

ifce

institut français  
du cheval  
et de l'équitation



43<sup>ème</sup> Journée de la Recherche Équine  
Jeudi 16 mars 2017

## L'alimentation de la jument en gestation et du poulain en croissance est primordiale pour le bon développement du poulain et sa future carrière sportive et peut-être reproductive : bilan du projet Foetalim 2

M. Robles<sup>1</sup>, C. Gautier<sup>2</sup>, P. Peugnet<sup>1</sup>, L. Mendoza<sup>3</sup>, C. Dubois<sup>4</sup>, JP. Lejeune<sup>3</sup>, L. Wimel<sup>4</sup>, D. Serteyn<sup>3</sup>, H. Bouraima-Lelong<sup>2</sup>, P. Chavatte-Palmer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, UMR 1198 Biologie du Développement et Reproduction, Domaine de Vilvert, Batiment 230, 78350, Jouy-en-Josas, France

<sup>2</sup> Normandie Univ, UNICAEN, EA2608, OeReCa, USC-INRA 1377, Bâtiment M, Campus 1, Université de Basse-Normandie, Esplanade de la paix, CS 14032, 14032 Caen cedex, France

<sup>3</sup> Centre Européen du Cheval, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Liège, Mont le soie,1, 6698, Vielsalm, Belgique

<sup>4</sup> Station expérimentale des Haras, Domaine de la Valade, Route de la Valade, 19370, Chamberet, France

### Résumé

Le rôle de l'environnement maternel pour le développement du phénotype adulte est bien connu chez l'homme et les animaux modèles. Dans l'espèce équine, la sous-nutrition modérée de la jument gestante n'entraîne pas d'effet sur le poids de naissance du poulain car le placenta semble compenser cette sous-nutrition. Cependant, on observe un retard de maturation testiculaire à 12 mois et de développement osseux à partir de 19 mois. De plus, une surnutrition des poulains **entre 20 et 24 mois altère l'intégralité de leur système de régulation du métabolisme glucidique**, pouvant entraîner par la suite des effets négatifs sur leurs performances sportives. D'autre part, la supplémentation des juments avec des céréales en fin de gestation augmente le risque pour le poulain de développer des lésions d'ostéochondrose. Ces effets pourraient peut-être être réduits par une alimentation fractionnée des poulains dans la journée (utilisation d'un distributeur automatique). Une alimentation de qualité chez la jument gestante et son poulain en croissance est donc essentielle pour optimiser les chances de performances sportives et reproductives à l'âge adulte.

**Mots clés : Nutrition, céréales, testicule, croissance, métabolisme**

### Summary

Human and animal model studies have shown that the adult phenotype of an individual can be modulated by maternal environment. In horses, moderate maternal undernutrition in late gestation does not affect the foal's birth weight as the placenta appears to compensate for maternal restriction but alters the metabolism of the growing foal and results in delayed testicular maturation at 12 months of age and bone development from 19 months of age. Moreover, excess nutrition of these foals between 20 and 24 months of age largely modifies the regulation of their carbohydrate metabolism, which can subsequently lead to decreased athletic performances. On the other hand, feeding mares with cereals in late gestation increases the risk for the foal to develop osteochondrosis. These effects could possibly be reduced by feeding meals throughout the day, for instance through the use of an automatic feeder. Thus, the quality of the nutrition of both mares and foals is essential to optimize chances of athletic and reproductive performance in adulthood.

**Key-words: Nutrition, cereals, testicle, growth, metabolism**



## Introduction

Au cours de la domestication, le recours à la sélection génétique a permis une très forte amélioration des performances des animaux. La sélection s'appuie sur le recueil des performances et l'indexation génétique permettant de choisir les meilleurs reproducteurs. Des conditions d'élevage optimales permettent aux animaux d'exprimer au mieux leur potentiel génétique. Cependant des données scientifiques récentes montrent que l'amélioration de la santé et des performances des animaux pourrait aussi passer par des effets de l'environnement maternel durant la gestation. Cela s'applique aussi au cheval...

Il est important de prendre en compte la génétique de la jument et de l'étalon lorsque l'on souhaite produire un poulain. Mais la génétique ne fait pas tout. En effet, il est possible de modifier la manière dont l'information génétique est lue et interprétée. Par exemple le clone d'un animal donné ne présentera pas les mêmes marques sur son pelage malgré un même patrimoine génétique car il n'a pas été porté par la même mère. Ainsi son information génétique n'a pas été interprétée de la même manière.

