wilkerson, 2008; Lee et al, 2008). Ces différences sont potentiellement en raison d'imprécisions des normes IgG internes qui sont fournis avec les kits. Différents kits peuvent avoir différents seuils dans la concentration minimale et maximale des IgG qu'ils peuvent mesurer. Les kits sont spécifiques de l'espèce; les IgG bovines ne sont pas sensibles aux camélidés et vice versa. En outre, si des échantillons se situent en dehors de la gamme des normes internes, la courbe d'étalonnage ne doit pas être extrapolée. Ces échantillons doivent être ré-analysés dans une solution plus diluée ou sous forme concentrée pour réduire l'erreur. Le plus grand défi empêchant les essais IDR d'être facilement utilisé à la ferme pour la détection de l'échec du transfert d'immunité et l'identification de la qualité du lait et du colostrum est le temps d'incubation. Les essais IDR nécessitent un temps d'incubation relativement long (~ 24 h), qui empêche l'identification des poulains souffrant d'un échec de transfert d'immunité avant la fermeture de l'intestin.

5. Electrophorèse des protéines

L'électrophorèse s'appuie sur le principe du déplacement de particules chargées sous l'influence d'un champ électrique créé par une tension continue. L'électrophorèse unidimensionnelle fait en présence d'un agent réducteur comme le bêta-mercaptoéthanol qui coupe les ponts disulfures par exemple et du sodium dodécyl sulfate permet de charger négativement toutes les protéines contenues dans un échantillon. Il est ainsi possible de séparer des protéines comme les immunoglobulines selon leur poids moléculaire. Les protéines migrent vers le pôle positif et ce d'autant plus vite qu'elles sont petites. Par la suite, il est possible de transférer les molécules sur une membrane de nitrocellulose pour procéder à la détection des différentes immunoglobulines grâce à la fixation d'anticorps spécifiques anti-immunoglobulines. Ces anticorps peuvent être couplés à une enzyme appelée peroxydase permettant de déterminer la concentration des différentes immunoglobulines au sein du colostrum à partir d'une gamme standard (immunoglobulines purifiées dont on connaît déjà la concentration) ayant migré en parallèle sur le gel.

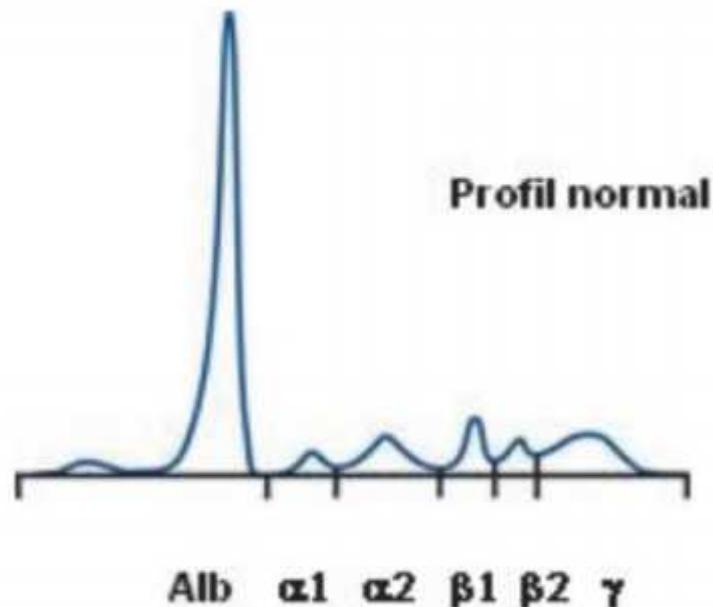


Figure 14 : Profil d'électrophorèse normal des protéines

B. Banque de colostrum congelé

Lorsqu'un colostrum de mauvaise qualité est détecté, une supplémentation du poulain avec un colostrum issu d'une autre jument et conservé congelé est possible dans les 24 premières heures qui suivent sa naissance, avant la fermeture de la barrière intestinale aux IgG. C'est pourquoi il est conseillé aux éleveurs de réaliser une banque de colostrum congelé.

1. Choix des juments donneuses

Après la mise-bas, il est conseillé de prélever quelques gouttes de colostrum au niveau d'une mamelle et de mesurer la concentration en IgG à l'aide d'un colotest (figure 17). Trois cas de figures se présentent alors :

- Si le colostrum est de bonne qualité (> 60 g IgG/L), on peut prélever 250mL de colostrum à la jument par traite d'une des deux mamelles. Le colostrum est congelé à -18°C dans un congélateur normal. Il est recommandé de conserver ce colostrum un an maximum mais aucune étude n'a validé la conservation des IgG au cours de cette période chez la jument. Chez la vache, il y a conservation des IgG1 dans le colostrum lors de sa congélation sur une période de deux ans (Charbonnel, 2015) ;

- Si le colostrum est de qualité intermédiaire (entre 40 et 60 g IgG/L), il faut laisser le poulain boire tout le colostrum ;
- Si le colostrum est de mauvaise qualité (< 40g/L), il est souhaitable de donner au poulain entre 500 mL et 1 litre de bon colostrum. Le colostrum doit alors être décongelé au bain marie à 37°C et administré au biberon, si le poulain a un bon réflexe de succion, en une à deux prises selon son appétit. Le poulain peut ensuite boire le colostrum maternel. Si la jument n'a pas de colostrum, le poulain doit recevoir 1 litre de bon colostrum.

Les juments donneuses de colostrum doivent être en bonne santé et n'avoir jamais eu de poulain présentant une isoérythrolyse néonatale. Idéalement, elles doivent être testées pour la présence d'anticorps anti-globules rouges deux semaines avant le poulinage. Le meilleur choix est une jument entre 4 et 15 ans ayant déjà eu un ou plusieurs poulains, vaccinée et n'ayant pas perdu de lait avant le poulinage : ces critères correspondent aux juments produisant le colostrum de meilleure qualité.

2. Réfrigération du colostrum

Il a été démontré que le lait humain peut être conservé réfrigéré pendant 48 heures sans danger d'un point de vue bactériologique : il n'y a pas d'augmentation significative du nombre de colonies bactériennes dans le lait après ce délai (Larson et al, 1984). Cette variation légère de température n'entraîne pas d'altérations de la structure des cellules mais uniquement un ralentissement des activités cellulaires.

3. Principe et intérêts de la congélation

Les différentes étapes de la collecte et de la congélation pour la réalisation d'une banque de colostrum congelé, seront développées dans la partie expérimentale.

Il existe peu d'études portant sur les effets de la congélation sur le colostrum de jument. La littérature en médecine humaine permet cependant de tirer quelques conclusions.

La congélation a deux effets qui ont pour conséquence l'arrêt de l'activité cellulaire (Lawrence, 1999) :

- L'élimination de l'eau liquide transformée en glace. Ceci arrête les activités microbiennes et réduit les activités enzymatiques ;
- L'effet thermique du refroidissement qui entraîne une réduction de toutes les activités biologiques.

Le verre est le récipient ayant le moins d'effet sur la dégradation des composants immunitaires du colostrum de femme (Lawrence, 1999). De plus, le volume de colostrum congelé doit être réduit (2 L maximum) et la congélation doit être rapide afin de limiter la destruction des composants immunitaires. La congélation entraîne des modifications des protéines, dues à l'effet concentrateur de la cristallisation. Cette dénaturation a lieu dans la zone de cristallisation commençante (entre -1 et -5°C), c'est pourquoi une congélation rapide permet de réduire les réactions de dénaturation des protéines.

a. Action sur les germes présents dans le colostrum

A -20°C toute prolifération microbienne est impossible, cependant plusieurs germes résistent au processus de congélation.

b. Valeur nutritive

Les données sur la conservation de la valeur nutritive du lait humain lors de la congélation sont contradictoires (Lawrence, 1999 ; Garcia-Lara et al, 2012). Après trois mois de congélation à -20°C, la teneur en matière grasse et en calories dans le lait est diminuée. Cette diminution est variable avec le temps mais est maximale au cours de la première semaine de congélation. Deux hypothèses peuvent expliquer cette diminution en matières grasses :

- Une activité de lipolyse est encore présente à des températures inférieures à -20°C ;
- Une diminution de l'activité antioxydante du lait lors de sa congélation qui entraîne une peroxydation des lipides. La réduction de la teneur en matière grasse et en calories serait alors relative et due à une modification de la structure des lipides ainsi certains acides gras ne seraient pas non mesurée par les instruments (Garcia-Lara et al, 2012).

4. Conservation des immunoglobulines

La congélation et le stockage du lait humain à -20°C jusqu'à trois mois ne modifient pas les concentrations en IgG et IgA (Evans et al, 1978).

De plus, chez les bovins, la consommation de colostrum frais ou congelé aboutit à des concentrations sériques en IgG comparables chez les veaux (Holloway et al, 2001).

5. Contraintes et limites

Plusieurs études portant sur le lait humain considèrent que -80°C est la température idéale pour la conservation au long terme du lait et pour minimiser la perte de ses différentes

propriétés (Garcia-Lara et al, 2012 ; Ogundel, 2000). Cependant son coût rend cette technique de conservation inappropriée et une congélation à -20°C permet de conserver le lait humain pendant 1 à 12 mois.

a. Perte d'eau

Lors du phénomène de congélation il y a une perte d'eau. De plus, lors de la conversation d'un produit congelé, ce produit subit également une perte d'eau proportionnelle au temps de stockage. Il est alors recommandé d'utiliser un contenant résistant à la migration et à l'évaporation de l'eau.

b. Vitamines

La congélation entraîne une diminution des teneurs en vitamines B6 et C dans le lait humain. Ces pertes vitaminiques sont proportionnelles à la durée de stockage.

6. Décongélation et traitement à la chaleur du colostrum

La décongélation doit être lente pour éviter la dégradation des constituants du colostrum et notamment, des IgG. La décongélation au micro-onde ne réduit pas significativement la concentration en IgG du colostrum chez la vache (Jones et al, 1987).

Lors d'essais de pasteurisation de colostrum bovin, il a été montré qu'un traitement à 60°C pendant 120 minutes ne modifie significativement ni la concentration en IgG ni la viscosité du colostrum. A partir de 63°C, la concentration en IgG est significativement modifiée, avec une diminution jusqu'à 30% (Elizondo-Salazar et al, 2009 ; Mccartin et al, 2006 ; Philippe et al, 1998). L'effet de cette température est le même sur le colostrum humain : diminution des IgG de 34% lors de pasteurisation à 62,5°C pendant 30 minutes (Evans et al, 1978).

L'alimentation de veaux avec du colostrum congelé puis chauffé à 60°C pendant 120 minutes ne modifie pas la concentration sérique en IgG par rapport aux veaux nourris avec du colostrum décongelé à 37°C (Elizondo-Salazar et al, 2009 ; Philippe et al, 1998). De plus, chauffer le colostrum à 60°C permet de réduire significativement sa charge bactérienne.

Par ailleurs, la répétition de congélation-décongélation réduit la concentration en IgG du colostrum, d'après une étude sur le colostrum de chèvre : diminution de 27% après 7 cycles de congélation-décongélation (Arguello et al, 2003).

En l'absence d'étude sur le colostrum de jument, il est conseillé de suivre les recommandations de l'IFCE et de décongeler le colostrum au bain marie à 40°C environ (Marnay, 2011a).

7. Alternative au colostrum maternel :

a. Les colostroremplaceurs

1. Colostrum équin lyophilisé

Une étude (Touboul et al, 1997) a comparé les concentrations plasmatiques en IgG de poulains qui ont eu libre accès à la mamelle de leur mère, sans observation (lot A), avec celles de poulains nourris avec un colostrum lyophilisé (lot B). La moyenne des concentrations plasmatiques en IgG est nettement inférieure dans le lot B (10 g/L à 12h post-partum contre 17 g/L pour le lot A) mais tous les poulains du lot B ont eu un bon transfert d'immunité (> 8 g/L) tandis que 30% des poulains du lot A avaient une teneur en IgG < 5g/L. Cette étude montre que le colostrum lyophilisé peut être une bonne alternative mais que le plus important reste la surveillance : elle assure que le poulain reçoive une quantité suffisante de colostrum. Par contre, il n'existe aucune étude concernant la conservation à long terme du colostrum de jument lyophilisé.

2. Colostrum bovin

Il est possible d'utiliser du colostrum bovin pour les poulains mais ce dernier présente des inconvénients (Jiminez-Lopez et al, 2011 ; Lavoie et al, 1989a) :

- Les IgG bovines ont une demi-vie plus courte (4 à 5 jours contre 24 jours pour les IgG équines), ce qui conduit à un déficit précoce en IgG plasmatiques. Cependant, le poulain comble ce déficit par une synthèse d'IgG endogène plus rapide ;
- Les IgG bovines ne sont pas spécifiques des agents pathogènes équins, les colostrums bovins ne protègent pas les poulains contre la rhodococcose par exemple. Cependant un grand nombre des infections néonatales équines sont causées par des agents pathogènes communs aux deux espèces (*E. coli*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*...) ;
- Le colostrum bovin a une concentration en IgG plus faible (40g/L), ce qui nécessite une grande quantité de colostrum (3-4 L) pour atteindre un taux plasmatique suffisant.

3. Succédanés de colostrum commercialisés

Du sérum ou du plasma équins peut être administré par voie orale. Cette technique n'est pas utilisable car les volumes nécessaires pour atteindre des concentrations en IgG suffisantes sont trop importants (6 à 9L) (Paul-Jeanjean, 2013).

Le laboratoire Audevard commercialise un plasma hyperimmun équin : Immunofal® (figure 15).

Une dose permet d'apporter 30 grammes d'IgG, deux doses peuvent être nécessaires. Les flacons peuvent être conservés au réfrigérateur jusqu'à trois ans (AUDEVARD).



Figure 15 : IMMUNOFOAL® du laboratoire Audevard

Le mode d'emploi est le suivant : Donner IMMUNOFOAL par voie orale en 2 prises de 150 ml à 1 - 2 heures d'intervalle (une bouteille = un poulain). L'utilisation est optimale pendant les 12 premières heures de vie. Plus tôt il sera donné, meilleure sera l'absorption. Conserver le produit au réfrigérateur et à l'abri de la lumière. Ne pas congeler.

L'efficacité de ce produit quant à l'apport d'IgG a été démontrée mais il y a peu de données sur sa composition. De plus, le prix d'un flacon est de 165€équivalent à 29700 DA.

CHAPITRE II :

LES LEVURES

PROBIOTIQUES

CHAPITRE

Les levures probiotiques et leurs applications en nutrition animale

I. Généralités sur les probiotiques :

I.1. Définition :

Les techniques d'élevage se sont rationalisées, dans le but de couvrir les besoins de plus en plus croissants de la population mondiale. En parallèle, l'utilisation de substances médicamenteuses dans l'alimentation des animaux a contribué à l'amélioration de l'état sanitaire et des performances zootechniques des animaux d'élevage (Russell & Strobel, 1989; Newbold & Wallace, 1988). Cependant, les crises alimentaires et sanitaires qui ont touché l'Europe récemment, les risques d'antibiorésistance et une opinion publique de plus en plus réticente face aux additifs ont contraint les autorités à la mise en place d'une réglementation (Corpet, 1999a). Ainsi on a assisté à une interdiction de certains antibiotiques facteurs de croissance ionophores (monensin, lasalocide) et non ionophores (avoparcine) en élevage en janvier 2006 au sein de l'U.E.

Pour faire face à ces interdictions, des solutions alternatives en accord avec la législation européenne sont recherchées. L'incorporation d'organismes vivants ou revivifiables dans les aliments est de plus en plus pratiquée par les spécialistes de l'agroalimentaire. Des effets bénéfiques sont mis en avant par ceux-ci notamment sur l'équilibre et le bon fonctionnement du microbiote digestif, la régulation du système immunitaire intestinal ou le renforcement de la barrière intestinale. Ces microorganismes constituent la « famille » **des probiotiques**.

Le mot « probiotique » dérive de deux mots grecs : « pro » et « bios » qui signifient littéralement « pour la vie ». En fait, ce terme a bénéficié de plusieurs définitions qui ont évolué dans le temps en fonction des connaissances scientifiques et des avancées technologiques.

Les probiotiques ont été ainsi définis comme des préparations de micro-organismes vivants utilisées comme additif alimentaire, et qui ont une action bénéfique sur l'animal hôte par l'amélioration de la digestion et l'hygiène intestinale (Parvez *et al.*, 2006).

Les microorganismes probiotiques utilisés sont généralement des bactéries (Trocino *et al.*, 2005; Guerra *et al.*, 2007) et des levures (Onifade & Babatunde, 1996; Santos *et al.*, 2006;

Marden, 2007). D'une façon générale, un additif alimentaire constitué de microorganismes vivants ou revivifiables est appelé « probiotique » lorsqu'il respecte les critères fondamentaux selon la loi européenne. Le premier critère est la qualité du produit qui correspond à une identification scientifique et un contrôle de la stabilité de celui-ci. Le second point est la preuve de l'efficacité du produit voire si possible connaître son mode d'action, ses effets zootechniques et sanitaires, la dose minimale active ou son efficacité économique (Wolter, 1990). Et enfin s'assurer de l'innocuité pour le consommateur, l'animal, l'utilisateur et pour l'environnement de cet additif.

Les probiotiques peuvent être différenciés en fonction du génome, de la composition de la paroi cellulaire, de la capacité d'adhésion à la cellule épithéliale en culture ou à des mucus, et à la capacité de produire des substances antimicrobiennes. En dehors de ces caractéristiques, les propriétés technologiques et les conditions dans lesquelles les probiotiques sont ingérés peuvent constituer un critère de classification, car elles influencent souvent leur mode d'action dans le tube digestif.

Les microorganismes probiotiques sont habituellement présents dans l'écosystème digestif des animaux (bactéries en majorité). Toutefois les microorganismes tels que *Bacillus* (bactéries) ou *Saccharomyces* (levure) ne sont pas systématiquement rencontrés dans la biocénose digestive.

1.2. Caractères généraux des bactéries probiotiques :

Plusieurs « genres » bactériens sont utilisés comme probiotique. Les plus couramment rencontrés sont les *Lactobacillus* (*acidophilus* ou *bulgaricus*), *Streptococcus* (*lactis* ou *faecium*), *Bacillus* (*subtilis* ou *cereus*). Ces souches sont spécifiques entre elles et entre espèces. Ainsi (Marteau & Shanahan, 2003) ont observé que la survie dans l'intestin des *Lactobacillus* est différente selon les espèces. D'autres souches de *Lactobacillus* diffèrent pour leur propriétés d'antagonisme vis-à-vis de la souche d'*Helicobacter pylori* (Wendakoon *et al.*, 1998). Au sein de la même espèce on constate des différences intrinsèques de propriété entre souches. De nombreux travaux ont rapporté des différences de propriétés antibactériennes ou d'adhésion à des cellules épithéliales et au mucus (Ouweland *et al.*, 2001; Duc *et al.*, 2004; Gagnon *et al.*, 2004). Les effets d'une souche ne peuvent donc pas être extrapolés à une autre. De plus les espèces sur lesquelles sont utilisés ces probiotiques sont différentes ou simplement subissent des conditions d'élevage différentes. Il est donc conseillé

de prendre avec beaucoup de réserves certains résultats comparant les effets des probiotiques car les souches souvent utilisées sont différentes bien qu'appartenant à la même espèce.

Cependant de manière générale, des effets communs des probiotiques d'origine microbienne ont été observés chez les monogastriques (Guerra *et al.*, 2007; He *et al.*, 2008; Wenus *et al.*, 2008) ainsi que chez les ruminants (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2006; Fleige *et al.*, 2007). Le tableau 9 résume les principaux micro-organismes considérés comme probiotiques.

Tableau 9 : Les micro-organismes considérés comme probiotiques
(adapté de hozalpfel et al , 1998).

Levures probiotiques		
<i>Saccharomyces cerevisiae*</i>		
Bactéries probiotiques		
Lactobacillus	Bifidobacterium	Autres bactéries lactiques
<i>L.acidophilus</i>	<i>B. adolescentis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
<i>L.amilovirus</i>	<i>B.animalis</i>	<i>Enterococcus faecium</i>
<i>L.brevis</i>	<i>B.bifidum</i>	<i>Lactococcus lactis</i>
<i>L.casei</i>	<i>B.breve</i>	<i>Leuconstoc mesenteroides</i>
<i>L.cellobius</i>	<i>B.infantis</i>	<i>pediococcus acidilactici</i>
<i>L.crispatus</i>	<i>B.lactis</i>	<i>Sporolactobacillus inulinus</i>
<i>L.curvatus</i>	<i>B.longum</i>	<i>Streptococcus thermophilis</i>
<i>L.delbruckii</i>	<i>B.thermophilum</i>	<i>Streptococcus diacetylactis</i>
<i>L.farciminis</i>		<i>Streptococcus intermedius</i>
<i>L.fermentum</i>		
<i>L.gallinarum</i>		
<i>L.gasseri</i>		
<i>L.johnsonii</i>		
<i>L.paracasei</i>		
<i>L.plantarum</i>		
<i>L.reuteri</i>		
<i>L.rhamnosus</i>		
Autres bactéries		
<i>Bacillus spp</i>		
<i>Escherichia coli strain Nissle</i>		

Propionibacterium freudenreichii

* il s'agit de plusieurs souches identifiées telles que la souche *S. boulardii*

I.3. Effet des bactéries probiotiques chez les monogastriques :

Chez le porcelet, l'utilisation de probiotiques à base de bactéries lactiques notamment *Pediococcus acidilactici* NRRLB-5627, *Lactococcus lactis subsp. lactis* CECT 539, *Lactobacillus casei subsp. casei* CECT 4043 et *Enterococcus faecium* à des doses respectives de $2,6 \cdot 10^{10}$, $1,4 \cdot 10^{10}$, $1,3 \cdot 10^{10}$ et $1,1 \cdot 10^{10}$ UFC/g permettait une amélioration significative du gain de poids de +1,6kg et de l'IC de -0,1 en moyenne entre 21 et 63 jours d'âge (Guerra *et al.*, 2007). Ces études ont aussi révélé chez les porcelets l'augmentation de la biomasse intestinale et la chute du nombre de coliformes. Pour (Roselli *et al.*, 2005) l'utilisation des probiotiques chez le porc a un effet positif sur la santé digestive de l'animal, se manifestant par une action préventive contre les troubles digestifs, l'inhibition de l'adhésion des pathogènes et l'action immunomodulatrice. L'administration par voie orale de *Streptococcus faecium* ($7 \cdot 10^8$ - $3 \cdot 10^{10}$ UFC/g) provoque la régression des souches d'*E. coli* pathogènes introduites, suivie de l'arrêt de la diarrhée et d'une augmentation de la croissance chez des porcelets gnotobiotiques (Underdahl *et al.*, 1983; Ushe & Nagy, 1985). *Bifidobacterium lactis* ou *Bacillus toyoi* ou encore *Bacillus licheniformis* réduisent la sévérité des diarrhées par l'inhibition du développement et la réduction du nombre d'enterococci et des coliformes notamment des *E. coli* entérotoxigènes (ETEC) (Adami & Cavazzoni, 1999; Kyriakis *et al.*, 1999; Shu & Gill, 2001). Les probiotiques (exemple de *E. faecium*) inhibent l'adhésion à la muqueuse intestinale des pathogènes notamment celle de ETEC K88 grâce à leur action stérique (Devriese *et al.*, 1994; Kyriakis *et al.*, 1999). Des résultats similaires ont été obtenus par une équipe hongroise avec *Bacillus cereus* var. *toyoi* (Toyocerin R) (Andras *et al.*, 2008) et une équipe slovène avec *Enterococcus faecium* EK13 (Laukova *et al.*, 2006) chez le lapin. Du point de vue immunologique, les bactéries probiotiques participent au renforcement de l'immunité contre les affections intestinales (Erickson & Hubbard, 2000). Elles activent la production d'IgA et stimulent l'activité des macrophages ou des cellules NK (natural killer) (Perdigon *et al.*, 1995; Chiang *et al.*, 2000; Matsuzaki & Chin, 2000; Zanini *et al.*, 2007). (Shu & Gill, 2001) ont ainsi constaté que *B. lactis* à $3 \cdot 10^8$ UFC/g introduit pendant 7 jours dans l'alimentation des souris, leur permettait de résister à une infection de *E. coli* O157:H7. Le taux sanguin de phagocytes était significativement plus élevé chez les souris traitées. Ils ont aussi constaté que la charge bactérienne d'*E. coli* était 100 fois plus élevée chez le témoin.

Chez l'homme plusieurs actions ont à l'actif des bactéries probiotiques dont l'inhibition des processus diarrhéiques et l'amélioration clinique des patients atteints de VIH (Gournierchateau *et al.*, 1994). Chez le lapin tout comme chez les autres monogastriques, les effets positifs sur la santé digestive peuvent s'accompagner d'une amélioration des performances zootechniques. La supplémentation de l'aliment du lapin par *Bacillus cereus* var. *toyoi* à un taux de 2.10^5 et 1.10^6 spores/g d'aliment, améliorerait le poids final des animaux de 100 g, le GMQ de 2 g/j et l'efficacité alimentaire de 0,1 point (Trocino *et al.*, 2005). Ce probiotique a permis une réduction de la morbidité de ces lapins de 9 %.

1.4. Effet des bactéries probiotiques chez les ruminants :

Comme pour les monogastriques, le but principal de l'utilisation des bactéries probiotiques chez les ruminants est la recherche de microorganismes susceptibles d'améliorer la santé et la productivité des animaux.

L'addition de probiotiques dans l'alimentation des ruminants augmente la dégradabilité de la matière sèche (MS) et la fermentation ruminale. Des études *in vitro* effectuées à l'aide d'une culture probiotique (*Enterococcus faecium*) ont pu montrer une augmentation de la dégradabilité de la matière sèche et de la fermentation mesurée par le cumul de la production de gaz après 24 h d'incubation à 39°C. La production est d'environ 20 ml plus élevée lorsque l'incubation est faite avec le probiotique (71,7 ml) comparativement au témoin (50,9 ml) (Dutta & Kundu, 2005). Au-delà du volume de gaz produit, les travaux de ces auteurs ont montré que les proportions des différents acides gras volatils (AGV) sont influencées par les probiotiques. La concentration d'acétate est plus faible de -20 % lorsque la fermentation a lieu surtout en présence d'un apport combiné de levure *S. cerevisiae*-NCDC-45 (souche-522) et de bactérie *Lactobacillus plantarum*-NCDC-25 par rapport au témoin. Par contre, les concentrations de propionate et de butyrate sont plus élevées en présence de bactéries probiotiques (*E. faecium*). D'autres bactéries probiotiques (*Lactobacillus acidophilus*) sont utilisées pour stimuler la biocénose pendant la fermentation ruminale (Dawson, 1990) et (Raeth-Knight *et al.*, 2007). L'ingestion de bactéries probiotiques peut aussi provoquer des modifications structurales de la biocénose. Chez la chèvre, la supplémentation du régime en bactéries probiotiques augmente significativement la population de *Bacilli* dans le tube digestif (Kumagai *et al.*, 2004).

Les probiotiques sont aussi utilisés pour la prévention de zoonose notamment le « Shiga toxin-producing *E. coli* » vivant en commensalisme dans le tube digestif du ruminant, mais

responsable de troubles digestifs graves chez l'homme. L'utilisation d'un probiotique tel que *Lactobacillus acidophilus* réduirait de plus de 50% la souche d'*E. coli* O157 responsable de cette zoonose (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2006; Fairbrother & Nadeau, 2006). La souche utilisée par (Fairbrother & Nadeau, 2006) agirait par exclusion compétitive de « Shiga toxinproducing *E. coli* » pathogène.

Les probiotiques peuvent être dans certains cas inefficaces. En effet les études effectuées avec *E. faecium* sur le bouvillon ont montré que ce probiotique sans autre forme d'association ne présentait aucun effet sur les protéines de l'inflammation (Emmanuel *et al.*, 2007). De même un mélange de divers microorganismes probiotiques (*Lactobacilli*, *Bacilli*, *Streptococci*, *Saccharomycetaceae*, *Candidae*) n'a aucune influence sur les paramètres zootechniques (ingestion, digestibilité) et fermentaires (AGV, NH₃, pH) chez les chèvres (Kumagai *et al.*, 2004).

Les bactéries probiotiques représentent une approche nouvelle du contrôle du microbiote digestif chez les mammifères et les oiseaux d'élevage. Elles assureraient indirectement une protection de l'hôte contre les infections digestives, et contribueraient à la stabilité de l'écosystème digestif, d'où une amélioration des performances zootechniques. Les bactéries probiotiques peuvent ainsi constituer une alternative à l'utilisation préventive des antibiotiques.

Bien que les bactéries probiotiques soient fréquemment utilisées, un intérêt de plus en plus grandissant est porté aux levures probiotiques notamment *Saccharomyces cerevisiae* et *S.bouardii* en santé humaine, mais aussi en élevage des ruminants (vache laitière) et des monogastriques (cheval, lapin, porc, volaille, etc.). Cette partie bibliographique portera principalement sur l'utilisation de *S. cerevisiae* en élevage équin.

II. Etude d'une levure probiotique *saccharomyces cerevisiae* :

II.1. Généralités :

La levure *S. cerevisiae* est utilisée depuis longtemps dans la panification et la fabrication de boissons alcoolisées, et plus récemment pour la production de bioéthanol ou biocarburant. Mais elle est aussi utilisée comme régulateur de la biocénose intestinale chez

l'homme et comme additif alimentaire pour l'amélioration des performances zootechniques des animaux d'élevage. *S. cerevisiae* est une cellule eucaryote qui se présente sous la forme d'une petite cellule sphérique, d'environ 4 microns de diamètre, définie comme un champignon unicellulaire appartenant à la classe des ascomycètes. La levure se reproduit de manière asexuée par bourgeonnement. En conditions défavorables, elle forme des spores haploïdes qui peuvent fusionner pour donner des colonies de spores diploïdes (Kurtzman & Fell 1998).son génome est très petit (3.10^7 m), à peine trois fois supérieur au génome bactérien. Il est composé de 16 chromosomes correspondant à 13 millions de paires de bases avec 6275 gènes. Elle est la première cellule eucaryote dont le génome a été entièrement séquencé en 1996 présentant 23 d'homologie avec le génome humain (Goffeau et al, 1996). Elle se développe en milieu anaérobie et aérobie mais nécessite une source de carbone, d'azote, de vitamines et des sels minéraux.

La croissance de *S. cerevisiae* se fait grâce à une réaction de fermentation en milieu anaérobie, et par la voie respiratoire en milieu aérobie. La respiration est plus efficace pour la production de l'énergie que la fermentation. Les produits de la fermentation sont l'éthanol et le dioxyde de carbone. L'équation de la réaction est la suivante :



La température optimale de croissance se situe entre 20 et 25 °C. Quant au pH optimum, divers intervalles de croissance optimale sont proposés. (Rose, 1987) repris par (Marden, 2007) donne un pH optimum compris entre 4,5 et 5. Pour (Rampal,1996) le pH optimum de croissance des levures se situe entre 4,5 et 6,4. Cependant ces différences pourraient être dues à la différence entre les souches. Du point de vue chimique, une cellule de levure est composée d'environ 75 % d'eau et 25 % de MS et constitue un aliment presque complet (Tableau 10). Les colonies d'une levure *S. cerevisiae* (SC 47) (Biosaf®) en culture sur gélose sont en forme étoilée (Photo 1).

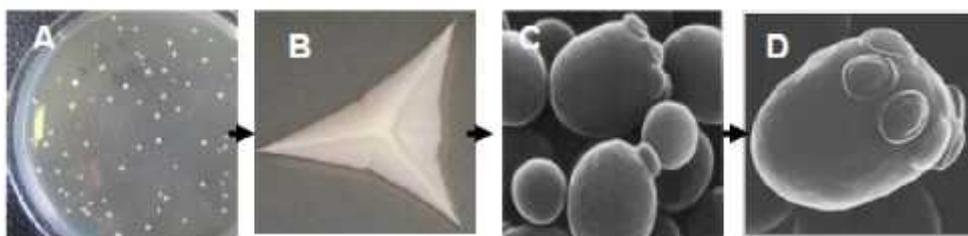


Photo 1 : Photographies de *S. cerevisiae* : A et B vue à l'œil nu sur boîte de pétrie en milieu gélosé (B est une colonie) ; C et D vue au microscope électronique (D cellule isolée)

(Source internet)

Tableau 10 : Composition chimique d'une cellule de levure.

Composition	Taux (%MS)
Eau	75
Matière sèche	25
Hydrate de Carbone	18-44
Lipides	04-07
Protéines	36-60
Acides nucléiques	04,8
Minéraux	06-10

Minéraux dont : 1-3% de phosphate, 1-3% de potassium et 0,4% de soufre

II.1.1. Classification de *Saccharomyces Cerevisiae* :

Son nom provient des mots « saccharo » et « myces » signifiant successivement « sucre » et « champignon », alors que « cerevisiae » fait référence à « cervoise », nom donné autrefois à la bière. Sa classification est donnée dans le **tableau 11**.

Tableau 11 : Classification de *saccharomyces cerevesiae* (Adapté de Kurtzman & Fell, 1998).

Règne	Fungi
Division	Ascomycota
Classe	Hemiascomycetes
Ordre	Saccharomycetales
Famille	Saccharomycetaceae
Genre	Saccharomyces

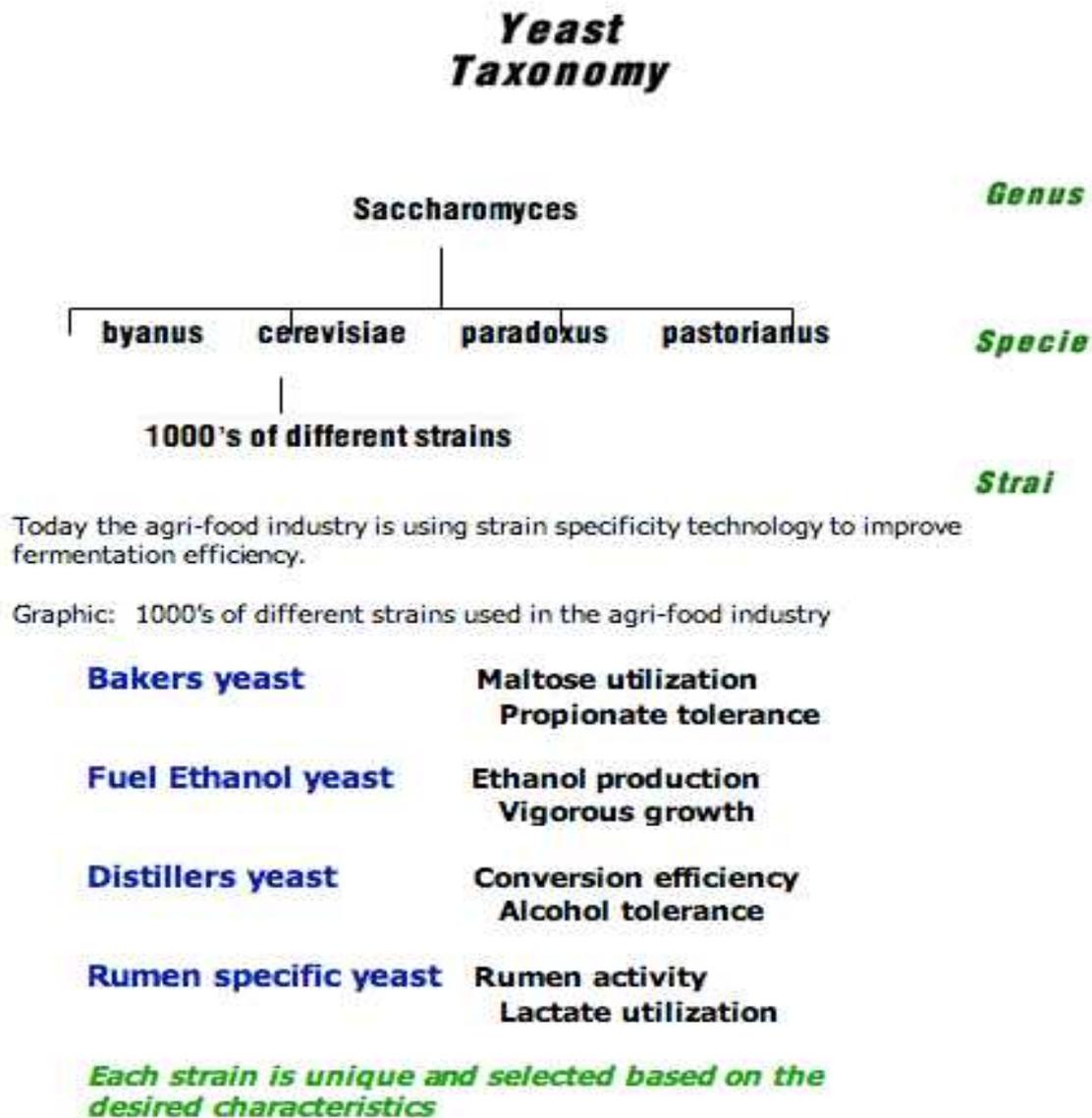


Figure 16 : Classification des levures en fonction de leurs spécificités technologiques de fermentation

II.2. Les additifs alimentaires à base de levure :

La levure Sc destinée à l'alimentation animale est généralement produite en aérobiose sur un substrat de mélasse, de sels d'ammonium et de phosphate, pour être commercialisée sous différentes formes : les levures vivantes et les cultures ou extraits de levures. Plus de 1000 souches distinctes de *S. cerevisiae* sont répertoriées à la National Collection of Yeast Cultures (Norwich, UK). Les levures vivantes sont divisées en 2 groupes, les souches pures sans milieu de culture et les souches associées à leur milieu de culture (Durand-Chaucheyras et al, 1997). Les souches pures sont revivifiables et respectent un taux élevé de cellules vivantes exprimé UFC/g. Elles sont soumises à des conditions de fabrication spéciales et sont notamment représentés par la souche NCYC Sc 47, commercialisée par la société Lesaffre

Feed Additives sous la marque déposée de BIOSAF® et la souche CNCM I-1077 commercialisée par la société Lallemand sous le nom de LEVUCCELL®. Contrairement aux souches pures, d'autres souches (ex : CBS 493.94, commercialisée par la société Alltech sous le nom de YEA-SACC®) sont cultivées et séchées avec leur milieu de croissance, dans le but de maintenir leur capacité fermentaire (Lyons et al. , 1993). Ce dernier produit conserve des métabolites issus de sa production et permet ainsi de réduire de façon considérable le coût de production. Enfin, les cultures encore appelées extraits de levures (ex : Diamond-V XP® commercialisée par la société Alltech) sont produites à partir de la fermentation de levure de boulangerie en présence de divers substrats et déshydratées avec le milieu de croissance sans détruire les composants de la levure tels que les vitamines B (Lynch et Martin, 2002). Elles ne contiennent pas ou très peu de levures revivifiables et ne sont pas considérées comme probiotiques.

III. Mode d'action de la levure dans les espèces monogastriques :

Les mécanismes d'action généralement impliqués pour expliquer les avantages de la supplémentation en levure pour les espèces non ruminants sont « **la stimulation des disaccharidases de la bordure en brosse, l'effet antiadhésif contre les agents pathogènes, la stimulation de l'immunité non spécifique, l'action d'inhibition des toxines, et l'effet antagonistes contre les micro-organismes pathogènes.**

1- Stimulation de la bordure en brosse disaccharidases :

(Buts et al, 1986) ont montré que l'ingestion orale de *Saccharomyces cerevisiae* par des volontaires humains et des rats sevrés a donné lieu à une augmentation marquée dans les activités spécifiques et totales de disaccharidases membranaires de la bordure en brosse y compris sucrase, lactase et maltase. Cette propriété pourrait être intéressante, car certaines diarrhées sont associées à une diminution des activités disaccharidase de l'intestin. (Buts et al, 1994) ont conclu que l'augmentation des activités disaccharidasiques pourraient être médiés par la libération endoluminale de polyamines (spermine et spermidine) produites par les levures vivantes.

2- Mannose et les propriétés antiadhésives des levures :

Il est généralement admis que l'adhérence des bactéries à épithélium est un stade précoce de l'infection bactérienne des muqueuses. Les bactéries possèdent des molécules de liaison sur leurs surfaces qui sont capables d'interagir de manière stéréospécifique avec des membranes de la cellule hôte d'une manière analogue aux interactions antigènes-anticorps. La preuve a été

établit en constatant que certaines souches d' E. coli ou Salmonella possèdent une adhésine fimbriale qui se lie aux résidus mannose sur les membranes des cellules épithéliales (Ofek et al., 1977). Ces bactéries, ou leur fimbria isolé (Korhonen, 1979) vont aussi agglutiner les levures contenant du mannose dans la couche externe de leur paroi cellulaire. Cette agglutination est inhibée par des solutions de D-mannose (Ofek et al., 1977).

La liaison des agents pathogènes à la paroi cellulaire de la levure induit un effet protecteur étant donné que le complexe *Saccharomyces cerevisiae* / agent pathogène est ensuite éliminé rapidement de l'appareil digestif (Gedek, 1989). La concurrence entre les levures et les agents pathogènes pour la liaison aux cellules intestinales pourrait aider à expliquer l'action bénéfique de la levure, car l'adhérence est cruciale pour l'expression de l'effet cytopathogène. La fréquence de la colonisation de *Salmonella typhimurium* a été significativement réduite chez les poulets de chair, en raison à la fois du mannose (Oyofe et al, 1989) et de levure (ligne et al, 1998), bien que la colonisation par *Campylobacter* n'a pas été affectée par la supplémentation en levure. L'activité inhibitrice de *Saccharomyces cerevisiae* sur l'adhésion de *Entamoeba histolytica* trophozoites (Rigothier et al, 1994) et *Staphylococcus aureus* (Elliot et al, 1991) à des cellules humaines a également été démontrée.

3- La levure et la stimulation de l'immunité :

L'action de la paroi cellulaire de la levure sur le système du complément est connu depuis longtemps (Pillemer et al, 1954). En général, ces propriétés sont liées à la présence, dans la partie intérieure de la paroi cellulaire de levure, de glycanes, qui sont constituées de chaînes principales de molécules bêta- (1-3) D-glucose auxquelles sont attachées des chaînes latérales linéaires de bêta- (1-6) résidus. Ces macromolécules, ont la capacité de stimuler certains aspects du système immunitaire chez les mammifères, en particulier une réponse inflammatoire et le système réticulo-endothélial (RES).

Le mécanisme de stimulation de la réponse inflammatoire a été caractérisé, et comporte un récepteur de glycane spécifique qui est présent sur les leucocytes du sang périphérique et les macrophages extravasculaire (Czop, 1986). L'activation de ce récepteur avec le glycane stimule l'amplification des défenses de l'hôte qui comprend une cascade d'interactions à médiation principalement par les macrophages et les produits dérivés des macrophages, tels que les cytokines. (Song et Di Luzio, 1979) glycane peut être considéré comme "immunoamplificateur". L'augmentation du poids et de la taille des organes du système réticulo-endothélial (RES) (foie, rate et les poumons) a également été observée après un traitement à base de glycane (Di Luzio, 1977). Glycane stimule profondément la fonction

phagocytaire du système réticulo-endothélial (Riggi et Di Luzio, 1961). Les résultats présentés ci-dessus ont été obtenus principalement par des glycanes purifiés, mais (Seguela et Llanes, 1982) ont montré que la présence de levures vivantes dans le tube digestif pourrait avoir un effet protecteur contre *Candida albicans* donnés par voie intra-péritonéale, ce qui suggère un effet sur certains composants de l'appareil immunitaire non spécifique. D'autres études (Buts et al, 1990) ont démontré que l'administration orale de *Saccharomyces cerevisiae* à des rats en croissance a augmenté significativement l'IgA et le composant sécréteur d'immunoglobulines.

Une étude (Cuaron, 1999) a montré l'intérêt de la supplémentation direct en levure sur l'amélioration de statut immunologique des porcs. Dans cet essai, les performances des porcs de finition transportés d'un site «propre» (conditions de l'institut avec de faibles niveaux d'agents pathogènes) dans une zone «sale» (conditions sur le terrain avec des niveaux élevés d'agents pathogènes) ont été comparés aux performances des porcs élevés dans le second site depuis le sevrage. Les animaux provenant du premier site ont été traités ou non avec de la levure avant leur transport vers le second site.

Les performances des porcs témoins déplacé à partir du premier site vers le deuxième étaient beaucoup plus faibles, par rapport aux performances obtenues dans les «animaux résidents», probablement à cause du stress digestif induite par la présence d'une quantité importante d'agents pathogènes dans les conditions de terrain. La supplémentation de levures vivantes pendant la phase de croissance a donné lieu à de meilleures performances de croissance au cours de la phase de finition par rapport au témoin, et le gain quotidien obtenu atteint des valeurs proches de celles observées pour les animaux résidents. L'auteur a émis l'hypothèse que la présence régulière d'un sérotype de *Saccharomyces cerevisiae* actif dans le tube digestif a été immunostimulant dans les conditions testées, et que la levure peut protéger les porcs qui la consomment avant le défi immunologique.

4- L'action d'inhibition des Toxines :

(Rodrigues et al, 1996) ont montré l'effet protecteur de *Saccharomyces cerevisiae* contre *Salmonella typhimurium* et *Shigella flexneri* chez la souris. L'effet protecteur n'a pas pu être lié à la réduction des populations bactériennes des deux germes pathogènes dans l'intestin. Les auteurs expliquent l'effet protecteur de *Saccharomyces cerevisiae* par la réduction des quantités disponibles des toxines sécrétées par des agents pathogènes et par la concurrence pour les sites d'adhésion en présence de la levure. Généralement les toxines se lient à des récepteurs spécifiques sur les cellules épithéliales de l'intestin et provoquent des changements

résultant de la perte d'eau et d'électrolytes. L'inhibition de la production des toxines ou des effets des toxines a été bien décrit par la bactérie *Clostridium difficile* (Corthier et al, 1986), *Vibrio Cholerae* (Vidon et al, 1986), *E. coli* (Massot et al, 1982). Des études récentes (Castagliulo et al, 1996) ont indiqué que certaines souches de *Saccharomyces cerevisiae* peuvent excréter une protéase sérine qui peut hydrolyser la toxine A provenant de *Clostridium difficile* qui est résistante à la trypsine, et inhibe la liaison de la toxine à la bordure en brosse du récepteur glycoprotéique .