Ce phénomène est impliqué dans les Origines Développementales de la Santé et des Maladies (DOHaD) qui relie les événements de la vie précoce (de la conception à la puberté) avec le risque, chez l'humain, de développer des maladies comme le diabète, l'obésité ou des maladies cardio-vasculaires à l'âge adulte. Ainsi, l'environnement au sens large (nutrition, exposition à des produits chimiques, stress psychologique) auquel l'individu sera confronté va modifier la manière dont son information génétique est interprétée par son organisme (on parle de modifications épigénétiques). Chez l'humain, les mécanismes de la DOHaD sont maintenant pris en compte dans la lutte contre l'épidémie d'obésité : la nutrition de la mère et de l'enfant a une place primordiale parmi les objectifs mondiaux de l'OMS pour l'horizon 2025.

Le cheval peut également développer des maladies métaboliques à l'âge adulte telles que le syndrome métabolique, l'obésité, la résistance à l'insuline, le syndrome de Cushing, la fourbure et l'ostéochondrose. La surnutrition et la sédentarité sont deux facteurs à l'origine de ces pathologies et l'obésité est devenue un véritable problème de santé publique au sein de la filière équine.

Nous avons montré dans une première étude (Foetalim 1) que le choix de la receveuse lors de transfert d'embryon pouvait conditionner la croissance, le métabolisme et les lésions d'ostéochondrose chez le poulain. **L'objectif de la deuxième partie du projet Foetalim 2 était de comprendre comment la nutrition de la jument gestante et du poulain en croissance vont programmer la santé du poulain à l'âge adulte et donc ses futures carrières sportive et reproductive. Après une présentation des données de la littérature, nous présentons les résultats obtenus dans cette deuxième étude.**

## 1 Pourquoi bien nourrir la jument gestante et le poulain en croissance – revue de la littérature

Chez le cheval, c'est surtout l'effet d'une sous-nutrition modérée et d'une surnutrition à base de céréales qui ont été étudiés.

### 1.1 Ne pas assez nourrir sa jument en gestation

Des juments Pur-sang anglais qui ont accidentellement été atteintes par la gourme (*Streptococcus equi*) en cours de gestation (autour du 3<sup>ème</sup> mois de gestation, pour une durée de 3 semaines) **ont cessé de s'alimenter pendant cette période et ont donc perdu beaucoup d'état corporel et de poids (environ 40 kg)** (Wilsher and Allen, 2006). La perte de poids de ces juments est illustrée en figure 1.

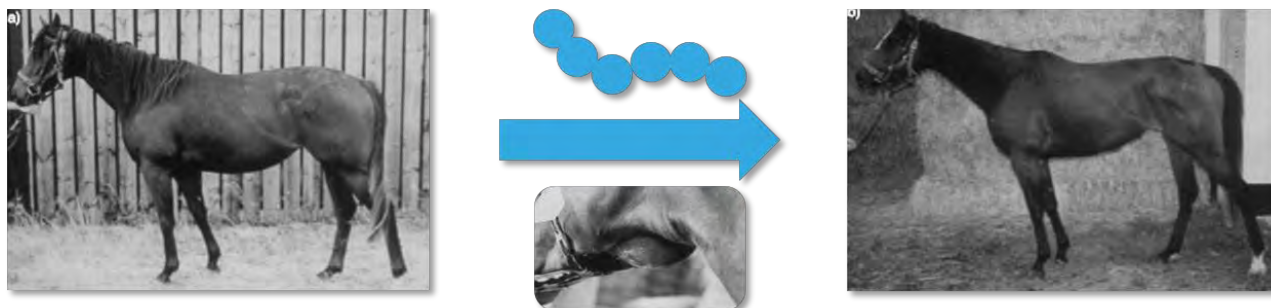
Les placentas des juments atteintes par la gourme étaient moins étendus, et moins efficaces. Cela signifie qu'ils ont produit moins de kg de poulain par kg de placenta. Cependant, les zones impliquées dans les échanges entre la mère et le fœtus étaient augmentées chez ces juments. Les poulains des juments malades sont nés plus légers de 3 kg et également plus courts que les poulains des juments saines à la naissance.

Dans cet exemple, la perte de poids a été très importante : il y a donc eu une sous-nutrition sévère. Le placenta, organe à l'interface entre la mère et le fœtus, n'a pas été capable de s'adapter suffisamment, malgré l'augmentation des zones d'échange. Les placentas des juments malades ont donc été moins efficaces et ces juments ont donc produit des poulains plus légers et moins longs.



Figure I : Perte de poids des juments autour du 3<sup>ème</sup> mois de gestation due à une infection à *streptococcus equi* (gourme). Les juments présentaient des abcès au niveau de l'auge et ont cessé de s'alimenter (photographie issue de l'article (Wilsher and Allen, 2006)).

*Figure I : Broodmares weight loss during the 3<sup>rd</sup> month of gestation after streptococcus equi infection. The mares had abscess in the sub-mandibular area and have stopped eating (Photography from the article (Wilsher and Allen, 2006)).*



### 1.2. Nourrir les juments en gestation avec des céréales

La sur-nutrition de la poulinière au cours de la gestation ne modifie pas les mensurations du placenta (poids, volume, surface), le poids de naissance des poulains ni leur croissance (George *et al.*, 2009; Thorson *et al.*, 2010). Cependant, il a été montré que les poulains nés de juments sur-nourries avec des concentrés avaient des altérations de la régulation du stockage du glucose jusqu'à 16 jours (George *et al.*, 2009). Ces poulains sont hyperglycémiques, produisent moins d'insuline et sont moins bien capables de stocker le glucose dans leurs muscles. Ces modifications peuvent conduire à des maladies métaboliques à l'âge adulte. De plus, il a aussi été montré que la sur-nutrition de la poulinière entraînait des modifications du système de régulation de l'appétit chez les poulains âgés de 18h (Cavinder *et al.*, 2012). En effet, la concentration circulante de leptine, hormone impliquée dans le sentiment de satiété, était diminuée chez les poulains nés de juments sur-nourries. Les poulains pourraient donc ne pas pouvoir réguler leur prise alimentaire et devenir obèses avec le temps.

Une étude épidémiologique réalisée en Wallonie a montré que les juments qui ingéraient des céréales au cours de la gestation (avec ou sans fourrages, tous types de céréales) avaient plus de risques de produire des poulains atteints d'ostéochondrose (Heyden *et al.*, 2013).

### 1.3 Sur-nourrir le poulain en croissance

L'ostéochondrose est une maladie pour laquelle le cartilage de croissance au niveau de l'articulation mature mal en os, ce qui peut conduire à la libération de fragments dans l'articulation (Ytrehus *et al.*, 2007). L'ostéochondrose se met en place jusqu'à 1 an et demi chez le poulain. C'est-à-dire qu'un poulain peut être affecté à 6 mois, mais être sain à 1 an et demi et vice versa. Si le poulain est affecté à 1 an et demi, il le restera toute sa vie. Les facteurs de développement de l'ostéochondrose sont nombreux. Parmi eux, on retrouve la génétique, le manque d'exercice, une alimentation déséquilibrée en minéraux mais également des rations non équilibrées en énergie.

Il a été montré qu'une alimentation trop riche en sucres rapides (gros repas de concentrés) augmentait la concentration en insuline (insulinémie) dans le sang du poulain de manière très importante. Cette augmentation est liée à un risque plus important de développer des lésions d'ostéochondrose chez les poulains âgés de moins d'1 an et demi (Ralston, 1996). De plus, une croissance trop rapide des poulains (qui ont donc été sur-nourris par rapport à leurs besoins) augmente le risque de développement d'ostéochondrose (Donabédian *et al.*, 2006).



## 2 Le projet FOETALIM 2

### 2.1 Présentation et objectif de l'étude

Les études présentées ci-dessus indiquent que la supplémentation des juments gestantes avec des céréales, riches en sucres solubles, peut altérer le métabolisme et la régulation de la satiété et augmenter le développement de lésions d'ostéochondrose chez leurs poulains. De plus, l'apport excessif de céréales (surtout des gros repas) au poulain conduit à une croissance trop rapide et induit un risque accru de développer des lésions d'ostéochondrose.

**Le but de notre étude était d'étudier l'effet de la distribution de céréales aux juments en fin de gestation sur la croissance, le métabolisme et le statut ostéoarticulaire des poulains sur-nourris entre 20 et 24 mois et sur la maturité testiculaire des poulains prépubères.**

### 2.2 Matériels et méthodes

Le plan expérimental est présenté en figure II.