5- L'antagonisme avec les micro-organismes pathogènes in vitro :

Saccharomyces cerevisiae a montré une activité antagoniste contre différents micro-organismes, notamment *Candida albicans*, *Proteus*, *E. coli*, *Shigella* et *Salmonella* après 48 heures d' incubation in vitro à 37 ° C (Brugier et Patte, 1975).

Le laboratoire Lesaffre a étudié récemment in vitro l'antagonisme de *Saccharomyces cerevisiae* Sc 47 contre deux bactéries pathogènes (*Salmonella typhimurium* et K88 *Escherichia Coli*) dans des boîtes de Pétri. Un milieu de culture a été choisie pour être pratique pour les levures et les agents pathogènes. La culture de levure a été étalée sur le milieu de culture et les différents niveaux d'agents pathogènes ont été déposés sur la couche de levure. Après 48 heures d'incubation (37 ° C, pH 5,8, la concentration en oxygène est faible), les taux d'agents pathogènes ont été mesurés, afin de déterminer une inhibition de la croissance potentielle provenant de l'addition de la levure, comme le montre l'exemple de la Figure 17 avec *E. coli* K88.

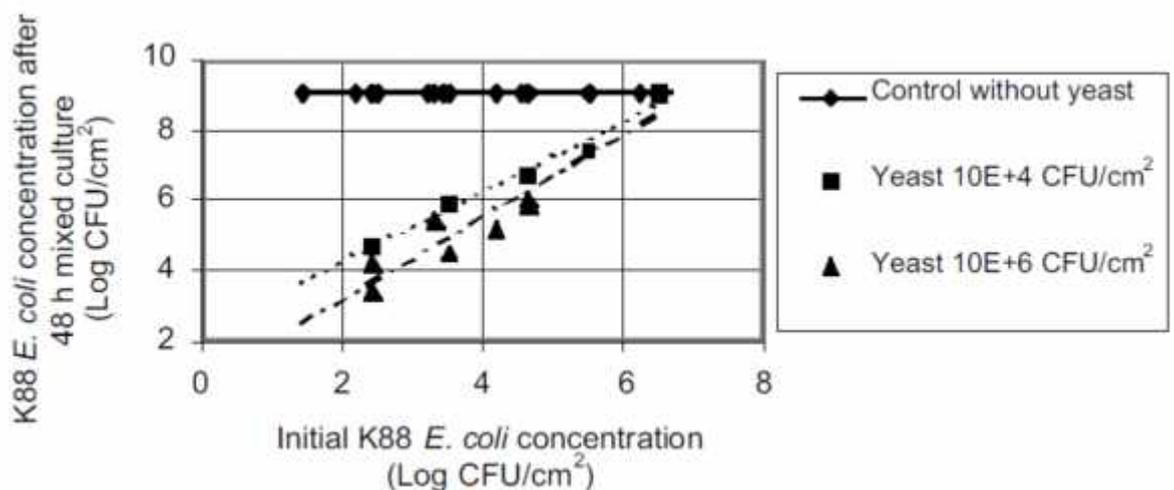


Figure 17 : effet Antagoniste de *Saccharomyces cerevisiae* vis-à-vis *E. coli* K88.

Sans addition de levure, les niveaux d'*E. coli* K88 récupéré après 48 heures d'incubation ont atteint 9 unités log, quel que soit le niveau initial. Une inhibition de la croissance forte due à l'addition de levure a été observée lorsque de faibles niveaux de bactéries pathogènes étaient présents. L'inhibition a été observée jusqu'à une concentration initiale de 6 unités de log *E. coli* K88, et était plus élevée avec la plus grande concentration de la levure. L'inhibition semble être en fonction de la dose. Des tendances similaires ont été observées avec *Salmonella typhimurium* dans les deux milieux de culture solides. Un point important à souligner est que la levure n'a pas d'effet létal contre les bactéries pathogènes, par rapport aux antibiotiques.

6- L'antagonisme contre les micro-organismes pathogènes in vivo :

Saccharomyces cerevisiae a été largement utilisé en Europe pour prévenir la diarrhée associée aux antibiotiques chez les humains. Les antibiotiques avec un spectre d'activité qui comprend des bactéries anaérobies (céphalosporines en particulier, pénicillines ou clyndamycine) ont été associés à des taux plus élevés de réduction d'antibiotiques associée aux diarrhées (Mc Farland et al, 1995). Ces problèmes sont principalement dus à la diminution de l'activité de la flore colique normale et à la prolifération de moins de germes sensibles aux antibiotiques, y compris *Clostridium difficile* et *Candida albicans*. (Seguela et al, 1978) ont observé que l'implantation de *Candida albicans* a été facilitée par un traitement antibiotique chez les rats. L'ingestion de *Saccharomyces cerevisiae* a considérablement diminué *Candida albicans* dans le tube digestif des deux rats normaux et traités aux antibiotiques. Cet effet antagoniste contre *C. albicans* a été observé chez la souris par (Ducluzeau et Bensaada, 1982). Il a également été actif contre *Candida krusei* et *Candida pseudotropicalis* mais inefficace contre *Candida tropicalis*. Cet effet antagoniste a disparu lorsque les cellules de *Saccharomyces cerevisiae* ont été tuées par chauffage.

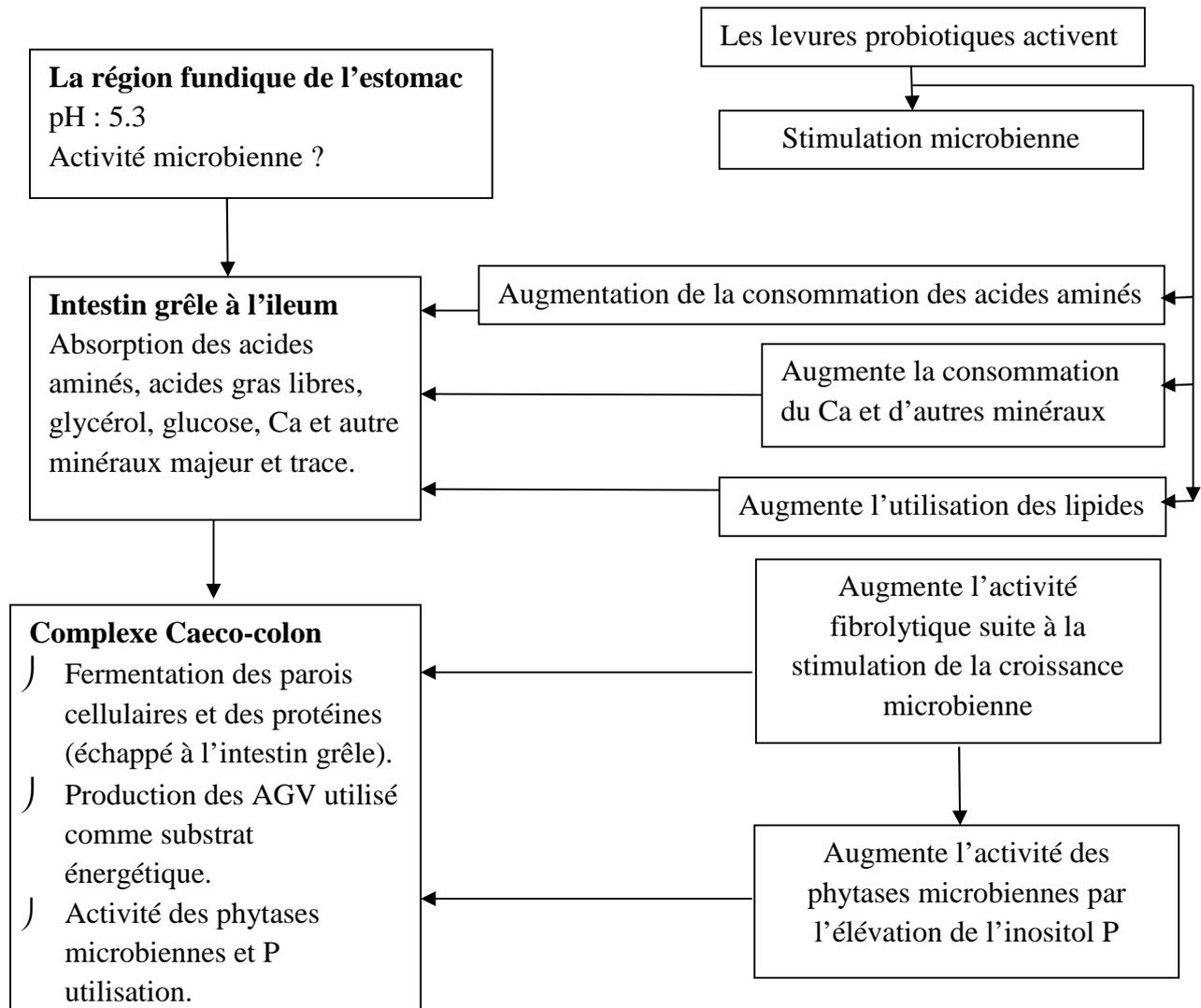


Figure 18 : Modèle de système d'examen du mode d'action de la culture de levure dans le tube digestif des équidés (J. HILL, 2006).

IV. Les compléments alimentaires :

IV.1 Les prébiotiques :

Les prébiotiques sont défini selon Gibson et ses collègues (2004) comme étant "... des ingrédients fermentés sélective qui permettent des changements spécifiques, à la fois dans la composition et / ou l'activité de la microflore gastro-intestinale à qui ils confèrent des avantages sur le bien-être et la santé de l'hôte." Les prébiotiques ne sont pas digestible pour les animaux mais sont fermentescibles par certains microflore gastro-intestinaux. Ils sont conçus pour créer un environnement favorable pour la prolifération et l'activité métabolique des bactéries lactiques (Gibson et al, 2004). Certaines bactéries, telles que *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*, fermentent les prébiotiques dans le but de produire de l'énergie et du carbone pour la croissance. L'augmentation du nombre de certaines bactéries, telles que

Lactobacillus, peut inhiber la croissance des bactéries potentiels pathogènes par la production de bactériocines et d'autres substances (Fujiwasa et al., 1993; Bogovic-Matijasic et al, 1998; Savadogo et al, 2004). Lactobacillus acidophilus, est une espèce de Lactobacillus trouvé chez les chevaux, a été décrite comme une bactérie capable de produire plusieurs bactériocines qui inhibent les bactéries pathogènes (Fujiwasa et al, 1993; Bogovic-Matijasic et al, 1998). Les concentrations de l'acide lactique des bactéries, telles que les espèces de Lactobacillus et streptocoques, augmentent avec l'utilisation de prébiotiques tandis que les bactéries potentiellement pathogènes se retrouvent avec moins d'éléments nutritifs et des sites de liaison dans le tractus gastro-intestinal (Yuki et al, 2000; Respondek et al, 2008). Toutefois, si les concentrations de certains LAB, tels que Streptococcus, sont trop élevés, ils peuvent être préjudiciables à l'animal et peuvent conduire à des troubles tels que l'acidose (Vermorel et Martin-Rosset, 1997; Milinovich et al, 2008). Cela se produit souvent en réponse à l'ingestion rapide de repas riches en amidon hautement fermentescible, quand il y a une diminution importante de pH luminal qui favorise les bactéries produisant l'acide lactique et la mort des bactéries cellulolytiques. L'action des prébiotiques chez les chevaux n'est pas bien démontrée ou étudiés. Des études ont observé des changements dans la microflore, lors de l'analyse des matières fécales équin, en raison de la supplémentation de prébiotiques (Pellegrini et al, 1999; Berg et al, 2005). La quantité de lactobacilles n'a pas changé alors que la concentration d'*E. coli* et les niveaux de pH ont diminué dans la teneur fécale des poulains Quarter Horse d'un an qui ont été supplémentées avec des fructo-oligofructose sur trois essais d'alimentation de 10 jours distincts (Berg et al, 2005). D'autres recherches ont montré une augmentation de la numération totale des bactéries, des streptocoques et des bactéries utilisatrices de lactate dans le suc gastrique lorsque les chevaux ont été traités avec l'oligofructose incorporé dans le régime alimentaire (Nadeau et al, 2000). D'autres suppléments alimentaires couramment utilisés chez les chevaux sont les probiotiques.

IV.2. Les probiotiques

Les probiotiques, y compris les agents microbiens directs nourris (« DFM » direct-fed microbials) et certaines espèces de levures, sont des micro-organismes vivants qui ont des effets bénéfiques sur l'hôte, comme l'amélioration de la symbiose intestinale (Lu et Walker, 2001). Les probiotiques sont appelés «considérée généralement comme sûre» «generally regarded as safe»(GRAS) (Scoster et al, 2014). Les probiotiques ont été introduit dans l'aliment du bétail et les animaux d'élevages pour améliorer l'utilisation des nutriments (Fuller, 1989; Yoon et Stern, 1995; Hooper et al, 2000; Swyers et al, 2008). Ils ont également

été promu et utilisé comme une stratégie de lutte contre les effets du stress chez l'hôte (Teitlbaum et Walker, 2002). Les effets néfastes de la microflore, que ce soit lors de changement du régime alimentaire ou de stress, sont réduits par l'ajout de probiotiques à l'alimentation tout en réduisant la souffrance de l'hôte d'une réduction de la santé et du bien-être global (Teitlbaum et Walker, 2002; Weese et al, 2003; Ward et al, 2004; Weese et al, 2004; Tanabe et al, 2014).



Figure 19 : quelque effet des probiotiques

http://www.horseupnutrition.com/fr/boutique/alhurone-xtrem,8401.html?my_departement=69

Les bactéries lactiques (LAB), en tant que groupe, contiennent une grande quantité de micro-organismes qui sont considérés comme probiotique. Streptococcus et Lactobacillus quelques bactéries qui appartiennent au groupe des LAB. Les souches de Lactobacillus ont été étudiés en tant que probiotiques potentiels. Certaines souches de laboratoire, en particulier des souches de Lactobacillus, ont montré peu ou pas de colonisation après que les sujets ont reçu des doses à différentes concentrations pendant une période de 5 jours (Weese et al, 2003). Cependant, des souches d'autres LAB ont été détectés dans les matières fécales après que les chevaux ont reçu une dose par voie orale et se sont avérés inhibiteurs pour certaines bactéries potentiellement pathogènes comme *E. coli*, in vitro (Weese et al, 2003; Weese et al, 2004). Une étude menée par Tanabe et ses collègues (2014), et qui ont administré un probiotique à 101 poulains pur-sang de la naissance à 20 semaines d'âge pour déterminer si le probiotique a un effet positif sur l'incidence de la diarrhée. Les chercheurs ont conclu

que l'ajout d'un

probiotique à l'alimentation des jeunes pur-sang à la fois contribue à prévenir et à réduire la gravité de la diarrhée (Tanabe et al., 2014). Les recherches menées par Ward et al (2004) ont observé que les probiotiques administrés aux chevaux réduisent l'infection à *Salmonella* de 65% chez les chevaux qui ont été hospitalisés. Les espèces et les doses de probiotiques peuvent jouer un rôle important pour déterminer si elle est considérée comme efficace ou non (Gibson et Fuller, 2000; Yuki et al, 2000; Laukova et al, 2008). Certaines souches de levure, principalement celles de *Saccharomyces cerevisiae*, sont également classés comme probiotiques.

IV.3 Les levure :

Certaines espèces de levure, principalement celles de *Saccharomyces*, sont inclusent dans la catégorie des probiotiques, mais en fonction du substrat sur lequel il croient, ils peuvent être à la fois pré et probiotique, aussi connu comme symbiotique. Les Symbiotiques sont utilisés comme un moyen d'amélioration de la survie et la fixation des suppléments alimentaires microbiens vivants dans le tractus gastro-intestinal en mélangeant pro- et prébiotiques pour leurs effet bénéfique sur l'hôte (Gibson et Roberfroid, 1995). Un effet synergique due au couplage des probiotiques et de prébiotiques a été observé in vivo chez de nombreuses espèces monogastriques, ce qui suggère que, pré et probiotiques combinée pourraient avoir un effet plus important que celui de chaque un seul (Pool-Zobel et al, 1996; Burns et Rowland, 2000 ; Bomba et al., 2002; Fernia et al, 2002). La souche de levure trouve dans la plupart de la littérature publiée est *Saccharomyces cerevisiae* CBS 493.94 (Glade, 1991; Medina et al, 2002; Jouany et al., 2008). *Saccharomyces cerevisiae* CBS 493.94 est utilisé comme une préparation directe de la levure de bière et cultivé sur un milieu de maïs jaune moulu, malt diastasique et la mélasse de canne (Yea-Sacc, Alltech Inc., Lexington, KY, EFSA, 2009). *Saccharomyces cerevisiae* CBS 493.94 est ensuite séché pour préserver son action de fermentation. Dans les études décrites par l'Autorité européenne de sécurité des aliments, la supplémentation directe en levure semblait augmenter la digestibilité de la matière sèche (EFSA, 2009). Une variété de chevaux matures, y compris les étalons et les hongres, ont été nourris avec 10 g par jour d'un supplément de levure commerciale. La digestion des Fibres a été augmenté de façon significative ce qui a contribué à une augmentation significative des anaérobies totaux et des bactéries utilisatrices le lactate observées dans le caecum des chevaux nourris avec *Saccharomyces cerevisiae* par rapport aux chevaux qui ne sont pas supplémentés de levure (EFSA, 2009). Dans une autre étude menée par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (2009), les juments gestantes ont été nourries de 20 g par jour d'un supplément

de levures vivantes quatre semaines avant la parturition jusqu'à quatre semaines après poulinage. Les juments gestantes supplémentées avec la levure avaient des capacités supérieures à digérer les fibres et les protéines brutes par rapport à celles qui ne reçoivent pas le supplément. Les juments qui ont reçu la levure ont également une plus grande production de lait avec une composition nutritive accrue du lait produit. Les poulains des juments supplémentées avec la levure ont eu un gain moyen quotidien plus grand que les poulains des juments qui ne reçoivent pas la levure. Neuf jeunes chevaux ont été utilisés dans une étude de conception quasi croisée et les effets de suppléments alimentaires de levure à 8 g par tête et par jour ont été observés (EFSA, 2009). Les jeunes chevaux qui ont reçu le supplément de levure ont eu une amélioration de leurs digestibilités des NDF et de l'ADF. La supplémentation en levure transfère idéalement des populations viables de levure pour le tractus gastro-intestinal afin de stimuler les populations microbiennes (Nisbet et Martin, 1991; Dawson, 1992; El Hassan et al, 1993). *Saccharomyces cerevisiae* est classé comme un organisme probiotique (Scoster et al, 2014). La recherche a montré que l'environnement gastro-intestinal sain et stable, en particulier les microbes grâce à des mécanismes d'interaction complexes, peuvent résister à la colonisation par des agents pathogènes entériques qui pourrait causer des dommages à l'hôte (Rolfe, 1996). Les théories des mécanismes d'action comprennent la concurrence pour les éléments nutritifs essentiels ou les sites de fixation épithéliales, la production de composés antimicrobiens par la microflore indigène, et les nutriments métabolisés peuvent alors créer un environnement qui ne favorise pas le développement des agents pathogènes entériques, comme une réduction du pH luminal par la production des acides gras à chaîne courte (Steer et al., 2000; Fooks et Gibson, 2002). Certains probiotiques se fixent à la muqueuse intestinale, ce qui indique que ces probiotiques pourraient empêcher l'attachement de pathogènes à ces sites par l'intermédiaire d'exclusion compétitive (Salminen et al, 1996; Tuomala et al., 1999). Les produits finaux du métabolisme de certains probiotiques ont montré qu'il inhibent l'adhésion ou l'invasion des bactéries pathogènes (Bernet et al., 1994). En plus de prévenir la colonisation pathogène, il a été suggéré que les probiotiques peuvent renforcer la barrière épithéliale en favorisant la réparation épithéliale, contribuant ainsi à la prévention contre les agents pathogènes qui se déplacent à travers l'épithélium (Blomberg et al., 1993; Kaila et al., 1995). Une jonction serrée intestinale épithéliale affaiblie peut entraîner une augmentation de la perméabilité intestinale, ce qui peut entraîner non seulement une infection pathogène, mais aussi l'inflammation. Des études ont montré que les probiotiques, grâce à l'application de la barrière de jonction serrée dans les intestins et le maintien de la force intestinale, peuvent

aider à prévenir l'inflammation et la diarrhée (Tanabe et al, 2008; Miyauchi et al, 2009; Fukada et al., 2011; Ogita et al, 2011a; Ogita et al, 2011b; Tanabe, 2013; Tanabe et al, 2014). L'utilisation des probiotiques a également été suggéré dans le but de provoquer des effets anti-inflammatoires sur le tractus gastro-intestinal ce qui contribue à stabiliser l'environnement microbien (Carol et al, 2006).

L'effet de la supplémentation en levure n'a pas été étudié autant chez les chevaux par rapport aux ruminants et aux autres animaux monogastriques. Les cultures de levure sont censés stimuler l'écosystème microbien du tractus gastro-intestinal, comme le prouve l'augmentation de la croissance des micro-organismes anaérobies et l'augmentation de l'activité des bactéries cellulolytiques. Il est proposé, sur la base des recherches effectuées in vitro, que les métabolites produits par les cultures de levure pourraient être impliqués dans la stabilisation de l'environnement du rumen, ce qui provoque des taux de croissance plus élevés de bactéries et de champignons (Chaudeyras et al., 1996). La croissance accrue des champignons anaérobies peut être importante pour la dégradation de la paroi cellulaire qui pourrait conduire à une augmentation des bactéries dans le rumen. Il est également supposé que la supplémentation de levure pourrait aider à éliminer les traces d'oxygène de l'environnement du rumen, améliorant ainsi la croissance des microbes (Wallace et al, 1996). Il y a eu des augmentations observées dans le nombre de UFC de bactéries cellulolytiques (Dawson et al., 1990; Newbold et al, 1996), les bactéries protéolytiques, anaérobies totales (Wiedmeier et al, 1987;.. El Hassan et al, 1993) et les bactéries utilisant l'acide lactique (Girard et al, 1993) lorsque les levures ont été supplémentées pour les ruminants. Les effets sur le pH sont également à noter, des changements rapides du pH peuvent conduire à une augmentation des microbes qui n'utilisent pas les fibres ainsi avoir des effets néfastes également observés chez les chevaux, comme l'acidose due à une diminution luminale du pH (Vermorel et Martin-Rosset, 1997 ; Milinovich et al, 2008; Biddle et al, 2013). Chez les chèvres laitières, la supplémentation en levure a permis de réduire de manière significative les niveaux d'*E. coli* trouvés dans des échantillons fécaux suite à l'augmentation de la quantité de *Lactobacillus* (Stella et al, 2005). Des recherches ont également été menées dans d'autres espèces monogastriques, concernant l'effet de *Saccharomyces cerevisiae* sur la microflore gastro-intestinale. L'ajout de *Saccharomyces cerevisiae* dans l'alimentation des poules a réduit *E. coli* et augmente les concentrations des lactobacilles (Park et al., 2002; Hassanein et Soliman, 2010). Les mécanismes par lesquels les comptages d'*E. coli* ont été réduits sont censées être l'exclusion compétitive par *Lactobacillus* ainsi que le maintien d'un pH qui était

défavorable à *E. coli*, causées par des changements dans l'environnement microbien en raison de la supplémentation de la levure favorisant *Lactobacillus* (Chaucheryas- Durand et Fonty, 2002). Les chevaux complémentés avec la levure ont subi des changements plus légers dans les niveaux de pH et de l'acide lactique, dans le gros intestin, après le repas que les chevaux ne recevant pas de levure dans l'alimentation, ce qui démontre que la levure peut améliorer l'équilibre microbien en stimulant les populations des bactéries cellulolytiques et leurs activités (Goodson et al, 1988; de Fombelle et al, 2001; Medina et al, 2002). Cela montre que la supplémentation en levure réduit les changements indésirables dans l'écosystème de l'intestin grêle en réponse à l'alimentation, en réduisant le changement dans la proportion de la production d'acide lactique par les bactéries utilisant l'acide lactique (Medina et al., 2002). Les chevaux fermentent les aliments dans le gros intestin et leur tube digestif reflète un animal qui est fait pour l'ingestion de fourrage sur une longue période de temps (Frape, 1998; Russell et Gahr, 1999). La supplémentation alimentaire en levure a prouvé son influence de la digestibilité des nutriments, en améliorant la digestibilité de la cellulose, et les populations microbiennes telles que *Lactobacillus* spp. et *Streptococcus* ssp. dans le gros intestin (Medina et al, 2002; Jouany et al, 2008). Une augmentation signalée de la digestibilité de matière sèche sont fréquents lorsque la levure est ajoutée dans le régime alimentaire, ce qui suggère une augmentation de l'énergie digestible (Glade et Sist, 1988; Hall et al., 1990, Glade, 1991; Hill et Gutsell, 1997; Medina et al., 2000). Une augmentation de la digestibilité des (ADF) et (NDF) a également été observé lorsque le régime alimentaire équin a été complémenté avec la levure (Godbee, 1983; Glade et Biesik, 1986; Glade et Sist, 1988; Glade 1991; hill et Gutsell, 1997; Medina et al, 2000; Morgan et al, 2007). Une étude menée par Morgan et ses collègues (2007) ont étudié l'effet de la supplémentation de levure alimentaire sur la digestibilité des fourrages qui étaient de qualité différente. Seize chevaux ont été utilisés dans un modèle carré latin 4x4 et ont été nourris soit avec du foin d'herbe de haute qualité ou de mauvaise qualité, et supplémenté avec 56 g par jour d'un supplément de levure vivante ou non. Les NDF et la digestibilité de l'hémicellulose ont augmenté chez les chevaux qui ont été nourris avec un foin de mauvaise qualité et de la levure par rapport aux chevaux qui ont été nourris de fourrage de faible qualité et n'ont pas reçus la levure. Ces résultats sont représentatifs d'un changement dans la microflore de l'intestin grêle. Afin d'améliorer la digestibilité de la digestion de l'ADF et de l'NDF, les microbes responsables de la digestion du ADF et du NDF, principalement des bactéries cellulolytiques, doivent être favorisés. Les chevaux supplémentés en levure ont également montré une digestibilité accrue des protéines brutes (Glade et Biesik, 1986; Glade et Sist, 1991; Morgan et al, 2007). Une étude

menée par Morgan et d'autres (2007) ont observé que la digestibilité des protéines brutes était augmentée lorsque les chevaux nourris avec du fourrage de faible qualité recevaient un supplément de levure vivante par rapport aux chevaux qui recevaient un fourrage de faible qualité et qui ne recevaient pas de levure. Cela peut être important chez les jeunes chevaux, en particulier dans les périodes de croissance (Glade et Cambell-Taylor, 1990; Bennet-Wimbush et al, 1991; Glade, 1991). Chez les jeunes chevaux en pleine croissance, la nécessité d'acides aminés est augmentée (Bennet-Wimbush et al, 1991). Cependant, les mécanismes par lesquels la digestion des protéines est augmentée par la supplémentation de la levure n'a pas été étudié en profondeur (Hill et al, 2006). Il y a une utilisation du glycogène musculaire plus rapide par rapport à l'oxydation des graisses observée après la supplémentation de levure pour améliorer l'utilisation de l'approvisionnement énergétique à long terme (Kolterman et al, 1993; Miller-Graber et al, 1994). Ceci a été décrit pour être utile aux chevaux soumis à un exercice intense de long terme, (Biels et al., 1990; Harris, 1997).

Saccharomyces cerevisiae a été rapporté pour survivre, mais pas coloniser, dans certaines parties de l'intestin chez les chevaux quand une dose quotidienne est donnée (Medina et al, 2002; Jouany et al, 2008; Jouany et al., 2009). Jouany et al (2009) ont observé des concentrations de *Saccharomyces cerevisiae* moyenne de $4,4 \times 10^6$ ufc / ml et $5,6 \times 10^4$ cfu / mL dans le caecum et le côlon ventrale droit, respectivement, lorsque les chevaux ont été complémentées par 10 g par jour d'une levure diététique. Les concentrations de *Saccharomyces cerevisiae* ont été plus élevées dans le caecum que le côlon. Lorsque *Saccharomyces cerevisiae* est complémenté dans le régime alimentaire, surtout quand il est concentré, par opposition à un régime strictement fibreux, les valeurs de pH deviennent stables dans l'intestin et ne changent pas radicalement après un repas (Moore et al., 1994; Medina et al. , 2002). Lorsque huit chevaux adultes ont reçu 10 g d'une supplémentation de *Saccharomyces cerevisiae* commerciales, Le rapport entre les bactéries productrices d'acide lactique: bactéries utilisant l'acide lactique a été réduit dans l'intestin postérieur, associé à une diminution des concentrations d'acide lactique (Medina et al, 2002). Lorsque les chevaux étaient sur un régime alimentaire riche en fibres, il y avait une augmentation significative de *Lactobacillus* spp dans le caecum et une diminution significative de *Streptococcus* spp dans le côlon (Medina et al., 2002). Une amélioration de l'activité fibrolytique en corrélation avec une augmentation du pourcentage molaire d'acétate lorsque les chevaux été supplémentées par *Saccharomyces cerevisiae* a été également rapporté (Medina et al, 2002). L'étude a conclu que la supplémentation de levure a diminué les changements indésirables dans l'intestin

postérieur et a réduit les changements dans les concentrations d'acide lactique ainsi que le pH dans les régimes riches en amidon.

IV.3.1. Impact de *S. Cerevisiae* sur l'utilisation digestive de la ration chez les équidés :

Chez les chevaux, la mise en place de la microflore dans le gros intestin contribue à maintenir la santé de l'écosystème de ce dernier qui, à son tour, participe à la prévention contre les troubles intestinaux et forme une barrière contre les agents pathogènes (Rolfe, 1996; Salimen et al, 1996;. Tuoloma et al., 1999; Weese et al., 2003; Ward et al., 2004; Weese et al., 2004; Tanabe et al, 2008;. Miyauchi et al, 2009;. Fukada et al, 2011;. Ogita et al, 2011a;.. Ogita et al, 2011b; Tanabe, 2013; Tanabe et al, 2014). Par conséquent, le développement du microbiote des voies du tractus gastro-intestinal (GI) est cruciale pour la santé d'un animal. Le microbiote dans le tractus gastro-intestinal des chevaux est sensible à de nombreux facteurs différents, y compris les changements dans le régime alimentaire (Goodson et al, 1988;.. De Fombelle et al, 2001; Medina et al., 2002). L'utilisation prophylactique de suppléments tels que les probiotiques, les prébiotiques et symbiotiques, afin d'éviter les troubles gastro-intestinaux ou réduire la gravité qui peut résulter des troubles gastro-intestinaux a été suggéré (Collins et Gibson, 1999; Kopp-Hooliham 2001;. Tanabe et al, 2014).

Les prébiotiques et les probiotiques ont été ajoutés à l'alimentation des chevaux dans un but pour rétablir l'homéostasie après des troubles gastro-intestinaux dus au stress physiologique ou environnementale (Pellegrini et al., 1999; Ward et al., 2004; Weese et al., 2004; Berg et al., 2005;. Tanabe et al, 2014). Les levures, considérés à la fois un pré et probiotiques, ont montré leurs influence positive sur l'intestin en améliorant la digestibilité des NDF et ADF et de réduire les variations des niveaux du pH et de l'acide lactique dans le gros intestin après l'alimentation (Goodson et al, 1988;. De Fombelle et al, 2001;.. Medina et al, 2000; Medina et al., 2002;. Jouany et al, 2008). le développement et l'entretien appropriés des populations microbiennes dans l'intestin postérieur du cheval peuvent réduire ou empêcher les modifications indésirables de la microflore gastro-intestinale et de contribuer à la santé globale et le bien-être du cheval (Medina et al, 2002; Julliand, 2005; Jouany et al, 2008; Tanabe et al, 2014). Une méthode proposée pour optimiser le développement du microbiote gastro-intestinal du poulain est par la supplémentation du régime alimentaire maternel.

Il a été démontré que l'alimentation maternelle affecte la croissance et le développement de la progéniture dans de nombreuses espèces monogastriques, y compris les humains, les

souris et les chevaux (Nathanielsz, 2006; Armitage et al, 2004; Ford et al, 2007; Clapp, 2002; Thum et al., 2012; Faubladiet et al, 2013). Des recherches récentes montrent que la supplémentation en probiotiques de juments gestantes en fin de gestation et l'allaitement précoce peut affecter la microflore gastro-intestinale de leur progéniture pendant les premiers jours de la vie (Faubladiet et al., 2013). Les poulains des juments supplémentées avec un produit d'alimentation fermenté avaient une plus grande mise en place des anaérobies totaux et des bactéries utilisatrices de lactate à un moment plus précoce que les poulains dont les mères ne sont pas complémentés. Les poulains dont les mères ont reçu un probiotique en fin de gestation et au début de lactations avaient des concentrations plus élevées des anaérobies totaux et utilisatrices de lactate sur le premier jour d'âge (Faubladiet et al., 2013).

IV.3.2. Effet de l'alimentation maternelle sur la croissance et le développement des poulains : les auteurs ont prouvé que la nutrition maternelle affecte la régulation de l'insuline-glucose, prédispose la progéniture à des troubles métaboliques et affecte la croissance foetale, ainsi conduit à un établissement plus rapide de certaines microflore (Nathanielsz, 2006; Armitage et al., 2004; Ford et al., 2007; Clapp, 2002; Thum et al, 2012; Faubladiet et al, 2013). Les études chez les porcs et les moutons suggèrent que la mise en place de l'environnement microbien intestinal chez les jeunes animaux pourrait avoir un effet sur l'écosystème bactérien de l'animal adulte (Thompson et al, 2008; Yanez-Ruiz et al, 2010). Les principaux microorganismes environnementaux auxquels le poulain est exposé au début de la vie proviennent de la jument (Mackie et al., 1999; Biasucci et al, 2010; Dominguez-Belloa et al, 2010; Kuhl et al., 2011). Quand un poulain est né, il est exposé à des bactéries provenant du vagin, des excréments, de la salive et / ou du lait de la jument (Biasucci et al, 2010; Dominguez-Belloa et al, 2010; Kuhl et al., 2011). Le lait peut contenir jusqu'à 10^9 microbes / L dont les microbes les plus abondants sont les streptocoques et les lactobacilles (Moughan et al., 1992; Mackie et al., 1999). La recherche a montré que la supplémentation du régime alimentaire maternel avec la culture de levure a augmenté la production de lait et la teneur en éléments nutritifs (Glade, 1991). Une étude menée par Glade (1991) comprenant huit juments gestantes et recevant 20 g par tête et par jour d'un supplément de levure commerciale quatre semaines avant la parturition jusqu'à 4 semaines après le poulinage. La matière sèche et la digestibilité des protéines a augmenté de façon significative lorsque les juments en lactation ont été supplémenté avec la levure. L'augmentation de la teneur en énergie, les sucres, les lipides totaux, l'azote total et les

acides aminés totaux ont également été observées dans le lait des juments qui ont été supplémentées avec la levure. Cette étude a également démontré un taux de croissance accrue des poulains dont les mères ont été supplémentées avec la culture de levure. Il a été suggéré que la microflore gastro-intestinale du poulain pourrait être optimisée en modifiant l'écosystème microbien de la jument (Thum et al, 2012). Chez la souris, la supplémentation du régime alimentaire de la mère pendant la gestation et la lactation avec les prébiotiques peut influencer la microflore intestinale maternelle ainsi que la microflore de la progéniture d'une manière positive (Fujiwara et al, 2008; Fujiwara et al, 2010). Il a été observé chez la souris, que l'ajout de 50 g par kg de fructo-oligosaccharides (FOS) à l'alimentation de la mère affectée la microflore intestinale des progénitures jusqu'à deux semaines après la parturition, comme le montre des groupements distincts de dendrogramme dans une analyse (Fujiwara et al, 2010). Des recherches récentes par Faubladiet et ses collègues (2013) ont montré que la supplémentation en probiotiques des juments gestantes peut affecter la microflore gastro-intestinale de leur progéniture pendant les premiers jours de la vie. Les poulains des juments supplémentés avec des probiotiques avaient un plus grand établissement d'anaérobies totaux et utilisatrices de lactate à un moment plus précoce que les poulains dont les mères n'ont pas été supplémentés, ce qui peut être causé par le changement de l'écosystème bactérien de la jument et / ou le changement de lactation. Les chercheurs ont proposé que l'effet sur l'établissement précoce des anaérobies et des bactéries utilisatrices de lactate pourrait être causé par la modification de l'écosystème bactérien de la jument et / ou l'altération de la production laitière. La recherche a également montré un poids corporel accru observé chez les poulains de juments supplémenté avec les probiotiques de la fin de gestation au début de lactation (Faubladiet et al., 2013). Lorsque les juments ont été complémentées à partir de 300 jours de la gestation au 60^{ème} Jours post-parturition, leurs poulains étaient plus lourds que les poulains de juments non-complémenté de 19 à 60 Jours post-parturition.

IV.3.3. Impact de *S. Cerevisiae* sur l'immunité chez les équidés

Les prébiotiques sont des glucides complexes ou des fibres solubles qui ne peuvent pas être digérés dans l'intestin grêle. Ils sont fermentés dans le caecum et le côlon. Tous les travaux en soutenant la prolifération de souches probiotiques de bactéries. Cependant, certains semblent avoir aussi des effets directs sur le système immunitaire. L'arabinogalactane, habituellement isolé de l'écorce du mélèze, a des effets prébiotiques bien

documentés sur les organismes probiotiques. Il a également un effet stimulant sur la GALT, le tissu lymphoïde associé à l'intestin.

Un article de 2010 a documenté des effets plus étendus chez l'homme. L'étude a examiné les réponses du titre au vaccin *Strep pneumoniae* chez les personnes qui ont été complétées par rapport à un groupe témoin qui ne l'était pas. Il y avait une différence statistiquement significative entre les groupes, le groupe complété montrant une meilleure réponse vaccinale.

Les fructooligosaccharides à chaîne courte (aka fructans), scFOS, est un prébiotique documenté chez les personnes. Une étude française de 2008 a testé si la supplémentation en scFOS pouvait protéger contre les perturbations de l'organisme intestin causées par une augmentation soudaine du grain dans le régime équin. Il a été efficace pour cela, mais l'interaction avec le système immunitaire n'a pas été confirmée.

Les bêta-1,3 / 1,6-glucanes sont des hydrates de carbone complexes provenant de la paroi cellulaire de levures telles que *Saccharomyces*. Une étude de 1999 sur les poulinières a confirmé un effet immunostimulateur chez les poulinières injectées avec ces glucanes. Ils ont montrés des niveaux plus élevés d'anticorps dans le colostrum. Les études sur les effets lorsqu'elles sont administrées par voie orale ne sont pas disponibles pour les chevaux, mais cette substance stimule de manière fiable le système immunitaire chez les autres espèces lorsqu'elle est complétée par voie orale. Tout ingrédient alimentaire à haute teneur en fibres solubles peut servir de prébiotique en «nourrissant» les microbes. Cela comprend la pulpe de betterave, le psyllium et le lin (Figure 20).

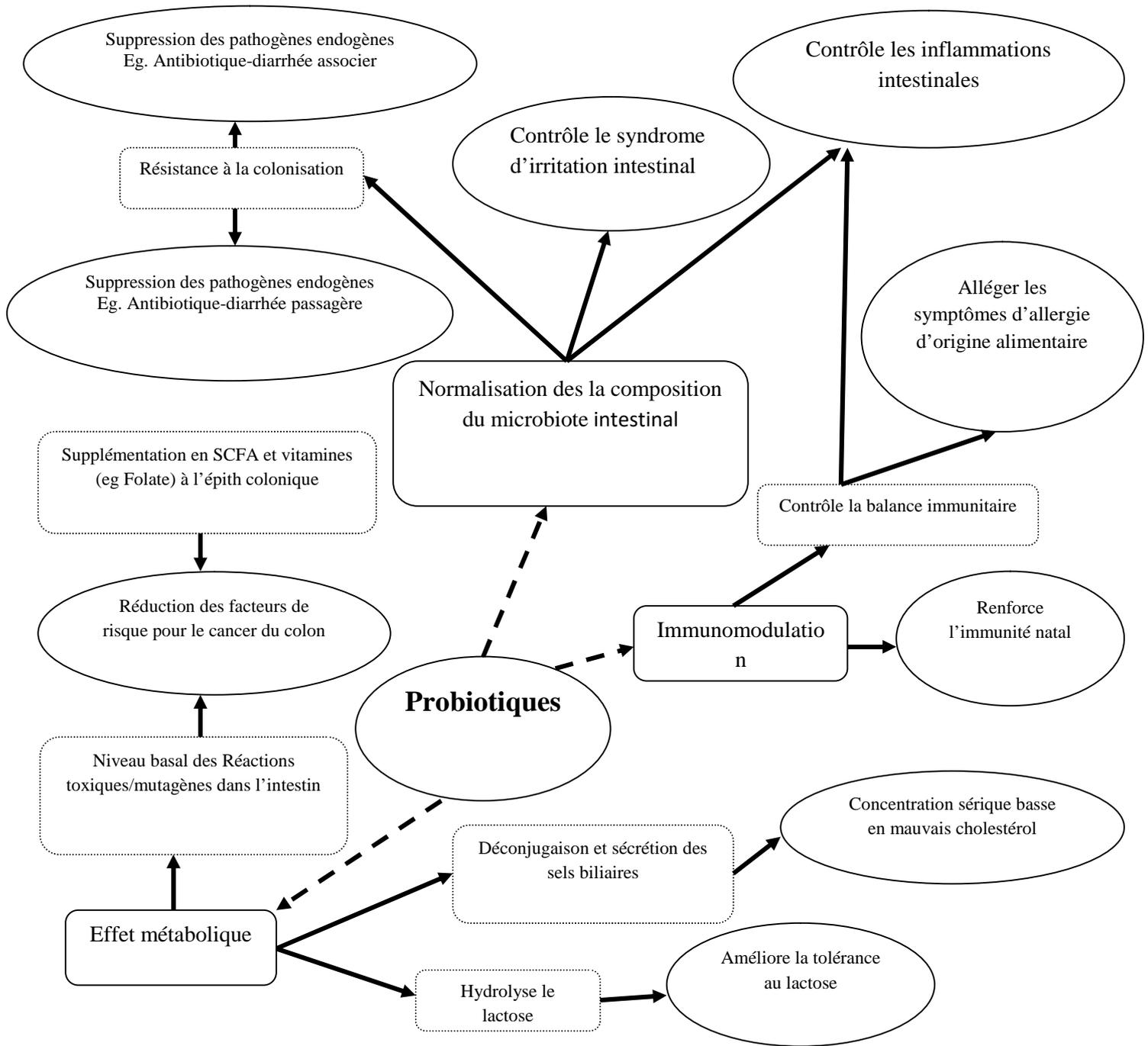


Figure 20 : Rôle des probiotiques sur l'immunité (Dr Kellon, Forageplus Ltd 2016)

PARTIE
EXPÉRIMENTALE

OBJECTIFS DE L'ETUDE EXPERIMENTALE :

Après l'étude bibliographique, cette deuxième partie a pour but :

- 1- Evaluer la concentration en immunoglobuline (IgG1) dans le colostrum des juments et le sérum de leurs poulains.
- 2- Evaluer les paramètres biochimiques des juments.
- 3- Le suivi de la reproduction et de la croissance des poulains.
- 4- Faire une comparaison entre deux lots de juments ; un supplémenté en levure probiotique et le deuxième témoin pour rechercher l'effet de la levure *saccharomyces cerevisiae* sur la concentration des immunoglobulines (IgG1) dans le colostrum des juments, le sérum de leurs poulains, les paramètres biochimiques et les paramètres de reproduction chez la jument (croissance folliculaire ovulation et gestation).

Deux espèces sont concernées par cette évaluation mais compte tenu de l'importance économique et des pertes engendrées par le non transfère de l'immunité colostrale dans les élevages équins, seuls les chevaux ont été choisis pour cette étude.

I. Matériel et méthode :

I.1. Lieu de travail :

L'étude s'est réalisée au niveau du « HARAS NATION AL CHAOUCHAOUA » ou Jumenterie de Tiaret (Figure 19), organisme inscrit depuis 1995, au patrimoine historique du pays.

LA JUMENTERIE C'est avant tout l'histoire d'une jumenterie qui remonte à 1874. C'est aussi l'histoire d'un patrimoine génétique, dont la source remonte à 1852. La jumenterie de Tiaret, c'est surtout la pureté des souches et la consistance du patrimoine génétique du pur sang Arabe. Le Haras de Tiaret reste incontestablement un des plus anciens producteurs de chevaux arabes en occident depuis 1878, bien avant même la création des stud-books anglais, égyptiens, et polonais. La jumenterie, reste une source d'archive généalogique remontant à plus d'un siècle, constitue un réservoir historique certain, pour les chercheurs, historiens, scientifiques et tout amoureux du cheval en général.

Partie expérimentale

Son statut et celui d'une ferme pilote autonome, avec une vocation d'élevages équins, majoritairement le pur-sang Arabe, suivi du Barbe, Arabe-barbe, Anglo-arabe. (280 chevaux).

Une grande superficie qui avoisine les 741 Hectares et un personnel de 57 ouvriers. La production équine annuel est de : 60 Poulains /AN.

Situation géographique et présentation du HARAS

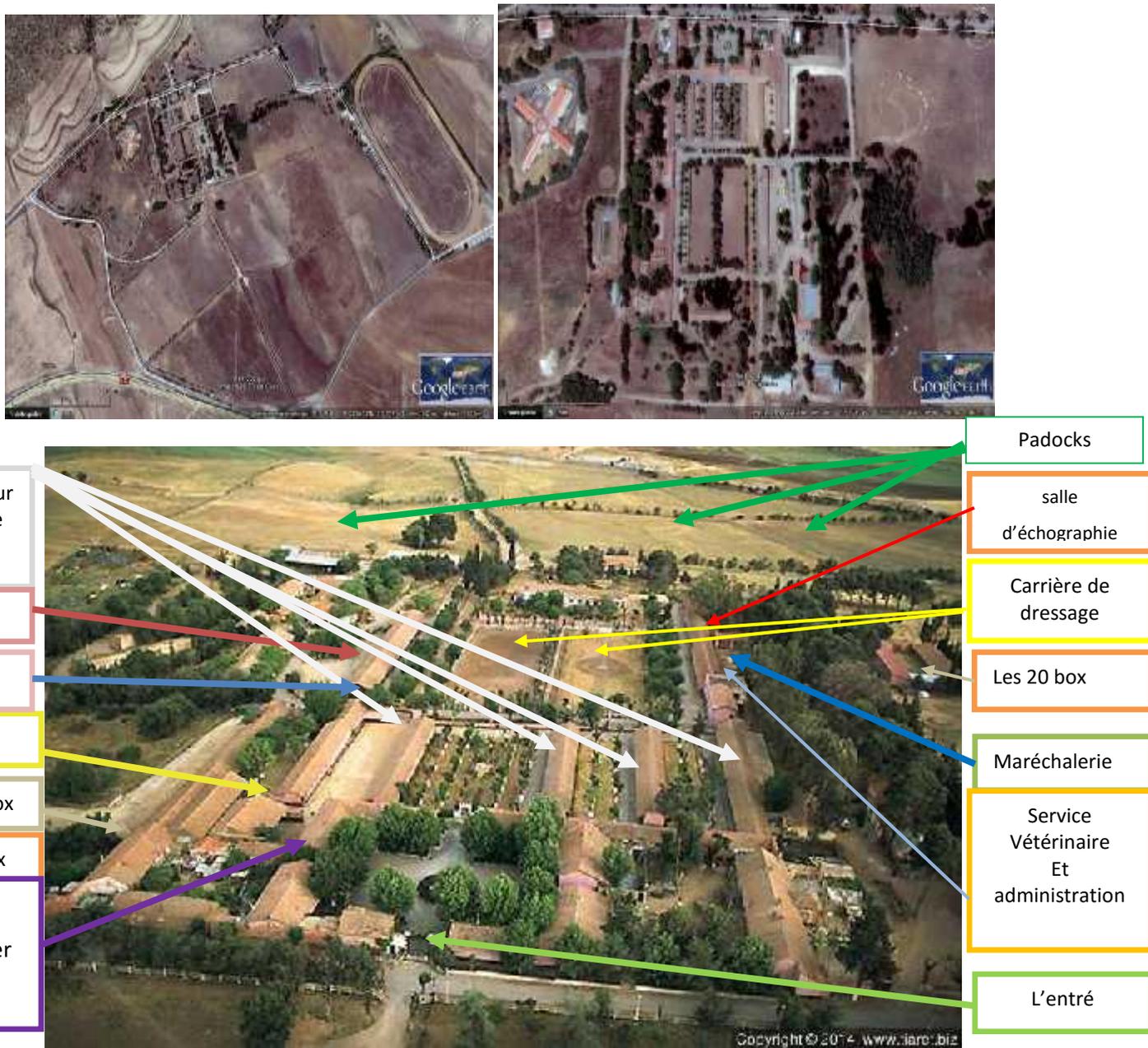


Figure 21: Situation géographique et présentation du HARAS

Partie expérimentale

I.2. Animaux et période de l'expérimentation :

L'expérimentation c'est déroulé en deux ans consécutifs 2013/2014 et 2014/2015 sur un effectif de 90 juments entre la première année et la deuxième.

Le choix des juments de l'expérimentation c'est réaliser selon une répartition équilibré en deux groupes de femelles ; 42 juments gestantes pour l'année 2013/2014 et 48 juments gestantes pour l'année 2014/2015 dont 31 juments Pur-sang arabe, 12 juments Arabe barbe et 05 juments Anglaises d'une moyenne d'âge de $9,225 \pm 4,385$ ans avec des valeurs MAX de 19 ans et Min de 3ans, et d'une moyenne de poids de $479,8 \pm 33,691$ Kg variant de MAX 561 Kg et Min de 420 Kg.

Dans notre expérimentation nous avons choisi de traiter plusieurs races (pur-sang Arabe, barbe, pur-sang Anglais) pour essayer d'étudier l'effet race sur les paramètres étudiés.

I.3. La période pré expérimentale :

La période pré expérimentale a duré environ un mois et a servi à adapter les animaux aux conditions expérimentales (introduction de la levure probiotique graduellement). Ces juments ont fait l'objet d'un suivi régulier et périodique de l'état sanitaire (vaccination anti rabique, parage, et déparasitage tous les 03 mois), et une surveillance de l'évolution de la gestation par la réalisation d'examens échographiques à partir du 14^{ème} jour post saillie.

II. Le schéma expérimental

L'expérimentation est répartie en trois volets :

-) **Le premier volet :** Consiste à étudier le dosage des IgG1 dans le colostrum des juments et le plasma de leurs poulains en l'évaluant avec deux méthodes différentes l'immunodiffusion radial (IDR) et le Réfractomètre.
-) **Le second volet:** Une comparaison entre deux lots de juments pour étudier l'effet de la supplémentation en levure probiotique chez ces dernières en peripartum, sur la concentration en IgG1 dans le colostrum et le sérum des poulains et leurs croissances durant les six premier mois de leur vie (avant le sevrage).

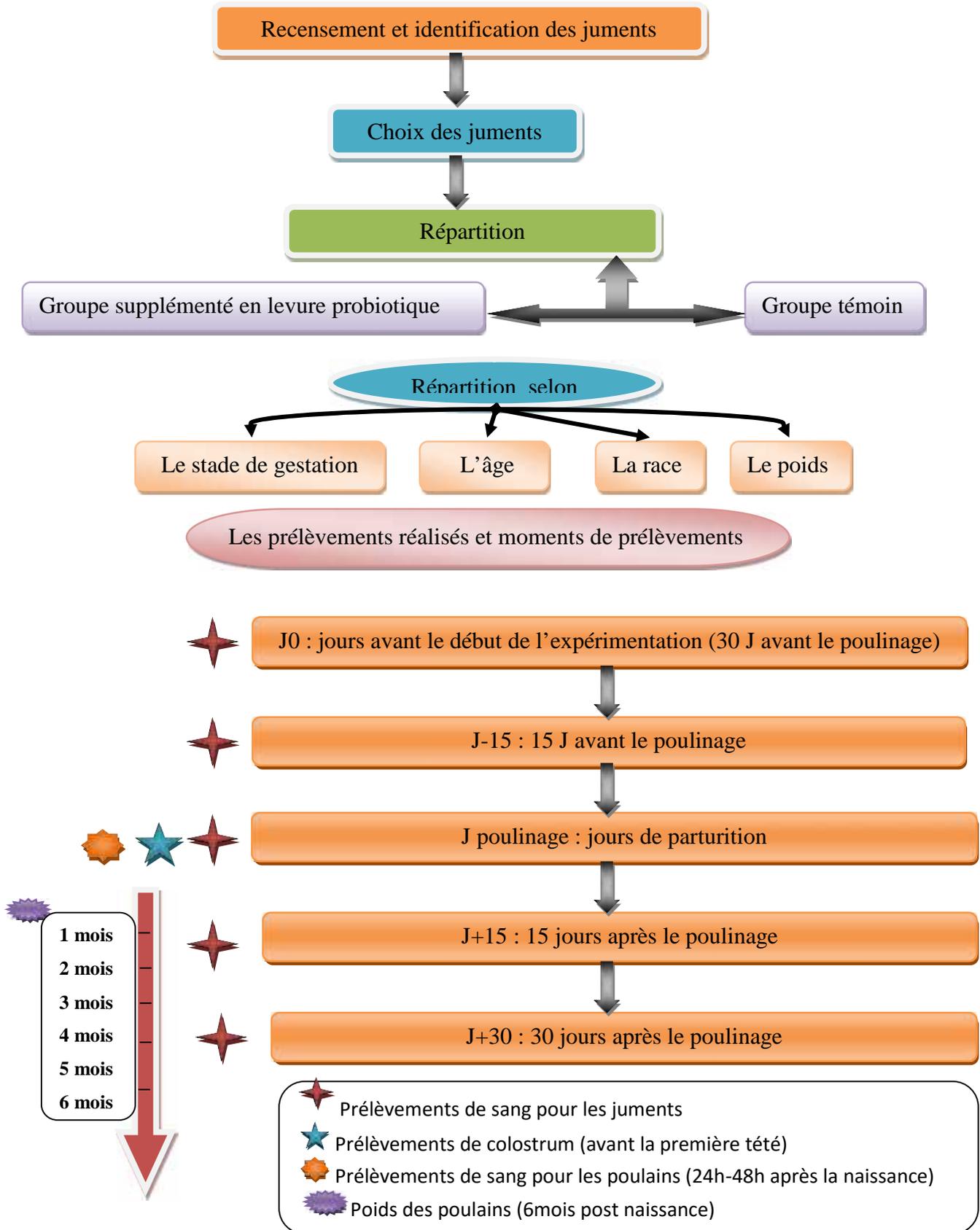
Nous comparons deux traitements expérimentaux et deux levures différentes :

1. Un lot témoin recevant un aliment classique sans aditifs (ration de base).
2. Un lot levure recevant le même aliment que le lot témoin mais supplémenté avec la levure probiotique *saccharomyces cerevisae*.

Partie expérimentale

) **Le troisième volet** : Une comparaison entre deux lots de juments pour étudier l'effet de la supplémentation en levure probiotique chez ces dernières en peripartum, sur les paramètres Biochimiques, et reproductifs (croissance folliculaire, ovulation, fécondation). La durée de la supplémentation est de 07 mois s'étalant des quarts dernières semaines précédant la date probable du part jusqu'à la 24^{ème} semaine postpartum. L'effet de la complémentation alimentaire en *S. cerevisiae* était évalué sur l'évolution des paramètres métaboliques mesurés à J0 (avant la supplémentation « 30 jours avant le poulinage présumé »), J- 15 (15 jours avant le poulinage), JP (au jours de poulinage), J15PP (à 15 jours postpartum), J30PP (à 30 jours postpartum). Le diagramme expérimental et les mesures effectuées sont récapitulés dans le schéma suivant :

Partie expérimentale



Partie expérimentale

III. Alimentation :

Pour l'alimentation on a préféré laisser le système comme auparavant la ration n'était pas calculée selon les besoins des animaux des deux lots.

Les juments étaient nourries avec le même aliment concentré (orge mouillé) à raison de 3Kg matin et 3Kg le soir supplémenté (lot levure) ou non (lot témoin) avec la levure probiotique.

La quantité de fourrage distribuée (foin d'avoine) est identique pour les deux lots une botte / 5 jument. La distribution quotidienne des aliments concentrés aux juments des deux lots se fait de manière manuelle deux fois par jour à la même heure le matin à 08^h:30, et l'après midi à 16^h:00.

En plus de la ration journalière, de 10h à 15h :30 les juments partent aux prés (paddocks) pour faire de l'exercice et un broutage d'herbe.

III.1. Modalité de la supplémentation en levure probiotique :

Les probiotiques utilisés dans cet essai sont :

) La souche de levure, *Saccharomyces cerevisiae souche* (CNCM I-1077) (concentré de levure vivante sous micro-encapsulée adaptée pour aliments granulés) fabriqué par : société industrielle LALLEMAND- France importée par la société VETAM – Sétif-Algérie. Commercialisée sous le nom de Levucell® SC 10ME titan.

Il s'agit de concentré de levure sèche active développé spécifiquement pour la nutrition et la santé des animaux contenant $10 \cdot 10^9$ UFC/g de levures *Saccharomyces cerevisiae*(CNCM I-1077). La dose préconisée par le fabricant pour l'espèce équine est 2g/cheval/jour (300g/T*) (*selon l'ingéré, le stade physiologique et la phase de croissance).

) La souche de levure spécifique ruminant, *Saccharomyces cerevisiae souche NCYC Sc 47* (concentré thermostable de levure vivante) fabriqué par : société industrielle LESAFRE- France, commercialisée sous le nom de BIOSAF® HEAT RESISTANT CONCENTRATE OF LIVE YEAST (LESAFRE, FEED ADDITIVES, France).

Il s'agit de concentré de levure sèche active développé spécifiquement pour la nutrition et la santé des animaux contenant $1 \cdot 10^{10}$ UFC/g de levures *Saccharomyces cerevisiae*. La dose préconisée par le fabricant est variable selon l'espèce et le stade physiologique de l'animal.

Partie expérimentale

Dans notre expérimentation nous avons fixé une dose de 10g par jument et par jour pour la souche BIOSAF® et une dose de 2g par jour pour la souche Levucell®.

Pour s'assurer de la prise totale et complète de la dose fixé par chaque une des juments supplémentées, le probiotique (*Saccharomyces cerevisiae* Sc 47) à été fractionné en doses de 10g et 30g pour le probiotique (*Saccharomyces cerevisiae* CNCM I-1077) en utilisant une balance de précision type Sartorius Basic et des sachets en plastique approprié, sachant bien que la levure était présentée sous un emballage de 1Kg pour la souche Levucell® et un emballage de 5Kg pour la souche BIOSAF®.

-) *Saccharomyces cerevisiae* CNCM I-1077 était mélangé avec 15 volumes d'orge mouillé et distribué avec la ration du soir pour les juments supplémentées (01 sachet /15 jument / jour).
-) *Saccharomyces cerevisiae* Sc 47 était mélangé directement avec la ration du soir pour les juments supplémentées (01 sachet / jument / jour).



Photo 2 : Pesé et répartition de la levure (photo personnelle)



Photo 3 : Mélange de la levure avec l'orge mouillée (photo personnelle)

Partie expérimentale

III.2. Abreuvement :

Pendant tout la période de l'étude expérimentale, les juments étaient approvisionnées en eau potable fraîche et renouvelée de source en trois points différents :

-) Au niveau de leurs stalles avec accès à l'abreuvoir automatique.
-) Au niveau de l'abreuvoir collectif juste avant leurs sorties aux paddocks.
-) Au niveau des paddocks dans plusieurs points.

IV. Les prélèvements réalisés :

IV.1.1. Prélèvement de sang :

a- Les juments :

Pour doser les paramètres biochimiques et hématologiques témoignant du statut métabolique des juments témoins et supplémentées (n=30), des prélèvements de sang ont été réalisés à 5 moments caractéristiques :

- A J0 c'est-à-dire juste avant de commencer la supplémentation, correspondant à J-30 avant la date probable du part.
- A J-15 avant la date probable du part
- A la mise-bas (JP).
- A J15 post-partum (J15PP).
- A J30 post-partum (J30PP).

Pour cela on a utilisé des tubes de prélèvements à l'héparinate de lithium pour la biochimie type vacutainer (improvacuter®, evacuated blood collection tube for in vitro diagnostic use) (Photo 4).

Partie expérimentale



Photo 4 : Prélèvement du sang (veine jugulaire) (Photo personnelle)

Le sang est prélevé de la veine jugulaire dans deux tube de 5 ml chaque un, le sang veineux collecté est transporté dans une glacière dans la quel on à mis des piles de glasses, au laboratoire de Reproduction de l'institut vétérinaire de Tiaret, une centrifugation de 3500 trs/min pendant 10 minutes est réalisé pour le tube hépariné. Après centrifugation les sérums sont transvasés dans des tubes eppendorfs 2ml. Un volume de 3 ml de plasma est recueilli au moyen de seringues stérile à usage unique et répartis en 2 tubes eppendorfs 2ml, et stocké dans un congélateur à -20°C jusqu'aux dosages ultérieurs (figure 22).



Figure 22 : conservation des échantillons à -20°C

Partie expérimentale

Les analyses biochimiques réalisées sont les suivantes :

I. Biochimie :

1. La teneur plasmatique en glucose (Glycémie). (colorimétrie enzymatique à l'héxokinase sur cobas 6000 Roche).
2. La teneur plasmatique en urée (Urémie). (colorimétrie cinétique UV sur cobas 6000 Roche).
3. La teneur plasmatique en cholestérol (Cholestérolémie). (colorimétrie enzymatique sur cobas 6000 Roche).
4. La teneur plasmatique en créatinine (Créatinémie). (cinétique Jaffé sur cobas 6000 Roche).
5. La teneur plasmatique en triglycérides. (colorimétrie enzymatique sur cobas 6000 Roche).
6. La teneur plasmatique en protéines totales.
7. La teneur plasmatique en albumine (Albuminémie). (Technique immunoturbidimétrique automatisée).

I- Enzymes :

8. La teneur plasmatique en -gT. (colorimétrie enzymatique à 37°C).
1. La teneur plasmatique en ALT. (colorimétrie enzymatique à 37°C).
2. La teneur plasmatique en AsT. (colorimétrie enzymatique à 37°C).

II- Ionogramme :

1. La teneur plasmatique en calcium (Calcémie). (Roche Integra 400+)
2. La teneur plasmatique en Phosphore (Phosphorémie). (Roche Integra 400+)

III- Hormones :

1. La teneur plasmatique en cortisol (Cortisolémie). (Méthode ECLIA sur Automate E411 Roche*)
2. La teneur plasmatique en insuline (Insulinémie). (Méthode ECLIA sur Automate E411 Roche*)

Partie expérimentale

L'ensemble des analyses biochimiques été réalisé au laboratoire privé Maachi et le laboratoire de reproduction de l'institut des sciences vétérinaires.

b. Les poulains :

Les prélèvements sanguins pour les poulains ont été réalisé au niveau de la veine jugulaire dans des tubes de prélèvements à l'héparinate de lithium (figure 23) pour le dosage de la concentration des IgG1 et l'évaluation du transfert de l'immunité passive chez ces dernier juste après la naissance et à environ 24 - 48h post partum pour l'ensemble.



Figure 23 : Vacutainer à l'héparinate de lithium (improvacuter[®], evacuated blood collection tube for in vitro diagnostic use)

Prélèvements de colostrum :

Just après le poulinage et avant la tété des poulains nouveau nés environ 20 ml de colostrum était prélevé dans des pots stériles et étiqueté de 50 ml, pour une éventuelle analyse des immunoglobulines (IgG1).

Les pots de colostrum ont été identifier (nom de la jument, et date du prélèvement) transporter dans une glacière au laboratoire de reproduction, congeler a -20 °C jusqu'aux analyses.

V. Les analyses réalisées :

V.1. L'immunodiffusion radiale (IDR) :

L'immunodiffusion radiale est décrite comme la méthode de choix pour quantifier les immunoglobulines. Le HORSE IgG TEST s'applique donc tout particulièrement aux études sur le transfert passif de l'immunité chez les poulains.

Partie expérimentale

a- Domaine d'application :

Le HORSE IgG TEST s'applique aux :

Colostrums de jument

Sérums et plasmas de chevaux et de poulains

Ce test est utilisé à des fins de recherche uniquement.

b- Principe :

Le teste est basé sur la technique d'immunodiffusion radiale.

Les plaques HORSE IgG sont constituées d'un gel d'agar contenant un antisérum dirigé spécifiquement contre les immunoglobulines (Ig) de cheval. Les puis aménagés dans les plaques permettent de déposer 15µl des standards et des échantillons à analyser. Pendant l'étape de diffusion, les Ig de cheval, lorsqu'elles sont présentes dans les échantillons, réagissent avec l'antisérum et forme un disque de précipitation autour du puis de dépôt.

La surface de chaque précipité est proportionnelle à la concentration en IG de cheval dans l'échantillon. A partir des diamètres mesurés pour les points de gamme dont la concentration en Ig est connue, une droite de régression linéaire est établie est utilisée pour calculer la concentration en Ig de chaque échantillon.

c- Composition du kit :

10 plaques IDRing® HORSE IgG TEST- 10 puis par plaque

Tampon de dilution des échantillons: SRID Buffer concentré 5 fois – 1 flacon de 30 ml

Standards de concentration 200, 100, 50 et 25 µl/ml en Ig de cheval – prêts-à-l'emploi – 4 microtubes.



Photo 5 : La boîte du kit IDR Horse IgG

Partie expérimentale

d- Réactifs et équipements requis :

e- Réactifs :

Acide acétique glacial (grade de pureté analytique)

Eau déionisée

Eau physiologique (0,15M NaCl) ou tampon PBS (pH 7,0 à 7,5)

f- Equipements et consommables :

Tubes jetables de 2ml et/ou de 5ml pour la dilution des échantillons

Micropipette de précision, 50 - 1000 μ l et connes jetables adaptés

Boite humide : boîte plastique à couvercle hermétique dans le fond est garni d'un buvard saturé d'eau

Etuve thermostatée réglée à $35^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Papier absorbant

Système de visualisation et d'acquisition numérique IDRing® Viewer ou mini lecteur de plaque IDRing® Viewer-S

Logiciel d'analyse d'image et de traitement des données IDRing® Meter ou feuille de calcul de type tableur Excel®

g- Préparation des réactifs :

- Sortir le nombre de plaques nécessaires ainsi que les standards.
- Laisser remonter les réactifs à température ambiante avant utilisation.
- Homogénéiser chaque flacon manuellement avant utilisation.
- Ne pas mélanger les réactifs provenant de lots différents.

Partie expérimentale



Photo 6 : Les standards de la gamme d'étalonnage

h- Préparation du tampon de dilution SRID Buffer :

Dans un flacon propre diluer 30 ml de SRID Buffer 5X dans 120 ml d'eau déionisée ou distillée. Homogénéiser. Après dilution, le SRID Buffer 1X peut être conservé 3 mois entre +2 et +8°C.

i- Préparation d'une solution d'acide acétique à 2% (v/v) :

Environ 5ml de solution d'acide acétique à 2% (v/v) sont nécessaires pour la révélation d'une plaque.

Préparer extemporanément cette solution en ajustant le volume nécessaire en fonction du nombre de plaques à révéler.

Pour obtenir 100ml de cette solution, ajouter 2 ml d'acide acétique glacial à 98 ml d'eau déionisée ou distillée. Homogénéiser.

Veiller à porter les équipements de protection individuelle adaptés lors de la préparation et la manipulation de cette solution.

j- Préparation des échantillons :

Les échantillons doivent être analysées sous 72 h après prélèvement (conservées à +2°C/+8°C) ou peuvent être congelés à -20°C jusqu'à analyse.

Laisser remonter les échantillons à température ambiante avant préparation.

Partie expérimentale

1. Colostrums :

Bien homogénéiser l'échantillon avant dilution.

Dilution au 1/600 :

- Effectuer une première dilution au 1/100 (dilution 1) en introduisant 50 μ l de l'échantillon dans 4950 μ l d'eau physiologique ou tampon PBS.
- Diluer ensuite au 1/6 en introduisant 100 μ l de la dilution 1 dans 500 μ l de tampon de dilution SRID Buffer 1X.

Etant donné la variabilité de la concentration en IgG dans les colostrums, le facteur de dilution est indicatif et doit être ajusté en fonction des conditions locales.



Photo 7 : Préparation des dilutions de colostrum

2. Sérums ou plasmas :

Dilution au 1/150

- Effectuer une première dilution au 1/50 (dilution 1) en introduisant 50 μ l de l'échantillon dans 2450 μ l d'eau physiologique ou tampon PBS.
- Diluer ensuite au 1/3 en introduisant 100 μ l de la dilution 1 dans 200 μ l de tampon de dilution SRID Buffer 1X.

Partie expérimentale

Etant donné la variabilité de la concentration en IgG dans les sérums, le facteur de dilution est indicatif et doit être ajusté en fonction des conditions locales.



Photo 8 : Les sérums des poulains

k- Mode opératoire :

Amener tout les réactifs à température ambiante avant utilisation.

Homogénéiser chaque flacon de standards avant utilisation.

1. Préparer tous les réactifs et les échantillons comme indiqué dans les paragraphes précédents.
2. Identifier chaque plaque avec un numéro d'identification interne. Préparer un schéma de dépôt afin de garantir la traçabilité des opérations effectuées et permettre l'interprétation ultérieure des résultats. Pour cela, il est possible d'utiliser le logiciel IDR ing ®Meter ou le schéma de dépôt proposé.
3. Dans chaque plaque, déposer 15 µl des standards de la gamme d'étalonnage comme indiqué ci-dessous :

Puits n°1 : standard 200 µg/ml

Puits n°2 : standard 100 µg/ml

Puits n°3 : standard 50 µg/ml

Puits n°4 : standard 25 µg/ml

Déposer 15 µl des échantillons dans les puits n°5 à 10.

Remplir avec 15 µl d'eau déionisée les puits non utilisés.

Fermer le couvercle de la plaque

Partie expérimentale

4. Placer la plaque à plat dans une boîte hermétique humide. Disposer l'ensemble dans une étuve réglée à $35^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ et laisser diffuser entre 16 et 24 heures.
5. Remplir la plaque avec environ 5ml de la solution d'acide acétique à 2% et laisser agir 1 minute à température ambiante.
6. Vider chaque plaque et rincer en remplissant/vidant 2 fois la plaque avec de l'eau déionisée. Remplir à nouveau avec environ 5ml d'eau déionisée et laisser agir entre 10 et 15 minutes à température ambiante.
7. Prendre un cliché numérique de chaque plaque à l'aide du système IDR ing @Viewer. Réaliser l'analyse d'image et procéder aux mesures des précipités à l'aide du logiciel IDR ing @Meter.
Une procédure simplifiée consiste à mesurer visuellement les diamètres des précipités à l'aide du système IDR ing @Viewer-S.



Photo 9 : préparation des échantillons pour incubation



Photo 10 : Préparation des échantillons pour la lecture

l- Résultats :

- La droite d'étalonnage est obtenue en portant en ordonnées les diamètres de précipités mesurés pour chaque standard et en abscisse la racine carrée de leur concentration, décrite par l'équation de régression linéaire du type :

$$y = a \sqrt{x} + b \text{ ou}$$

y est le diamètre des précipités

x est la concentration des standards

a est la pente

b est l'ordonnée à l'origine

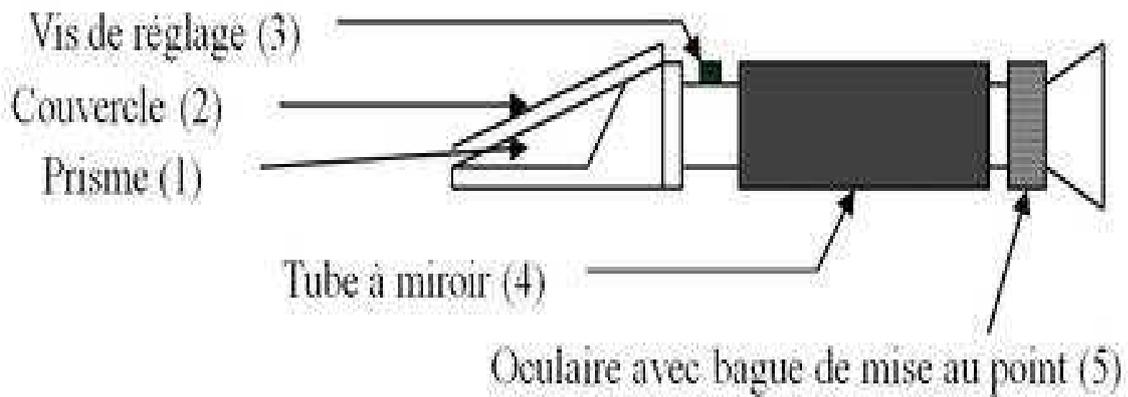
- La droite d'étalonnage est générée automatiquement par le logiciel IDR ing ®Meter. En l'absence de ce logiciel, il est également possible d'utiliser les fonctions graphiques d'un tableur de type Excel pour calculer les résultats.
- Le coefficient de corrélation r doit être supérieur ou égal à 0,99.
La concentration de chaque échantillon est calculée automatiquement par le logiciel IDR® ing Mater. Une feuille de résultats indiquant les concentrations de chaque échantillon est éditée.
Les résultats peuvent être exportés en format Excel®.
- Si un échantillon donne un précipité dont le diamètre est supérieur au standard le plus concentré, diluer l'échantillon et le réanalyser.



Photo 11 : Lecture des plaques IDR par le lecteur IDRing Viewer

VI. *La réfractométrie :*

1. *Description de l'appareil*

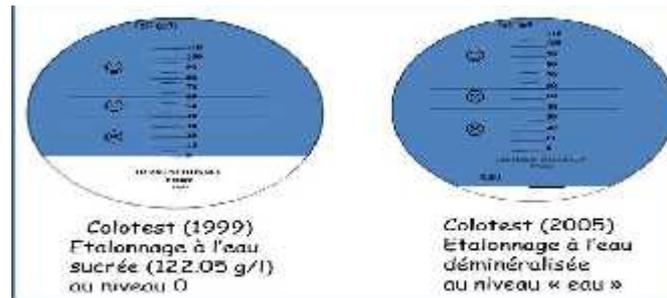


Partie expérimentale

2. Etalonnage de l'appareil

A faire à chaque début de saison de poulinage

Pointer l'extrémité avant du réfractomètre en direction de la lumière, coller l'œil sur l'oculaire et mettre au point avec la bague (5) jusqu'à visualisation nette de la graduation de mesure.



Colotest modèle 1999, Étalonnage à l'eau sucrée (122.05 g/l) au niveau 0

Modèle 1999	Modèle 2005
Solution d'étalonnage : eau sucrée 122.05 g/l de sucre de cuisine dans de l'eau du robinet	Solution d'étalonnage : eau déminéralisée
Soulever le couvercle (2) et verser une à deux gouttes d'eau sucrée sur le prisme (1), rabattre le couvercle et ajuster le niveau sur « 0 » à l'aide du tournevis fourni et de la vis (3) située sur le dessus de l'appareil	Soulever le couvercle (2) et verser une à deux gouttes d'eau sur le prisme (1), rabattre le couvercle et ajuster le niveau sur « eau » à l'aide du tournevis fourni et de la vis (3) située sur le dessus de l'appareil

3. Utilisation

3.1. Procédure de mesure :

1/ Soulever le couvercle (2). Essuyer délicatement la surface du prisme avec du papier absorbant.

2/ Après avoir trait du colostrum de la jument sur 1 des deux mamelles, dans un petit réceptacle propre, prélever du colostrum (**1 à 2 ml**) à l'aide d'une seringue à usage unique.

Partie expérimentale

3/ Verser 1 ou 2 gouttes du colostrum à tester sur la surface du prisme (10ul).

4/ Abaisser le couvercle et le **presser légèrement**. Le colostrum doit couvrir toute la surface du prisme.

5/ Orienter le prisme vers une source de lumière et **lire** dans l'oculaire sur l'échelle correspondante le **taux d'IgG en g/l du colostrum**.

6/ Après chaque mesure, nettoyer tout le liquide adhérent à la surface du prisme et sur le couvercle avec du papier absorbant humecté d'eau déminéralisée.

Attention :

Il s'agit d'un instrument d'optique de précision, à manipuler doucement. Éviter les chocs, surtout en cas de transport.

L'appareil permet une mesure fiable à une température comprise entre 10 et 30°C.

Ne pas laver à grandes eaux l'instrument de manière à éviter toute entrée d'eau dans le tube de l'instrument. Ne pas plonger l'appareil dans un liquide.

Ne pas toucher, ni rayer les surfaces optiques.

Le conserver dans sa boîte et dans un endroit sec à plus de 10°C.

VII. La pesée des poulains :

La prise du poids à été faite par un ruban mètre spécial chevaux des HARAS Nationaux France suivant un rythme Régulier chaque mois après le poulinage jusqu'à 6 mois d'âge pour notre expérimentation (au niveau du tour de poitrail, positionné juste à l'arrière de la pointe supérieure de l'épaule, à la verticale du passage de sangles).



Photo 12: mesure de poids à l'aide d'un ruban mètre spécial (des Haras nationaux).

VIII. Paramètres de reproduction :

L'ensemble des femelles étaient examinées 8-9J après leurs poulinage avec un échographe « **DRAMINSKI iScan** » portable spécialement à usage vétérinaire avec une sonde endo rectale et une fréquence variant de 5 à 7,5 pour l'examen du tractus reproducteur des juments expérimentales (ovaires, cornes utérines, corps utérin, col, vagin, et vessie) en vue d'identifier des structures folliculaires et de voir l'involution utérine.

Les paramètres relevés sont :

- La croissance folliculaire entre les deux lots levure et témoin.
- L'intervalle poulinage première saillie.
- L'intervalle poulinage conception.
- Nombre de cycle.
- Nombre de saillie.

IX. Analyses Statistiques :

L'ensemble de nos résultats sont décrits par la moyenne et la déviation standard SD (calculée à partir de la formule suivante $SD = 1.96\left(\frac{\delta}{\sqrt{n}}\right)$, n étant la taille de l'effectif, représente l'ecartype).

Au total, 90 échantillons de colostrum et 180 échantillons de sérum ont été recueillis. Pour les résultats de la concentration des IgG1 colostrales et sériques sont soumises à une analyse de variance (ANOVA 1) afin de déterminer l'effet de la supplémentation en levure sur les paramètres considérés.

Un test de corrélation était appliqué pour déterminer s'il y a une corrélation entre l'utilisation du réfractomètre et l'IDR.

Pour les paramètres de reproduction les résultats étaient soumises à un test t de student. Un seuil de signification d'au moins 5% était choisi

La totalité des analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du programme MYSTAT English version ® 12.02.00. (© 2007 SYSTAT Software, Inc).

RÉSULTATS

Résultats

PREMIER VOLET : COLOSTRUM, SERUM IgG1 CONCENTRATION ET CROISSANCE DES POULAINS

1- Concentration des IgG1 colostrales :

La concentration des IgG1 dans le colostrum des deux lots expérimentaux supplémenté et non supplémenté par *Saccharomyces cerevisiae souche* (CNCM I-1077) est démontré dans la figure 24, Il n'y a pas de différence statistique pour la concentration des IgG1 colostrales suite à la supplémentation des rations de poulinières avec la levure probiotique *saccharomyces cerevisiae*. Les concentrations pour le lot levure et le lot témoin été comme suit $122,2 \pm 146,51$ g/l & $115,7 \pm 170,12$ g/l respectivement avec un $P= 0,52$.

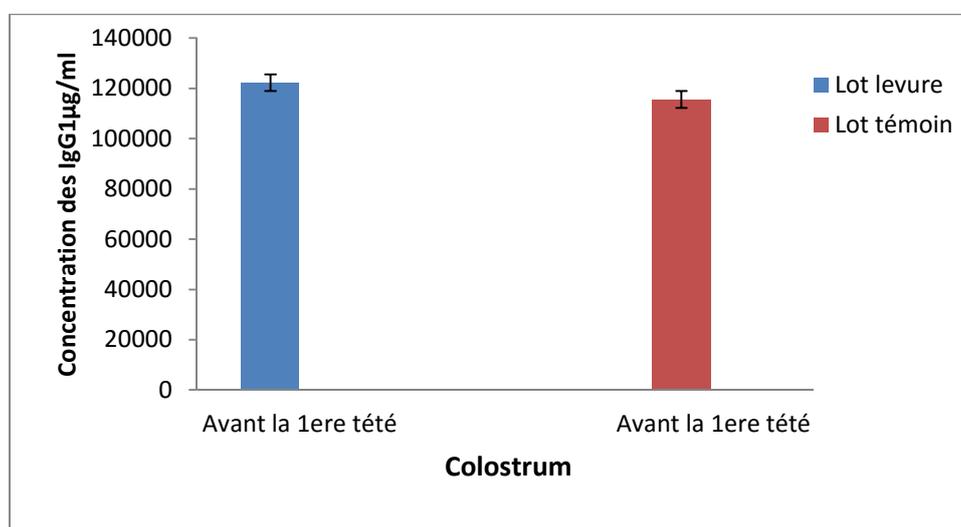


Figure 24 : Effet de la supplémentation en levure SC sur la concentration en IgG1 du colostrum des poulinières avant la première tété (n=21)

La concentration des IgG1 dans le colostrum des deux lots expérimentaux supplémenté et non supplémenté par *Saccharomyces cerevisiae* SC 47 est démontré dans la figure 25, Les concentrations pour le lot levure et le lot témoin été comme suite $122,25 \pm 145,59$ g/l & $104,51 \pm 157,15$ g/l respectivement.

Il y a une différence statistique significative pour la concentration des IgG1 colostrales suite à la supplémentation des rations des poulinières avec la levure probiotique *saccharomyces cerevisiae*, avec un $P=0,02$

Résultats

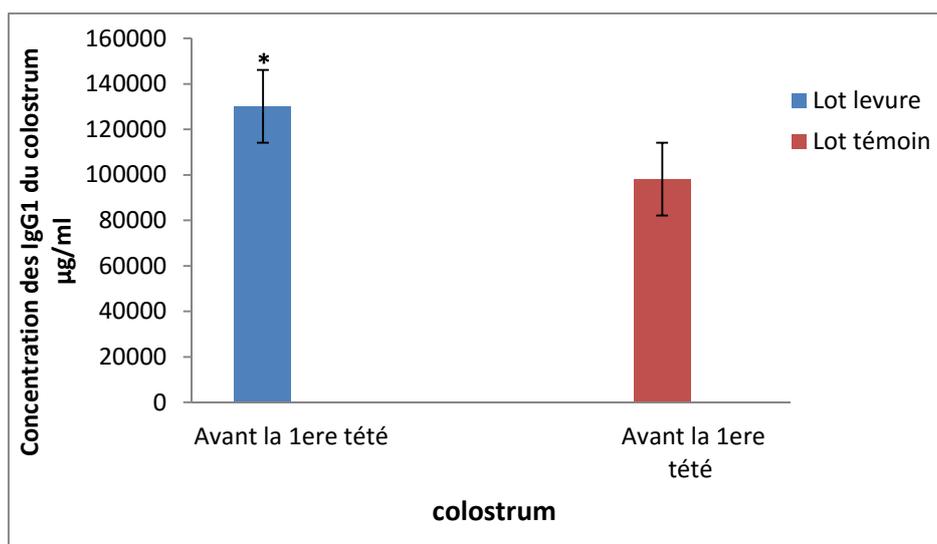


Figure 25 : Effet de la supplémentation en levure SC sur la concentration en IgG1 du colostrum des poulinières avant la première tété (n=24)

2- Concentration des IgG1 dans le sérum des poulains :

La figure 26 montre les concentrations des IgG1 dans le sérum des poulains supplémenté et non supplémenté par *Saccharomyces cerevisiae* souche (CNCM I-1077), on a noté qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux lot expérimentales, avec des concentration sanguines d'IgG1 des poulains juste avant la première prise du colostrum (Jours post-partum 0h) pour le lot levure et le lot témoin $3,44 \pm 1,90$ g/l & $3,55 \pm 1,78$ g/l respectivement avec un $P= 0,12$; et une concentration d'IgG1 après 24-48h post-partum de la prise colostrale des deux lots $92,59 \pm 48,38$ g/l & $81,90 \pm 57,27$ g/l respectivement, avec un $P= 0,08$.

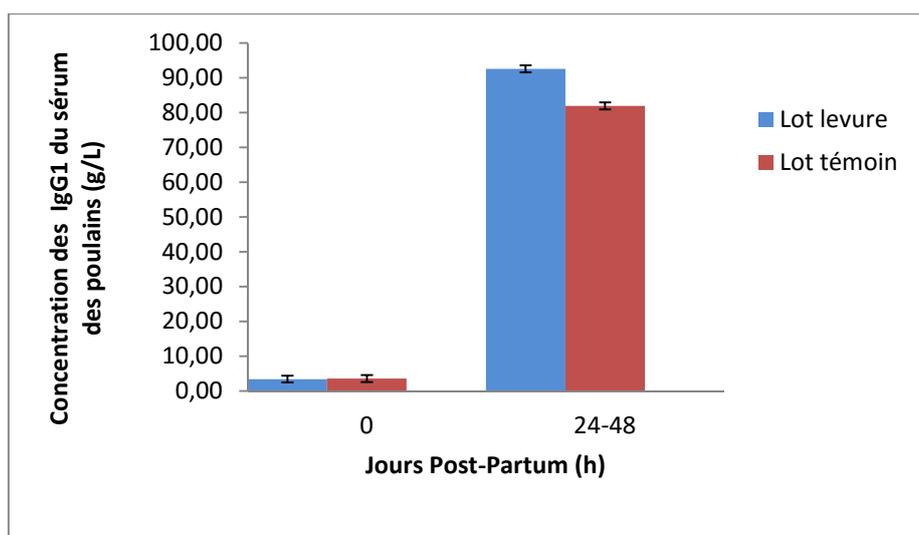


Figure26 : Effet de la supplémentation en levure SC sur la concentration en IgG1 du sérum des poulains (n=21)

Résultats

La figure 27 montre les concentrations des IgG1 dans le sérum des poulains supplémenté et non supplémenté par *Saccharomyces cerevisiae* Sc 47, on a noté qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux lot expérimentales avec des concentration sanguines d'IgG1 des poulains juste avant la première prise du colostrum (Jours post-partum 0h) pour le lot levure et le lot témoin $4,68 \pm 0,96$ g/l & $4,41 \pm 1,07$ g/l respectivement avec un $P= 0,88$; mais on a pue déterminé une différence significative des concentrations d'IgG1 après 24-48h post-partum de la prise colostrale des deux lots $98,43 \pm 39,76$ g/l & $76,92 \pm 51,23$ g/l respectivement, avec un $P= 0,008$.

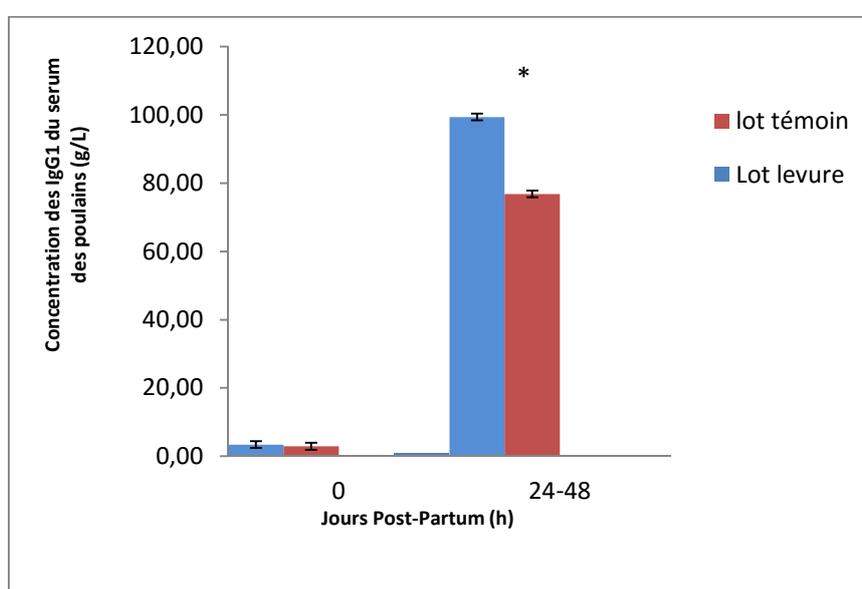


Figure 27 : Effet de la supplémentation en levure SC sur la concentration en IgG1 du sérum des poulains (n=24)

3- Variation de la concentration des IgG1 colostrales en fonction de l'âge des juments :

La figure 28 montre la variation de la concentration des IgG1 colostrales en fonction de l'âge des juments, les classes d'âges des juments ont montrés une variation significative avec des concentration d'IgG1 variant de 83,31 g/L pour la classe d'âge 3-5 ans à 147,42 g/L pour la classe d'âge 12-14 ans et des valeurs de 93,36 g/L, 107,83 g/L , 100,67 pour les classes d'âges 6-8 ans, 9-11ans et >15 ans respectivement. L'ANOVA à révéler une différence très significative $P= 0,005$.

Résultats

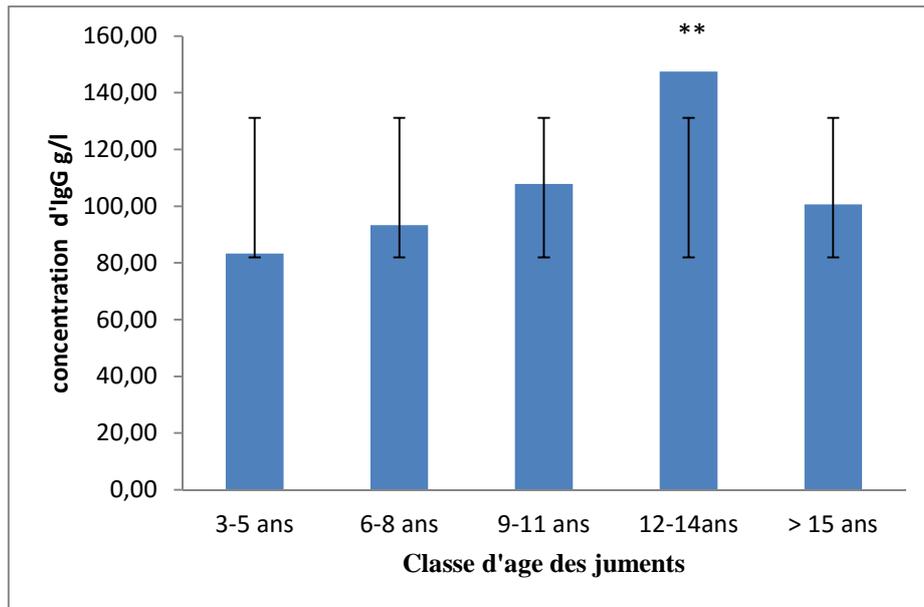


Figure 28 : Concentration des IgG1 colostrales en fonction des classes d'âges des juments

4- Variation de la concentration des IgG1 colostrales en fonction de la race des juments :

La figure 29 montre la variation de la concentration des IgG1 colostrales en fonction de la race des juments, les races des juments ont montrés une variation significative avec des concentrations d'IgG1 variant de 27,8 g/L pour les Anglo-arabes à 166,6 g/L pour les juments Arabes-barbes et des concentrations de 105,8 g/L et 101,3 g/L pour les Barbes et Arabes respectivement.