Vingt-quatre juments de race Anglo-Arabe ont été conduites en pâture dans les mêmes prés depuis l'insémination jusqu'au 7<sup>ème</sup> mois de gestation. A partir du 7<sup>ème</sup> mois de gestation elles ont été rentrées au box et séparées en deux lots :

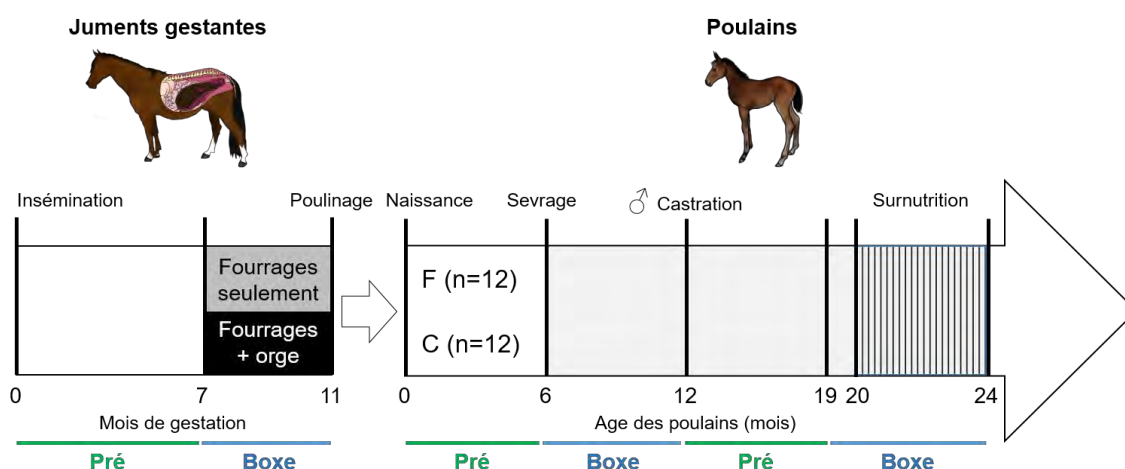
- Le groupe « Fourrage » (F, n=12). Ces juments ont été nourries avec des fourrages uniquement (foin et foin enrubanné) jusqu'au poulinage.
- Le groupe « Céréales » (C, n=12). Ces juments ont été nourries avec des céréales (orge aplatie, de 2 à 3 kg de concentré par jour) et des fourrages (foin et foin enrubanné) jusqu'au poulinage.

Trois jours après le poulinage, les juments suivies de leurs poulains sont retournées en pâture dans les mêmes prés jusqu'au sevrage des poulains à 6 mois.

- **Durant toute la gestation, l'état** corporel des juments a été mesuré chaque mois *via* la note d'état. Le métabolisme des juments a été suivi grâce à des tests de tolérance au glucose (TCTG) au 3<sup>ème</sup> mois de gestation et au 9<sup>ème</sup> mois de gestation. Au 7<sup>ème</sup> mois de gestation, un suivi de la concentration en glucose (glycémie) et en insuline (insulinémie) avant et après les repas a été réalisé.
- Au poulinage, les placentas ont été pesés et mesurés et des échantillons ont été prélevés pour étudier leur structure et leur fonction.
- Entre 20 et 24 mois, tous les poulains ont été sur-nourris (+140% des recommandations, 6kg de concentré/jour) à l'aide d'un distributeur automatique de concentrés.
- La croissance des poulains (poids, hauteur au garrot et largeur des canons) a été suivie jusqu'à leurs 2 ans. Leur métabolisme glucidique a été étudié à 3 jours, 6 mois, 19 mois et 24 mois grâce à deux tests différents de tolérance au glucose (TCTG et Test de tolérance au glucose avec injection d'insuline (FSIVGTT)). Des radiographies ont été réalisées à 6 mois et 24 mois afin de réaliser un bilan de leur santé ostéo-articulaire. Les poulains ont été castrés à 12 mois, la fonction et la structure des testicules ont été analysées afin de déterminer l'avancée de leur maturation testiculaire.



Figure II. Plan expérimental présentant le logement, les périodes de régimes expérimentaux ainsi que les manipulations réalisées sur les poulains depuis l'insémination des juments jusqu'aux 2 ans des poulains.  
 Figure II. Housing, periods of experimental diets and manipulations carried out on foals and mares from insemination of mares until 2 years of age of foals.