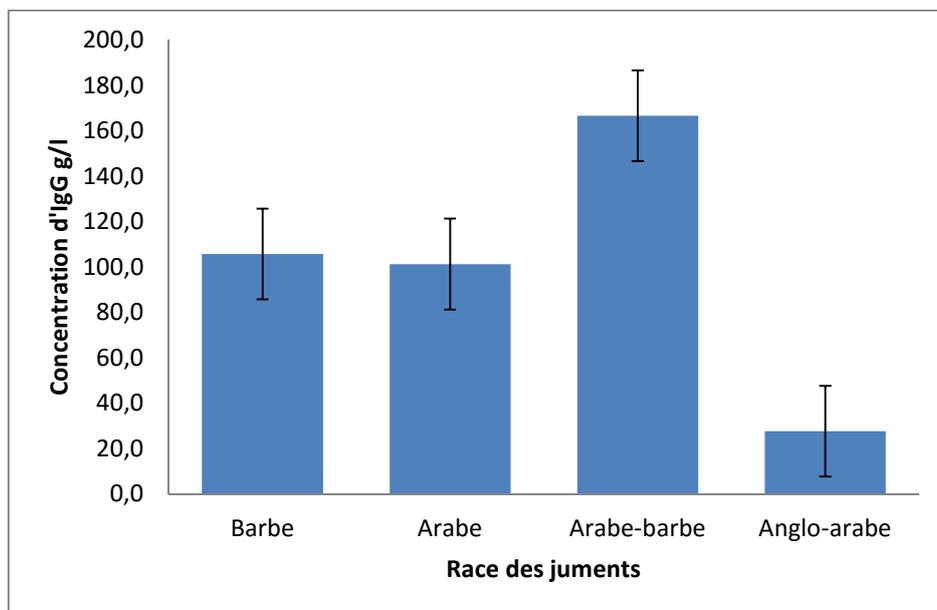


Figure 29 : Concentration des IgG1 colostrales en fonction des races de juments

Résultats

5- Effet de la supplémentation en levure de la ration des poulinières sur la croissance des poulains :

Les résultats des poids des poulains supplémenté et non supplémenté par la levure probiotique *saccharomyces cerevisciae souche* (CNCM I-1077) sont représentés dans le tableau 12 et la figure 30.

On à noté durant l'expérimentation que les deux lots avaient presque la même moyenne de poids au premier mois post partum $77,55 \pm 11,25$ Kg pour le lot levure et $74,02 \pm 15,01$ Kg pour le lot témoin, une croissance linéaire est observer durant le reste de l'expérimentation avec des valeurs plus grandes pour le lot levure $105,98 \pm 17,16$ Kg, $143,20 \pm 18,02$ Kg, $172,66 \pm 15,27$ Kg, $195,75 \pm 14,21$ Kg, $207,14 \pm 13,71$ Kg pour le 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et le 6^{ème} mois post partum respectivement.

Les valeurs du lot témoin était comme suit $103,36 \pm 22,11$ Kg, $137,48 \pm 31,76$ Kg, $159,16 \pm 27,06$ Kg, $176,40 \pm 26,30$ Kg, $188,20 \pm 29,24$ Kg pour le 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et le 6^{ème} mois post partum respectivement.

L'analyse statistique à révéler une différence significative pour le 4^{ème} mois et une différence très significative pour le 5^{ème} et le 6^{ème} mois post partum avec un $P=0,04$, $P=0,002$ et $P=0,005$ respectivement

Tableau 12 : Evolution du poids des poulains durant les 6 premier mois de vies (Kg) comparaison entre le lot supplémenté par *saccharomyces cerevisciae souche* (CNCM I-1077) et le lot témoin

Poulains	1er mois	2ème mois	3ème mois	4ème mois	5ème mois	6ème mois
	93,5	143	197	215	228,5	237,5
	80	102,5	129,5	179	197	219,5
	84,5	107	143	170	183,5	201,5
	75,5	98	134	165,5	183,5	197
	93,5	102,5	170	188	219,5	224
	80	120,5	143	174,5	188	206
	66,5	89	138,5	170	206	206
	71	93,5	138,5	161	183,5	201,5
	62	89	129,5	152	183,5	201,5
	80	102,5	129,5	179	197	219,5
	89	120,5	161	183,5	215	225
	80	98	138,5	170	201,5	210,5
	84,5	102,5	143	183,5	197	210,5
	71	102,5	125	156,5	174	192,5

Résultats

	48,5	71	111,5	143	170	174
	71	89	129,5	161	183,5	215
	71	111,5	143	179	197	210,5
	80	125	152	170	197	197
	89	125	152	183,5	206	206
	62	98	138,5	165,5	210,5	206
	93,5	143	170	192,5	192,5	212,5
Moyenne	77,55	105,98	143,20	172,66	195,75	207,14
Ecart type	11,25	17,16	18,02	15,27	14,21	13,71

Poulains	1^{er} mois	2^{ème} mois	3^{ème} mois	4^{ème} mois	5^{ème} mois	6^{ème} mois
	66,5	89	138,5	170	206	206
	53	50	48,5	62	84,5	80
	89	107	129,5	156,5	183,5	192,5
	71	107	143	161	174	201,5
	66,5	93,5	138,5	170	183,5	201,5
	71	147	156,5	179	188	210,5
	93,5	138,5	165,5	197	192,5	210,5
	53	102,5	125	152	161	170
	89	125	228,5	183,5	188	206
	93,5	116	161	170	183,5	192,5
	57,5	89	125	138,5	161	179
	71	57,5	80	120,5	138,5	143
	98	120,5	147,5	183,5	206	215
	71	102,5	143	179	197	206
	75,5	107	143	170	197	206
	57,5	107	143	170	188	206
	98	111,5	129,5	138,5	161	174,5
	93,5	125	129,5	152	161	183,5
	52	93,5	143	161		183,5
	62	80	129,5	170	188	206
	71	102,5	129,5	152	174,5	170
	75,5	102,5	147,5	165,5	188	197
Moyenne	74,02	103,36	137,48	159,16	176,40	188,20
Ecart type	15,01	22,11	31,76	27,06	26,30	29,24

Résultats

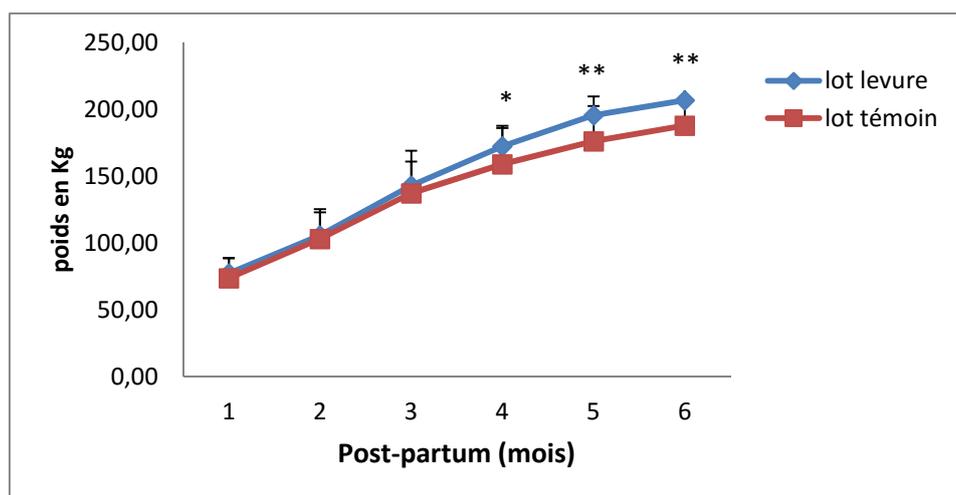


Figure 30 : Effet de la supplémentation en *saccharomyces cerevisiae souche* (CNCM I-1077) sur l'évolution du poids des poulains (Kg).

Les résultats des poids des poulains supplémenté et non supplémenté par la levure probiotique *saccharomyces cerevisiae* SC 47 sont représentés dans le tableau 13 et la figure 31.

On à noté durant l'expérimentation que les deux lots avaient presque la même moyenne de poids au premier mois post partum $78,02 \pm 10,05$ Kg pour le lot levure et $73,57 \pm 14,81$ Kg pour le lot témoin, une croissance linéaire est observer durant le reste de l'expérimentation avec des valeurs plus grandes pour le lot levure $106,16 \pm 17,01$ Kg, $144,26 \pm 17,84$ Kg, $173,20 \pm 15,06$ Kg, $196,48 \pm 13,40$ Kg, $208,59 \pm 14,35$ Kg pour le 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et le 6^{ème} mois post partum respectivement.

Les valeurs du lot témoin était comme suit $102,23 \pm 22,18$ Kg, $136,52 \pm 32,14$ Kg, $158,25 \pm 26,92$ Kg, $176,11 \pm 25,73$ Kg, $186,93 \pm 28,50$ Kg pour le 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} et le 6^{ème} mois post partum respectivement.

L'analyse statistique à révéler une différence significative pour le 4^{ème} mois et une différence très significative pour le 5^{ème} et le 6^{ème} mois post partum avec un $P=0,046$, $P=0,003$ et $P=0,005$ respectivement.

Résultats

Tableau 13 : évolution du poids des poulains durant les 6 premier mois de vies comparaison entre le lot supplémenté par *saccharomyces cerevisiae* SC 47 et le lot témoin

Poulains	1 ^{er} mois	2 ^{ème} mois	3 ^{ème} mois	4 ^{ème} mois	5 ^{ème} mois	6 ^{ème} mois
	93,5	143	197	215	228,5	237,5
	80	102,5	129,5	179	197	219,5
	84,5	107	143	170	183,5	201,5
	75,5	98	134	165,5	183,5	197
	93,5	102,5	170	188	219,5	224
	80	120,5	143	174,5	188	206
	66,5	89	138,5	170	206	206
	71	93,5	138,5	161	183,5	201,5
	62	89	129,5	152	183,5	201,5
	80	98	134	156,5	192,5	183,5
	80	102,5	129,5	179	197	219,5
	89	120,5	161	183,5	215	225
	80	98	138,8	170	201,5	210,5
	84,5	102,5	143	183,5	197	210,5
	71	102,5	140	156,5	174	192,5
	52	71	111,5	143	183	174
	71	92	129,5	173	183,5	215
	72	111,5	143	179	197	210,5
	80	125	160	170	200	197
	89	125	152	183,5	206	224
	68	99	138,5	165,5	210,5	220
	93,5	143	170	192,5	192,5	212,5
Moyenne	78,02	106,16	144,26	173,20	196,48	208,59
Ecart type	10,50	17,01	17,84	15,06	13,40	14,35

Poulains	1 ^{er} mois	2 ^{ème} mois	3 ^{ème} mois	4 ^{ème} mois	5 ^{ème} mois	6 ^{ème} mois
	66,5	89	138,5	170	206	206
	53	50	48,5	62	84,5	80
	89	107	129,5	156,5	183,5	192,5
	71	107	143	161	174	201,5
	66,5	93,5	138,5	170	183,5	201,5
	71	147	156,5	179	188	210,5
	91,5	138,5	165,5	197	192,5	210,5
	53	102,5	125	152	161	170

Résultats

	89	125	228,5	183,5	188	206
	91,5	116	161	170	183,5	192,5
	57,5	89	125	138,5	161	179
	71	57,5	80	120,5	138,5	143
	98	120,5	147,5	183,5	206	206
	71	102,5	143	179	197	203
	75,5	107	143	170	197	206
	57,5	107	143	160	188	202
	98	102,5	129,5	138,5	161	174,5
	93,5	125	129,5	152	161	183,5
	52	93,5	143	161	170	183,5
	62	80	117,5	170	188	194
	71	95,5	120,5	152	174,5	170
	69,5	93,5	147,5	155,5	188	197
Moyenne	73,57	102,23	136,52	158,25	176,11	186,93
Ecart type	14,81	22,18	32,14	26,92	25,73	28,50

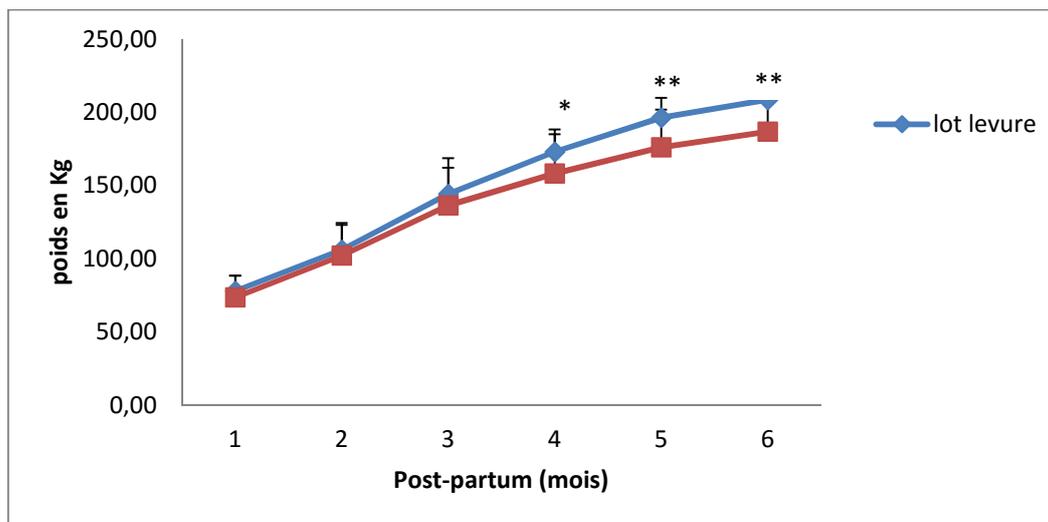


Figure 31 : effet de la supplémentation en *saccharomyces cerevisiae* SC 47 sur l'évolution du poids des poulains

Le gain moyen quotidien des poulains est représenté dans le tableau 14 et la figure 32 pour les deux lots expérimentales supplémenté en *Saccharomyces cerevisiae* souche (CNCM I-1077) et témoin.

On a pu calculer le GMQ des poulains durant la période expérimentale et les valeurs enregistrées pour le lot levure étaient supérieur par rapport au lot témoin spécialement pour le

Résultats

2^{ème}, 3^{ème} et le 4^{ème} mois post partum 1,24 Kg, 0,98 Kg, 0,77 Kg respectivement pour le lot levure et 1,14 Kg, 0,72 Kg et 0,57 Kg respectivement pour le lot témoin.

L'analyse statistique à montré une différence significative pour le 2^{ème} mois et une différence très significative pour le 3^{ème} et le 4^{ème} mois post partum avec des P=0,024, P=0,001 et P=0,006 respectivement.

Tableau 14 : GMQ des poulains supplémenté et non supplémenté par *Saccharomyces cerevisiae* souche (CNCM I-1077)

	30	60	90	120	150
	105,98	143,2	172,66	195,75	207,14
	77,55	105,98	143,2	172,66	195,75
	28,43	37,22	29,46	23,09	11,39
GMQ Kg\J	0,94	1,24	0,98	0,77	0,37

	30	60	90	120	150
	103,36	137,48	159,16	176,4	188,2
	74,02	103,36	137,48	159,16	176,4
	29,34	34,12	21,68	17,24	11,8
GMQ Kg\J	0,98	1,14	0,72	0,57	0,39

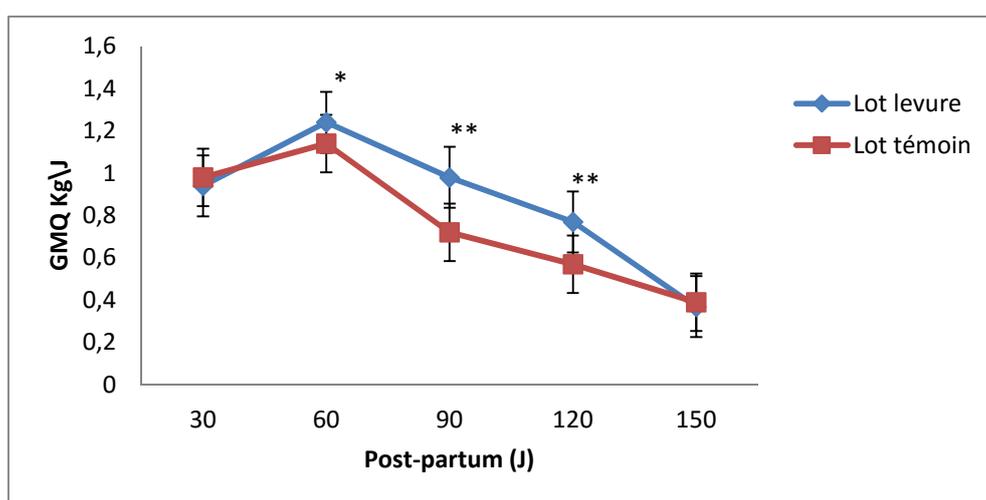


Figure 32 : variation du gain moyen quotidien des poulains supplémenté et non supplémenté par *Saccharomyces cerevisiae* souche (CNCM I-1077)

Le gain moyen quotidien des poulains est représenté dans le tableau 15 et la figure 33 pour les deux lots expérimentales supplémentés en *Saccharomyces cerevisiae* SC 47 et témoin.

Résultats

Le GMQ des poulains durant la période expérimentale et les valeurs enregistrées pour le lot levure étaient supérieures par rapport au lot témoin spécialement pour le 2^{ème}, 3^{ème} et le 4^{ème} mois post partum 1,27 Kg, 0,96 Kg, 0,77 Kg respectivement pour le lot levure et 1,10 Kg, 0,70 Kg et 0,59 Kg respectivement pour le lot témoin.

L'analyse statistique a montré une différence significative pour le 2^{ème} mois et une différence très significative pour le 3^{ème} et le 4^{ème} mois post partum avec des $P=0,028$, $P=0,009$ et $P=0,007$ respectivement.

Tableau 15 : GMQ des poulains supplémenté et non supplémenté par *Saccharomyces cerevisiae* SC47

	30	60	90	120	150
	106,16	144,26	173,2	196,48	208,59
	78,02	106,16	144,26	173,2	196,48
	28,14	38,1	28,94	23,28	12,11
GMQ Kg\J	0,94	1,27	0,96	0,77	0,4

	30	60	90	120	150
	102,23	136,52	158,25	176,11	186,93
	73,57	100,23	133,52	158,25	176,11
	28,66	32,29	20,73	17,86	10,82
GMQ Kg\J	0,95	1,10	0,70	0,59	0,36

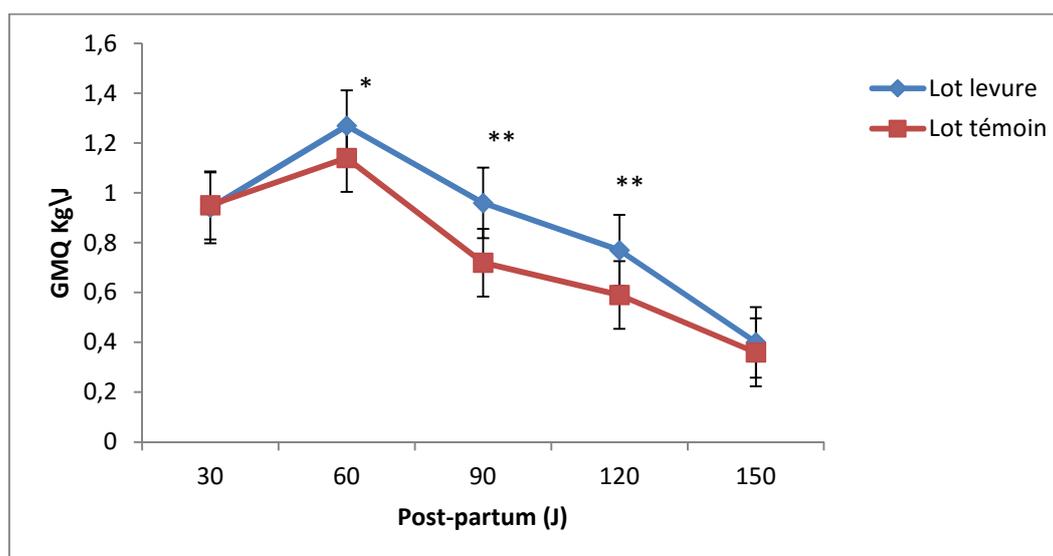


Figure 33 : variation du gain moyen quotidien des poulains supplémenté et non supplémenté par *Saccharomyces cerevisiae* SC 47

Résultats

6- Corrélation entre le dosage des IgG1 par l'IDR et le réfractomètre :

Le tableau 16 montre les différentes valeurs enregistrées par les deux méthodes (IDR et réfractomètres), la figure 32 montre la corrélation entre les valeurs enregistrées par la méthode de choix (IDR) et la méthode clinique (Réfractométrie).

On a enregistré une corrélation positive entre les deux méthodes d'analyses avec un coefficient $r = 0,65$ (liaison étroite entre les valeurs enregistrées par l'IDR et les valeurs enregistrées par le réfractomètre).

Les valeurs maximales enregistrées pour le test IDR et le réfractomètre étaient comme suit 182,2 g/l et 23% respectivement et le minimum de 12,3 g/l et 7 % respectivement.

Le test statistique t de student montre un $p = 0,0001$ pour le coefficient $r = 0,65$. Avec une ddl $n-1 = 29$ Ce qui signifie que la corrélation est très hautement significative.

Tableau 16 : Comparaison des concentrations d'IgG1 colostrales déterminée par l'IDR et le Réfractomètre

Juments	IDR (g/l)	Réfractomètre (%)
ouarda	115	10
rimeh	93,3	10
quissa	117,1	14
quilada	73,36	9
opera	27,75	9
rokhsa	73,36	11
léticia	151	14
noudjoud	123,4	18
nouria	44,4	17
m.chaouchaoua	44,4	8
l'hendia	12,3	7
labiba	27,7	7
lemassa	160	23
malizia	117	16
lounjana	160	23
khalifa	93,3	15
iraquia	151	22
kamelia	12,4	12

Résultats

julia	93	17
kafaza	180	23
khedaouej	117,3	16
cyara	151,1	14
fatra	149,3	13
hania	182,2	13
fayrouz	124,9	14
dawha	129,6	15
boussra	117,3	14
boussada	122,3	16
dabladja	62,4	16
bouira	129,64	22
Moyenne	105,19	14,6
Ecart type	48,98	4,70
max	182,2	23
min	12,3	7

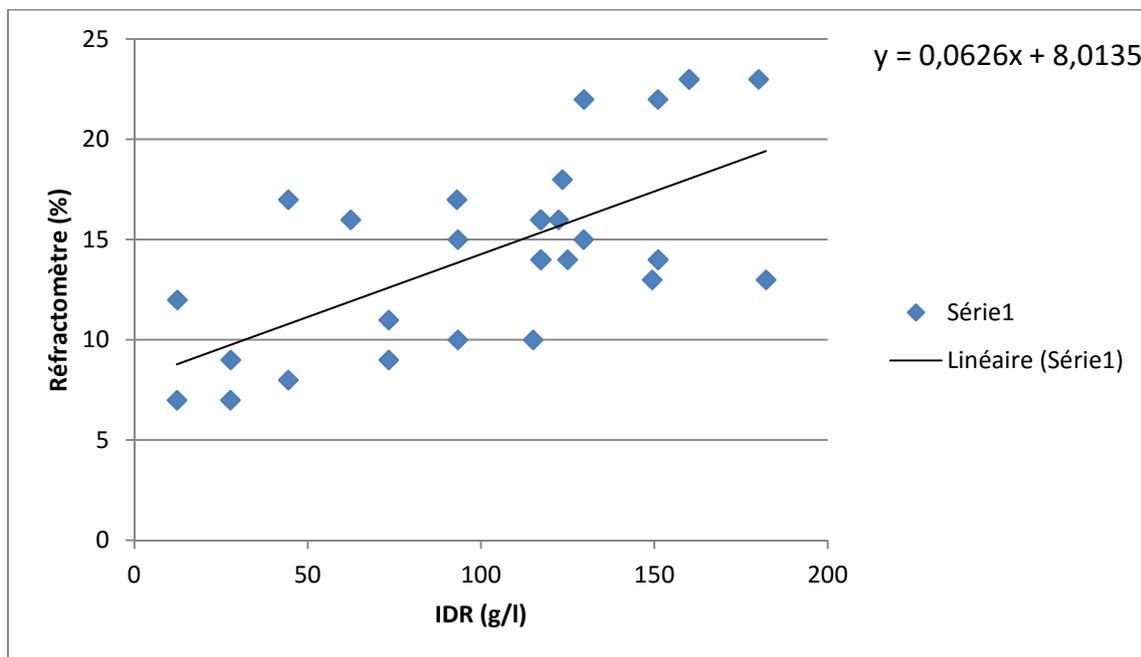


Figure 32 : Corrélation entre les concentrations des IgG1 colostrales doser avec deux méthodes l’IDR et la Réfractométrie

Résultats

DEUXIEME VOLET : EFFET DU PROBIOTIQUE *S. CEREVISIAE* SUR LES PARAMETRES METABOLIQUES :

A- Biochimie :

1- Effet sur la glycémie :

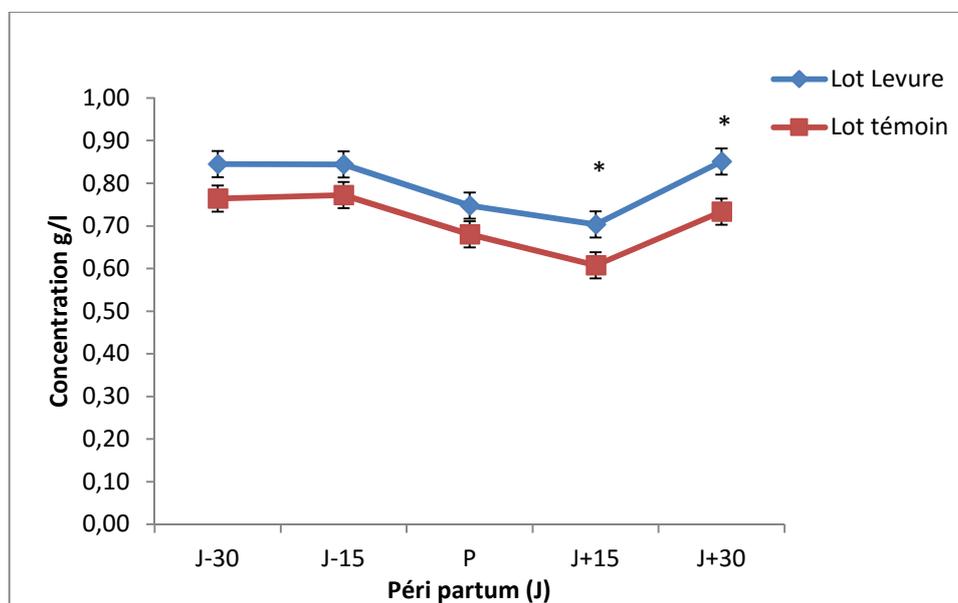


Figure 35 : évolution de la Glycémie (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

La figure 35 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en glucose des juments en peripartum.

Nous pouvons noter, tout d'abord, qu'à J-30 (avant la supplémentation), les juments avait une glycémie presque comparable : $0,76 \pm 0,09$ g/l et $0,85 \pm 0,16$ g/l en moyenne pour le lot témoin et le lot supplémenté respectivement. Ces valeurs restais stables à J-15 puis chutent au poulinage avec une moyenne de $0,68 \pm 0,13$ et $0,75 \pm 0,18$ g/l pour le lot témoin et le lot supplémenté respectivement, puis atteignent les valeurs les plus basses à J+15 avec une moyenne de $0,61 \pm 0,10$ et $0,70 \pm 0,12$ g/l pour le lot témoin et le lot supplémenté respectivement, à partir de cette date la glycémie à augmenter pour atteindre une valeur moyenne de $0,73 \pm 0,09$ et $0,85 \pm 0,16$ g/l pour le lot témoin et le lot supplémenté respectivement.

L'analyse statistique à révéler une différence significative pour la glycémie à J+15 et J+30 entre les deux lots avec un $P=0,049$ et $P=0,034$ respectivement.

Résultats

Signalons enfin que les valeurs plasmatiques du glucose enregistrées chez l'ensemble des juments supplémentées et non supplémentées en levure probiotique rentrent dans les valeurs normales de la glycémie (0.5 à 1.07 g/l).

2. Effet sur l'Urémie :

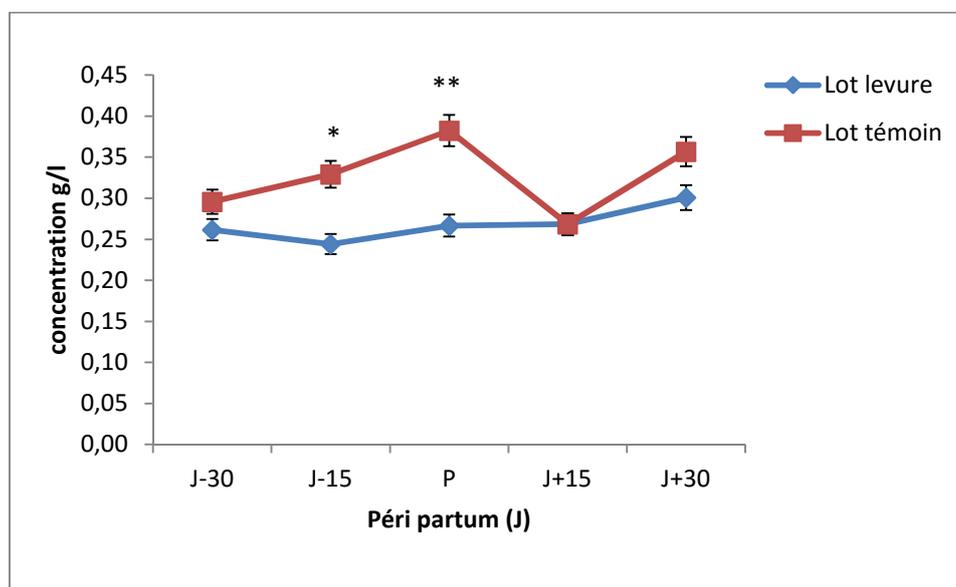


Figure 36 : évolution de l'urémie (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

La figure 36 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Urée des juments en peripartum.

Nous pouvons noter, que les valeurs de l'urémie était pour le lot témoin plus grandes par rapport aux valeurs du lot levure, et que durant cette expérimentation les valeurs les plus hautes était observer au poulinage avec une moyenne de $0,38 \pm 0,12$ g/l pour le lot témoin.

Nous avons pu notés que l'urémie chez le lot levure à rester stable et na pas fluctuer avec des valeurs qui varient de 0,24 à 0,30 par rapport au lot témoin dont les concentrations varient de 0,27 à 0,38.

L'analyse statistique à révéler une différence significative pour l'urémie à J-15 avec un $P=0,012$ et une différence très significative au poulinage avec un $P=0,004$ entre les deux lots.

Signalons que les valeurs plasmatiques de l'urée enregistrées chez l'ensemble des juments supplémentées en levure probiotique rentrent dans les valeurs normales de l'urémie

Résultats

(0.11 à 0.28 g/l), mais les valeurs enregistrées pour le lot témoin était supérieur à la plage des valeurs usuelles durant presque toute la période expérimentale.

3. Effet sur la Créatininémie :

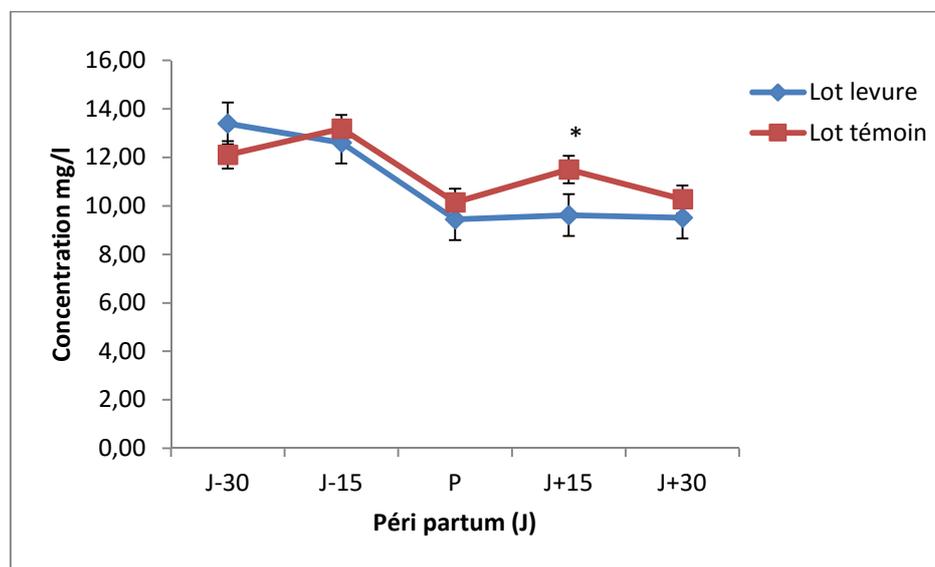


Figure 37: évolution de la créatininémie (mg/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

La figure 37 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Créatinine des juments en peripartum.

Nous avons enregistré au premier mois une légère différence entre les deux lots avec le lot levure qui emporte sur le lot témoin $13,40 \pm 2,73$ mg/l, à J-15 la créatininémie du lot témoin a augmenté et celle du lot levure a diminué $13,18 \pm 3,00$ mg/l & $12,61 \pm 4,28$ mg/l respectivement. A partir du poulinage les concentrations en créatinine pour le lot témoin était plus grandes par rapport au lot levure $10,14 \pm 1,90$ mg/l & $9,45 \pm 4,26$ mg/l, $11,50 \pm 2,67$ mg/l & $9,62 \pm 1,63$ mg/l, $10,27 \pm 1,77$ mg/l & $9,52 \pm 1,94$ mg/l au Poulinage, J+15 ET J+30 respectivement.

L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre Les deux lots durant toute l'expérimentation exceptée à J+15 avec un $P=0,049$

Résultats

4. Effet sur les protéines totales :

La figure 38 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Protéines totales des juments en peripartum.

La protéinémie initiale mesurée juste avant le début de la supplémentation (J-30) était presque similaire chez le lot témoin par rapport au lot levure : $47.67 \pm 7,99$ g/l vs $45.92 \pm 10,02$ g/l respectivement.

A partir de J-15 à J+30 post partum les valeurs moyennes des protéines totales pour le lot levure était plus grandes par rapport à celles des valeurs moyennes du lot témoin $50.44 \pm 9,02$ g/l vs $45.36 \pm 14,32$ g/l respectivement à J-15, $43.42 \pm 9,70$ g/l vs $41.25 \pm 11,69$ g/l au poulinage, $45.58 \pm 5,33$ g/l vs $43.67 \pm 7,18$ g/l à J+15.

A J+30 la concentration des protéines totales pour le lot supplémenté par *saccharomyces cerevisiae* était nettement plus élevée par rapport au lot non supplémenté avec des valeurs de $61.41 \pm 10,85$ g/l vs $51.07 \pm 12,44$ g/l respectivement.

Pour l'analyse statistique, le test ANOVA 1 facteur à montré une différence significative juste pour le J+30 avec un $P=0,041$.

Les valeurs de la protéine totales étaient légèrement basses par rapport à la plage des valeurs usuelles (57-77 g/l) durant toute la période expérimentale sauf à J+30 ou on a noté des valeurs similaires aux normes de la littérature.

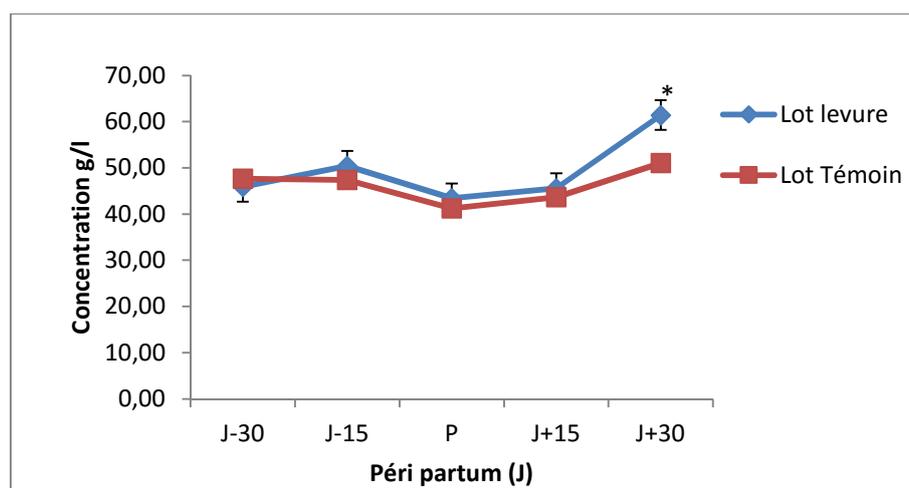


Figure 38 : évolution de la protéine totale (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

5. Effet sur la Cholestérolémie :

Les résultats relatifs à la cholestérolémie des juments témoins et supplémentées en *S.cerevisiae* en péripartum sont présentés dans la figure 39.

Les concentrations de cholestérol au début de l'expérimentation étaient similaires pour les deux lots $0,71 \pm 0,15$ g/l & $0,74 \pm 0,18$ g/l pour le lot levure et le lot témoin respectivement. À J-15 on a noté une légère élévation des concentrations de cholestérol pour les deux lots levure et témoin respectivement $0,83 \pm 0,30$ g/l & $0,85 \pm 0,24$ g/l. Puis une chute de cette concentration était observée au poulinage $0,71 \pm 0,29$ g/l & $0,67 \pm 0,21$ g/l et à J+15 $0,58 \pm 0,18$ g/l & $0,61 \pm 0,20$ g/l.

À la fin de l'expérimentation J+30 les valeurs moyennes de la cholestérolémie ont augmenté pour atteindre les valeurs : $0,98 \pm 0,17$ g/l & $0,70 \pm 0,26$ g/l pour le lot supplémenté par la levure probiotique et celui témoin respectivement.

Le test statistique a montré une différence très significative à J+30 avec un $P=0,006$.

Les valeurs de la cholestérolémie enregistrées durant la période expérimentale étaient dans la plage des valeurs usuelles (0,51 – 1,29 g/l).

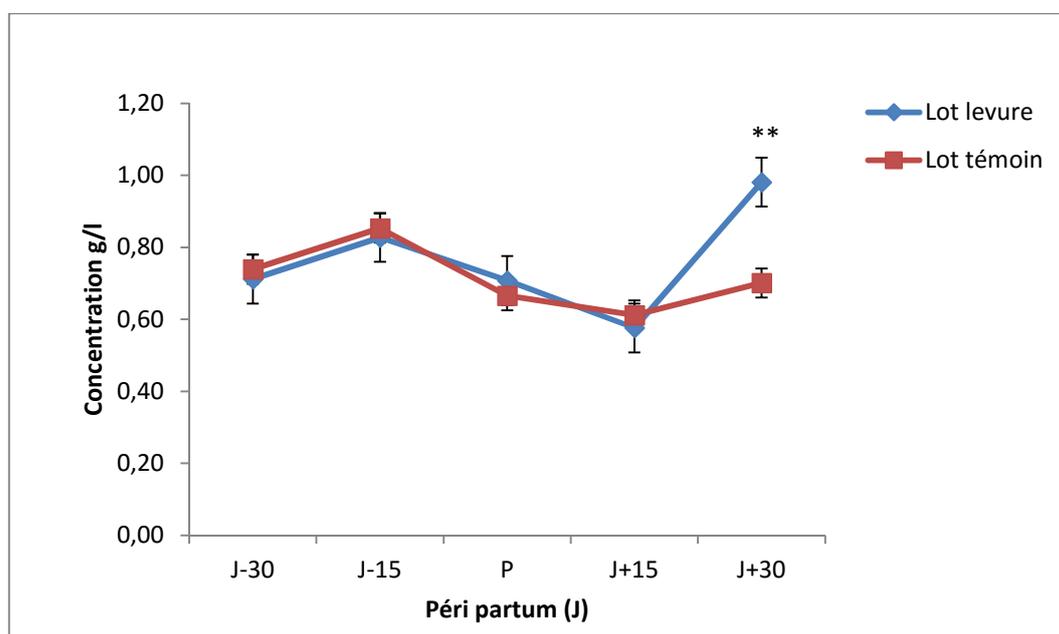


Figure 39 : évolution de la Cholestérolémie (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

6. Effet sur les Triglycérides :

La figure 40 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Triglycérides des juments en peripartum.

A J-30 on a noté des valeurs égales pour le lot levure et le lot témoin $0,38 \pm 0,17$ g/l, à partir de J-15 on a remarqué une diminution des concentrations des triglycérides pour les deux lots avec une diminution plus importante pour le lot témoin $0,34 \pm 0,22$ g/l, $0,23 \pm 0,06$ g/l, $0,18 \pm 0,04$ g/l respectivement par rapport au lot levure $0,36 \pm 0,21$ g/l, $0,31 \pm 0,27$ g/l, $0,20 \pm 0,04$ g/l respectivement jusqu' au J+15 où les concentrations étaient à leurs bas niveau. A J+30 les Concentrations des triglycérides augmentaient pour atteindre $0,43 \pm 0,08$ g/l & $0,36 \pm 0,12$ g/l pour le lot levure et le lot témoin respectivement.

Au cours de toute la période expérimentale l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre les deux lots ($P > 0,05$).

Les valeurs enregistrées au cours de l'expérimentation rentraient dans les valeurs usuelles (0,2-0,43 g/l).

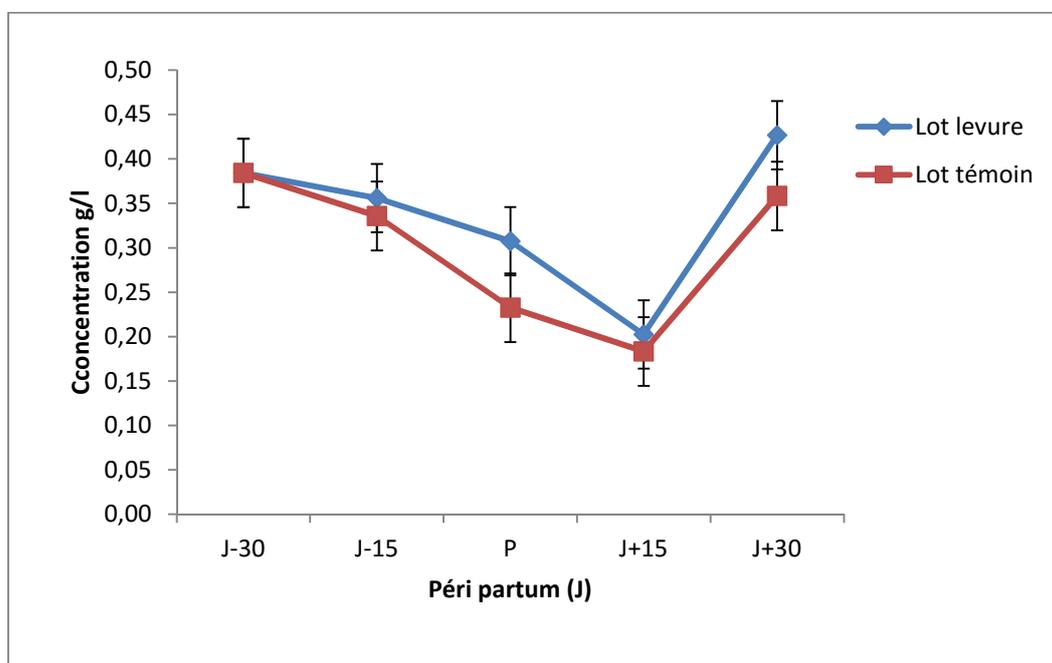


Figure 40 : évolution des Triglycérides (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

7. Effet sur l'albuminémie :

La figure 41 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Albumine des juments en peripartum.

Tout d'abord, nous pouvons constater qu'à J-30 (juste avant le début de la complémentation), les valeurs enregistrées pour l'albuminémie sont légèrement plus élevée pour les juments du lot levure : 26.50 ± 3.23 g/l, en comparaison avec celles mesurées chez les juments témoins : 24.67 ± 3.60 g/l cet écart n'est toutefois pas significatif. ($p=0.462$).

Par la suite on a remarqué qu'entre J-30 et la mise-bas, l'albuminémie diminue chez le lot levure et le lot témoin : 25.08 ± 4.58 g/l & : 23.83 ± 6.42 g/l a J-15 et 23.75 ± 5.31 g/l & : 21.92 ± 6.04 g/l au poulinage respectivement.

Après le part, la teneur plasmatique en albumine des juments non supplémentées en levure probiotique semble encore décroître entre la mise-bas et le 15^{ème} jour postpartum $20,83 \pm 3,27$ g/l puis elle s'élève à J30 postpartum : $21,42 \pm 2,78$ g/l.

En revanche, chez le lot levure, les concentrations sériques de l'albumine s'emblent croître entre la mise-bas et le 30^{ème} jour postpartum $24,50 \pm 3,89$ g/l a J+15 et $28,58 \pm 3,47$ g/l à J+30 post partum.

Statistiquement, on a noté une différence significative entre les deux lots à J+15 $P=0,021$, et une différence très hautement significative à J+30 avec $P=0,000$.

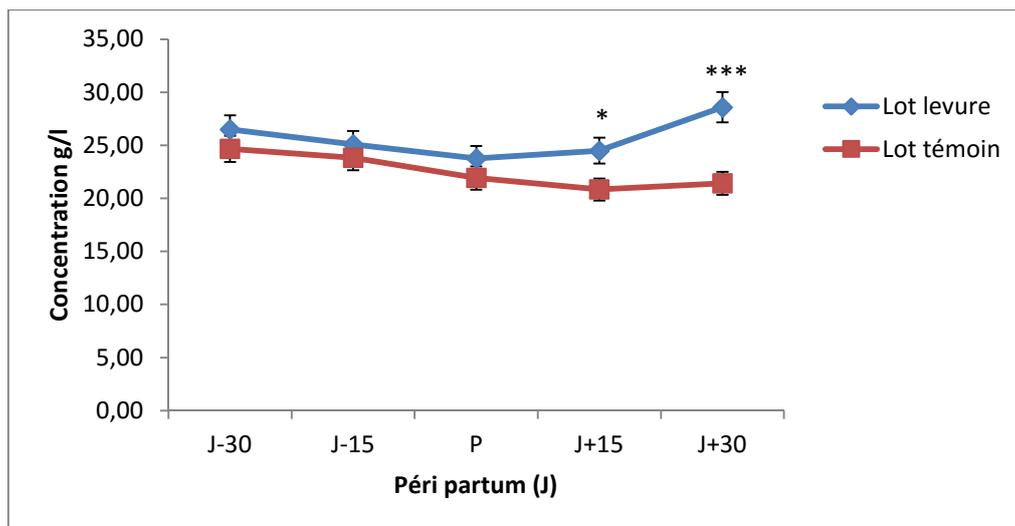


Figure 41 : évolution de L'albuminémie (g/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

B. Enzymes :

1. Effet sur les TGO (AST) :

La figure 42 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en TGO des juments en peripartum.

A J-30 on a noté des valeurs égales pour le lot levure et le lot témoin $66,08 \pm 30,59$ U/l, à partir de J-15 on a remarqué une diminution des concentrations des TGO pour les deux lots avec une chute plus importante pour le lot témoin $61,25 \pm 26,46$ U/l, $45,17 \pm 16,61$ U/l, $39,17 \pm 18,22$ U/l et $38,25 \pm 11,44$ U/l respectivement pour J-15, poulinage, J+15 et J+30 par rapport au lot levure $65,33 \pm 31,94$ U/l, $46,92 \pm 16,47$ U/l, $41,08 \pm 15,37$ U/l respectivement pour J-15, poulinage et J+.

En revanche, chez le lot levure, les concentrations sériques des TGO s'embent croitre après J+15 post partum pour atteindre le 30^{ème} jour postpartum $53,67 \pm 13,56$ U/l.

Au cours de toute la période expérimentale l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre les deux lots à l'exception pour le J+30 ou on a noté une différence très significative avec un $P=0,006$.

Les valeurs enregistrées au cours de l'expérimentation sont au dessous des valeurs usuelles (168-494 U/l).

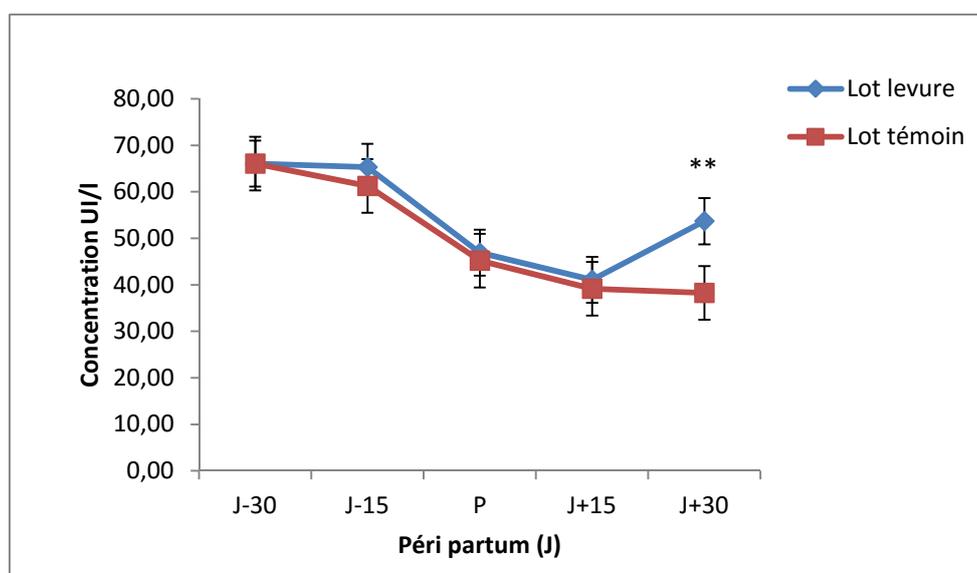


Figure 42 : évolution des TGO (U/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

2. Effet sur les TGP (ALT) :

La figure 43 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en TGP des juments en peripartum.

Au début de l'expérimentation (J-30) les valeurs de TGP étaient égales pour les deux lots, supplémenté et témoin $1,92 \pm 0,51$ U/l.

A J-15 on a noté une légère augmentation des concentrations de TGP pour le lot levure par rapport au lot témoin $2,08 \pm 0,90$ U/l & $2,00 \pm 0,85$ U/l respectivement. Une chute de cette concentration est observée pour les deux lots au poulinage $2,00 \pm 1,27$ U/l & $1,75 \pm 0,97$ U/l pour le lot levure et témoin respectivement.

On note par la suite une chute de la concentration de TGP du lot levure jusqu'à atteindre des valeurs de $1,58 \pm 0,66$ U/l à J+15. En revanche les concentrations de TGP du lot témoin ont augmentées $1,83 \pm 1,03$ U/l.

A J+30 les deux valeurs des deux lots avaient augmentées pour atteindre $2,75 \pm 0,86$ U/l & $2,92 \pm 1,16$ U/l pour le lot levure et le lot témoin respectivement.

L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre les deux lots $P > 0,05$.

Du début à la fin de l'expérimentation les valeurs de TGP enregistrées appartiennent à la plage des valeurs usuelles (0-6 U/L).

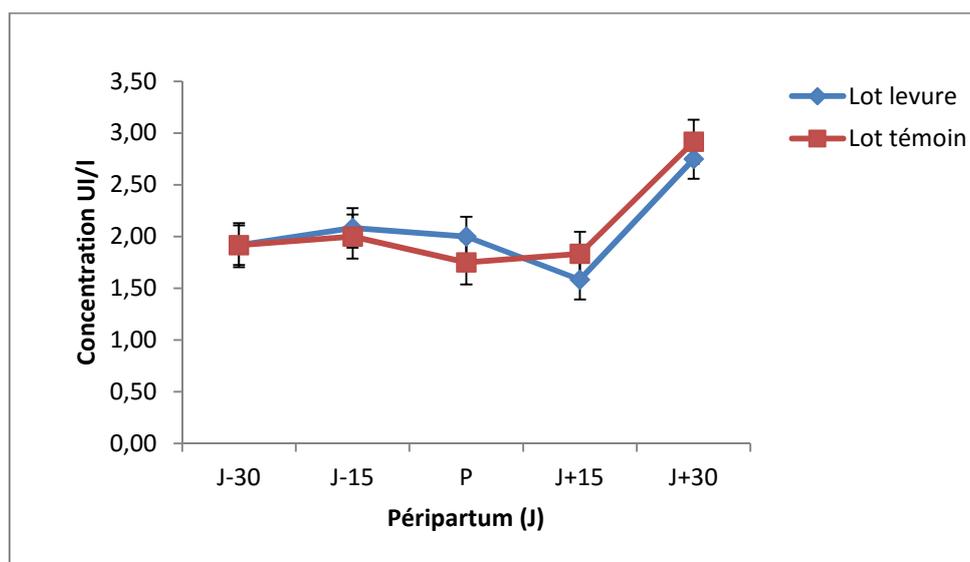


Figure 43: évolution des TGP (U/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

3. Effet sur la Gamma Glutamyl Transférase (GGT) :

La figure 44 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en GGT des juments en peripartum.

A J-30 les valeurs de la GGT étaient presque égales $9,67 \pm 6,41$ U/l Vs $10,42 \pm 2,61$ U/l pour le lot levure et le lot témoin respectivement.

Une élévation des concentrations à J-15 était observée pour les deux lots levure et témoin $20,83 \pm 10,20$ U/l Vs $16,92 \pm 7,13$ U/l ; une chute des concentrations des GGT pour le lot levure et le lot témoin au poulinage et à J+15 était observée $17,33 \pm 12,19$ U/l & $15,17 \pm 6,56$ U/l et $10,75 \pm 3,13$ U/l & $12,58 \pm 4,46$ U/l respectivement.

La concentration des GGT pour le lot témoin a continué à chuter pour le lot témoin jusqu'à atteindre une valeur de $12,42 \pm 3,06$ U/l à J+30, par contre les valeurs du lot levure ont augmenté $13,08 \pm 4,12$ U/l.

Statistiquement, aucune différence significative n'a été trouvée entre les deux lots expérimentales $P > 0,05$.

Du début à la fin de l'expérimentation les valeurs de la GGT appartiennent à la plage des valeurs usuelles (8 – 22 U/l).

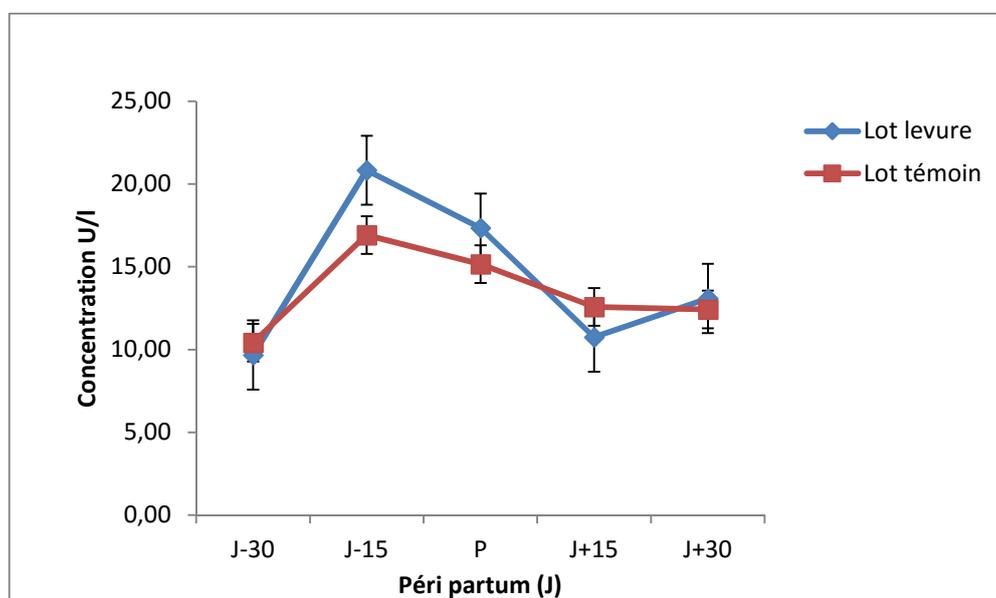


Figure 44 : évolution de la GGT (U/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

C. Ionogramme :

1. Effet sur la Calcémie :

La figure 45 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Calcium des juments en peripartum.

Au début de l'expérimentation (J-30) la calcémie était presque égale pour les deux lots, supplémenté et témoin $73,33 \pm 12,31$ mg/l Vs $72,67 \pm 11,54$ respectivement.

A J-15 on a noté une élévation des concentrations du calcium sérique pour les deux lots levure et témoin $85,25 \pm 20,06$ mg/l & $82,25 \pm 19,59$ mg/l respectivement. A partir de J-15 une chute de cette concentration est observée pour les deux lots au poulinage $70,25 \pm 28,65$ mg/l & $69,92 \pm 28,67$ mg/l, et à J+15 postpartum $68,42 \pm 16,67$ mg/l & $64,92 \pm 17,07$ mg/l pour le lot levure et témoin respectivement.

A J+30 les deux valeurs des deux lots avaient augmentées pour atteindre $69,62 \pm 6,17$ mg/l & $84,42 \pm 9,56$ mg/l pour le lot levure et le lot témoin respectivement.

L'analyse statistique a révélé une différence très significative à J+30 avec un $P=0,001$.

Du début à la fin de l'expérimentation les valeurs de la calcémie enregistrées étaient au dessous de la plage des valeurs usuelles (114-141 mg/l).

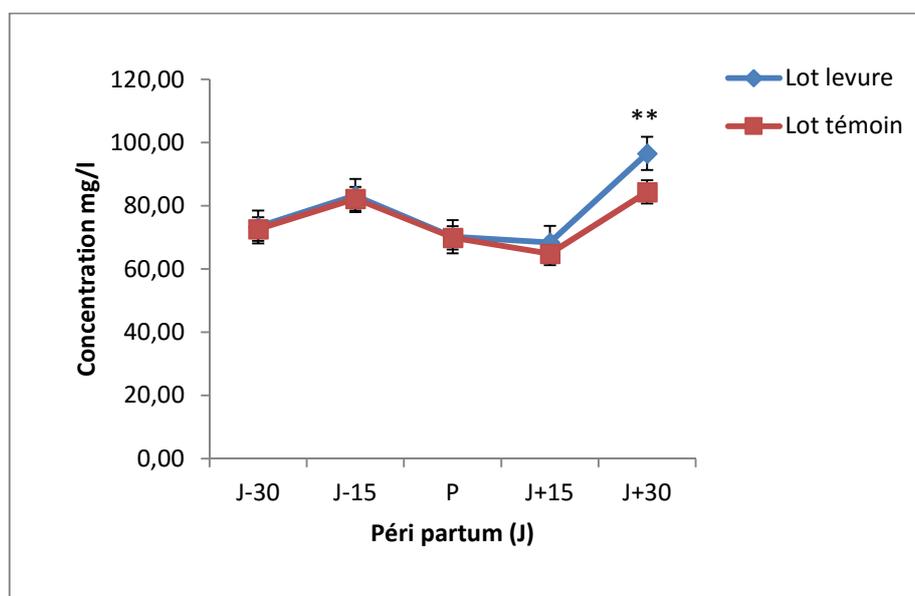


Figure 45 : évolution de la Calcémie (mg/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

2. Effet sur la Phosphatémie :

La figure 46 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Phosphore des juments en peripartum.

Du début à la fin de l'expérimentation les concentrations sériques du phosphore étaient très proches et prenaient une allure croissante.

Juste avant la supplémentation à J-30 on a enregistré une concentration égale pour les deux lots $19,42 \pm 3,00$ mg/l.

A J-15 et au poulinage les concentrations ont atteint les valeurs suivantes $20,50 \pm 4,71$ mg/l , $21,925,19$ mg/l pour le lot levure et $19,92 \pm 4,81$ mg/l , $20,67 \pm 4,81$ mg/l pour le lot témoin.

Une légère chute de la concentration du phosphore était noté à J+15 pour le lot levure $21,75 \pm 3,27$ mg/l puis la concentration a augmenté à J+30 pour atteindre $24,27 \pm 6,46$ mg/l.

Par opposition la phosphatémie du lot témoin n'a cessé d'augmenter durant toute la période de travail avec des valeurs à J+15 de $22,75 \pm 3,77$ mg/l et à J+30 de $23,08 \pm 3,42$ mg/l.

L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative $P > 0,05$.

Depuis le début de l'expérimentation à la fin les concentrations du phosphore étaient dans la plage des valeurs usuelles (21 – 47 mg/l) excepté à J-30 où on a noté une légère baisse par rapport aux valeurs usuelles.

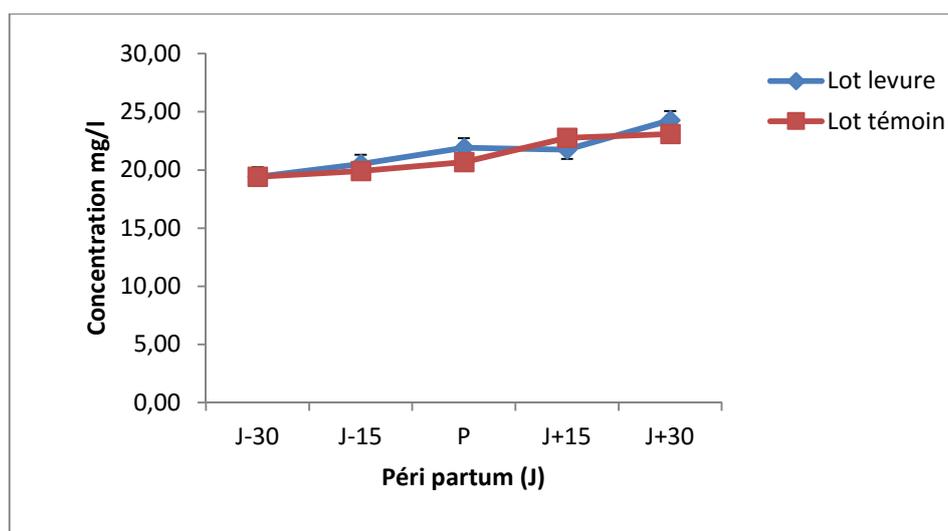


Figure 46 : évolution de la Phosphatémie (mg/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

D. Hormones :

1. Effet sur la Cortisolémie :

La figure 47 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Cortisol des juments en peripartum.

On a noté des concentrations similaires au début de l'expérimentation pour les deux lots 102,26±36,48 nmol/l pour le lot levure et 112,84±34,44 nmol/l pour le lot témoin.

A J-15 la cortisolémie a augmenté pour le lot non supplémenté 119,35±50,11 nmol/l, par contre une chute du taux de cortisol était noté 101,97±56,69 nmol/l.

Au poulinage on a observé toujours une diminution de la cortisolémie pour le lot levure 97,81±47,42 nmol/l, suivi par une diminution du taux de cortisol pour le lot témoin 112,90±50,85 nmol/l.

A J+15 et J+30 on a noté une ré élévation des concentrations du cortisol puis une diminution respectivement pour les deux lots supplémenté en probiotique et non supplémenté 120,05±24,64 nmol/l Vs 125,21±35,89 nmol/l et 109,55±54,71 nmol/l Vs 112,58±32,54 nmol/l respectivement.

Durant toute la période de supplémentation la cortisolémie du lot témoin était plus grande par rapport à celle du lot levure. Statistiquement, le test ANOVA à révélé une différence significative à J-15 avec P=0,021, et au poulinage avec P=0,046.

Les valeurs du cortisol appartenait a la plage des valeurs usuelles (< 250 nmol/l).

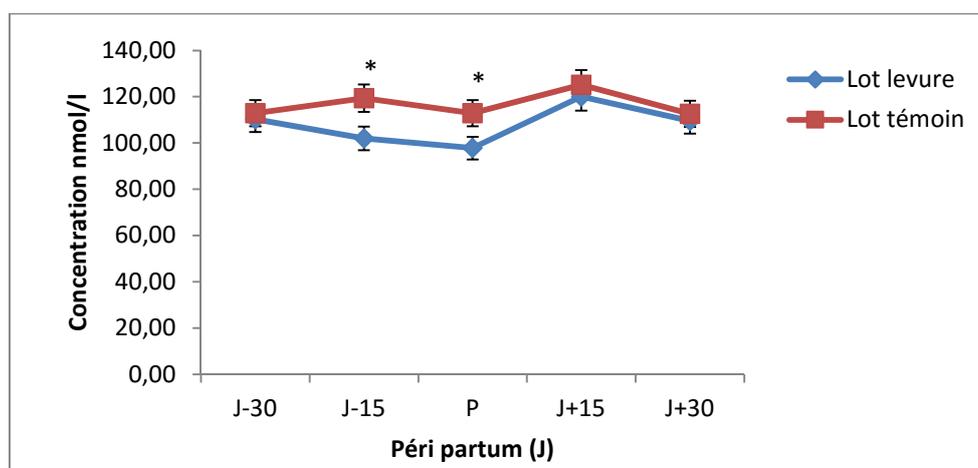


Figure 47: évolution de la Cortisolémie (nmol/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

2. Effet sur l'Insulinémie:

La figure 48 résume les résultats concernant l'effet de la supplémentation alimentaire en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* sur la teneur plasmatique en Insuline des juments en peripartum.b

Avant la supplémentation en levure probiotique l'insulinémie des deux lots était similaire $3,64 \pm 1,62$ mU/l. en suite une chute du taux d'insuline a été noté jusqu'au poulinage pour le lot levure $2,03 \pm 0,68$ mU/l à J-15, et $1,57 \pm 1,32$ mU/l au part. et jusqu'à J+15 pour le lot témoin $2,17 \pm 0,71$ mU/l à J-15, $1,45 \pm 1,41$ mU/l au part et $1,41 \pm 0,85$ mU/l à J+15.

A partir du poulinage les valeurs de l'insuline ont augmenté pour le lot levure $1,74 \pm 1,30$ mU/l à J+15 et $3,01 \pm 1,38$ mU/l à J+30.

L'augmentation des concentrations de l'insuline pour le lot témoin n'a été noté qu'à J+30 avec une valeur de $2,37 \pm 0,44$ mU/l.

L'analyse statistique et le test de l'ANOVA à montré une différence significative à J+30 avec $P=0,031$.

Les valeurs de l'insulinémie des deux lots sont comprises dans les valeurs usuelles (2,01-32,541 mU/l) sauf au poulinage et à j+15 PP ou on a remarqué des valeurs plus basses.

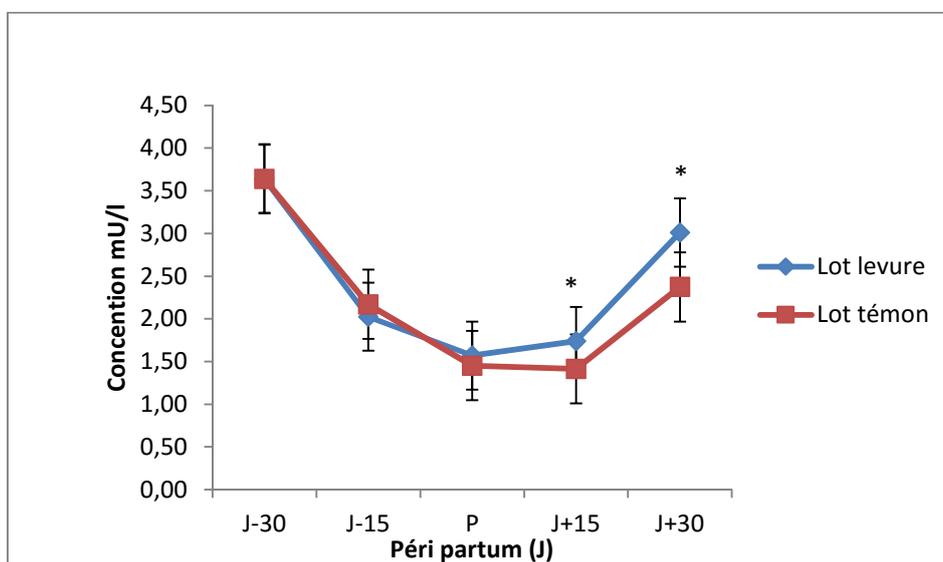


Figure 48 : évolution de l'insulinémie (mU/l) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période allant de J-30 avant le poulinage (J0) jusqu'au 30^{ème} jour postpartum (J+30PP).

Résultats

TROISIEME VOLET : EFFET DES LEVURES PROBIOTIQUES *S. CEREVISAE* SUR LA REPRODUCTION :

a- Paramètres de reproduction :

Les tableaux 17 et 18 montrent, les différents paramètres de reproduction évalués entre les deux lots expérimentales (supplémenté et non supplémenté par la levure probiotique *saccharomyces cerevisiae*).

a- Intervalle poulinage première saillie (poul/1^{er} saillie J) :

L'examen des valeurs entre le poulinage et la première saillie à révéler des moyennes différentes entre le lot levure , et le lot témoin $33,14 \pm 21,38$ Jours Vs $32,73 \pm 26,52$ respectivement, avec un maximum de 95 Jours et un minimum de 09 Jours pour le lot levure ; un maximum de 95 Jours et un minimum de 10 Jours pour le lot témoin.

L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative entre les deux lots $P > 0,05$.

b- Nombre de saillie par cycle (n° de saillie) :

Les juments du lot supplémenté ont nécessités un nombre de saillie légèrement plus petit par rapport aux juments témoin $2,13 \pm 0,96$ Jours Vs $2,38 \pm 0,81$ respectivement, avec un maximum de 03 saillie par jument et un minimum de 01 saillie pour le lot levure ; un maximum de 04 saillie par jument et un minimum de 01 saillie pour le lot témoin.

L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative entre les deux lots $P > 0,05$.

c- Nombre de cycle (n° de cycle) :

Le traitement des cycles des juments supplémentées et ceux témoins à montrer un léger avantage pour le lot levure avec une moyenne de $1,50 \pm 0,52$ cycle et $1,94 \pm 0,85$ pour le lot témoin, le nombre maximal des cycles pour le lot levure était 2 cycles et le minimum 1 seul cycle. Contrairement au lot non supplémenté ou on a remarqué un maximum de 4 cycles et un minimum d'1 seul cycle.

L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative entre les deux lots $P > 0,05$.

d- Croissance folliculaire par jours (croi folliculaire mm) :

La croissance des follicules des juments supplémentées en levure probiotique était supérieure à celle des follicules de juments non supplémentées avec une moyenne de $3,09 \pm 1,05$ mm/j Vs $2,47 \pm 0,62$ mm/j respectivement.

Résultats

On a noté, une croissance maximale pour le lot levure de 05 mm/j par rapport à une croissance de 04 mm/j pour le lot témoin et une croissance minimale de 1,5 Vs 02 respectivement.

L'ANOVA à montré une différence significative entre les deux lots expérimentales P=0,049.

e- Intervalle poulinage conception (poul/concept J) :

On a noté, une réduction du temps écoulé entre le poulinage et la conception pour le lot levure avec une durée de 49,80±27,09 Jours par rapport au lot témoin ou on a noté une moyenne de 53,73±28,02 Jours.

La durée maximale et minimale était de 99 J & 12 J respectivement pour le lot supplémenté, pour le lot non supplémenté les dures étaient de 101 J & 13 J.

Cette différence de jours entre les deux lots n'est pas significative statistiquement et le P>0,05.

Tableau 17 : évaluation des paramètres de reproduction pour le lot levure

Juments supplémentées	poul/1 ^{er} saillie (J)	n° de saillie	n° de cycle	croi folliclaire (mm)	poul/concept (J)
bouira	25	3	2	4	31
djebli	41	3	2	3	64
loundjana	35	3	2	2,5	62
nojoudud	22	3	1	3	27
mounira	42	1	2	4	58
labiba	/	2	2	2	89
julia	34	3	2	3	64
hania	38	2	1	2,5	44
M.Chaouchaoua	35	1	1	3	39
boussra	9	1	1	4	12
dablaja	27	3	2	1,5	68
l'hendia	95	1	1	2	99
khedaoudj	10	1	1	2	12
ouarda	10	1	1	5	14
assia	Maiden	3	1	5	/
koufa	41	3	2	3	64
Moyenne	33,14	2,13	1,50	3,09	49,80

Résultats

Max	95,00	3,00	2,00	5,00	99,00
Min	9,00	1,00	1,00	1,50	12,00
Ecart Type	21,38	0,96	0,52	1,05	27,09

Tableau 18 : évaluation des paramètres de reproduction pour le lot témoin.

Juments non supplémentées	poul/1 ^{er} saillie (J)	n° de saillie	n° de cycle	croi folliculaire (mm)	poul/concept (J)
sira	41	3	2	3	64
ghana	30	4	1	2	38
hakima	13	3	2	2	59
R. chaouchaoua	10	3	3	2	44
k'hailia	26	2	2	2	29
kafaza	10	2	1	2	13
akiba	27	2	2	3	29
fayrouz	23	3	2	4	29
hidaya	24	1	2	3	101
k'sira	18	3	2	2	53
lemassa	90	2	4	3	96
jamaica	11	3	3	2	66
kafala	maiden	2	1	2,5	maiden
idjaba	47	2	1	3	55
lebjaouia	95	1	1	2	101
khalifa	26	2	2	2	29
Moyenne	32,73	2,38	1,94	2,47	53,73
Max	95,00	4,00	4,00	4,00	101,00
Min	10,00	1,00	1,00	2,00	13,00
Ecart Type	26,52	0,81	0,85	0,62	28,02

B. La croissance folliculaire :

La figure 49 montre, les moyennes de la croissance folliculaire en (mm) durant la période qui précède l'ovulation entre le lot supplémenté et le lot témoin.

Nous avons enregistré une croissance linéaire pour les deux lots, levure et témoin. Ainsi une légère différence était observée à partir d'un diamètre de 40 mm pour le lot levure par rapport au lot témoin jusqu'à ovulation.

Résultats

La moyenne des diamètres des follicules ovulatoires du lot levure était plus grande de celle des follicules du lot témoin $56,67 \pm 7,57$ mm Vs 47,00 mm respectivement et d'une journée d'avance.

Statistiquement, aucune différence significative n'a été enregistré entre les deux lots $P > 0,05$.

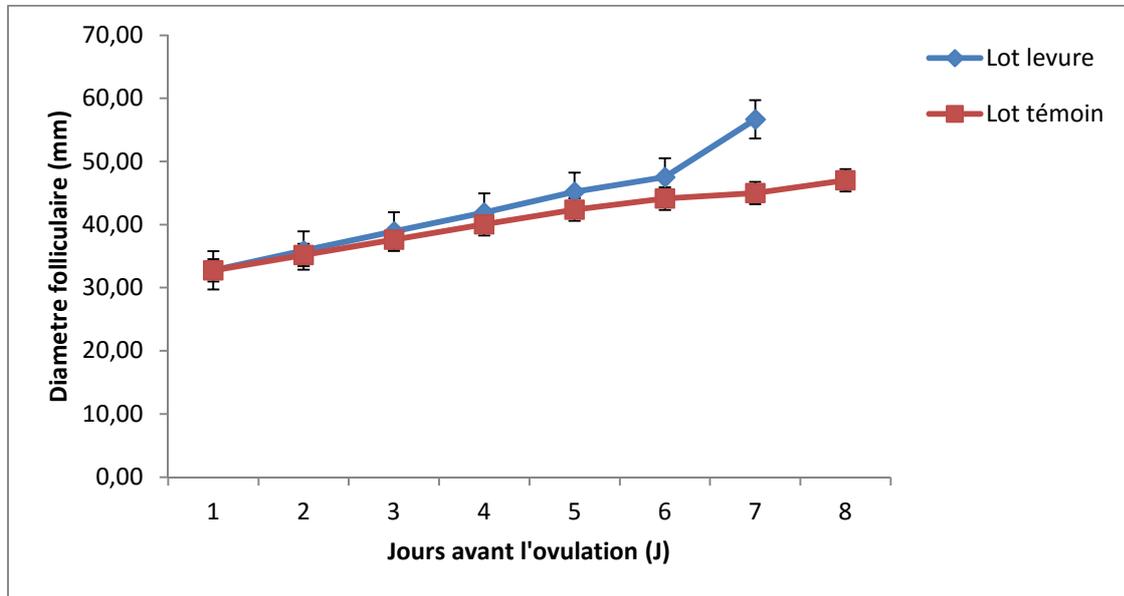


Figure 49 : évolution du diamètre folliculaire (mm) des juments témoins et supplémentées en levure probiotique *Saccharomyces cerevisiae* durant la période pré ovulatoire

DISCUSSION

Discussion

Bien qu'un poulain nouveau-né possède un système immunitaire fonctionnel, il est immunologiquement naïf parce qu'il n'y a pas de transfert transplacentaire significatif d'anticorps maternels. En conséquence, la protection immunitaire initiale du poulain nouveau-né dépend de manière critique d'un transfert passif adéquat d'immunité (principalement des anticorps de classe IgG) par le colostrum de la jument. L'échec du transfert passif augmente donc de façon significative le risque d'un poulain nouveau né qui succombe à une maladie infectieuse.

L'échec du transfert passif peut se produire pour plusieurs raisons, dont certaines sont facilement identifiables et peuvent donc être gérées efficacement; Les exemples incluent l'agalactie maternelle, l'incapacité de boire en raison de la faiblesse néonatale, le retard dans le développement du réflexe de succion, la non-coopération maternelle et la perte de colostrum due à une lactation prématurée. En revanche, l'échec d'une jument à produire du colostrum de qualité suffisante est plus difficile à identifier et tend donc à être géré moins efficacement (Morris et al, 1985). De plus, la qualité médiocre du colostrum est considérée comme le facteur de risque le plus important pour l'échec du transfert passif (Crawford et al, 1977; McGuire et al, 1977; Perryman, 1979). D'autre part, les raisons de la faible concentration absolue d'IgG colostrales sont largement inconnues, Bien qu'un défaut génétique dans la capacité d'une jument à concentrer les IgG du sérum dans le colostrum à la fin de la gestation (Perryman, 1979) ait été proposé et l'augmentation de l'âge maternel a été associée à une diminution de la concentration en IgG colostrale (LeBlanc , 1992).

Et bien que la lactation prématurée puisse être un facteur important dans la quantité totale d'IgG colostrale disponible (Jeffcott, 1974; Morris et al, 1985), d'autres facteurs peuvent être des déterminants plus importants de la qualité initiale du colostrum. Les concentrations d'IgG colostrales post-partum / pré-allaitement enregistrées dans la présente étude se situent dans la fourchette des valeurs moyennes rapportées précédemment pour les juments immédiatement après le part (tableau 19).

Discussion

Tableau 19: Concentrations moyennes des IgG dans le colostrum des juments à la parturition.

Races	IgG (mg/dl)	Juments de l'échantillon	References
<i>Différentes races</i>	10,037	90	<i>Present study</i>
<i>Différentes races</i>	5,450	139	Erhard et al., 2001
<i>Différentes races</i>	11,324	18	Massey et al., 1991
Non spécifié	16,583	6	Lavoie et al., 1989
Races croisées	8,867	10	Curadi et al., 2001
Pure sang Anglais	5,036	39	LeBlanc et al., 1992
Pure sang Anglais	2,354	32	McGuire et al., 1977
Pure sang Anglais	4,608	22	Pearson et al, 1984
Pure sang Arabe	9,691	14	Pearson et al, 1984
Pure sang Arabe	10,847	12	Perryman, 1980
Pure sang Arabe	6,394	25	LeBlanc et al., 1992
Quarter Horse	5,843	21	LeBlanc et al., 1992
Quarter Horse	1,080	1	McGuire & Crawford, 1973
Standardbred	3,932	15	LeBlanc et al., 1992
Standardbred	5,128	136	Morris et al, 1985
Standardbred	8,912	36	Kohn et al., 1989
ponies Shetland	4,600	9	Rouse & Ingram, 1970
Juments Lourdes	6,438	11	Townsend et al., 1983

Les facteurs affectant la production de colostrum comprennent l'âge, le nombre de lactation (c'est-à-dire une jument jeune versus une jument qui a déjà été en lactation) et la santé de la mère. Les causes les plus courantes pour le colostrum de mauvaise qualité au moment du poulinage sont la fuite prématurée du lait, l'échec du développement du pis, l'intoxication par la fétuque, l'âge avancé de la jument, le statut de la jument et le part prématuré (McCue, 2014).

Les différences importantes dans les concentrations moyennes d'IgG colostrales entre les études peuvent être en partie liées à la race (Kohn et al, 1989; LeBlanc et al, 1992; Pearson et al, 1984), bien qu'il y ait également une variation considérable à l'intérieur de la race.

Dans la présente étude nous avons pu enregistrer une différence significative entre les quatre races étudiées avec une concentration plus élevés pour le arabes-barbes et une plus basse pour les anglaises mais cette différence par rapport aux autres races pour les juments anglaises peut être due au nombre de ces dernières qui était de 2 juments.

Discussion

Un autre facteur important est le temps de la collecte du colostrum post-partum, parce que les taux d'IgG colostrale diminuent rapidement après la mise bas. Les prélèvements d'échantillons de colostrum recueillis immédiatement après la mise bas ont donc des concentrations d'IgG significativement plus élevées que les échantillons prélevés plusieurs heures après le moment où le poulain a eu l'opportunité d'allaiter. Les facteurs affectant les concentrations individuelles d'IgG de colostrum (Lavoie et al, 1989, LeBlanc et al, 1992, Morris et al, 1985, Pearson et al, 1984, Shideler et al, 1986) peuvent comprendre une vaccination répétée, le mois dernier avant la mise bas (Pearson et al, 1984, Perryman, 1981, Shideler et al, 1986).

Encore une fois, cependant, il est peu probable que les antécédents de vaccination seuls rendent compte de l'ensemble de la différence entre les juments. L'âge et la santé de la mère, le nombre de lactations, le rendement total du colostrum et sa gestion sont d'autres facteurs qui ont été suggérés pour influencer la teneur en IgG colostrale (Knottenbelt et al, 2004).

Notre résultat confirme les recherches des autres auteurs qui ont pu identifier une différence significative entre les concentrations d'IgG colostrales suivant l'âge de la parturiente avec des concentrations plus élevées pour les catégories d'âge allant de 5 à 14 ans puis une chute est observée à partir de 15 ans.

Quels que soient ses déterminants, l'importance de la qualité colostrale pour prévenir la morbidité et la mortalité des poulains rend la détermination dans la période post-partum immédiate, avant l'allaitement, hautement souhaitable. La teneur initiale en IgG colostrale postpartum semble être un bon estimateur de l'IgG colostrale totale disponible pour un poulain (Lavoie et al, 1989) et se corrèle bien avec les concentrations ultérieures d'IgG de celle de poulain (Curadi et al, 2001; Erhard et al. 2001, Kohn et al, 1989, LeBlanc et al, 1986, Morris et al, 1985). Si la qualité du colostrum est mauvaise, un poulain peut être complété avec du colostrum congelé-décongelé, ou un substitut de colostrum. La supplémentation orale est la méthode la plus simple, la plus sûre et la plus efficace, et est possible jusqu'au moment de la «fermeture intestinale», mais de préférence dans les 12 heures suivant la naissance (LeBlanc et al, 1992).

Un test de dépistage optimal de la qualité du colostrum doit donc être rapide, précis, répétable, peu coûteux et quantitatif.

Dans la présente étude, on a évalué les concentrations d'IgG dans le colostrum des juments en utilisant deux méthodes, une de choix qui est sensible et spécifique mais qui à

Discussion

l'inconvénient d'être plus cher et longue à réaliser (16 à 24 heures) l'immunodiffusion radiale (IDR), et une deuxième qualifiée de clinique qui a l'avantage d'être plus facile à réaliser, rapide et non coûteuse (la Réfractométrie).

Auparavant, il a été démontré que la qualité du colostrum équin estimée à l'aide du réfractomètre BRIX est fortement corrélée aux concentrations plasmatiques d'IgG du poulain ($r = 0,85$), mesurées par le RID (Chavatte et al, 1998).

Dans la présente étude, nous avons constaté que, comme on pouvait s'y attendre, le score de réfractométrie était fortement corrélé avec les concentrations d'IgG colostrales mesurées par RID (échantillons post-poulage: $r = 0,65$). Une relation similaire ($r = 0,89$) et ($r = 0,78$) a été rapportée pour le colostrum bovin (Molla, 1980 et S. Sitters, 2008) respectivement.

Dans tous les cas, la réfractométrie s'est révélée être une méthode précise, rapide et facile pour estimer les concentrations d'IgG de colostrum et a ensuite été utilisée pour évaluer les concentrations d'IgG colostrales avant et après le part. Toutes les concentrations d'immunoglobulines sériques analysées dans la présente étude étaient conformes aux intervalles normaux précédemment rapportés pour les poulains (Jeffcott, 1974, Marti et al, 2009 et Siciliano et al, 2009). Bien qu'il soit largement reconnu qu'il n'y a pas de transfert placentaire d'immunoglobulines chez le cheval (Jeffcott, 1974, Wagner et al, 2006), de faibles concentrations d'immunoglobulines ont été détectées avant l'ingestion de colostrum dans la présente étude. Ces résultats sont confirmés par (Tizard., 2000, K. Cole., 2015) qui ont trouvé des quantités détectables d'IgM sérique, d'IgG et parfois d'IgG (T) suggérant qu'il ya quelques immunoglobulines fœtales produites in utero qui peuvent être mesurées avant l'absorption immédiate du colostrum.

L'augmentation initiale des immunoglobulines de la naissance à 24 heures post-partum favorise l'absorption des immunoglobulines maternelles par le colostrum.

Plusieurs études ont montré que *Saccharomyces cerevisiae* a un impact sur le système immunitaire (Krakowski et al., 1999; Emmanuel et al., 2007; Corchonivoschi et al., 2010). Lorsque les truies ont été complétées par *S. cerevisiae*, des effets variables ont été observés sur les concentrations d'immunoglobulines de leurs porcelets (Leszek et al, 2002; Jang et al., 2013). Krakowski et al, (1999) ont constaté que les juments injectées avec 1,3 / 1,6 glucane, un composant des parois des cellules de levure, avaient augmenté les concentrations d'IgG et de IgG (T) colostrales et leurs poulains avaient des taux d'IgG (T) plus élevé. Bien que les

Discussion

concentrations d'immunoglobulines aient significativement différé au cours du temps dans la présente étude, il y avait des différences dans les concentrations d'immunoglobulines colostrale et des poulains en raison de l'addition de *S. cerevisiae* au régime maternel pendant la fin de la gestation et le début de la lactation.

La croissance des poulains :

On a montré que la nutrition maternelle affecte la régulation de l'insuline-glucose, prédispose la progéniture aux désordres métaboliques et affecte la croissance fœtale, avec un établissement plus rapide de certaine microflore (Nathanielsz, 2006, Ford et al, 2007, Clapp, 2002, Thum et al, 2012, Faubladiet et al, 2013). Des études menées chez le porc et les moutons suggèrent que l'établissement de l'environnement microbien intestinal chez 28 jeunes animaux pourrait avoir un effet sur l'écosystème bactérien de l'animal adulte (Yanez-Ruiz et al, 2010).

Les principaux environnements microbiens auxquels le poulain est exposé au début de la vie proviennent de la jument (Mackie et al, 1999, Biasucci et al, 2010, Dominguez-Bello et al, 2010). Lorsqu'un poulain naît, il est exposé à des bactéries du vagin de la jument, des selles, de la salive et / ou du lait (Biasucci et al, 2010 et de Kuhl et al, 2011) Le lait peut contenir jusqu'à 10^9 microbes / L avec les microbes les plus abondants, y compris *Streptococcies* et *Lactobacilles* (Moughan et al, 1992, Mackie et al, 1999). La recherche a montré que compléter le régime maternel par la levure probiotique augmentait la production de lait et la teneur en éléments nutritifs (Glade, 1991). Une étude de Glade (1991) qui a nourri huit juments gestantes 20 g par tête par jour d'un supplément de levure commerciale quatre semaines avant le poulinage jusqu'à 4 semaines après la parturition. La digestibilité de la matière sèche et des protéines brutes a augmenté de façon significative lorsque les juments en lactation ont été complémentées par la levure. Des augmentations de la teneur en énergie, des sucres, des lipides totaux, de l'azote total et des acides aminés totaux ont également été observées dans le lait des juments supplémenté de levure. Cette étude a également démontré un taux de croissance accru des poulains dont les mères ont été supplémentées avec la culture de levure. Il a été suggéré que la microflore du gros intestin du poulain pourrait être optimisée en modifiant l'écosystème microbien de la jument (Thum et al, 2012).

Chez les souris, une supplémentation du régime maternel pendant la gestation et l'allaitement avec des prébiotiques peut avoir influencé de façon positive la microflore

Discussion

intestinale maternelle ainsi que la microflore de la progéniture (Fujiwara et al, 2010). Il a été observé chez la souris que l'addition de 50 g par kg de fructo-oligosaccharides (FOS) à l'alimentation maternelle affectait la microflore intestinale pendant deux semaines après l'accouchement, comme le montrent les clusters distincts dans une analyse dendrogramme (Fujiwara et al. Al., 2010). Des recherches récentes réalisées par Faubladier et ses collègues (2013) ont montré que la supplémentation probiotique des juments gestantes peut affecter la microflore gastro-intestinale de leur progéniture pendant les premiers jours de vie. Les poulains des juments complétées par des probiotiques avaient un plus grand nombre d'anaérobies et d'utilisatrices de lactate à un moment plus précoce que les poulains dont les mères n'étaient pas complémentés, ce qui peut être causé par le déplacement de l'écosystème bactérien de la jument et /ou le changement de la lactation. Les chercheurs ont proposé que l'effet sur l'établissement précoce des anaérobies et des utilisateurs de lactate pourrait être causé par la modification de l'écosystème bactérien de la jument et / ou l'altération de la production laitière. La recherche a également montré un poids corporel accru observé chez les poulains de juments complémentées par des probiotiques de la fin de gestation au début de la lactation (Faubladier et al. Al, 2013).

Lorsque les juments ont été complémentées de J 300 de la gestation à 60 jours après la parturition, leurs descendants étaient plus lourds que ces poulains de juments non complémentées de 19 J à 60 J post-parturition.

Les paramètres métaboliques :

Dans la présente étude, nous avons exploré l'impact de la supplémentation en *saccharomyces cerevisiae* sur quelques paramètres biochimique du sang, à savoir : le glucose, les triglycérides, le cholestérol, l'urée, la créatinine, les protéines totales, l'albumine, l'AST, l'ALT, la GGT, le Calcium, le Phosphore, le cortisol et l'Insuline.

Ces paramètres sont souvent utilisés pour évaluer le statut énergétique et azoté en péripartum et pour prévenir les pathologies métaboliques du post partum.

Les ajustements métaboliques qui se produisent pendant la gestation sont complexes et répandus, et la gestation est associée à un état métabolique altéré comparé avec l'état des juments non gestantes. Ces adaptations métaboliques sont essentielles pour assurer un développement approprié du fœtus et pour fournir des substrats adéquats qui sont nécessaires in utero et après la naissance (Hadden et McLaughlin 2009).

Discussion

Des changements dans le métabolisme sont également nécessaires pour répondre aux besoins altérés des femelles avec des réserves et des substrats d'énergie suffisants pour faire face aux exigences de la gestation ainsi que celles de l'exercice (travail) et de l'allaitement (Hadden et McLaughlin 2009).

Effectivement, la gestation consiste en des ajustements continus qui affectent le métabolisme de tous les nutriments (King 2000). Des études sur le métabolisme des protéines et de l'énergie illustrent le potentiel d'ajustement de l'utilisation de ces nutriments pour conserver une alimentation fœtale (Larsson et al, 2008). En particulier, les changements les plus significatifs dans le métabolisme maternel se produisent au cours du dernier trimestre de la gestation lorsque la demande fœtale de nutriments augmente considérablement (King, 2000).