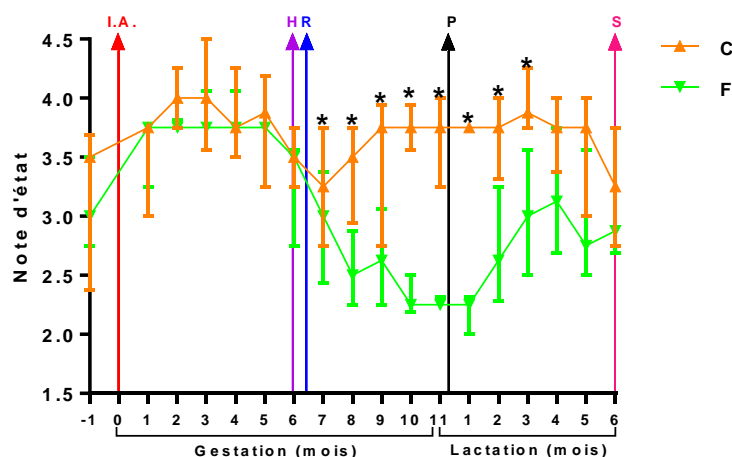
## 2.3 Résultats

### 2.3.1 Juments gestantes

**Apports nutritionnels :** Les juments du lot C ont ingéré plus d'énergie, plus de protéines et moins de fibres que les juments du lot F entre le 7ème mois et le 10ème mois de gestation. Au dernier mois de gestation, les juments des deux lots ont reçu la même quantité d'énergie et de protéines, les juments du lot F recevant toujours plus de fibres que les juments du lot C.

**Note d'état :** Durant la gestation, les juments du lot C ont maintenu un état corporel optimal (note d'état supérieure à 3/5) alors que les juments du lot F ont perdu de l'état en fin de gestation jusqu'à atteindre une note d'état de 2,25/5 au poulinage et ont mis plus de 3 mois au pâturage (prairies de printemps) pour rattraper l'état corporel des juments C. La courbe d'évolution de l'état corporel des juments est présentée en figure III.

Figure III. Evolution de la note d'état des juments au cours de la gestation.  
 Figure III. Evolution of the body condition of the mares during gestation.



A l'insémination (I.A.), les juments des deux lots avaient la même note d'état. Les juments du lot C ont maintenu un état corporel stable et optimal tout au long de la gestation. Les juments du lot F ont perdu de l'état à partir du 6ème mois de gestation (H, hivernage, R, début du régime, différence statistique significative matérialisée par des étoiles) jusqu'au poulinage (P). Au pré, elles ont mis 3 mois pour rattraper l'état corporel des juments C et étaient encore légèrement moins grasses au sevrage des poulains (S).

At insemination (I.A.), broodmares from both groups had the same body condition score. C mares maintained a stable and optimal body condition during the whole gestation. F mares lost body condition from the 6<sup>th</sup> month of gestation (H, wintering, R, beginning of the experimental diet, stars indicate significant statistical difference) until foaling (P). In pasture, F mares took 3 months to catch up the body condition of C mares and were lightly less fat for the foals weaning (S).



**Métabolisme** : En fin de gestation (à 9 mois de gestation), les juments du lot C étaient moins sensibles à l'insuline que les juments du lot F. Chez les juments C, le repas était suivi d'une augmentation de la glycémie et de l'insulinémie qui n'étaient pas observées chez les juments nourries uniquement aux fourrages. De plus, les juments du lot F avaient une concentration en acides gras non estérifiés (AGNE) plus importante durant la gestation. Les AGNE sont mesurés pour mesurer la lipomobilisation, c'est-à-dire l'utilisation des lipides stockés pour obtenir l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'organisme dans le cas d'une sous-nutrition.

**En conclusion, la supplémentation en céréales a permis aux juments de maintenir un état corporel stable et optimal tout au long de la gestation mais a diminué leur sensibilité à l'insuline en fin de gestation. Les fourrages donnés aux juments n'étaient pas de qualité suffisante et/ou distribués en quantité suffisante aux juments du lot « Fourrages » qui étaient donc modérément sous-nourries** (Peugnet *et al.*, 2015a, 2015b).