Malgré les mécanismes hémostatiques qui fonctionnent pour maintenir les paramètres sanguins à l'intérieur des niveaux physiologiques, les changements dans les analyses biochimiques se produisent en raison de demandes métaboliques accrues pendant la gestation et la lactation (Harvey et al, 2005). En outre, les exigences métaboliques élevées au cours du péripartum pourraient prédisposer les juments atteintes du syndrome métabolique équin (EMS) ou du dysfonctionnement médian intermittent de l'hypophyse (PPID) à des pathologies telles que la fourbure (Johnson et al, 2009). Des études récentes ont montré que l'état de santé de la jument pourrait avoir un rôle majeur dans la programmation du risque de maladie chez son poulain (Bucca, 2006; Ousey et al, 2008). Ce phénomène est désigné sous le nom d'apparition fœtale d'une maladie adulte et, selon elle, La dénutrition gestationnelle peut affecter en permanence le nombre de cellules de certains organes en développement dont les périodes critiques de croissance coïncident avec le manque de nutriments essentiels (Panzani et al, 2009). Récemment, on a mis l'accent sur les changements biochimiques qui se produisent chez la jument gestante. Le profil hémostatique a été récemment analysé par Bazzano et al. (2014) qui ont signalé un état hyper-coagulable physiologique autour de la parturition avec des valeurs accrues de plaquettes et de fibrinogène et un temps de prothrombine raccourci. Les profils d'hormones métaboliques des juments ont été étudiés par Berg et al. (2007) qui ont montré une diminution de la leptine sérique et une augmentation du facteur de croissance insulin-like growth factor-1 après la parturition. L'hématologie et la biochimie ont été étudiées chez des chevaux de trait lourds (Aoki et Ishii 2012) et des juments standardbreed (Mariella et al, 2014) montrant des changements significatifs dans certains

Discussion

électrolytes et paramètres énergétiques au cours du dernier mois de gestation et au début du post-partum.

Cependant, la plupart des maladies associées à la gestation sont susceptibles de se produire au cours du dernier trimestre de gestation (Le Blanc, 1991), lorsque la croissance fœtale s'accélère considérablement, entraînant une augmentation significative des besoins nutritionnels de la jument (Lewis, 1995). Nous avons donc cherché à évaluer le profil métabolique des poulinières en se concentrant sur le dernier mois de la gestation et le début du post-partum. Avec l'effet potentiel des levures probiotiques (*saccharomyces cerevisiae*) sur quelques paramètres biochimiques, hormonales et enzymatiques.

Glucose :

Dans la présente étude les valeurs de glucose rapportées pour les juments durant toute la période expérimentale, sont dans les valeurs de référence pour les chevaux usuelles et sont similaires à ceux cités par le laboratoire Vet Agro Sup (Lyon) (Appendix VIII, 2008 ; Cornell University College of Veterinary Medicine, 2015 ; Desjardins I et Caddoré J.L, 2006 ; University of Edinburgh, 2015, UC Davis School Of Veterinary Medicine, 2015). Rodríguez, C. et Al (2007). Des taux plus élevés de glucose dans le sérum ont été observés chez les juments supplémentées en levure durant toute la période d'essai et ces valeurs étaient statistiquement significatives 15 JPP et 30JPP. Selon une étude antérieure (Aoki et Ishii, 2012), les taux de glucose sont plus élevés à la parturition; Cependant, nous n'avons pas observé que les valeurs de glucose étaient plus élevées pendant la parturition pour les deux lots, chose qui pourrait être due aux levures qui ont un effet Régulateur du glucose dans le tube digestif.

Aoki et Ishii (2012) ont remarqué une élévation de la glycémie en post partum et ont émis l'hypothèse qu'il était lié au stress physique associé au poulain. Le stress physique augmente le niveau de cortisol (Wong, C.W. et Al, 1992), et le cortisol favorise la néoglucogenèse.). Vu que le métabolisme du glucose est bien étudié chez les chevaux [Evans, J.W, 1971 ; Fowden, A.L et Al, 1984 ; Hoffman, R.M. et al, 2003), il a été supposé qu'il est le résultat du développement de la résistance à l'insuline. La régulation du glucose est modifiée pendant la gestation et l'allaitement chez de nombreuses espèces, y compris les humains (Boden, G, 1996), les animaux de laboratoire (Leturque, A. et Al, 1987) et les porcs (Père, M.C. et Al, 2000). Les modifications de la régulation du glucose pendant la gestation

Discussion

incluent le développement progressif de la résistance à l'insuline, ce qui permet d'améliorer le transfert placentaire du glucose pour répondre aux demandes croissantes du fœtus.

Les valeurs de glucose chez les juments supplémentées en levure situées dans le HARAS de Chaouchaoua ont été plus élevées du début à la fin de l'épreuve comparativement aux juments non supplémentées; Cependant, aucune différence n'a été observée pendant la gestation ou lors de la mise-bas.

Effet sur le cholestérol et les Triglycérides plasmatique

Le niveau de l'AGNE (acides gras non estérifiés) sanguin est utilisé comme indicateur de la dégradation des lipides dans le tissu adipeux. Si l'animal a besoin de mobiliser l'énergie stockée à partir du tissu adipeux (bilan énergétique négatif), le niveau des AGNE augmentera. Dans la présente étude nous n'avant pas pu faire le dosage des AGNE suite au manque du Kit de dosage, pour l'évaluation du bilan lipidique en c'est contenter par les TG et le Cholestérol.

Le taux du cholestérol sanguin est déterminé par les facteurs suivants: (1) la quantité d'aliments ingérés, (2) la quantité absorbée par l'intestin, (3) la quantité synthétisée dans le foie, (4) la quantité utilisée dans le corps, 5) la quantité excrétée avec la bile, (6) la quantité réabsorbée, et (7) la quantité excrétée comme excréments.

Les valeurs de la cholestérolémie enregistrée durant la période expérimentale étaient dans la plage des valeurs usuelles (0,51 – 1,29 g/l), avec une évolution similaire pour les deux lots sauf à J+30 où on a observé une différence significative entre le lot supplémenté et le lot témoin. Les études disponibles qui ont abordé ce paramètre indiquent également que la cholestérolémie varie peu après supplémentation en levure probiotique (Piva et al, 1993 ; Galip, 2006).

TG est un nutriment important, car il est la principale composante des tissus adipeux et du lait. Excluant l'effet du régime alimentaire, le taux sérique de TG est considéré comme l'indique son utilisation dans le corps.

Les valeurs enregistrées au cours de l'expérimentation rentraient dans les valeurs usuelles (0,2-0,43 g/l).

Les concentrations sériques de TG ont montré une chute durant la période qui a précédé le poulinage et 15 jours après, pour les deux lots mais aucune différence significative n'a été observée. Cela a été spéculé pour être due au début de la traite et à l'augmentation de

Discussion

la consommation d'énergie dans le corps. Ces résultats sont conformes au précédent rapport (Maijó, M. et Al, 2012).

L'utilisation de levure probiotique n'a montré aucun effet sur la teneur plasmatique en TG, nos résultats sont contradictoires aux informations obtenus chez le rat et le poulet où : l'addition de levure à l'aliment a diminué les taux sériques de TG, de phospholipides et la proportion du gras abdominal (Nakano, 1996 et Onifade, 1997, cité par Galip, 2006). Toutefois, les mécanismes d'actions impliqués dans ces variations ne sont pas encore connus.

Effet sur la teneur en protéines totales plasmatique

Dans la présente expérience, les concentrations plasmatiques en protéines totales apparaissent légèrement basses par rapport à la plage des valeurs considérées comme normales dans la littérature (le laboratoire Vet Agro Sup Lyon) (Appendix VIII, 2008 ; Cornell University College of Veterinary Medicine, 2015 ; Desjardins I et Caddoré J.L, 2006 ; University of Edinburgh, 2015, UC Davis School Of Veterinary Medicine, 2015) durant toute la période expérimentale sauf à J+30 où on a noté des valeurs similaires aux normes et plus élevées pour le lot levure par rapport au lot témoin.

Selon les résultats de cette étude, la concentration des protéines totales dans le plasma sanguin de la jument pendant la fin de la gestation et durant le postpartum n'a pas changé de manière significative. La légère augmentation des concentrations de protéines totales dans la fin de la gestation, est le résultat de changements hormonaux dans l'organisme. La sécrétion d'hormones (glucocorticoïdes, thyroxines) augmente également pendant la gestation, en raison de l'augmentation de la sécrétion d'hormone sexuelle, qui à leur tour intensifie les événements métaboliques dans l'organisme (Nett et al, 1973, Cunningham, 1997). Les glucocorticoïdes améliorent la mobilisation des protéines extrahepatiques et le transport des acides aminés vers les cellules du foie. Les acides aminés mobilisés dans les cellules du foie aideront à synthétiser le glucose à travers la néoglucogenèse, qui est la principale source d'énergie pour l'embryon. L'augmentation graduelle de la concentration de protéines totale dans le plasma sanguin des juments pendant la gestation a été enregistrée par Herak et al. (1994).

Nombreuses études ont montré que la supplémentation des rations des femelles par les levures probiotiques augmente la synthèse des acides aminés et est source de protéines après leur dégradation, chez la vache laitière (Abo et al cité par Galip, 2006 ; Iwanska et al,

Discussion

1999) et chez le bélier (Galip, 2006)., ce qui a fait une différence significative durant le 30 jours postpartum entre les deux lots.

Néanmoins, certaines études rapportent que la protéinémie n'est pas augmentée chez le veau supplémenté en levure (Lesmeister et al, 2004).

Albumine (Alb) :

L'albumine est une protéine majeure des protéines totales, elle est synthétisée par le foie et dégradée par la majorité des tissus. Elle est responsable pour quatre-vingt pourcent de la pression oncotique, permet le transport de protéines, des acides gras, des acides biliaires, de la bilirubine, du calcium, des hormones et de molécules médicamenteuses (Lassen E.D et al, 2004).

L'albumine est une protéine négative de la phase aigüe de l'inflammation. C'est-à-dire qu'en cas d'inflammation, les cytokines pro-inflammatoires induisent une diminution de la synthèse d'albumine, une hypoalbuminémie peut donc être présente. Elle est peu fréquente chez les chevaux (environ vingt pourcent des cas) (Lassen E.D et al, 2004).

Après prélèvement, les protéines peuvent se dénaturer, mais elles sont stables plusieurs semaines à 4°C et plusieurs mois voire années à -20°C (Eckersall P.D, 2008).

L'analyse statistique a révélé une différence significative entre le lot levure et le lot témoin ce qui peut être due à l'effet de *saccharomyces cerevisiae* qui augmente la production et l'absorption des protéines et des acides aminés au niveau intestinal.

L'Albuminémie enregistrée chez nos juments fait partie des valeurs usuelles et est similaires à ceux citées par le laboratoire Vet Agro Sup (Lyon) (Appendix VIII, 2008 ; Cornell University College of Veterinary Medicine, 2015 ; Desjardins I et Caddoré J.L, 2006 ; University of Edinburgh, 2015, UC Davis School Of Veterinary Medicine, 2015).

Urée et créatinine :

L'urée est un produit final du catabolisme protéique, synthétisée dans le foie et excrétée par les reins. La concentration en urée du sérum est déterminée par l'équilibre entre le catabolisme protéique et la fonction excrétoire rénale.

Les valeurs de l'urémie dans cette étude étaient dans la fourchette normale pour les juments supplémentées en levure (0.11 à 0.28 g/l). Les valeurs d'urée étaient plus élevées ($P < 0,05$) à J-15 et ($P < 0,01$) au poulinage pour le lot non. Ces résultats sont en accord avec la précédente publication sur les juments durant la période péripartum (Mariella, J. et Al, 2014). Les changements dans l'urée sérique peuvent refléter une augmentation de la demande

Discussion

d'énergie et une exigence plus élevée d'acides aminés pour les processus anabolisants. Selon Mariella et al. (Mariella, J. et Al, 2014), l'azote uréique reste élevé, en raison de la forte demande énergétique au début de la lactation (Aoki et Ishii, 2012). Dans une étude antérieure, Aoki et Ishii (2012) ont suggéré que ces résultats pourraient être liés à des changements dans le métabolisme énergétique plutôt que dans la fonction rénale. Les taux d'urée et d'acide urique étaient également plus élevés ($P = 0,025$ et $P = 0,011$, respectivement) chez les juments Ask pendant la gestation ; ($P = 0,009$) et $P = 0,001$). Aucune différence pour l'urée et l'acide urique n'a été observée entre les deux groupes supplémentés.

Dans notre étude le lot supplémenté en levure a montré des valeurs stables de l'urée par rapport au lot témoin, cela peut être due à l'effet des levures qui ont un rôle important dans le métabolisme glucidique et protéique en réduisant le taux d'urée par la réduction de néoglucogenèse avec un apport de glucose suffisant pour la jument et pour son poulain.

Aspartat Amino-Transférase (AST=TGO) :

L'AST est une enzyme induite, retrouvée en concentration élevée au niveau hépatique et dans les muscles (cardiaques et squelettiques) de toutes les espèces, c'est une enzyme non spécifique qui nécessite d'être analysée en association avec d'autres variables (Lassen E.D et al, 2004).

Une augmentation significative de l'activité peut être due à une souffrance hépatique ou musculaire, ou une hémolyse car les érythrocytes contiennent de l'AST.

Le dosage de l'AST est utilisé en association avec celui des CK (= Créatinine Kinase) pour évaluer une souffrance musculaire.

L'AST est stable à température ambiante, à 4°C et à -20°C (Bain P.J, 2011).

Une hémolyse, même non visible à l'œil nu, peut entraîner une augmentation artéfactuelle de l'activité plasmatique ou sérique (Bain P.J, 2011).

Les concentrations sériques en TGO enregistrées chez nos juments ne font pas partie des valeurs usuelles et sont nettement inférieures à celles citées par le laboratoire Vet Agro Sup (Lyon) (Desjardins I et Caddoré J.L, 2006 ; UC Davis School Of Veterinary Medicine, 2015; Appendix VIII, 2008 ; Cornell University College of Veterinary Medicine, 2015 ; University of Edinburgh, 2015).

En plus de l'espèce, de la race et de l'âge, l'activité AST est influencée par l'activité musculaire (Weigert et al, 1980). Les chevaux de travail ont une activité d'environ 60% plus élevée (112 UI / L) que les chevaux qui reposent pendant plusieurs jours (70 UI / L) (Weigert et al, 1980).

Discussion

Alanine Amino-Transferase (ALT= TGP)

Chez les primates, le chien, le chat, le lapin et le rat, l'alanine aminotransférase (ALT) est une enzyme spécifique du cytosol hépatique, et son augmentation dans le plasma sanguin est spécifique aux changements dans le foie, mais l'activité de l'ALT chez les porcs, les chevaux, les chèvres, les moutons et Les bovins n'est pas spécifique pour le foie, pour avoir une signification diagnostique (Kramer et Hoffman, 1997).

L'activité de l'ALT dans le plasma sanguin est influencée par l'âge et l'activité musculaire (Weigert et al, 1980).

L'ALT est une enzyme libérée, retrouvée en faible concentration hépatique chez les chevaux et quantité modérée dans les muscles (cardiaque et squelettiques).

C'est une enzyme non spécifique qui nécessite d'être analysée en association avec d'autres variables (Lassen E.D et al, 2004).

Les concentrations sériques en TGP enregistrée chez nos juments font pas partie des valeurs usuelles et sont nettement similaires à ceux citées par UC Davis School Of Veterinary Medicine, 2015; et inférieur aux valeurs cités par University of Edinburgh, 2015.

Gamma- Glutamyl-Transférase (GGT) :

La GGT est une enzyme induite, **synthétisée par** la majorité des tissus mais principalement par le foie. Les reins synthétisent également la GGT mais elle n'est alors excrétée que dans l'urine ; le pancréas en synthétise mais elle est alors excrétée plutôt dans les sécrétions pancréatiques que dans le torrent circulatoire (Lassen E.D et al, 2004).

La GGT est **stable** plusieurs jours à 4°C (Desjardins I et Caddoré J.L, 2006).

La concentration plasmatique peut augmenter avec le stress de l'entraînement, particulièrement chez les Pur-Sang (Carlson G.P, 2009).

Chez les chevaux en général, les valeurs usuelles sont plus réduites pour la GGT que pour la PAL, le dosage de la GGT est donc plus souvent utilisé et plus pertinent que celui de la PAL en cas de suspicion de cholestase (Lassen E.D et al, 2004).

Les concentrations sériques en GGT enregistrée chez nos juments font partie des valeurs usuelles et sont similaires à ceux citées par le laboratoire Vet Agro Sup (Lyon)(Desjardins I et Caddoré J.L, 2006 ; UC Davis School Of Veterinary Medicine, 2015, ; University of Edinburgh, 2015), et nettement inférieur aux valeurs citées par (Appendix VIII,2008 ; Cornell University College of Veterinary Medicine, 2015).

Discussion

Les minéraux :

Presque chaque processus du corps d'un animal dépend pour le bon fonctionnement sur un ou plusieurs des éléments minéraux.

Pour la structure du corps ainsi que pour le maintien de l'équilibre acido-basique l'équilibre et le potentiel transmembranaire pour la fonction cellulaire, la conduction nerveuse et la contraction musculaire, il faut des macro-minéraux tels que le calcium (Ca^{++}), le phosphore (P^{+}), le sodium (Na^{+}), le chlorure (Cl^{-}), le potassium (K^{+}) et le magnésium (Mg^{++}) (Cunha, 1980; Harvey et al, 2005). Les minéraux revêtent une importance particulière au cours de certaines phases de la vie animale telles que la croissance, la reproduction et la lactation (Cunha, 1980). À ces étapes, le maintien d'une quantité équilibrée de tous les minéraux est nécessaire pour préserver la Santé (Lewis, 1995). Le besoin accru de minéraux pendant la période péripartum détermine des changements significatifs dans le métabolisme minéral. Cela peut produire un déséquilibre minéral conduisant à l'apparition de pathologies, tel que l'hypocalcémie (Filipovic et al, 2010). Une étude de Sevinga 'et al. (2002) ont constaté que les juments frisonnes avec une rétention placentaire présentaient des taux sériques de Ca^{++} inférieurs par rapport aux juments qui éliminent le placenta spontanément. Une tétanie hypomagnésémique répondant à l'administration de Mg^{++} et de Ca^{++} a également été rapportée chez des juments en lactation (Lewis, 1995). Quelques chercheurs ont étudié les ajustements intervenant dans la physiologie de la jument pendant la période péripartum, en se concentrant sur les profils de coagulation (Bazzano et al, 2014a) et hématologiques (Bazzano et al, 2014b, 2015) et les profils biochimiques (Harvey et al. 2005; Aoki et Ishii, 2012; Satué et Montesinos, 2013; Bazzano et al, 2014c; Mariella et al, 2014). Il a été démontré qu'une série de changements hormonaux et métaboliques se produisent pour moduler l'apport maternel d'énergie et de nutriments dans l'unité foeto-placentaire (Larsson et al, 2008). Au fur et à mesure que la gestation progresse, la direction et l'ampleur de ces changements dans l'organisme maternel dépendent principalement des besoins métaboliques fœtaux (Satué et Montesinos, 2013).

Les changements dans le métabolisme de la jument se poursuivent pendant la période postpartum, quand une certaine quantité de minéraux est perdue par la production de lait (Filipovic et al, 2010): le lait équin contient des concentrations importantes de macro-minéraux qui varient significativement pendant la lactation (Salimei et Fantuz, 2012).

Discussion

Une tendance générale à administrer indifféremment des suppléments minéraux aux juments gestantes et lactantes s'est développée au cours des dernières années. Parce que peu d'informations sur les électrolytes sériques est disponible pour les juments périparturient (Rook et al, 1997; Harvey et al, 2005), nous avons cherché à déterminer si des ajustements physiologiques dans les concentrations sériques du calcium et du Phosphore se produisent lorsque les juments gestantes sont nourries avec une alimentation supplémentée ou non par la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

Ca et P :

Dans la présente étude, des changements significatifs des taux sériques de Ca ++ ont également été observés. La diminution progressive enregistrée dans la concentration de Ca ++ jusqu'au moment du poulinage est conforme à celle de Berlin et Aroch (2009), qui ont observé une diminution du Ca ++ sérique chez les juments gestantes par rapport aux juments vides. Une explication possible réside dans le placenta équin contenant une protéine de liaison au Ca qui augmente le transfert de Ca ++ de la jument au fœtus pour répondre aux besoins de minéralisation du squelette fœtal (Wooding et al, 2000). Le Ca ++ et le P + jouent un rôle clé dans plusieurs fonctions corporelles telles que le métabolisme osseux et énergétique. Ces électrolytes comprennent environ 70% de la teneur en minéraux du corps et jusqu'à 50% des minéraux dans le lait. La plupart des dépôts de Ca ++ et de P + dans le fœtus surviennent au cours des deux derniers mois de gestation, ce qui suggère que la plupart du développement squelettique survient à ce moment-là (Kavazis et al, 2002). Cette utilisation fœtale de minéraux et la relation étroite entre les métabolismes du Ca ++ et P + (Rosol et Capen, 1997) peuvent expliquer les faibles concentrations de Ca ++ et P + chez les juments supplémentées par rapport au groupe témoin. Bien que les études antérieures aient porté sur l'évaluation des électrolytes sériques chez les juments péri-partum (Rook et al, 1997, Harvey et al, 2005), à la connaissance des auteurs, c'est la première étude qui évalue l'effet des levures probiotiques sur les macrominéraux sériques chez les juments en péri-partum. En effet, les électrolytes sériques doivent être considérés comme un groupe plutôt que individuellement. Lorsque l'apport d'un minéral augmente au-delà de ce qui est nécessaire, la partie non absorbée peut lier d'autres minéraux, diminuant ainsi leur absorption et pouvant entraîner une déficience de ces minéraux (Lewis, 1995).

Discussion

Le cortisol et l'insuline

Durant toute la période de supplémentation la cortisolémie du lot témoin était plus grande par rapport à celle du lot levure, avec une différence significative à J-15 ($P=0,021$), et au poulinage ($P=0,046$).

De même, les valeurs de cortisol ont également été augmentées numériquement chez ces juments 30 jours après la mise bas. Cela peut être lié à un stress physique plus élevé chez les juments du HARAS et peut être corrélé à la demande de lait plus élevée des poulains pendant les 30 premiers jours après le poulinage dans lequel ces poulains avaient une croissance rapide et un GMQ élevé.

Les valeurs du cortisol ont eu tendance à être plus faibles pendant l'expérimentation chez les juments supplémentées avec *Saccharomyces Cerevisiae*, ce qui peut être lié à un moindre stress physiologique chez les juments.

L'insuline est une hormone dite « hypoglycémisante ». En effet elle permet l'entrée du glucose dans les cellules. Les glucocorticoïdes sont des inhibiteurs compétitifs de l'insuline et les catécholamines l'inhibent également via leur fixation sur les récepteurs β -adrénergiques présents sur les cellules des îlots de Langerhans (MENARD J-J., 1998 – BICHOT S., 2003 - MUIR W.W., 2015a). Lorsqu'un organisme est soumis à un stress, c'est principalement l'action de l'insuline, et non sa synthèse, qui est touchée.

Durant la présente étude on a noté une amélioration des concentrations de l'insuline chez les juments supplémentées par rapport aux témoins avec des différences significatives à partir de J+15pp ce qui explique que les juments supplémentées sont moins stressées par rapport aux juments témoins.

Intervalle poulinage-1ere saillie :

Dans la présente étude, la moyenne de l'intervalle poulinage-1ere saillie était de $33,14 \pm 21,38$ Jours Vs $32,73 \pm 26,52$ jours pour le lot levure et le lot témoin respectivement, avec un minimum de 9 jours et un maximum de 95 jours, ce qui est supérieur à celles rapportées par A. Ali et al (2014) pour le pur sang arabe en Arabie saoudite, et par Zeller (2000) qui sont de 16,73 jours et 13,54 jours respectivement, et de la valeur citée par Cilek (2009) en Turquie pour les juments de race arabe qui est de 24,91 jours.

Par contre, notre résultat se rapproche de celui rapporté par Hanlon et Firth (2012a) en Nouvelle Zélande pour le pur sang Anglais qui est de 26,7 jours.

Discussion

Le retard de l'involution utérine et les anoestrus de lactation chez les poulinières suitées peuvent retarder la date de la 1^{ère} saillie post poulinage.

Trois semaines sont nécessaires afin que l'utérus retourne à son état pré gravide et que l'involution des glandes utérines soit achevée. Si ces dernières se maintiennent dans leur état dilaté et sécrétoire, il peut résulter en une mauvaise adaptation de l'endomètre pour une nouvelle gestation (Agricola, 2006).

Le bilan énergétique négatif pendant la lactation est un facteur majeur dans l'altération de la croissance folliculaire, de plus, la diminution de la sécrétion des gonadotrophines, de l'insuline et de la leptine sont impliqués dans le dysfonctionnement au niveau ovarien (Guillaume et al, 2006).

Le non respect du planning de gestion de la reproduction (choix des poulinières à saillir en fonction des résultats de leurs produits) peut avoir un impact négatif sur l'intervalle entre le poulinage et la 1^{ère} saillie.

Intervalle poulinage-saillie fécondante :

Dans la présente étude, la moyenne de l'intervalle poulinage-saillie fécondante était de $49,80 \pm 27,09$ Jours pour le lot levure par rapport au lot témoin ou on a noté une moyenne de $53,73 \pm 28,02$ Jours, avec un minimum de 12 jours et un maximum de 99 jours pour le lot levure, et 13 jours, 101 jours pour le lot témoin ce qui est inférieur aux résultats rapportés par Hanlon et Firth (2012a) et W.M. Ahmed (2013) en Egypte qui sont de 50,8 jours et 54.24 jours respectivement.

Par contre, nos résultats sont supérieurs à ceux enregistrés par Van Rijssen et al (2010) en Nouvelle Zélande qui sont de 32 jours.

Les juments qui poulinent tardivement, probablement c'est des femelles qui ont eu des difficultés de conception durant la saison précédente à cause des différents problèmes, ce qui pourra être également présent dans la prochaine saison de reproduction. (Van Rijssen et al ,2010).

Les mortalités embryonnaires, les endométrites, la fertilité des étalons et le plan de gestion de la reproduction peuvent avoir un impact négatif sur l'intervalle entre poulinage et conception.

L'effet de l'étalon sur l'intervalle poulinage-saillie fécondante était très hautement significatif, les males âgés ont pris beaucoup plus de temps pour fertiliser les juments par

Discussion

rapport aux jeunes, cela peut être expliqué par la qualité de la semence et le nombre de juments servis.

Pour les étalons qui ont une faible production de spermatozoïdes, les éjaculations fréquentes peuvent avoir un impact négatif sur le volume de la semence déposée dans l'utérus de la jument (Varner et al, 1991).

La différence entre le lot levure et le lot témoin de point de vue intervalle poulinage-conception et cette légère amélioration peut être due à l'effet bénéfiques des levures probiotiques sur l'assimilation alimentaire au niveau du tube digestif, la réduction des problèmes digestif, l'amélioration du statut immunitaire de la jument, l'apport des Acides aminées, des glucides, des vitamines (groupe B) et minéraux (P, Ca, Cu...etc), ainsi que la réduction du stress chez ces dernières participe à l'amélioration du bilan énergétique négatif et à l'activité hormonale hypothalamo-hypophyso- ovariènne.

Nombre de cycles nécessaires à l'obtention d'une gestation :

Dans la présente étude, la moyenne du nombre de cycles nécessaires a l'obtention d'une gestation était de $1,50 \pm 0,52$ cycle pour le lot supplémenté en *saccharomyces cerevisiae* et $1,94 \pm 0,85$ pour le lot témoin avec un minimum de 1 cycle pour les deux lots et un maximum de 2 cycles pour le lot levure et 4 cycles pour le lot témoin, ce qui est légèrement inférieur pour le lot levure a celles rapportées par Cilek (2009) pour le pur sang arabe en Turquie et par Sevinga et al (2002) qui sont de 1,53 cycle et 1,6 cycle respectivement. Et supérieur pour le lot témoin.

En outre, A. Ali et al (2014) a enregistré une valeur de 1,46 cycle pour le pur sang arabe en Arabie saoudite, nos résultat sont légèrement supérieur a ceux cités par l'auteur, cela peut être justifié par l'effet de l'âge de certaines poulinières de plus de 17 ans encore utilisées en reproduction du fait de leur valeurs génétiques.

Le maintien des vieilles juments en raison des performances sportives supérieures de leurs progénitures peut diminuer le taux de conception, car ce dernier diminue progressivement avec l'âge (Bailey, 1998).

Le statut reproductif à une influence sur le nombre de cycles nécessaires a l'obtention d'une gestation, les poulinières infertiles nécessitent plus de cycles pour concevoir par rapport aux juments suitées et Maidens, cela peut être justifié par les problèmes d'endométrites et le dysfonctionnement au niveau ovarien, par le développement de kystes folliculaires et lutéales qui perturbent le cycle.

Discussion

Brück et al (1993), ont trouvé des différences significatives entre les Maidens, les poulinières suitées et les juments infertiles. Le nombre de cycles nécessaires à l'obtention d'une gestation était plus faible pour les juments suitées, que pour les femelles Maidens et infertiles, au contraire de nos résultats, où les Maidens ont montrées un nombre de cycles nécessaires à l'obtention d'une gestation le plus bas par rapport aux autres catégories de juments.

M. L. Schulman et al (2012) a rapporté que le nombre de cycles nécessaires à l'obtention d'une gestation chez les juments avortées est de 1,9 cycle, ce qui est supérieur à notre résultat.

Toutefois, Les performances de reproduction des juments avortées et des poulinières qui n'ont pas conçues au cours de la saison précédente ne sont pas différentes de celles des femelles laissées volontairement au repos (Morris et Allen, 2002; Hemberg et al, 2004; Nath et al, 2010; Sharma et al ,2010a).

L'âge de l'étalon à une grande influence sur le nombre de cycles nécessaires à l'obtention d'une gestation, les performances reproductives des males âgés diminuent considérablement à partir de 18 ans ; ainsi, certains sont beaucoup plus sollicités pour servir un grand nombre de femelles vu leurs valeurs génétiques.

Une diminution de la fertilité est observée chez certains étalons âgés entre 15 et 18 ans (Varner et al, 1991; Roser, 1997; Blanchard et al, 2010a) et cela est probablement dû à une dégénérescence testiculaire (Roser, 1997).

Les étalons qui arrivent à saillir plus de quatre juments par jour, peuvent avoir un taux de conception moins élevé par rapport à ceux qui servent moins de trois poulinières par jour (Blanchard et al, 2010b).

En fin, la supplémentation en levure probiotique à amélioré le nombre de cycle nécessaire pour l'obtention d'une gestation en le réduisant à un maximum de 2 cycles, et cela peut être due à la stabilisation du bilan énergétique et azoté ainsi que l'apvisionnement en précurseur hormonaux et du statut immunitaire de la jument.

Croissance folliculaire par jours

Dans la présente étude, nous avons enregistré une croissance linéaire pour les deux lots, levure et témoin. Ainsi une légère différence était observée à partir d'un diamètre de 40 mm pour le lot levure par rapport au lot témoin jusqu'à ovulation.

Discussion

Le diamètre moyen des follicules était de 32,79 mm le 8ème jour avant le jour de l'ovulation pour le lot supplémenté et non supplémenté.

La moyenne des diamètres des follicules ovulatoires du lot levure était plus grande que celle des follicules du lot témoin $56,67 \pm 7,57$ mm Vs 47,00 mm respectivement et d'une journée d'avance.

La croissance des follicules des juments supplémentées en levure probiotique était supérieure à celle des follicules de juments non supplémentées avec une moyenne de $3,09 \pm 1,05$ mm/j Vs $2,47 \pm 0,62$ mm/j respectivement. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par (Ginther, O.J., 1979 ; Ginther, O.J., 1983) qui ont noté que la taille des follicules augmente linéairement au cours des sept jours à un taux moyen de 2,7 mm par jour; Bien que (England, G, 1996 et Palmer, E et Al 1980) aient signalés que 24-48h avant l'ovulation, cette augmentation s'arrête. Les follicules préovulatoires présentent un changement prononcé de forme sphérique à conique ou en forme de poire dans 84% des périodes préovulatoires, les follicules restants conservant une forme sphérique (Ginther, O.J., 1979).

Le taux de croissance folliculaire au cours de l'œstrus et le diamètre moyen du follicule préovulatoire observé au jour - 1 (avant l'ovulation) était conforme aux données rapportées par (Palmer, E et Al 1980 ; Ginther, O.J., 2000, Ginther, O.J., 1986, Pierson, R.A. et O.J. Ginther, 1985). Les follicules atteignent généralement 4 cm de diamètre avant l'ovulation (Ginther, O.J., 1979). Aucun follicule préovulatoire n'est inférieur à 35 mm ou supérieur à 58 mm le jour -1 (Ginther, O.J., 2000).

Dans la présente étude, l'effet des levures sur la croissance folliculaire peut être due au fait que les jument qui recevait une supplémentation en levure probiotique avait un bilan biochimique normal, et une grande assimilation des nutriments (glucose et protéines), des macro et micro élément et vitamines.

CONCLUSION

Conclusion

Dans cette thèse, nous avons montré que la concentration des IgG1 colostrales était plus grande pour les juments Arabe Barbe par rapport aux autres races de l'étude 166,6 g/l, toute fois cette valeur n'était pas significative statistiquement exceptée pour les valeurs enregistrées pour l'Anglo-arabe 27,8 g/l. Les valeurs enregistrées appartiennent aux valeurs citées par les différents auteurs.

En ce qui concerne le colostrum, nous avons observé un effet positif de l'âge de la jument sur le taux d'IgG1 dont la concentration passe par un maximum entre 5 et 14 ans. Les concentrations les plus basses étaient enregistrées chez les juments de + 15 ans, ce paramètre (âge) influence très significativement la teneur du colostrum et par la suite celle du sérum des poulains en IgG1.

Une supplémentation des poulinières avec *saccharomyces cerevisiae* à partir de J 300 de la gestation avait un effet significatif sur la teneur du colostrum en IgG1. *Saccharomyces cerevisiae* renforce le passage de l'immunité passive chez les poulains issus de juments supplémentées par rapport à ceux issus de juments témoins. Ainsi cet effet est levure dépendant (type et dose de levure).

Nous avons pu constater qu'il y avait un léger passage d'immunoglobuline même avant la prise colostrale, ce qui signifie un passage des IgG1 in utero, constaté par d'autres auteurs, mais ce passage est non significatif pour la protection d'un poulain post natal.

Les résultats à venir permettront d'évaluer la conservation des IgG dans le colostrum de jument sur un an ou plus. Cependant, il est important de garder à l'esprit que le transfert de l'immunité ne se limite pas au transfert des IgG : des cellules et d'autres protéines de l'immunité sont présentes dans le colostrum.

Ce travail montre également que la supplémentation des poulinières par les deux types de levure probiotique influence positivement et significativement la croissance des poulains et leurs GMQ lui même liée à la composition du colostrum et du lait synthétisé par la jument et consommé par les poulains jusqu'au sevrage.

Une autre constatation est observée dans cette étude ; la supplémentation en *saccharomyces cerevisiae* influence le profil biochimique des juments, ainsi cette supplémentation stabilise la glycémie en réduisant le stress de la parturition et du début de lactation, confirmé par la cortisolémie plus faible dans le lot levure par rapport au lot témoin. La supplémentation agit sur la glycémie en favorisant l'utilisation des glucides digestifs, en plus d'une amélioration de l'absorption des nutriments.

Conclusion

Le bilan protéique lui aussi était influencé par la supplémentation en probiotique, avec des concentrations en protéines totales et en Albumine plus élevées. On peut conclure que *saccharomyces cerevisiae* augmente la synthèse protéique et favorise son absorption intestinale chez les juments en péripartum.

L'urémie et la créatininémie étaient influencées par l'incorporation de la levure vivante dans l'alimentation des poulinières. Cela peut expliquer que les juments supplémentées avaient moins de mobilisation de leurs réserves corporelles.

Pour les paramètres de reproduction, la supplémentation des juments en levure probiotique a amélioré la croissance folliculaire et a avancé d'un jour l'ovulation, sans qu'il y est une différence significative dans les autres paramètres étudiés.

A l'issue de ces résultats, l'intérêt de l'addition de levure probiotique dans la ration des juments au cours du péripartum paraît justifier dans les conditions locales.

L'inclusion de *Saccharomyces cerevisiae* permet la valorisation de la ration, la réduction du stress, la compensation du déficit énergétique du début de lactation et la stabilisation de l'état corporel des juments au postpartum en réduisant la mobilisation des réserves lipidiques et protéiques tout en améliorant la production laitière de point de vue qualité que quantité.

Pour mieux comprendre ces effets positifs d'autres essais ultérieurs devraient être faites en utilisant d'autres doses de levures, d'autres types de ration, d'autres périodes et couvrant plus de jours et de paramètres dosés, avec un grand cheptel.

RECOMMENDATIONS

Recommandations

- La surveillance des poulinages reste donc primordiale pour assurer un bon transfert passif d'immunité, pour cela l'utilisation des moyens modernes (vidéo surveillance, ceinture de poulinage....) et le suivi de la parturition (dosage de la progestérone dans le sang, dosage du calcium, et le pH du colostrum) doivent être réalisés pour l'ensemble des juments juste avant le part.
- Utiliser le réfractomètre pour le dosage de la concentration d'IgG1 avant et après le poulinage.
- Donner une attention particulière pour les poulains issus de juments âgés de plus de 15 ans.
- La réalisation d'une banque de colostrum congelé est une pratique courante dans les élevages de chevaux. Il s'agit d'une méthode peu onéreuse qui permet de limiter les risques d'échec de transfert passif d'immunité.
- Identifier les juments qui produisent un colostrum de qualité, prélever une partie, filtrée et congelée à -20°C jusqu'à 12 mois pour l'utiliser à des poulains souffrant d'un échec de transfert d'immunité passive ou orphelins.
- Les IgG dans le colostrum sont spécifiques des agents pathogènes contre lesquels la mère est immunisée et donc présent dans l'élevage au moment du poulinage. Ces agents pathogènes peuvent évoluer, ainsi les IgG apportés par du colostrum conservé pendant une année peuvent ne plus être totalement spécifiques des agents pathogènes de l'environnement au moment de l'utilisation du colostrum. Il semble donc raisonnable de renouveler chaque année la banque de colostrum d'un élevage afin de rester au plus proche des agents pathogènes circulants.
- Booster la production du colostrum et du lait des juments par des suppléments avant la parturition.
- Utiliser les levures probiotiques durant la fin de la gestation pour améliorer la qualité du colostrum, la croissance des poulains et le bilan métabolique des poulinières.
- Le poulain doit recevoir deux litres de bon colostrum dans les 8 premières heures de vie.
- Si l'échec de transfert passif de l'immunité est diagnostiqué avant 12 heures, du colostrum congelé ou des colostroremplaceurs peuvent être administrés per os au poulain.
- Si le poulain a plus de 12 heures, une transfusion intraveineuse de plasma est conseillée.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- A.Ali, M., Alamaary, F. Al-Sobayli. (2014).reproductive performance of arab mares in the kingdom of saudi arabia, *Tierärztliche Praxis Großtiere* ,p 145-149.
- Abbas, Abul K., Lichtman, A. H., and Pober, Jordan S. (2000) *Cellular and Molecular Immunology*. W.B. Saunders Co., Philadelphia.
- Adami, A & Cavazzoni, V. (1999) Occurrence Of Selected Bacterial Groups In The Faeces Of Piglets Fed With *Bacillus Coagulans* As Probiotic. *J Basic Microbiol.* 39, 3-9.
- Agricola, R., (2006). Microvascularization and proliferation cell nuclear antigen expression in the post-partum endometrium in the mare. *Animal Reproduction Science*.Vol. 94, pp. 417-419.
- Ahmed,W.M., Zaabal, M.M., Hanafi, E.M., Abu Atia, E.F., Elkhadrawy, H.S. and El Battawy, K.A. (2013) .relationship between immunogenetic markers and some reproductive parameters in purebred arabian mares, *Global Veterinaria* 10 (6): 702-707,
- Ameri, M and Wilkerson, M. J. (2008). Comparison of two commercial radial immunodiffusion assays for detection of bovine immunoglobulin G in newborn calves. *J. Vet. Diagn. Invest.* 20:333-336.
- Andras, B., Zsolt, S., Zsolt, M., Hedvig, F., Roland, P., Gabor, T., Peter, H., Ferenc, K & Melinda, K. (2008) Effect Of *Bacillus Cereus* Var. Toyoi (Toyocerin (R)) On Caecal Microflora And Fermentation In Rabbits. *Magyar Allatorvosok Lapja* 130, 87-95.
- Aoki, T. and Ishii, M. (2012). Hematological and Biochemical Profiles in Peripartum Mares and Neonatal Foals (Heavy Draft Horse), *J. Equine Vet. Sci.*, 32, 170–176.
- Aoki, T., Ishii, M. (2012). Hematological and biochemical profiles in peripartum mares and neonatal foals (heavy draft horse). *J Equine Vet Sci* 32, 170–176.
- Appendix VIII: Blood Analyte Reference Values in Large Animals. In: Kaneko, J.J., Harvey, J.W., Bruss, M.L., (dir.) (2008). *Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 6th edition*. Burlington, MA, USA: Academic Press Elsevier, pp. 882-888.
- Argenzio, R.A., M. Southworth and C.E. Stevens. (1974). Sites of organic acid production and absorption in the equine gastrointestinal tract. *Am. J. Physiol.* 226(5): 1043-1050.
- Argüello, A., Castro, N., Capote, J., Ginés, R., Acosta, F., & López, J. L. (2003). Effects of refrigeration, freezing-thawing and pasteurization on IgG goat colostrum preservation. *Small Ruminant Research*, 48(2), 135-139. [http://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00277-8](http://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00277-8).
- Armitage, J.A., I.Y. Khan, P.D. Taylor, P.W. Nathanielsz and L. Poston., 2004 Developmental programming of the metabolic syndrome by maternal nutritional imbalance: How strong is the evidence from experimental models in mammals? *J. Physiol.* 561:355-377.
- Bailey, C.J. (1998). Wastage in the Australian Thoroughbred Racing Industry. RuralIndustries Research & Development Corporation, N98/52, 67p.

Références bibliographiques

- Bain, P.J. Liver. In: Latimer, K.S. (dir.) (2011). *Duncan and Prasse's Veterinary Laboratory Medicine: Clinical Pathology. 5th edition*. Ames, IA, USA: Wiley-Blackwell, pp. 211-230.
- Baruc, C.J., K.A. Dawson and J.P. Baker. (1983). The characterization and nitrogen metabolism of equine caecal bacteria. *Proceedings 8th Annual Equine Nutr. Symposium*. Lexington, KY. p. 151-156.
- Bazzano, M., Arfuso, F., Giudice, E., Di Pietro, S., and Piccione, G. (2015). Platelet aggregation percentage increased in healthy broodmares during the peripartum, *J. Equine Vet. Sci.*, 35, 573–576.
- Bazzano, M., Giannetto, C., Fazio, F., Arfuso, F., Giudice, E., and Piccione, G. (2014c). Metabolic profile of broodmares during late pregnancy and early post-partum, *Reprod. Dom. Anim.*, 49, 947–953.
- Bazzano, M., Giannetto, C., Fazio, F., Marafioti, S., Giudice, E., Piccione, G. (2014). Hemostatic profile during late pregnancy and early postpartum period in mares. *Theriogenology* 81, 639–643.
- Bazzano, M., Giannetto, C., Fazio, F., Marafioti, S., Giudice, E., and Piccione, G. (2014a). Hemostatic profile during late pregnancy and early postpartum period in mares, *Theriogenology*, 81, 639–643.
- Bazzano, M., Giannetto, C., Fazio, F., Rizzo, M., Giudice, E., and Piccione, G. (2014b). Physiological adjustments of haematological profile during the last trimester of pregnancy and the early post partum period in mares, *Anim. Reprod. Sci.*, 149, 199–203.
- Bellet, S. (1982). Etude des effets de différents régimes sur la microflore caecale et colique du poney. Thèse de 3ème cycle, Faculté des Sciences, Dijon. p. 121.
- Bennet-Wimbush, K., Loch, J.C., Lattimer, E.M and Green, E.M. (1991). Effect of yeast culture supplementation on weight gains, skeletal growth and bone density of third metacarpal in yearling Quarter Horses. *J. Anim. Sci.* 69:324.
- Berg, E. L., McNamara, D, L., Keisler, D, H. (2007): Endocrine profiles of periparturient mares and their foals. *J Anim Sci* 85, 1660–1668.
- Berg, E.L., Fu, C.J., Porter, J.H and Kerley, M.S. (2005). Fructooligosaccharide supplementation on the yearling horse: Effects on fecal pH, microbial content and volatile fatty acid concentrations. *J. Anim. Sci.* 83:1549-1553.
- Berlin, D. and Aroch, I. (2009). Concentrations of ionized and total magnesium and calcium in healthy horses: Effects of age, pregnancy, lactation, pH and sample type, *Vet. J.*, 181, 305–311.
- Biasucci, G., M. Rubini, S. Riboni, L. Morelli, E. Bessi and C. Retetangos. (2010). Mode of delivery affects the bacterial community in the newborn gut. *Early Human Devel.* 86:13-15.
- BICHOT S. (2003). Changements hormonaux et métaboliques associés à l'anesthésie. Thèse de doctorat vétérinaire, Université Paul Sabatier, Toulouse. 101p.

Références bibliographiques

- Biddle, A.S., S.J. Black and S.J. Blanchard. (2013). An *in vitro* model of the horse gut microbiome enables identification of lactate-utilizing bacteria that differently respond to starch induction. PLoS ONE 8:e77599.
- Biels, Lawrence, M., Novakofski, L., Kline, J., K., McLaren, D., Moser, L. and Powell, D. (1990). Effect of yeast culture supplementation of exercising horses. J. Anim. Sci. 67(Suppl. 1):375.
- Blanchard, T.L., Brinsko, S.P., Varner, D.D., Love, C.C., O'Meara, A., Ramsey, J. (2010a). Relationships between stallion age, book size, number of matings (covers), breeding soundness examination findings, and fertility parameters in 15 Thoroughbred stallions (34 stallion years). Clinical Theriogenology 2, 91-7.
- Blanchard, T.L., Thompson, J.A., Brinsko, S.P., Varner, D.D., Love, C.C., Ramsey, J., O'Meara, A. (2010b). Some factors associated with fertility of Thoroughbred stallions. Journal of Equine Veterinary Science 30, 407-18,
- Blomberg, L., Henriksson, A. and Conway, P.L. (1993). Inhibition of adhesion of *Escherichia coli* K88 to piglet ileal mucus by *Lactobacillus* spp. Appl. Environ. Microbiol. 59:34-39.
- Boden, G. (1996). Fuel metabolism in pregnancy and in gestational diabetes mellitus Obstet Gynecol Clin North Am, 23, pp. 1–10.
- Bogovic-Matijasic, B., Rogelj, I., Nes, I. F. and Holo, H. (1998). Isolation and characterization of two bacteriocins of *Lactobacillus acidophilus* LF221. Appl. Microbiol. Biotechnol. 49:606-612.
- Bomba, A., Nemcova, R., Mudronova, D. and Guba, P. (2002). The possibilities of potentiating the efficacy of probiotics. Trends in Food Sci. and Technol. 13:121-126.
- Boudry, C., Dehoux, J.P., Portetelle, D., Buldgen, A. (2008). Bovine colostrum as a natural growth promoter for newly weaned piglets. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 12, 157-170.
- Bowen, K.E. and Cox, J.L. (1995). Prevention of Beta-lactam-associated diarrhea by *Saccharomyces boulardii* compared with placebo. *Am. J. Gastroenterology*, 90(3): 439-448.
- Boy, V. and Duncan, P. (1979). Time budgets of Camargue horses. 1. Developmental changes in the time budgets of foals. Behavior. 21:187-201.
- Breathnach, C. C., Sturgill-Wright, T., Stiltner, J. L., Adams, A. A., Lunn, D. P., & Horohov, D. W. (2006). Foals are interferon gamma-deficient at birth. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 112(3–4), 199-209. <http://doi.org/10.1016/j.vetimm.2006.02.010>.
- Brück, I., Anderson, G.A., Hyland, J.H. (1993). Reproductive performance of thoroughbred mares on six commercial stud farms. Aust Vet J 70:299-303.
- Brugier, G. and Patte, F. (1975). Antagonisme *in vitro* entre l'ultra levure et différents germes bactériens. *Médecin de Paris*, 45: 61-66.
- Bruyas, J. F. (2007). Comprendre l'immunité néonatale du poulain, n°246 .Le nouveau praticien vétérinaire équin.36-43

Références bibliographiques

- Bucca, S. (2006). Diagnosis of the compromised equine pregnancy. *Vet Clin North Am-Equine* 22, 749-761.
- Burns, A.J. and Rowland, I.R. (2000). Anti-carcinogenicity of probiotics and prebiotics. *Curr. Issues Intest. Microbiol.* 1:13-24.
- Buts, J.P., Bernasconi, P., Valrman, J.P. and Dive, C. (1990). Stimulation of secretory IgA and secretory component of immunoglobulins in small intestine of rats treated with *Saccharomyces boulardii*. *Dig. Dis. Sci.*, 35: 251-256.
- Buts, J.P., De Keyser, N. and De Reademaeker, L. (1994). *Saccharomyces boulardii* enhances rat intestinal enzyme expression by endoluminal release of polyamines. *Pediatr. Res.*, 36: 522-527.
- Cakiroglu, D., Meral, Y., Pekmezci, D., Onuk, E.E. and Kabak, Y.B. (2010). Effects of Yeast Culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on Humoral and Cellular Immunity of Jersey Cows in Early Lactation. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9: 1534-1538.
- Campbell, N. A. Et Reece, J. B. (2004). Les réactions immunitaires. [ed.] de boek. *Biologie 2ème édition*. 2004, pp. 992-1006.
- Carlson, G.P. Clinical chemistry tests. In: Smith, B.P. (dir.) (2009). *Large Animal Internal Medicine. 4th edition*. Saint-Louis, Missouri, USA: Mosby, Elsevier, pp. 375-397.
- Carol, M., Borruel, N., Antolin, M., Llopis, M., Casellas, F., Guarner, F. and Malagelada, J.R.. (2006). Modulation of apoptosis in intestinal lymphocytes by a probiotic bacteria in Crohn's disease. *J. Leukoc. Biol.* 79:917-922.
- Cash, R. S. G. (1999). Colostral quality determined by refractometry. *Equine Veterinary Education*, 11(1), 36-38. <http://doi.org/10.1111/j.2042-3292.1999.tb00916.x>.
- Castagliuolo, I., Lacant, T., Nikulassan, S.T. and Pothoulakis, C. (1996). *Saccharomyces boulardii* protease inhibits *Clostridium difficile* toxin A effects in the rat Ileum. *Infect. Immun.*, 64(2): 5225-5232.
- Charbonnel, L. (2015, juin). Cinétique de la concentration en immunoglobulines colostrales au cours de la congélation chez la vache. *VetAgro Sup*.
- Chaucheyras-Durand, F., Madic, J., Doudin, F. & C. M (2006) Biotic And Abiotic Factors Influencing In Vitro Growth Of Escherichia Coli O15:H7 In Ruminant Digestive Contents. *Applied And Environmental Microbiology* 72, 4136-4142.
- Chaudeyras, F. and Fonty, G. (2002). Influence of yeast (*Saccharomyces cerevisiae* CNCM I-1077) on microbial colonization and fermentations in the rumen of new-born lambs. *Microb. Ecol. Health Dis.* 14:30-36.
- Chaudeyras, F., Fonty, G., Bertin, G. and Gouet, P. (1996). Effect of a strain of *Saccharomyces cerevisiae* (Levucell SC), a microbial additive for ruminants, on lactate metabolism in vitro. *Can. J. of Microbial.* 42:927-933.

Références bibliographiques

- Chavatte, P., Clément, F., Cash, R., & Grongnet, J. F. (1998a). Field determination of colostrum quality by using a novel, practical method. In *Proc Annual Convention AAEP* (Vol. 44, p. 206–209). Consulté à l'adresse http://www.researchgate.net/profile/Pascale_Chavatte.
- Chavatte, P., Clément, F., Cash, R., & Grongnet, J. F. (1998a). Field determination of colostrum quality by using a novel, practical method. In *Proc Annual Convention AAEP* (Vol. 44, p. 206– 209). Consulté à l'adresse http://www.researchgate.net/profile/Pascale_Chavatte-Palmer/publication/229164013_Field_determination_of_colostrum_quality_by_using_a_novel_practical_method/links/00b7d51a1c9cd87851000000.pdf.
- Chavatte, P., Grongnet, J. F., Clément, F., Arnaud, G., & Cash, R. (1998b). Taux de calcium et d'immunoglobulines dans les sécrétions mammaires (p. 39-49). Présenté à 24e Journée de la recherche équine, Institut du cheval. Consulté à l'adresse <http://alex.vetagrosup.fr/Record.htm?idlist=9&record=19133172124919513549>.
- Chavatte-Aubry, P., Collobert, C. (2 mars 1994) Le poulain nouveau-né. In: 20ème Journées de la Recherche Equine, 1994; 124-143.
- Chavatte-Palmer, P., Clément, F. et Betsch, J-M. (1999) Les échecs de transfert passif de l'immunité chez le poulain. *Pratique Vétérinaire Equine.*, Vol. 31, 122.
- Chiang, B. L., Sheih, Y. H., Wang, L. H., Liao, C. K. & Gill, H. S. (2000) Enhancing Immunity By Dietary Consumption Of A Probiotic Lactic Acid Bacterium (Bifidobacterium Lactis HN019): Optimization And Definition Of Cellular Immune Responses. *Eur J Clin Nutr.* 54, 849-855.
- Chucuri, T. M., Monteiro, J. M., Lima, A. R., Salvadori, M. L. B., Junior, J. R. K., & Miglino, M. A. (2010). A review of immune transfer by the placenta. *Journal of Reproductive Immunology*, 87(1–2), 14-20. <http://doi.org/10.1016/j.jri.2010.08.062>.
- Cilek, S. (2009). The Survey of Reproductive Success in Arabian horse Breeding from 1976-2007 at Anadolu State Farm in Turkey. *J Anim Vet Adv* 2:389-39.
- Clabough, D.L., Levine, J.F., Grant, G.G., and Conboy, H. S. (1991) Factors associated with failure of passive transfer of colostrum antibodies in Standardbred foals. *J Vet Intern Med* 5(6), 335-340.
- Clapp, J.F. (2002). Maternal carbohydrate intake and pregnancy outcome. *Proc. Nutr. Soc.* 61:45-50.
- Clément, F., Duvaux-Ponter, Arnaud, & Piot. (2002). Efficiency of IgG absorption in the foal. *Theriogenology*, 58(2–4), 805-808. [http://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)00752-5](http://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)00752-5).
- Cohen N.D. (1994). Causes of and farm management factors associated with disease and death in foals, *Journal of the american veterinary medical association*, 204, 10, 1644-1651.
- Collins, M.D. and Gibson, G. R. (1999). Probiotics, prebiotics and synbiotics: approaches for modulating the microbial ecology of the gut. *Am. J. Clin. Nutr.* 69:1052S-1057S.
- Collobert-Laugier, C., Vaissaire, J., Gillet, J.P., et al. (9 mars 1988). Causes de mortalité des poulains de moins de 6 mois en Basse-Normandie. In: 14ème Journées de la Recherche Equine, 1998; 127-141.

Références bibliographiques

- Corcionivoschi, N., Drinceanu, D., Micrea Pop, I., Stack, D., Stef, L. and Billy Bourke, C. (2010) The Effect of Probiotics on Animal Health. *Anim. Sci. Biotechnol.* 43(1): 35-41.
- Cornell University. *Cornell University College of Veterinary Medicine* [en ligne]. [Consulté le 14 Avril 2017]. URL: <https://ahdc.vet.cornell.edu/sects/clinpath/reference/chem.cfm>
- Corpet, D. E. (1999a) Antibiotiques En Elevage Et Résistances Bactériennes : Vers Une Interdiction ? . *Rev Med Vet.* 150, 165-170.
- Corthier, G., Dubos, F. and Ducluzeau, R. (1986). Prevention of *Clostridium difficile* mortality in gnotobiotic mice by *Saccharomyces boulardii*. *Can. J. Microbiol.*, 32: 894-896.
- Crawford, T. B., McGuire, T.C., Hallowell, A.L., Macomber, L.E. (1977). Failure of colostral antibody transfer in foals: its effect, diagnosis and treatment. *Proceedings 23rd Annu Conv Am Assoc Equine Practnr*: 1977: 265-275.
- Csapó, J., Stefler, J., Martin, T. G., & Makray, S. (1995b). Composition of mares' colostrum and milk. Protein content, amino acid composition and contents of macro and micro-elements. *International Dairy Journal*, 5(4), 403-415. [http://doi.org/10.1016/0958-6946\(94\)00014-G](http://doi.org/10.1016/0958-6946(94)00014-G).
- Cuaron, P. (1999). Live yeast use in growing and finishing swine. Development of a study model. In: *Proc. 3rd SAF-AGRI Symposium on Biotechnology Applied to Animal Nutrition*, Merida, Mexico.
- Cunningham, J. G. (1997) *Textbook of Veterinary Physiology*, 2nd ed., W. B. Saunders Company. Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo. pp. 472-481.
- Cunha, T. J. (1980). (Ed.): Mineral requirements of the horse, in: *Horse feeding and nutrition*, Academic Press, New York, NY, 59–110.
- Curadi, M. C., Minori, D., Demi, S., Orlandi, M. (2001). Immunotransfer in the foal. *Annali-Facolta di Medicina Veterinaria Pisa*; 54: 127-140.
- Czop, J.K. (1986). Characterization of a phagocytic receptor for Beta-glucan on macrophages cultured from murine bone marrow. *Path. Immunopath. Res.*, 5: 286-296.
- Dawson, K. A., Newman, K. E. & Boling, J. A. (1990) Effects Of Microbial Supplements Containing Yeast And Lactobacilli On Roughage Fed Microbial Activities. *J. Anim. Sci.* 68, 3392-3398.
- Dawson, K.A. (1992). Current and future role of yeast culture in animal production: A review of research over the last six years. In: *Supplement to the Proceedings of the 8th Annual Symposium*. (T.P. Lyons, ed) Alltech Technical Publications, Nicholasville, KY.
- Dawson, K.A., Newman, K.E. and Boling, J.A. (1990). Effects of microbial supplements containing yeast and lactobacilli on roughage-fed ruminal microbial activities. *J. Anim. Sci.* 68:3392.
- De Fombelle, A., Julliand, V., Drogoul, C. and Jacotot, E. (2001). Feeding and microbial disorders in horses: 1- Effects of an abrupt incorporation of 2 levels of barley in a hay diet on microbial profiles and activities. *J. Equine Vet. Sci.* 21:439-445.

Références bibliographiques

- De Fombelle, A., Varould, M., Goachet, A. G., Jacotot, E., Philippeau, C., Drogoul, C. and Julliand, V. (2003). Characterization of the microbial and biochemical profile of the different segments of the digestive tract in horses given two distinct diets. *J. Anim. Sci.* 77:293-304.
- De Vaux, A. and Julliand, V. (1994). Effect of probiotic on caecal microbial digestion in the pony. *Ann. Zootech.* 43:259.
- Delouis, C., Houdebine, L.M., Richard, P. (2001). La lactation. In : Thibault C., Levasseur C. (Eds), *La reproduction chez les mammifères et l'homme*. INRA Editions-Ellipses : Paris, 580-610.
- Demmers, S., et al. (2001) Neutrophil functions and serum IgG in growing foals. *Equine veterinaryjournal.*, Vol. 33, 7.
- Desjardins, I., Cadoré, J.L. (2006). Analyses sanguines équine. I – Hématologie: approche Clinique.
- Desjardins, I., Cadoré, J.L. (2006). Analyses sanguines équine. II – Biochimie. *Pratique Vétérinaire Equine*, 38(152), pp. 7-16.
- Devriese, L. A., Hommez, J., Pot, B. & Haesebrouck, F. (1994) Identification And Composition Of The Streptococcal And Enterococcal Flora Of Tonsils, Intestines And Faeces Of Pigs. *J Appl Bacteriol.* 77, 31-36.
- Di Luzio, N.R. (1977). Küpfer cells and other liver sinusoidal cells, Wise, E. and Knoch, D.L. (eds). Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, 397.
- Doligez, P. & Bradeau, J. M. (2011, janvier). Utilisation du colotest - Haras-nationaux. Consulté 29 mars 2016, à l'adresse <http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil/équipedia/reproduction/le-poulinage-et-le-poulain-nouveau-ne/utilisation-ducolotest.html>.
- Dominguez-Belloa, M. G., Costellob, E. K., Contreras, M., Magrisd, M., Hidalgo, G., Fierere, N. S. and Knight, R. (2010). Delivery mode shapes the acquisition and structure of the initial microbiota across multiple body habitats in newborns. *Proc. Nat. Academy of Sci.* 107(26):11971-11975.
- Dougal, K., De la Fuente, G., Harris, P. A., Girdwood, S. E., Pinloche, E. and Newbold, C. J. (2013). Identification of a core bacterial community within the large intestine of the horse. Identification of a core bacterial community within the large intestine of the horse. *PLoS ONE* 8(10): e77660.
- Dowdall, S.M., Matthews, J.B., Mair, T., Murphy, D., Love, S. and Proudman, C.J. (2002) Antigen-specific IgG(T) responses in natural and experimental cyathostominae infection in horses. *Vet. Parasitol.* 106, 225-242.
- Drogoul., Clément., Ventorp & Orlandi. (2006). Equine colostrum production and utilisation : basic and applied aspects. In *Nutrition and feeding of the broodmare* (p. 203-219).
- Duc, L. H., Hong, H. A., Barbosa, T. M., Henriques, A. O & Cutting, S. M. (2004). Characterization Of Bacillus Probiotics Available For Human Use. *Appl. Environ. Microbiol.* 70, 2161-2171.

Références bibliographiques

- Ducluzeau, R. and Bensaada, M. (1982). Effets comparés de l'administration unique ou en continu de *Saccharomyces boulardii* sur l'établissement de diverses souches de *Candida* dans le tractus digestif de souris gnotoxeniques. *Ann. Microbiol.*, 133B: 491-501.
- Durand-Chaucheyras, F., Fonty, G., Bertin, G. (1997). L'utilisation de levures vivantes, additif microbiens chez le ruminant : Effets sur la microflore et les fermentations ruminales, effets zootechniques. *Bulletin des G.T.V. no.5B*, 576: 35-52.
- Dutta, T. K & Kundu, S. S. (2005). In Vitro Rumen Fermentation And Gas Production As Affected By Probiotics Addition. *Indian Journal Of Animal Sciences* 75, 817-822.
- Eadie, J.M. and Mann, S.O. (1970). Development of the rumen microbial population: High starch diets and instability. *Physiol. Digest. Metabo. Rumen.* 335-347.
- Earing, J.E., Durig, A.C., Gellin, G. L., Lawrence, L. M. and Flythe, M. D. (2012). Bacterial colonization of the equine gut; comparison of mare and foal pairs by PCR-DGGE. *Adv. in Microbiol.* 2:79-86.
- Eckersall, P.D. Proteins, Proteomics, and the Dysproteinemias. In: Kaneko, J.J., Harvey, J.W., Bruss, M.L., (dir.) (2008). *Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 6th edition.* Burlington, MA, USA: Academic Press Elsevier, pp. 117-155.
- EFSA. (2009). Scientific Opinion of the panel on additives and products or substances used in animal feed on the safety and efficacy of Yea-Sacc1026 (*Saccharomyces cerevisiae*) as a feed additive for horses. *EFSA J.* 991:1-14.
- El Hassan, S. M., Newbold, C. J. and Wallace, R. J. (1993). The effect of yeast culture on rumen fermentation: growth of yeast in the rumen and the requirement for viable yeast cells. *Anim. Prod.* 56:463.
- Elizondo-Salazar, J. A., & Heinrichs, A. J. (2009). Feeding heat-treated colostrum to neonatal dairy heifers: Effects on growth characteristics and blood parameters. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3265-3273. <http://doi.org/10.3168/jds.2008-1667>.
- Elliot, D.A., Katcher, V.B. and Lowy, F.D. (1991). A 220-kilodalton Glycoprotein in yeast extract inhibits *Staphylococcus aureus* adherence to human endothelial cells. *Infect. Immun.*, 59(6): 2222-2223.
- Emmanuel, D.G.V., Jafari, A., Beauchemin, K. A., Leedle, J. A. Z & Ametaj, B. N. (2007). Feeding Live Cultures Of Enterococcus Faecium And Saccharomyces Cerevisiae Induces An Inflammatory Response In Feedlot Steers. *Journal Of Animal Science* 85, 233-239.
- England, G., (1996). *Allen's Fertility and Obstetrics in the Horse.* 2nd ed. Blackwell Science, Oxford, London. pp: 241.
- Erhard, M. H., Luft, C., Remler, H. P., Stangassinger, M. (2001). Assessment of colostral transfer and systemic availability of immunoglobulin G in newborn foals using a newly developed

Références bibliographiques

- enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) system. *J Anim Physiol Nutr (Berl)*; 85: 164-173.
- Erickson, K. L. & Hubbard, N. E. (2000). Probiotic Immunomodulation In Health And Disease. *Journal Of Nutrition* 130,403.
- Evans, J.W. (1971). Effect of fasting, gestation, lactation and exercise on glucose turnover in horses. *J Anim Sci*, 33, pp. 1001–1004.
- Evans, T. J., Ryley, H. C., Neale, L. M., Dodge, J. A., & Lewarne, V. M. (1978). Effect of storage and heat on antimicrobial proteins in human milk. *Archives of Disease in Childhood*, 53(3), 239-241.
- Fairbrother, J. M. & Nadeau, E. (2006). Escherichia Coli: On-Farm Contamination Of Animals. *Revue scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties* 25, 555-569.
- Faubladier, C., Julliard, V., Danel, and Philippeau, C. (2013). Bacterial carbohydrate-degrading capacity in foal faeces: changes from birth to pre-weaning and the impact of maternal supplementation with fermented feed products. *Br. J. Nutr.* 110:1040-1052.
- Favier, C.F., Vaughan, E. E., De Vos, W.M. and Akkermans, A. D. L. (2002). Molecular monitoring of succession of bacterial communities in human neonates. *Appl. and Environ. Microbiol.* 68:219-226.
- Filipović, N., Stojević, Z., Prvanović, N., and Tucek, Z. (2010). The influence of late pregnancy and lactation on bone metabolism in mares, *Res. Vet. Sci.*, 88, 405–410.
- Flaminio, J. B. F. & Tallmadge, R. L. (2011). Development of the foal immune system. In *Equine Reproduction, Second Edition* (Blackwell, p. 331-341).
- Fleener, W. A. and Stott, G. H. (1981). Single radial immunodiffusion analysis for quantification of colostrum immunoglobulin concentration. *J. Dairy Sci.* 64:740-747.
- Fleige, S., Preibinger, W., Meyer, H. D & Pfaffl, M. W. (2007). Effect Of Lactulose On Growth Performance And Intestinal Morphology Of Pre-Ruminant Calves Using A Milk Replacer Containing Enterococcus Faecium. *Animal* 1, 367-373.
- Foley, J. A., Otterby, D. E. (1978). Availability, storage, treatment, composition, and feeding value of surplus colostrum. *J. Dairy Sci.*, 61, 1033-1060.
- Fooks, L. J. and Gibson, G.R. (2002). *In vitro* investigations of the effect of probiotics and prebiotics on selected human intestinal pathogens. *FEMS Microbiol. Ecol.* 39:67-75.
- Ford, S.P., Hess, B.W., Schwope, M. M., Nijland, M. J., Gilbert, J. S., Vonnahme, K. A., Means, W. J., Han and Nathanielsz, P.W. (2007). Maternal under nutrition during early gestation in the ewe results in altered growth, adiposity and glucose tolerance in male offspring. *J. Anim. Sci.* 85:1285-1294.
- Fowden, A.L., Comline, R.S., Silver, M. (1984). Insulin secretion and carbohydrate metabolism during pregnancy in the mares. *Equine Vet J*, 16, pp. 239–246.

Références bibliographiques

- Frape, D. (1998). *Equine Nutrition and Feeding*. Blackwell Science, London, UK.
- Frape, D. (2004). *Equine feeding and nutrition* (3rd ed). Blackwell publishing, Oxford.
- Fujiwara, R., Takemura, N., Watanabe, J. and Soyonama, K. (2010). Maternal consumption of fructooligosaccharides diminishes the severity of skin inflammation in offspring of NC/Nga mice. *Br. J. Nutr.* 103:530-538.
- Fujiwara, R., Watanabe, J. and Sonoyama, K. (2008). Assessing changes in composition of intestinal microbiota in neonatal BALB/c mice through cluster analysis of molecular markers. *Br. J. Nutr.* 99:1174-1177.
- Fukada, S., Toh, H., Hase, K., Oshima, K., Nakanishi, Y., Yoshimura, K., Tobe, T., Clarke, J. M., Topping, D. I., Suzuki, T., Taylor, T. D., Itoh, K., Kikuchi, J., Morita, H., Hattori, M. and Ohno, H.. (2011). Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate. *Nature*. 469:543-547.
- Fuller, R. (1989). A review: Probiotics in man and animals. *J of Appl. Bacteriol.* 66:365-378.
- Gagnon, M., Kheadr, E. E., Le Blay, G. & Fliss, I. (2004). In Vitro Inhibition Of Escherichia Coli O157:H7 By Bifidobacterial Strains Of Human Origin. *International Journal Of Food Microbiology* 92, 6978.
- Galip N. (2006). Effect Of Supplemental Yeast Culture On Ruminale Protozoa And Blood Parameters In Rams. *Revue De Médecine Vétérinaire*, 157, 11:519-524.
- García-Lara, N. R., Escuder-Vieco, D., García-Algar, O., De la Cruz, J., Lora, D., & Pallás-Alonso, C. (2012). Effect of Freezing Time on Macronutrients and Energy Content of Breastmilk. *Breastfeeding Medicine*, 7(4), 295-301. <http://doi.org/10.1089/bfm.2011.0079>.
- Gedek, B. (1989). Interaktion zwischen lebeden Hefezellen und darmpathogen *Escherichia colikeimen*. In: *Okosystem Darm, Morphologie, Mikrobiologie, Immunologie*, Müller, J., Ottenjann, R. and Seifert, J. (eds). Springer Verlag, pp. 135-139.
- Genin, C. (1989). Transfert de l'immunité passive chez le poulain (p. 62-73). Présenté à CEREOPA, 15ème journée de la recherche chevaline, Paris: Centre d'Etude et de Recherche sur l'Economie et l'Organisation des Productions Animales. Consulté à l'adresse <http://alex.vetagro-sup.fr/Record.htm?idlist=14&record=19128717124919469999>.
- Génin, C. et Clément, F. (1989). Transfert de l'immunité passive chez le poulain. *15ème journée de la recherche équine*. Paris : Institut du cheval.
- Gibson, G.R. and Roberfroid, M. B. (1995). Dietary manipulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.* 125:1401-1412.
- Gibson, G.R., Probert, H. J., van Loo, R.A., Rastall and Roberfroid, M. B. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: Updating the concepts of prebiotics. *Nutr. Res. Rev.* 17:259-275.

Références bibliographiques

- Giguère, S. et Polkes, A. C. (2005). Immunologic disorders in neonatal foals. *The veterinary clinics of North America equine practice*. Vol. 21, 2.
- Ginther, O.J., (1979). Reproductive Biology of the Mare. Basic and applied aspects. Equiservices, Cross Plains, Wisconsin, USA. pp: 133-154.
- Ginther, O.J., (1983). Sexual behaviour following introduction of stallion into a group of mares. *Theriogenol.*, (19): 877-886.
- Ginther, O.J., (2000). Selection of the dominant follicle in cattle and horses. *Anim. Reprod. Sci.*, (60): 61-79.
- Girard, I.D., Jones, C. R. and Dawson, K.A. (1993). Lactic acid utilization rumen-stimulating cultures receiving a yeast culture supplement. *J. Anim. Sci.* 71:288.
- Glade, M. J. and Sist, M. D. (1988). Dietary yeast culture supplementation enhances urea recycling in the equine large intestine. *Nutr. Rep. Intern.* 37:11-17.
- Glade, M.J. (1991). Dietary yeast culture supplementation of mares during late gestation and early lactation. Effect of dietary nutrient digestibility and faecal nitrogen partitioning. *J Anim. Sci.* 62:1635-1640.
- Glade, M.J. and Campbell-Taylor, M. (1990). Effects of dietary yeast culture supplementation during the conditioning period on equine exercise physiology. *J. Equine Vet. Sci.* 10:434-443.
- Goehring, L.S., Wagner, B., Bigbie, R., Hussey, S.B., Rao, S., Morley, P.S. and Lunn, D.P. (2010) Control of EHV-1 viremia and nasal shedding by commercial vaccines. *Vaccine* 28, 5203-5211.
- Goffeau, A., Barrell, B. G., Bussey, H., Davis, R. W., Dujon, B., Feldmann, H., Galibert, F., Hoheisel, J. D., Jacq, C., Johnston, M., Luis, E. J., Mewes, H. W., Murakami, Y., Philippsen, P., Tettelin, H. & Oliver, S. G. (1996) Life With 6000 Genes. *Science* 274:563-567.
- Goodman, L.B., Wagner, B., Flaminio, M.J., Sussman, K.H., Metzger, S.M., Holland, R. and Osterrieder, N. (2006) Comparison of the efficacy of inactivated combination and modified-live virus vaccines against challenge infection with neuropathogenic equine herpesvirus type 1 (EHV-1). *Vaccine* 24, 3636-3645.
- Goodman, L.B., Wimer, C., Dubovi, E.J., Gold, C. and Wagner, B. (2012) Immunological correlates of vaccination and infection for equine herpesvirus 1. *Clin. Vaccine Immunol.* 19, 235-241.
- Goodson, J., Tyznik, W., Cline, J. and Dehority, B. (1988). Effects of an abrupt diet change from hay to concentrate on microbial numbers and physical environment in the cecum of the pony. *Appl. Environ. Microbiol.* 54:1946-1950.
- Gournier-Château, N., Larpent, J. P., Castellanos, M. I. & Larpent, J. L. (1994). *Les Probiotiques En Alimentation Animale Et Humaine*, Lavoisier Ed.
- Guerra, N. P., Bernardez, P. F., Mendez, J., Cachaldora, P. & Pastrana, Castro. L. (2007). Production Of Four Potentially Probiotic Lactic Acid Bacteria And Their Evaluation As Feed Additives For Weaned Piglets. *Animal Feed Science And Technology* 134, 89-107.

Références bibliographiques

- Guillaume, D., Salazar-Ortiz, J., Martin-Rosset, W. (2006). Effects of nutrition level in mares'ovarian activity and in equines'puberty. In: Nutrition and feeding of the broodmare (p. 315-339). Publication - European Association for Animal Production, 120. Presented at European Workshop on Equine Nutrition, Campobasso, ITA (2006-06-20 - 2006-06-22). Wageningen, NLD : Wageningen Academic Publishers.
- Hadden, D. R., McLaughlin, C. (2009). Normal and abnormal maternal metabolism during pregnancy. *Semin Fetal Neonatal Med* 14, 66–71
- Hadjipanayiotou, M. (1995). Composition of ewe, goat and cow milk and of colostrum and goat. *Small. Rum. Rech.*, 18, 255-262.
- Hall, R.P., Jackson, S.G., Baker, J.P. and Lowry, S.R. (1990). Influences of yeast culture supplementation on ration digestion by horses. *J. Equine Vet. Sci.* 10:130-134.
- Hammon, H.M., Zanker, I.A., Blum, J.W. (2000). Delayed colostrum feeding affects IGF-I and insulin plasma concentrations in neonatal calves. *J. Dairy Sci.*, 83, 85- 92.
- Hanlon, D.W., Stevenson, M., Evans, M.J., Firth, E.C. (2012b): Reproductive performance of Thoroughbred mares in the Waikato region of New Zealand: 1. Descriptive analyses. *N Z Vet J* 60:329-334.
- Harris, P. (1997). Energy sources and requirements of the exercising horse. *Annual Review of Nutrition.* 17:185-210.
- Harvey, J.W., Pate, M. G., Kivipelto, J., and Asquith, R. L. (2005) Clinical biochemistry of pregnant and nursing mares, *Vet. Clin. Path.*, 34, 248–254.
- Harvey, J.W., Pate, M. G., Kivipelto, J., and Asquith, R. L. (2005). Clinical biochemistry of pregnant and nursing mares, *Vet. Clin. Path.*, 34, 248–254.
- Harvey, J.W., Pate, M. G., Kivipelto, J., Asquith, R.L., (2005): Clinical biochemistry of pregnant and nursing mares. *Vet Clin Pathol* 34, 248–254.
- Hassanein, S.M. and Soliman, N.K. (2010). Effect of probiotic (*Saccharomyces cerevisiae*) adding to diets on intestinal microflora and performance of Hy-Line layers hens. *J. Anim. Sci.* 6(11):159-169.
- He, T., Priebe, M.G., Zhong, Y., Huang, C., Harmsen, H.J.M., Raangs, G.C., Antoine, J.M., Welling , G.W. & Vonk, R.J. (2008). Effects Of Yogurt And Bifidobacteria Supplementation On The Colonic Microbiota In Lactose-Intolerant Subjects. *Journal Of Applied Microbiology* 104, 595-604.
- Hemberg, E., Lundeheim, N., Einarsson, S. (2004). Reproductive performance of thoroughbred mares in Sweden. *Reprod Dom Anim* 39:81-85.
- Hill, J. and Gutsell, S. (1997). Effect of supplementation of a hay and concentrate diet with live yeast culture on the digestibility of nutrients in 2 and 3 year old riding school horses. *Proceedings of BSAS*, 1997.

Références bibliographiques

- Hoffman, R.M., Kronfeld, D.S., Cooper, W.L., Harris, P.A. (2003). Glucose clearance in pregnant mares is affected by diet, pregnancy and lactation. *J Anim Sci*, 81, pp. 1764–1771.
- Holloway, N. M., Tyler, J. W., Lakritz, J., Carlson, S. L., & Holle, J. (2001). Serum immunoglobulin G concentrations in calves fed fresh and frozen colostrum. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 219(3), 357-359.
- Holzapfel, W.H., Haberer, P., Snel J., Schillinger, U. & Huis In't Veld J.H. Barker (1998) Overview Of Gut Flora And Probiotics. *International Journal Of Food Microbiology*, 41:85-10.
- Hooper, L., Falk, P. and Gordon, J. (2000). Analyzing the molecular foundations of commensalism in the mouse intestine. *Curr. Opin. Microbiol.* 3:79-85.
- Iwanska, S., Strusinska, D., Zalewski, W. And Opalka, A. (1999). The Effect Of *Saccharomyces Cerevisiae* 1026 Used Alone Or With Vitamin-Mineral Premix On Milk Yield And Milk Composition In Dairy Cows. *Acta Veterinaria Hungarica* 47(1):41-52.
- Jang, Y. D., Kang, K. W., Piao, L. G., Jeong, T. S., Auclair, E., Jonvel, S. and D’Inca. (2013). Effects of live yeast supplementation to gestation and lactation diets on reproductive performance, immunological parameters and milk composition in sows. *Livest. Sci.* 152(2-3): 167 – 173.
- Jeffcott, L. B. (1974). Some Practical Aspects of the Transfer of Passive Immunity to Newborn Foals. *Equine Vet. J.* 6(3): 109-115.
- Jeffcott, L.B. (1972) Passive immunity and its transfer with special reference to the horse. *Biol Rev* 47, 439-464.
- Jeffcott, L.B. (1974) Studies on passive immunity in the foal. 1. Gamma-globulin and antibody variations associated with the maternal transfer of immunity and the onset of active immunity. *J. Comp. Pathol.* 84, 93-101.
- Jiminez-lopez, J. E., Splindler, N., & Betsch, J. M. (2011). Etude de l’efficacité de sérocolostrums bovins sur le transfert de l’immunité passive du poulain (p. 11-20). Présenté à 37^{ème} Journée de la Recherche Equine, Paris: IFCE.
- Johnson, P.J., Messer, N.T., Ganjam, S.K., Wiedmeyer, C.E. (2009). Pregnancy-associated laminitis in mares. *J Equine Vet Sci* 29, 42–46.
- Jones, J.I., Clemmons, D.R. (1995). Insulinlike growth factors and their binding proteins: biological actions. *Endocr. Rev.*, , 16, 3-34.
- Jones, L. R., Taylor, A. W., & Hines, H. C. (1987). Characteristics of Frozen Colostrum Thawed in a Microwave Oven. *Journal of Dairy Science*, 70(9), 1941-1945. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80235-7](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80235-7).
- Jouany, J.P., Gobert, J., Medina, B., Bertin, G. and Julliand. V. (2008). Effect of live yeast culture supplementation on apparent digestibility and rate of passage in horses fed a high-fiber or high-starch diet. *J. Anim. Sci.* 86:339-347.

Références bibliographiques

- Jouany, J.P., Medina, B., Bertin, G. and Julliand, V. (2009). Effect of live yeast supplementation on hindgut microbial communities and their polysaccharidase and glycoside hydrolase activities in horses fed a high-fiber or high-starch diet. *J. Anim. Sci.* 87:2844-2852.
- Julliand, V. (2005). Impact of nutrition on the gastrointestinal tract in horses. *Appl. Equine Nutr.* 1st Equine Nutrition Conference. Hannover, Germany. p. 85-103.
- Julliand, V. and Goachet, A.G. (2005). Fecal microflora as a marker of cecal or colonic microflora in horses. *Proc. 19th Equine Soc. Symp.* p. 140-141.
- Julliand, V., De Fombelle, A., Drogoul, C. and Jacotot, E. (2001). Feeding and microbial disorders in horses. 3. Effects of three hay:grain ratios on microbial profile and activities. *J. Equine. Vet. Sci.* 21:543-546.
- Julliand, V., De Vaux, A., Villard, L. and Richard, Y. (1996). Preliminary studies on the bacterial flora of faeces taken from foals: from birth to twelve weeks. Effect of the oral administration of a commercial colostrum replacer. *Pferdeheilkunde.* 12(3):209-212.
- Kaila, M., Isolauri, E., Saxelin, M., Arvilommi, H. and Vesikan, T. (1995). Viable versus inactivated *Lactobacillus* strain GG in acute rotavirus diarrhea. *Arch. Dis. Child.* 72:51-53.
- Kavazis, A. N., Kivipelto, M. S. J. and Ott, E. A. (2002). Supplementation of broodmares with copper, zinc, iron, manganese, cobalt, iodine, and selenium, *J. Equine Vet. Sci.*, 22, 460-464.
- Keenan, T.W. (2001). Milk lipid globules and their surrounding membrane: a brief history and perspectives of future research. *J. Mammary Gland Biol. Neoplasia*, 6, 365-371.
- Keggan, A., Freer, H., Rollins, A. and Wagner, B. (2013). Production of seven monoclonal equine immunoglobulins isotyped by multiplex analysis. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 153(3- 4): 187-193.
- Keggan, A., Freer, H., Rollins, A., and Wagner, B. (2013). Production of seven monoclonal equine immunoglobulins isotyped by multiplex analysis. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 153(3- 4): 187-193.
- Kehoe, S.I., Jayarao, B.M., Heinrichs, A.J. (2007). A survey of bovine colostrum composition and colostrum management practices on Pennsylvania dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 90, 4108-4116.
- Kern, D.L., Slyter, L.L., Leffel, E.C., Weaver, J.M. and Oltjen, R.R. (1974). Ponies vs. steers: Microbial and chemical characteristics of intestinal ingesta. *J. Anim.Sci.* 38:559-563.
- Kern, D.L., Slyter, L.L., Weaver, J.M., Leffel, E.C. and Samuelsons, G. (1973). Pony cecum vs. steer rumen: The effect of oats and hay on the microbial ecosystem. *J. Anim. Sci.* 37:463-469.
- Kincaid, R.L., Cronrath, J.O. (1992). Zinc concentration and distribution in mammary secretions of peripartum cows. *J. Dairy Sci.*, 75, 481- 484.
- King, J.C. (2000). Physiology of pregnancy and nutrient metabolism. *Am J Clin Nutr* 71, 1218S-1225S.
- Klopfenstein, C., Couture, Y., Martineau, G.P., Bouchard, E. (2002). Physiopathologie comparative de la lactation chez la truie et chez la vache. *Méd. Vét. Qué.*, 32, 52-56.

Références bibliographiques

- Knight. (2010). Delivery mode shapes the acquisition and structure of the initial microbiota across multiple body habitats in newborns. *Proc. Nat. Academy of Sci.* 107(26):11971-11975.
- Knottenbelt, D.C., Holdstock, N. (2004). The role of colostrum in immunity. In: *Equine neonatology medicine and surgery*. Saunders, Edinburgh 15-27.
- Kohn, C. W., Knight, D., Hueston, W., Jacobs, R., and Reed, S. M. (1989) Colostral and serum IgG, IgA, and IgM concentrations in Standardbred mares and their foals at parturition. *JAVMA* 195(1), 64-68.
- Kolterman, T., Miller-Graber, P., McCollum, D., Martinez, T. and Sharp, R. (1993). Effects of exercise, conditioning and yeast culture supplementation on blood parameters in Quarter Horses. *Proceedings of the 13th Equine Nutrition and Physiology Society*. p. 167.
- Kopp-Hoolihan, L. (2001). Prophylactic and therapeutic uses of probiotics: A review. *J. Am. Diet. Assoc.* 101:229-241.
- Korhonen, T.K. (1979). Binding specificity of pilated strains of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* to epithel cells. *FEMS Microbiol. Lett.*, 6: 421.
- Krakowski, L., Krzy anowski, J., Wrona, Z. and Siwicki, A. K. (1999). The effect of nonspecific immunostimulation of pregnant mares with 1,3/1,6 glucan and levamisole on the immunoglobulins levels in colostrum, selected indices of nonspecific cellular and humoral immunity in foals in neonatal and postnatal period. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 68(1): 1-11.
- Krakowski, L., Krzy anowski, J., Wrona, Z., & Siwicki, A. K. (1999). The effect of nonspecific immunostimulation of pregnant mares with 1,3/1,6 glucan and levamisole on the immunoglobulins levels in colostrum, selected indices of nonspecific cellular and humoral immunity in foals in neonatal and postnatal period. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 68(1), 1-11. [http://doi.org/10.1016/S0165-2427\(99\)00006-9](http://doi.org/10.1016/S0165-2427(99)00006-9).
- Kramer, J. W., Hoffman, W. E. (1997). Clinical Enzymology. In: *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. (Kaneko, J. J., J. W. Harvey, M. L. Bruss, Eds.). Academic Press. San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto. pp. 303-325.
- Kuhl, J., Winterhoff, N., Wulf, M., Schweigert, F.J., Schwendenwein, I., Bruckmaier, R.M., Aurich, J.E., Kutzer, P. and Aurich, C. (2011). Changes in faecal bacteria and metabolic parameters in foals during the first six weeks of life. *Vet. Microbiol.* 151:321-328.
- Kulkarni P.R., Pimpale, N.V. (1989). Colostrum: a review. *Indian J. Dairy Sci.*, 42, 216-224.
- Kumagai, H., Kumagae, S., Mitani, K. & Endo, T. (2004). Effects Of Supplementary Probiotics On Dry Matter Intake, Daily Gain, Digestibility, Ruminal Ph, Faecal Microbial Populations And Metabolites Of Two Different Diets Of Ewes. *Animal Science Journal* 75, 219-224.
- Kurtzman, C. P. & Fell, J. W. (1998) *The Yeasts, A Taxonomic Study* (Fourth Edition). Elsevier.
- Kyriakis, S.C., Tsioloyiannis, V.K., Vlemmas, J., Sarris, K., Tsinas, A.C., Alexopoulos, C. & Jansegers, L. (1999). The Effect Of Probiotic LSP 122 On The Control Of Post-Weaning Diarrhoea Syndrome Of Piglets. . *Res-Vet-Sci.* 67, 223-228.

Références bibliographiques

- Larson, E., Zuill, R., Zier, V., & Berg., B. (1984). Storage of human breast milk. *Infection Control: IC*, 5(3), 127-130.
- Larsson, A., Palm, M., Hansson, L. O., and Axelsson, O. (2008). Reference values for clinical chemistry test during normal pregnancy, *BJOG-Int. J. Obstet. Gy.*, 115, 874–881.
- Larsson, A., Palm, M., Hansson, L.O., Axelsson, O. (2008). Reference values for clinical chemistry tests during normal pregnancy. *BJOG* 115, 874–881.
- Lassen E.D. Laboratory Evaluation of the Liver. In: Thrall M.A., Baker D.C., Campbell T.W., Denicola D., Fettman M.J., Lassen E.D., Rebar A., Weiser G. (dir.) (2004). *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, pp. 355-375.
- Lassen, E.D. Laboratory Evaluation of Plasma and Serum Proteins. In: Thrall M.A., Baker D.C., Campbell T.W., Denicola D., Fettman M.J., Lassen E.D., Rebar A., Weiser G. (dir.) (2004). *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, pp. 401-415.
- Laugier, C., Foucher, N., Sevin, C., Tapperest, J. (2009). Principales causes de mortalité des poulains au cours de la première semaine de vie : étude rétrospective à partir de 1097 poulains autopsiés, CR Journée nationale des GTV, 13-15 mai 2009, Nantes, 723-738.
- Laukova, A., Stropfova, V., Skrivanova, V., Volek, Z., Jindrichova, E & Marounek M (2006) Bacteriocin-Producing Strain Of Enterococcus Faecium EK 13 With Probiotic Character And Its Application In The Digestive Tract Of Rabbits. *Biologia* 61, 779-782.
- Lavoie, J. P., Spensley, M. S., Smith, B. P. (1989). Colostral volume and immunoglobulin G and M determinations in mares. *Am. J. Vet. Res.*, 50, 466-470.
- Lavoie, J. P., Spensley, M. S., Smith, B. P., & Mihalyi, J. (1989a). Absorption of bovine colostral immunoglobulins G and M in newborn foals. *American Journal of Veterinary Research*, 50(9), 1598-1603.
- Lavoie, J. P., Spensley, M. S., Smith, B. P., & Mihalyi, J. (1989b). Colostral volume and immunoglobulin G and M determinations in mares. *American Journal of Veterinary Research*, 50(4), 466-470.
- Lawrence, L. A., and T. J., Lawrence. (2009). Development of the equine gastrointestinal tract. Kentucky Equine Research Inc. Versailles, KY.
- Lawrence, R. A. (1999). Storage of human milk and the influence of procedures on immunological components of human milk. *Acta Paediatrica (Oslo, Norway: 1992). Supplement*, 88(430), 14-18.
- Le Dividich, J., Esnault, T., Lynch, B. (1989). Influence de la teneur en lipides du colostrum sur l'accrétion lipidique et la régulation de la glycémie chez le porc nouveau-né. *Journ. Rech. Porcine Fr.*, 21, 275-280 .

Références bibliographiques

- LeBlanc, M. M. (1990). Immunologic Considerations. In: *Equine Clinical Neonatology*, Ed: A.M. Koterba, W.H. Drummond, and P.C. Kosch, Lea & Febiger, Philadelphia.
- LeBlanc, M. M., McLaurin, B.I., and Boswell, R. (1986). Relationships among serum immunoglobulin in foals, colostral specific gravity, and colostral immunoglobulin concentration. *JAVMA* 189(1), 57-60.
- LeBlanc, M. M., Tran, T., Baldwin, J. L., & Pritchard, E. L. (1992). Factors that influence passive transfer of immunoglobulins in foals. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 200(2), 179-183.
- Lee, S. H., J, Jaekal., C. S. Bae., B. H. Chung., S. C. Yun., M. J. Gwak., G.J. Noh and D. H. Lee. (2008). Enzyme-linked immunosorbent assay, single radial immunodiffusion, and indirect methods for the detection of failure of transfer of passive immunity in dairy Calves. *J. Vet. Intern. Med.* 22:212-218.
- Leimbach, R., K. Cole and J M. Reddish 2015 . Influence of a Maternal Dietary Yeast Supplement on Immunoglobulin Concentrations in Foals from Birth to Four Months of Age. *The Ohio State University*. <http://hdl.handle.net/1811/68932>.
- Lesmeister, K.E., Heinrichs, A.J. & Gabler, M.T. (2004). Effects Of Supplemental Yeast (*Saccharomyces Cerevisiae*) Culture On Rumen Development, Growth Characteristics, And Blood Parameters In Neonatal Dairy Calves. *Journal Of Dairy Science* **87**, 1832-1839.
- Leszek, K., J, Krzy anowski, Z, Wrona, K, Kostro and A. K. Siwicki., (2002). The influence of nonspecific immunostimulation of pregnant sows on the immunological value of colostrum. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 87(1-2): 89-95.
- Leturque, A., Huguel, P., Ferré, P., Girard, J. (1987). Glucose metabolism in pregnancy. *Biol Neonate*, 51, pp. 64–69.
- Lewis LD. (1995). Broodmare feeding and care. In: Lewis LD (ed.), *Equine Clinical Nutrition: Feeding and Care*. Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, pp. 286– 306.
- Lewis, L. D. (1995). (Ed.): *Equine clinical nutrition: feeding and care*, Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Lewis, L. D. (Ed.): *Equine clinical nutrition: feeding and care*, Williams & Wilkins, Philadelphia, 1995.
- Lewis, L. D. *Feeding and Care of the Horse 2nd edition*. Baltimore : A Lea and Febiger Book, 1995.
- Lewis, M.J., Wagner, B. and Woof, J.M. (2008). The different effector function capabilities of the seven equine IgG subclasses have implications for vaccine strategies. *Mol. Immunol.* 45, 818-827.
- Line, J.E., Bailey, J.S., Cox, N.S., Stern, N.J and Tompkins, T. (1998). Effect of yeast supplemented feed on *Salmonella* and *Campylobacter* populations in broilers. *Poultry Sci.*, 77: 405-410.

Références bibliographiques

- Lopez, A.M., Hines, M.T., Palmer, G.H., Alperin, D.C. and Hines, S.A. (2002). Identification of pulmonary T-lymphocyte and serum antibody isotype responses associated with protection against *Rhodococcus equi*. *Clin. Diagn. Lab. Immunol.* 9, 1270-1276.
- Lopez, A.M., Hines, M.T., Palmer, G.H., Knowles, D.P., Alperin, D.C. and Hines, S.A. (2003). Analysis of anamnestic immune responses in adult horses and priming in neonates induced by a DNA vaccine expressing the vapA gene of *Rhodococcus equi*. *Vaccine* 21, 3815-3825.
- Lu, L. and W.A. Walker. 2001. Pathological and physiological interactions of bacteria with the gastrointestinal epithelium. *Am. J. Clin. Nutr. Suppl.* 73:1124-1130.
- Lyons T. P., K. A. Jacques, K. A. Dawson. (1993). Miscellaneous products from yeast. pp 293-324. *In: The Yeasts* (Eds. A. H. Rose and J. S. Harrison). Vol. 5. Academic Press, New York.
- Mackie, R.I., Sghir, A., Gaskins, H.R. (1999). Developmental microbial ecology of the neonatal gastrointestinal tract. *Am J Clin Nutr.* 69(5):1035S-1045S.
- Mackie, R.J. and Wilkins, C.A. (1988). Enumeration of anaerobic bacterial microflora of the equine gastrointestinal tract. *Appl. Environ. Microbiol.* 54:2155-2160.
- Maczulak, A., Dawson, K. and Baker, J. (1985). Nitrogen utilization in bacterial isolates from the equine cecum. *Appl. Environ. Microbiol.* 50:1439-1443.
- Maijón, M., Miró, L., Polo, J., Campbell, J., Russell, L., Crenshaw, J., *et al.* (2012). Dietary plasma proteins modulate the adaptive immune response in mice with acute lung inflammation. *J Nutr*, 142, pp. 264–270.
- Marden, J. P. (2007). Contribution A L'étude Du Mode D'action De La Levure *Saccharomyces Cerevisiae* Sc 47 Chez Le Ruminant: Approche Thermodynamique Chez La Vache Laitière, Ecole Nationale Supérieure Agronomique De Toulouse.
- Mariella, J., Pirrone, A., Gentilini, F., and Castagnetti, C. (2014). Hematological and biochemical profiles in Standardbred mares during peripartum, *Theriogenology*, 81, 526–534.
- Mariella, J., Pirrone, A., Gentilini, F., Castagnetti, C. (2014). Hematological and biochemical profiles in Standardbred mares during peripartum. *Theriogenology* 81, 526–534.
- Marnay, L. (2011a, janvier). Banque de colostrum - Haras-nationaux. Consulté 14 mars 2016, à l'adresse <http://www.haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/reproduction/lepoulina-ge-et-le-poulain-nouveau-ne/banque-de-colostrum.html>.
- Marteau, P. & Shanahan, F. (2003). Basic Aspects And Pharmacology Of Probiotics: An Overview Of Pharmacokinetics, Mechanisms Of Action And Side-Effects. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology* 17, 725-740.
- Marti, E., Ehrensperger, F., Burger, D., Ousey, J., Day, M. J. and Wilson, A. D. (2009). Maternal transfer of IgE and subsequent development of IgE responses in the horse (*Equus caballus*). *Vet. Immunol. Immunop.* 127(3-4): 203-211.

Références bibliographiques

- Massot, J., Descauclois, J. and Astoin, J. (1982). Protection par *Saccharomyces boulardii* de la diarrhée à *E. coli* du souriceau. *Ann. Pharmaceutiques Françaises*, 40(5): 445-449.
- Mathieu, H. (1985). Facteurs de variation de la composition du lait. In : Luquet L.F.M. (Ed.), *Laits et produits laitiers*. 1. Les laits de la mamelle à la laiterie. Lavoisier : Paris, 1057-1060.
- Matsuzaki, T. & Chin, J. (2000). Modulating Immune Responses With Probiotic Bacteria. *Immunol Cell Biol.* 78, 67- 73.
- Mayer, G., & Hudrisier, D. (2012). *IMMUNOGLOBULINES - STRUCTURE ET FONCTION*. Consulté à l'adresse <http://www.microbiologybook.org/French-immuno/immchapter4.htm>.
- Mc Farland, L.V., Surowicz, C.M., Greenberg, R.N., Elmer, G.W., Moyer, K.A., Melcher, S.A., McCue, P. M. (2014a). Colostrum Banking. In J. J. Dascanio & P. M. McCue (Éd.), *Equine Reproductive Procedures* (p. 299-301). John Wiley & Sons, Inc. Consulté à l'adresse <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118904398.ch90/summary>.
- McCue, P. M. (2014b). Evaluation of Colostrum Specific Gravity. In J. J. Dascanio & P. M. McCue (Éd.), *Equine Reproductive Procedures* (p. 291-296). John Wiley & Sons, Inc. consulté à l'adresse <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118904398.ch88/summary>.
- McCue, P. M. (2014b). Evaluation of Colostrum Specific Gravity. In J. J. Dascanio & P. M. McCue (Éd.), *Equine Reproductive Procedures* (p. 291-296). John Wiley & Sons, Inc. Consulté à l'adresse <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118904398.ch88/summary>.
- McCue, P., & Sitters, S. (2011). Lactation. In *Equine Reproduction, Second Edition* (Blackwell, p. 2277-2290).
- McGuire, T.C. and Crawford, T.B. (1973) Passive immunity in the foal: measurement of immunoglobulin classes and specific antibody. *Am. J. Vet. Res.* 34, 1299-1303.
- McGuire, T.C., Crawford, T.B. and Henson, J.B. (1973) The isolation, characterisation and functional properties of equine immunoglobulin classes and subclasses. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Equine Infectious Diseases*, Eds: J.T. Bryans and H. Gerber, S. Karger, Basel, Switzerland. pp 364-381.
- McGuire, T.C., Crawford, T.B., Hallowell, A.L. and Macomber, L.E. (1977) Failure of colostrum immunoglobulin transfer as an explanation for most infections and deaths of neonatal foals. *J. Am. Vet. Med. Ass.* 170, 1302-1304.
- McGuire, T.C., Crawford, T.B., Hallowell, A.L., Macomber, L.E. (1977). Failure of colostrum immunoglobulin transfer as an explanation for most infections and deaths of neonatal foals. *J Am Vet Med Assoc*; 170(11): 1302-1304.
- McMartin, S., Godden, S., Metzger, L., Feirtag, J., Bey, R., Stabel, J., Chester-Jones, H. (2006). Heat Treatment of Bovine Colostrum. I: Effects of Temperature on Viscosity and Immunoglobulin

Références bibliographiques

- G Level. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 2110-2118.
[http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72281-0](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72281-0).
- Mealey, R.H., Kappmeyer, L.S., Ueti, M.W., Wagner, B. and Knowles, D.P. (2012). Protective effects of passively transferred merozoite-specific antibodies against *Theileria equi* in horses with severe combined immunodeficiency. *Clin. Vaccine Immunol.* 19, 100-104.
- Medina, B., Girard, I.D., Jacotot, E. and Julliand, V. (2002). Effects of preparation of *Saccharomyces cerevisiae* on microbial profiles and fermentation patterns in the large intestine of horses fed a high fiber or high starch diet. *J. Anim. Sci.* 80:2600-2609.
- Medina, B., Poillon, D., Power, R. and Julliand V. (2000). Effect of dried live yeast culture on in vivo apparent digestibility and on in vitro fibrolytic activity of large intestine contents in horses fed high fibre or high starch pelleted feeds. *Proceedings of BSAS*.
- MENARD J-J. (1998). Conséquences hormonales et métaboliques de stress de contention chez le manchot royal (*Apnetodytes patagonicus*). Thèse de doctorat vétérinaire, Université Paul Sabatier, Toulouse, 111p.
- Milunovich, G.J., Burrell, P.C., Pollitt, C.C., Klieve, A.V., Blackall, L.L., Ouwerkerk, D., Woodland, E. and Trott, D.J. (2008). Microbial ecology of the equine hindgut during oligofructose-induced laminitis. *ISME J.* 2:1089-1100.
- Miller-Graber, P.A., Thompson, J. and Martinez, T. (1994). Effect of yeast culture supplementation on nutrient digestibility in mature horses. *J. Anim. Sci.* 69:371.
- Misaine, A. (2010). Synthèse nationale des exploitations équinés suivies dans le cadre des réseaux équinés : repères techniques et économiques 2008, références, 7.
- Miyauchi, E., Morita, H. and Tanabe, S. (2009). *Lactobacillus rhamnosus* alleviates intestinal barrier dysfunction in part by increasing expression of zonula occludens-1 and myosin light-chain kinase *in vivo*. *J. Dairy Sci.* 92:2400-2408.
- Mizukoshi, F., Maeda, K., Hamano, M., Iwata, H., Matsumura, T., Kondo, T. and Sugiura, T. (2002). IgG antibody subclass response against equine herpesvirus type 4 in horses. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 88, 97-101.
- Molla, A. (1980). Estimation of bovine colostral immunoglobulins by refractometry. *Vet Rec*; 107(2): 35-36.
- Moore, B.E. and Dehority, B.A. (1993). Effects of diet and hindgut defaunation on diet digestibility and microbial concentrations in the cecum and colon of the horse. *J. Anim. Sci.* 71:3350-3358.
- Moore, B.E., Newman, K.E., Spring, P. and Chandler, V.E. (1994). Effect of yeast culture (Yea-Sacc 1026) on microbial populations and digestion in the cecum and colon of the equine. *J. Anim. Sci. (Suppl. 1):*252 (Abstr.).
- Morgan, D., Bryans, J., & Mock, R. (1975). Immunoglobulins produced by the antigenized equine fetus. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement*, (23), 735-738.

Références bibliographiques

- Morgan, L.M., Coverdale, J.A., Froetschel, M.A. and Yoon, I. (2007). Effect of yeast culture supplementation on digestibility of varying forage quality in mature horses. *J. Equine Vet. Sci.* 27:260-265.
- Morris, D.D., Meirs, D.A., Merryman, G.S., (1985). Passive transfer failure in horses: incidence and causative factors on a breeding farm. *Am J Vet Res*; 46: 2294-2299.
- Morris, L.H., Allen, W.R. (2002). Reproductive efficiency of intensively managed Thoroughbred mares in Newmarket. *Equine Vet J* 34:51-60.
- Moughan, P.J., Birties, M.J., Cranwell, P.D., Smith, W.C. and Pedraza M. (1992). The piglet as a model animal for studying aspect of digestion and absorption in milk-fed human infants. In: Nutritional triggers for health and disease (A.P. Simopoulos ed) *Karger. Basel, Switzerland.* p. 4-113.
- MUIR W. W. (2015a). Pain and stress: stress-induced hyperalgesia and hypoalgesia. In : Gaynor J. S. et Muir W.W. (eds). *Handbook of veterinary pain management*, 3 édition., Mosby Elsevier, St Louis, 42–60.
- Murphy, L.J., Belle, G., Friesen, H.G. (1987). Tissue distribution of insulin-like growth factor-I and II messenger ribonucleic in the adult rat. *Endocrinology*, 120, 1279- 1282.
- Nadeau, J.A., Andrews, F.M., Mathew, A.G., Argenzio, R.A., Blackford, T.J., Sohtell, M. and Saxton, A.M. 2000. Evaluation of diet as a cause of gastric ulcers in horses. *Am. J. Vet. Res.* 61:784-790.
- Nath, L.C., Anderson, G.A., McKinnon, A.O. (2010). Reproductive efficiency of Thoroughbred and Standardbred horses in north-east Victoria. *Aust Vet J.* 88:169-175.
- Nathanielsz, P.W. (2006). Animal models that elucidate basic principles of the developmental origins of adult diseases. *Ilar. J.* 47:73-82.
- Nett, T. M., Holton, D. W., Estergreen, V. L. (1973). Plasma estrogens in pregnant and postpartum mares. *J. Anim. Sci.* 37, 962-970.
- Nelson, K.M., Schram, B.R., McGregor, M.W., Sheoran, A.S., Olsen, C.W. and Lunn, D.P. (1998) Local and systemic isotype-specific antibody responses to equine influenza virus infection versus conventional vaccination. *Vaccine* 16, 1306-1313.
- Newbold, C.J. & Wallace, R.J. (1988). Effects Of Ionophores Monensin And Tetronasin On Stimulated Development Of Ruminal Acidosis In Vitro. *Appl. Environ. Microbiol.* 54, 2981-2985.
- Newbold, C.J., Wallace, R.J. and McIntosh E.M. (1996). Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *Brit. J. Nutr.* 76:249.
- Nikles, S., Heath, T.J. (1991). *Pathways of lymph flow from the intestine of the horse*. Department of Anatomy, University of Queensland, St. Lucia, Australia.

Références bibliographiques

- Nisbet, D.J. and Martin S.A. (1991). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *J. Anim. Sci.* 69:4628.
- Nowak, R., Poidron, P. (2006). From birth to colostrum early steps leading to lamb survival. *Repro. Nutr. Dev.*, 46, 431-446.
- Ofek, I., Mirelman, D. and Sharon, N. (1977). Adherence of *Escherichia coli* to human mucosal cells mediated by mannose receptors. *Nature, UK*, 265: 623-625.
- Ogita, T., Nakashima, M., Morita, H., Saito, Y., Suzuki, T. and Tanabe, S. (2011a). *Streptococcus thermophilus* ST28 ameliorates colitis in mice partially by suppression of inflammatory Th17 cells. *J. Biomed. Biotechnol.* 2011:378417.
- Ogita, T., Tanii, Y., Morita, H., Suzuki, T. and Tanabe, S. (2011b). Suppression of Th17 response by *Streptococcus thermophilus* ST28 through induction of IFN- γ . *Int. J. Mol. Med.* 28:817-822.
- Ogundele, M. O. (2000). Techniques for the storage of human breast milk: implications for antimicrobial functions and safety of stored milk. *European Journal of Pediatrics*, 159(11), 793-797.
- Onifade AA & Babatunde GM (1996). Supplemental Value Of Dried Yeast In A High-Fibre Diet For Broiler Chicks. *Animal Feed Science And Technology* 62, 91-96.
- Onifade, A.A. & Babatunde, G.M. (1996). Supplemental Value Of Dried Yeast In A High-Fibre Diet For Broiler Chicks. *Animal Feed Science And Technology* 62, 91-96.
- Ousey, J.C., Fowden, A.L., Wilsher, S., Allen, W .R. (2008). The effects of maternal health and body condition on the endocrine responses of neonatal foals. *Equine Vet J* 40, 673–679.
- Ousey, J.C., Ghatei, M., Rosedale, P.D., Bloom, S.R., (1995). *Gut hormone responses to feeding in healthy pony foals aged 0 to 7 days*. *Biol. Reprod. Mono.*11:87-96.
- Ouwehand, A.C., Tuomola, E.M., Tvikk, S. & Salminen, S. (2001). Assessment Of Adhesion Properties Of Novel Probiotic Strains To Human Intestinal Mucus. *International Journal Of Food Microbiology* 64, 119-126.
- Oyofe, B.A., DeLoach, J.R., Corrier, D.E., Norman, J.O., Ziprin, R.L. and Mollenhauer, H.H. (1989). Prevention of *Salmonella typhimurium* colonization with D-mannose. *Poultry Sci.*, 68: 1357-1360.
- Pakkanen, R., Alto, J. (1997). Growth factors and antimicrobial factors of bovine colostrum. *Int. Dairy J.*, 7, 285-297.
- Palmer, E. and Driancourt, M.A. (1980). Use of ultrasound echography in equine gynecology *Theriogenol.* (13): 203-216.
- Palmer, J. (2007). Foal sepsis and prematurity. *NAVC proceedings.* 150. [Palmer/publication/229164013_Field_determination_of_colostrum_quality_by_using_a_novel_practical_method/links/00b7d51a1c9cd87851000000.pdf](http://palmer/publication/229164013_Field_determination_of_colostrum_quality_by_using_a_novel_practical_method/links/00b7d51a1c9cd87851000000.pdf).

Références bibliographiques

- Panzani, S., Comin, A., Galeati, G., Romano, G., Villani, M., Faustini, M., Veronesi, M.C. (2012). How type of parturition and health status influence hormonal and metabolic profiles in newborn foals. *Theriogenology* 77, 1167–1177.
- Park, J.H., Park, G.H. and Ryu, K.S. 2002. Effect of feeding organic acid mixture and yeast culture on performance and egg quality of laying hens. *Korea J. of Poult. Sci.* 29(2):109-115.
- Parvez, S., Malik, K.A., Kang, S.A. & Kim, H.Y. (2006). Probiotics And Their Fermented Food Products Are Beneficial For Health. *Journal Of Applied Microbiology* 100, 1171-1185.
- Paul-Jeanjean, S. (2013). Les colostroremplaceurs du poulain. *Bulletin des GTV*, (71), 47-50.
- Pearson, R.C., Hallowell, A.L., Bayly, W.M. (1984). Times of appearance and disappearance of colostral IgG in the mare. *Am. J. Vet. Res.*, 45, 186-190.
- Pecka, E., Dobrza ski, Z., Zachwieja, A., Szulc, T., & Czy , K. (2012). Studies of composition and major protein level in milk and colostrum of mares. *Animal Science Journal*, 83(2), 162-168. <http://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2011.00930.x>.
- Pellegrini, L., Miliani, A. and Bergero, D. (1999). Effetto dei fructo-oligosaccaridi sulla microflora intestinale del cavallo sportivo. *Riv. Zoot. Vet.* 27:49-51.
- Perdigon, G., Alvarez, S., Rachid, M., Agüero, G. & Gobbato, N. (1995). Immune System Stimulation By Probiotics. *Journal Of Dairy Science* 78, 1597-1606.
- Père, M.C., Etienne, M., Dourmad, J.Y. (2000). Adaptations of glucose metabolism in multiparous sows: effects of pregnancy and feeding level. *J Anim Sci*, 78, pp. 2933–2941.
- Perkins, G.A., Nydam, D.V., Flaminio, M.J. and Ainsworth, D.M. (2003) Serum IgM concentrations in normal, fit horses and horses with lymphoma or other medical conditions. *J. Vet. Intern. Med.* 17, 337-342.
- Perryman, L.E. (1981). Immunological management of young foals. *Comp Cont Educ Prac Vet*; 3: s223-s228.
- Perryman, L.E., Crawford, T.B. (1979). Diagnosis and management of immune system failures of foals. *Proceedings 25th Annu Conv Am Assoc Equine Practnr*; 235-245.
- Philippe, P., Raboisson, D. & Schelder, P. (2008). Synthèse les effets du traitement thermique du colostrum. *LE NOUVEAU PRATICIEN VETERINAIRE élevages et santé*, (7), 79-82.
- Pierson, R.A. and Ginther, O.J. (1985). Ultrasonic evaluation of the preovulatory follicle in the mare. *Theriogenol.*, (3): 359-368.
- Pillemer, L., Blum, L., Lepow, I.H., Ross, O.A., Todd, E.W. and Warlaw, A.C. (1954). The properdin system and immunity. I. Demonstration and isolation of a new. *Science*, 120: 279.
- Piva, G., Belladonna, S., Fusconi, G., Sicbaldi, F., (1993). *J, Dairy Sci.*, 76 , 2717-2722.
- Playford R.J., Macdonald C.E., Johnson W.S. (2000). Colostrum and milk-derived peptide growth factors for the treatment of gastro-intestinal disorders. *Am. J. Clin. Nutr.*, 72, 5-14.

Références bibliographiques

- Pool-Zobel, B.L., Neudecker, C., Domizlaff, I., Ji, S., Schillinger, U., Rumney, C., Moretti, M., Vilarini, I., Scassellati-Sforzolini R. and Rowland, I. (1996). *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*- mediated antigenotoxicity in the colon of rats. *Nutr. Cancer*. 26:365-380.
- Powell, D.G., Dwyer, R.M., Traub-Dargatz, J.L., Fulker, R.H., Whalen, J.W., Jr, Srinivasappa, J., Acree, W.M. and Chu, H.J. (1997). Field study of the safety, immunogenicity, and efficacy of an inactivated equine rotavirus vaccine. *J. Am. Vet. Med. Ass.* 211, 193-198.
Pratique Vétérinaire Equine, 38(151), pp. 9-22.
- Raeth-Knight, M.L., Linn, J.G. & Jung, H.G. (2007). Effect Of Direct-Fed Microbials On Performance, Diet Digestibility, And Rumen Characteristics Of Holstein Dairy Cows. *Journal Of Dairy Science* 90, 1802- 1809.
- Rainard, P., Riollet, C. (2006). Innate immunity of the bovine mammary gland. *Vet. Res.*, 37, 369-400.
- Rampal, P. (1996). Les Levures : Classification, Propriete, Utilisations Technologiques Et Therapeutiques. *Journal De Pediatrie Et De Puericulture* 9, 185-186.
- Respondek, F., Goachet A.G. and Julliand, V. (2007). Effects of dietary short-chain fructooligosaccharides on the intestinal microflora of horses subjected to a sudden change in diet. *J. of Anim. Sci.* 86:316-323.
- Riggi, S.J. and Di Luzio, N.R. (1961). Identification of a RE stimulating agent in zymosan. *Am. J. Physiol.*, 200: 297-300.
- Rigothier, M.C., Maeconis, J. and Gapral, P. (1994). Effets des levures *Saccharomyces boulardii* sur les trophozoites d'entamoeba histolytica *in vitro* et dans l'amibiase caecale du jeune rat. *Parasitol. Res.*, 80: 10-15.
- Riley, C. B., J. McClure, S. Low-Ying, and R. A. Shaw. (2007). Use of Fourier-Transform Infrared Spectroscopy for the Diagnosis of Failure of Transfer of Passive Immunity and Measurement of Immunoglobulin Concentrations in Horses. *J. Vet. Int. Med.* 21(4): 828.
- Riley, C. B., McClure, J., Low-Ying, S., and Shaw, R. A. (2007). Use of Fourier-Transform Infrared Spectroscopy for the Diagnosis of Failure of Transfer of Passive Immunity and Measurement of Immunoglobulin Concentrations in Horses. *J. Vet. Int. Med.* 21(4): 828.
- Rodríguez, C., Blanch, F., Romano, V., Saborido, N., Ródenas, J., Polo, J. (2007). Porcine immunoglobulins survival in the intestinal tract of adult dogs and cats fed dry food kibbles containing spray-dried porcine plasma (SDPP) or porcine immunoglobulin concentrate (PIC). *Anim Feed Sci Techn*, 139, pp. 201–211.
- Rolfe, R. (1996). Colonization resistance. In: *Gastrointestinal microbiology* (R.I. Mackie, B.A. White and R.E. Isaacson eds). Chapman and Hall. New York. p. 501-536.
- Rook, J. S., Braselton, W. E., Nachreiner, R. F., Lloyd, J. W., Shea, M. E., Shelle, J. E. and Hitzler, P. R. (1997). Multi-element assay of mammary secretions and sera from periparturient mares by inductively coupled argon plasma emission spectroscopy, *Am. J. Vet. Res.*, 58, 376–378.

Références bibliographiques

- Rook, J. S., Braselton, W. E., Nachreiner, R. F., Lloyd, J. W., Shea, M. E., Shelle, J. E., and Hitzler, P. R. (1997). Multi-element assay of mammary secretions and sera from periparturient mares by inductively coupled argon plasma emission spectroscopy, *Am. J. Vet. Res.*, 58, 376–378.
- Rose, A.H. (1987). Yeast Culture, A Microorganism For All Species: A Theoretical Look At Its Mode Of Action. In: *Biotechnology In The Feed Industry.* , Pp. 113-118. Nicholasville, Kentucky, U.S.A.
- Roselli, M., Finamore, A., Britti, M.S., Bosi, P., Oswald, I. & Mengheri, E. (2005). Alternatives To In-Feed Antibiotics In Pigs: Evaluation Of Probiotics, Zinc Or Organic Acids As Protective Agents For The Intestinal Mucosa. A Comparison Of In Vitro And In Vivo Results. *Animal Research* 54, 203-218.
- Rosenfeld, C. S. (2007). Introduction to Comparative Placentation. In H. Schatten & G. M. C. DVM,,hc (Éd.), *Comparative Reproductive Biology* (p. 263-270). Blackwell Publishing Ltd. Consulté à l'adresse <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470390290.ch11/summary>.
- Roser, J.F. (1997).Endocrine basis for testicular function in the stallion. *Theriogenology* 48,883-92.
- Rosol, T. J. and Capen, C. C. (1997). Calcium-regulating hormones and disease of abnormal mineral (calcium, phosphorus, magnesium) metabolism, in: *Clinical biochemistry of domestic animals*, edited by: Kaneko, J. J., Harvey, J. W., and Bruss, M. L., 5th Edn., Academic Press, San Diego, CA, 619–702.
- Russell, J.B. & Strobel, H.J. (1989). Effect Of Ionophores On Ruminal Fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, 1-6.
- Russell, R.W. and Gahr, S.A. (1999). Glucose availability and associated metabolism. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition* (J.F.P. d`Mello, ed). CAB International, Wallingford, UK. p. 121-149.
- Sakaitani, Y., Yuki, N., Nakajima, F., Nakanishi, S., Tanaka, H., Tanaka, R.and Morotomi, M. (1999). Colonization of intestinal microflora in newborn foals. *J. Intes. Microbiol.* 13:9-14.
- Salimei, E. and Fantuz, F. (2012). Equid milk for human consumption, *Int. Dairy J.*, 24, 130–142.
- Salimei, E., Varisco, G., & Rosi, F. (2002). Major constituents, leptin, and non-protein nitrogen compounds in mares' colostrum and milk. *Reproduction Nutrition Development*, 42(1), 8. <http://doi.org/10.1051/rnd:2002007>.
- Salminen, S., Isolaurie, E.and Salminen, E. (1996). Clinical uses of probiotics for stabilizing the gut mucosal barrier: successful strains and future challenges. *Antoine Van Leeuwenhoek.* 70:347-358.
- Santos, F.A.P., Carmo, C.D., Martinez, J.C., Pires, A.V. & Bittar, C.M.M. (2006). Supplementing Yeast Culture (*Saccharomyces Cerevisiae*) For Late Lactating Dairy Cows Fed Diets Varying

Références bibliographiques

- In Starch Content. *Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal Of Animal Science* 35, 1568-1575.
- Satué, K. and Montesinos, P. (2013). Plasma biochemistry in pregnant Spanish purebred broodmares, *Comp. Clin. Pathol.*, 22, 113–117.
- Schoster, A., Weese, J.S. and Guardabassi, L. (2014). Probiotic use in horses: What is the evidence for their clinical efficacy? *J Vet Intern Med.* 1-13.
- Schulman, M. L., Kass, P. H., Becker, A., Van der Merwe, B. (2012). A predictive model for reproductive performance following abortion in thoroughbred mares, *Veterinary Record* In press.
- Sedlinska M., Krej i, J., Vysko il, M. and Kudla kova, H. (2006). Postnatal Development of Blood Serum Concentrations of Immunoglobulin IgG, IgA and IgM Isotypes in Suckling Foals. *ACTA VET. BRNO.* 75(2): 175-182.
- Seguela, J.P. and Llanes, J.P. (1982). Dépression des défenses immunitaires par antibiothérapie restauration expérimentale par un saccharomyces. *Bull. Soc. Mycol. Med.*, 11: 343-347.
- Seguela, J.P., Massot, J., Nesson, J. and Patte, F. (1978). Action d'un saccharomyces lors d'une infestation expérimentale a *Candida albicans* chez le rat normal et chez le rat traité par antibiotique *Bull. Soc. Mycol. Med.*, 7: 199-202.
- Sellon, D., Johnson, J. (2009). *Equine Neonatal Medicine, Neonatal immunology.* 3:31-50.
- Senger, P. (2003). Placentation, the Endocrinology of Gestation and Parturition. In *Pathways to Pregnancy and Parturition* (2nd Edition, p. 304-325).
- Sevinga, M., Barkema, H. W., and Hesselink, J. W. (2002). Serum calcium and magnesium concentrations and the use of calciummagnesium- borogluconate solution in the treatment of Friesian mares with retained placenta, *Theriogenology*, 57, 941–947.
- Sharma, S., Davies, M.C.G., More, Dhaliwa, G.S. (2010a). Factors affecting the incidence of postpartum oestrus, ovarian activity and reproductive performance in Thoroughbred mares bred at foal heat under Indian subtropical conditions. *Theriogenology* 74:90–99.
- Sheoran, A. S., Karzenski, S. S., Whalen, J. W., Crisman, M. V., Powell, D. G., & Timoney, J. F. (2000b). Prepartum equine rotavirus vaccination inducing strong specific IgG in mammary secretions. *The Veterinary Record*, 146(23), 672-673.
- Sheoran, A. S., Timoney, J. F., Holmes, M. A., Karzenski, S. S., & Crisman, M. V. (2000a). Immunoglobulin isotypes in sera and nasal mucosal secretions and their neonatal transfer and distribution in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 61(9), 1099-1105. <http://doi.org/10.2460/ajvr.2000.61.1099>.
- Shepherd, M.L., Swecker, W.S., Jensen, R.V. and Ponder, M.A. (2012). Characterization of the fecal bacteria communities of forage-fed horses by pyrosequencing of 16S rRNA V4 gene amplicons. *FEMS Microbiol Lett.* 326:62-68.

Références bibliographiques

- Shideler, R.K., Squires, E.L., Osborne, M. (1986). Immunoglobulin concentration and blood chemistry parameters in the newborn foal: relationship to sex, type of dam, gestation length and mare serum and colostrums concentrations. *Proceedings 32nd Annu Conv Am Assoc Equine; Practnr*: 145-151.
- Shu, Q. & Gill, H.S. (2001). A Dietary Probiotic (*Bifidobacterium Lactis* HN019) Reduces The Severity Of *Escherichia Coli* O157:H7 Infection In Mice. 189, 147-152.
- Siciliano, P. D., Dowler, L. E., Hayes, S. H. and Lawrence, L. M. (2009). Relationship Between Colostral IgG, Foal Serum IgG and Mare Vitamin E Status. *J. Equine Vet. Sci.* 29(5): 392-394.
- Silim, A., Rekik, M.R., Roy, R.S., Salmon, H., Pastoret, P.P. (1990). Immunité chez le foetus et le nouveauné. In : Pastoret P.-P., Govaerts A., Bazin H. (Eds), *Immunologie animale*. Flammarion : Paris , 197-204.
- Soboll Hussey, G., Hussey, S.B., Wagner, B., Horohov, D.W., Van deWalle, G.R., Osterrieder, N., Goehring, L.S., Rao, S. and Lunn, D.P. (2011). Evaluation of immune responses following infection of ponies with an EHV-1 ORF1/2 deletion mutant. *Vet. Res.* 42, 23-9716-42-23.
- Song, M. and Di Luzio, N.R. (1979). Yeast gluca and immunotherapy of infectious diseases. In: *Lysosomes in Applied Biology and Therapeutics*, Dingle, J.T., Jacques, P.J. and Shaw, I.H. (eds). North Holland Press, Amsterdam, pp. 533-547.
- Steer, T., Carpenter, H., Tuohy, K. and Gibson, G.R. (2000). Perspectives on the role of the human gut microbiota and its modulation by pro and prebiotics. *Nutr. Res. Rev.* 13:229-254.
- Swyers, K.L., Burk, A.O., Hartsock, T.G., Ungerfeld, E.M. and Shelton, J.L. (2008). Effects of direct-fed microbial supplementation on digestibility and fermentation end-products in horses fed low- and high-starch concentrates. *J. Anim. Sci.* 86:2596-2608.
- Tallmadge, R. L. (2016). The Immune System of the Young Horse. In M. J. B. Felipe (Éd.), *Equine Clinical Immunology* (p. 11-22). John Wiley & Sons, Inc. Consulté à l'adresse <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119086512.ch02/summary>.
- Tanabe, S. (2013). The effect of probiotics and gut microbiota on Th17 cells. *Int. Rev. Immunol.* 32:511-525.
- Tanabe, S., Kinuta, Y. and Saito, Y. (2008). *Bifidobacterium infantis* suppresses pro-inflammatory interleukin-17 production in murine splenocytes and dextran sodium sulfate-induced intestinal inflammation. *Int. J. Mol. Med.* 22:181-185.
- Tanabe, S., Suzuki, T., Wasano, Y., Nakajima, F., Kawasaki, H., Tsuda, T., Nagamine, N., Tsurumachi, T., Sugaya, K., Akita, H., Takagi, M., Takagi, K., Inoue, Y., Asai, Y. and Morita, H. (2014). Anti-inflammatory and intestinal barrier-protective activities of commensal lactobacilli and bifidobacteria in Thoroughbred: Role of probiotics in diarrhea prevention in neonatal Thoroughbreds. *Japanese Soc. of Equine Sci.* 25:37-43.
- Taouji, S. et Puyalto-Moussu, C. (2001). La vaccination du poulain: stratégies et applications pratiques. *Pratique vétérinaire équine.*, Vol. 33.

Références bibliographiques

- Taylor, P.J., Stampfer, M.R. (1991). Culture of epithelial cells. In : Freshney R. (Ed.), *Animal cell culture: a practical approach*. Chichester. 2nd edition. Oxford University Press : Oxford, 107-133.
- Teitelbaum, J.E. and Walker, W.A. (2002). Nutritional impact of pre- and probiotics as protective gastrointestinal organisms. *Ann. Rev. Nutr.* 22:107-138.
- The University of Edinburgh. *THE UNIVERSITY of EDINBURGH Influencing the world since 1583* [en ligne] ; [Consulté le 14 Avril 2017],
- Thompson, C.L., Wang, B. and Holmes, A.J. (2008). The immediate environment during postnatal development has long-term impact on gut community structure in pigs. *ISME J.* 2:739-748.
- Thorson, J. F., Karren, B. J., Bauer, M. L., Cvinder, C. A., Coverdale, J. A. and Hammer, C. J. (2010). Effect of selenium supplementation and plane of nutrition on mares and their foals: Foaling data. *J. Anim. Sci.* 88(3): 982-990.
- Thum, C., Cookson, A.L., Otter, D.E., McNabb, W.C., Hodgkinson, A.J., Dyer, J. and Roy, N.C. (2012). Can nutritional modulation of maternal intestinal microbiota influence the development of the infant gastrointestinal tract? *J. Nutr.* 142:1921-1928.
- Tizard, I. (2000). Immunity in the Fetus and Newborn. In *Veterinary immunology: An introduction* 6th ed., pp. 210-221.
- Tizard, I.R. (1996). *Veterinary Immunology: An Introduction* W.B. Saunders Co., Philadelphia.
- Tortora, G., Funke, B. and Case, C. (2013). *Adaptive Immunity: Specific Defenses of the Host. Microbiology: An introduction* 11th ed., pp. 483-485. Boston: Pearson.
- Touboul, M., Grongnet, J. F., & Drogoul, C. (1997). Intérêt de l'administration de colostrum lyophilisé ou d'un extrait de plasma sanguin pour l'acquisition de l'immunité passive par le poulain nouveau-né (p. 107-113). Présenté à 23e Journée de la recherche équine, Institut du cheval. Consulté à l'adresse <http://alex.vetagrosup.fr/Record.htm?idlist=9&record=19120803124919480859>. *tract. Am J Clin Nutr.* 69(5):1035S-1045S.
- Trocino, A., Xiccato, G., Carraro, L. & Jimenez, G. (2005). Effect Of Diet Supplementation With Toyocerin((R)) (Bacillus Cereus Var. Toyoi) On Performance And Health Of Growing Rabbits. *World Rabbit Science* 13, 17-28.
- Tuomola, E., A. Ouwehand and S. Salminen. The effect of probiotic bacteria on the adhesion of pathogens to human intestinal mucus. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* 26:137-142.
- Turner, J. L., Arns, M. J., & Minton, J. E. (2003). Case Study: Effects of Non-Specific Immunostimulation of Parturient Mares on Colostral Quality and Foal Immune Function1. *The Professional Animal Scientist*, 19(1), 62-67.

Références bibliographiques

- UC Davis School of Veterinary Medicine. *UC DAVIS VETERINARY MEDICINE* [en ligne]. pdf [consulté le 14 Avril 2017] ;
- Underdahl, N.R., Torres-Medina, A. & Doster, A.R. (1983). Effect Of Streptococcus Faecium C-68 In Control Of Escherichia Coli-Induced Diarrhea In Gnotobiotic Pigs. *Am. J. Vet. Res.* 43, 2227–2232.
URL : http://www.ed.ac.uk/polopoly_fs/1.19330!/fileManager/reference%20intervals.pdf.
URL:http://www.vetmed.ucdavis.edu/vmth/local_resources/pdfs/lab_pdfs/UC_Davis_VMTH_Chem_Reference_Intervals.
- Ushe, T.C. & Nagy, B. (1985). Inhibition Of Small Intestinal Colonization Of Enterotoxigenic Escherichia Coli By Streptococcus Faecium M74 In Pigs. *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg [B]* 181, 374-382.
- Varner, D.D., Schumacher, J., Blanchard, T.L., Johnson, L. (1991). Diseases and management of breeding stallions, American Veterinary Publications, Goleta, California,
- Vermorel, M. and Martin-Rossel, W. (1997). Concepts, scientific bases, structures and validation of the French horse net energy system (UFC). *Livestock Prod. Sci.* 47:261-275.
- Vidon, N., Huchet, B. and Rambaud, J.G. (1986). Influence de *Saccharomyces boulardi* sur la sécrétion jejuna induite chez le rat par la toxine cholérique. *Gastroenterol. Clin. Biol.*, 10: 13-16.
- Visser, K., Ellis, A., Van Reenena, C. (2008). *The effect of two different housing conditions on the welfare of young horses stabled for the first time*. Animal Sciences Group, Wageningen, The Netherlands.
- Vivrette, S. (2001). Colostrum and oral immunoglobulin therapy in newborn foals. *Compendium* 23(3), 286-291.
- Wagner, B. (2006). Immunoglobulins and immunoglobulin genes of the horse. *Dev. Comp. Immunol.* 30, 155-164.
- Wagner, B. (2009). IgE in horses: occurrence in health and disease. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 132, 21-30.
- Wagner, B., Flaminio, J.B., Hillegas, J., Leibold, W., Erb, H.N. and Antczak, D.F. (2006). Occurrence of IgE in foals: evidence for transfer of maternal IgE by the colostrum and late onset of endogenous IgE production in the horse. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 110, 269-278.
- Wallace, R.J. (1996). The mode of action of yeast culture in modifying rumen fermentation. In: *Biotechnology in the Feed Industry (Proceedings of the 12th Annual Symposium (T.P. Lyons and K.A. Jacques, eds) Nottingham University Press, Nottingham, UK. p. 217-232.*
- Ward, M.P., Alinovi, C.A., Couetil, L.L., Glickman, L.T. and Wu C.C. (2004). A randomized clinical trial using probiotics to prevent Salmonella fecal shedding in hospitalized horses. *J. Equine Vet. Sci.* 24:242-247.

Références bibliographiques

- Weese, J.S., Anderson, M.E., Lowe, A. and Monteith, G.J. (2003). Preliminary investigation of the probiotic potential of *Lactobacillus rhamnosus* strain GG in horses: Fecal recovery following oral administration and safety. *Can. Vet. J.* 44:299-302.
- Weese, J.S., Anderson, M.E., Lowe, A., Penno, R., de Costa, T.M., Button, L. and Goth, K.C. (2004). Screening of the equine intestinal microflora for potential probiotic organisms. *Equine Vet. J.* 36:351-355.
- Weigert, P., Scheck, K., Lemmer, B., Noreisch, W. (1980). Labordiagnostische Haflinger Pferden und Maultieren (Tragtiere der Bundeswehr). Enzymaktivitäten im Serum. *Tierärztl. Praxis* 8, 387.
- Wendakoon, C.N., Fedio, W., Macloed, A. & Ozi- Mek, L. (1998). In Vitro Inhibition Of *Helicobacter Pylori* By Dairy Starter Cultures. *Milchwissenschaft* 53, 499–502. In *Effets Des Probiotiques Et Prébiotiques Sur La Flore Et L'immunité De L'homme Adulte / Effects Of Probiotics And Prebiotics On Flora And Immunity In Adults*. AFSSA. Février/February 2005, 77-78.
- Wenus, C., Goll, R., Loken, E.B., Biong, A.S., Halvorsen, D.S. & Florholmen, J. (2008). Prevention Of Antibiotic-associated Diarrhoea By A Fermented Probiotic Milk Drink. *European Journal Of Clinical Nutrition* 62, 299-301.
- Wichtel, M. G., et al. (1991). Influence of age on neutrophil function in foals. *Equine veterinary journal.*, Vol. 23, 6.
- Wiedmeier, R.D., Arambel, M.J. and Walters, J.L. (1987). Effects of yeast culture and *Aspergillus oryzae* fermentation and extracts on ruminal characteristics and nutrient digestion. *J. Dairy Sci.* 70:2063.
- Wilson, W. D. (2005). Age-dependent vaccine responses in the horse. *Third world equine airways symposium*.
- Wilson, W. D., Mihalyi, J. E., Hussey, S., & Lunn, D. P. (2001). Passive transfer of maternal immunoglobulin isotype antibodies against tetanus and influenza and their effect on the response of foals to vaccination. *Equine Veterinary Journal*, 33(7), 644-650. <http://doi.org/10.2746/042516401776249435>.
- Wolter, R. (1990). *Probiotiques: Les Règles Du Jeu*.
- Wong, C.W., Smith, S.E., Thong, Y.H., Opdebeeck, J.P., Thornton, J.R. (1992). Effects of exercise stress on various immune functions in horses. *Am J Vet Res*, 53, pp. 1414–1417.
- Wooding, F. B. P., Morgan, G., Fowden, A. L. and Allen, W. R. (2000). Separate sites and mechanisms of placental transport of calcium, iron and glucose in the equine placenta. *Placenta*, 21, 635–645.
- Yanez-Ruiz, D.R., Macias, B., Pinloche, E. and Newbold, C.J. (2010). The persistence of bacterial and methanogenic archaeal communities residing in the rumen of young lambs. *FEMS Microbiol. Ecol.* 72:272-278.

Références bibliographiques

- Yoon, I.K. and Stern, M.D. (1995). Influence of direct-fed microbials on ruminal fermentation and performance of ruminants. A review. *Australas. J. Anim. Sci.* 8:533-555.
- Yuki, N., Shimazaki, T., Kushiro, A., Watanabe, K., Uchida, K., Yuyama, T. and Morotomi, M. (2000). Colonization of the stratified squamous epithelium of the non-secreting area of horse stomach by lactobacilli. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:5030-5034.
- Yuyama, T., Yusa, S., Takai, S., Tsubaki, S., Kado, Y. and Morotomi, M. (2004). Evaluation of a host-specific *Lactobacillus* probiotic in neonatal foals. *Int. J. Appl. Res. Vet. Med.* 2:26-33.
- Zanini, K., Marzotto, M., Castellazzi, A., Borsari, A., Dellaglio, F. & Torriani, S. (2007). The Effects Of Fermented Milks With Simple And Complex Probiotic Mixtures On The Intestinal Microbiota And Immune Response Of Healthy Adults And Children. *International Dairy Journal* 17, 1332-1343.
- Zeller, D. (2000). Effect of the environmental temperature and air moisture on some reproductive parameters in foaling mares. *Czech J. Anim. Sci.*, 45: 385-388.

ANNEXES