### 2.3.2 Poulains et placentas à la naissance

A la naissance, les poulains des deux lots pesaient le même poids et mesuraient la même taille. Les placentas pesaient le même poids, avaient la même surface et le même volume. L'efficacité placentaire (poids du poulain (kg)/ poids du placenta (kg)) n'était également pas différente entre les lots. Chez le cheval, les échanges de nutriments entre le sang de la mère et celui du poulain se réalisent dans des structures particulières appelées « microcotylédons » (figure IV). Les placentas des juments F avaient des vaisseaux des microcotylédons plus volumineux que les juments C, ce qui indique une adaptation placentaire permettant d'augmenter les échanges nutritionnels entre la mère et le fœtus.

Figure IV. Chez le cheval, les microcotylédons sont les structures du placenta où se déroulent les échanges de nutriments entre la mère et le fœtus (image issue de l'article (Steven and Samuel, 1975)).

*Figure IV. In the horse, microcotyledons are the placental structure where the exchanges of nutrient between the dam and the foetus occur (picture from the article (Steven and Samuel, 1975)).*



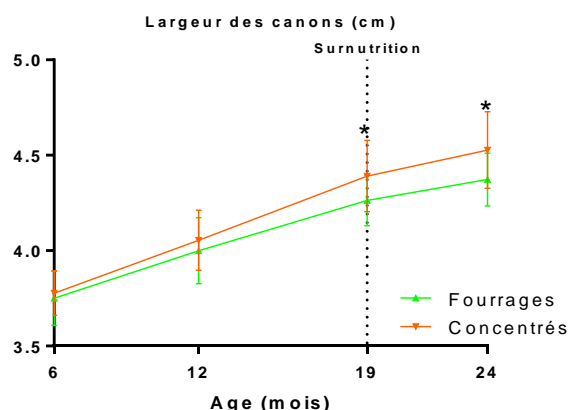
**Le placenta s'est adapté à la sous-nutrition : le volume des vaisseaux a été augmenté pour compenser le manque de nutriments reçus par les juments afin d'augmenter le flux sanguin et donc l'apport en nutriments au fœtus. Ce qui explique pourquoi les poulains du lot F sont nés avec le même poids que les poulains du lot C.**

### 2.3.3 Poulains

**Croissance** : Les poulains des lots C et F ont eu la même croissance (hauteur au garrot et poids) jusqu'à 24 mois. Cependant, les poulains du lot F avaient des canons moins larges que les poulains du lot C à partir de 19 mois (Figure V). **La sous-nutrition des juments en fin de gestation a donc modifié la croissance des os des poulains.** Cependant, nous ne savons pas s'il y avait une différence dans la densité des os entre les poulains des deux lots.



Figure V. Les poulains du lot « Fourrages » avaient des canons moins larges que les poulains du lot « Concentrés » à partir de 19 mois d'âge (différence statistiquement significative matérialisée par les étoiles).  
*Figure V. Foals from F group had less wide cannon bones than C foals from 19 months of age (stars indicate significant statistical difference).*



**Maturation testiculaire :** **A 1 an, les poulains mâles du lot F avaient des testicules moins matures que les poulains du lot C.** La nutrition de la jument a eu un impact sur le développement des testicules des poulains, ce qui pourrait indiquer un retard à la puberté. L'effet éventuel sur les performances de reproduction reste à démontrer.

**Métabolisme :** A 3 jours et à 19 mois, les poulains du lot F étaient moins sensibles à l'insuline que les poulains du lot C. **La sous-nutrition des juments en fin de gestation a donc modifié la régulation du stockage du glucose chez les poulains, pouvant conduire par la suite à des problèmes métaboliques.**

**Surnutrition :** La surnutrition entre 20 et 24 mois a permis d'obtenir un gain moyen quotidien (moyenne 550g/j sur les 4 mois de surnutrition). L'adiposité (accumulation de gras) des poulains des deux lots a été augmentée et la régulation du glucose a aussi été perturbée dans les deux lots. Cependant, le métabolisme a été plus affecté (résistance à l'insuline en particulier) chez les poulains du lot C par rapport à ceux du lot F (qui étaient déjà résistants à l'insuline au début de la surnutrition).

**Ostéochondrose :** A 6 mois, les lésions d'ostéochondrose étaient plus nombreuses chez les poulains du lot C par rapport au lot F. Cette différence avait disparu à 24 mois. Ainsi, comme ce qui avait été observé dans l'étude épidémiologique Wallonne présentée en partie 1, **les juments qui avaient été nourries avec des concentrés ont produit plus de poulains présentant des lésions d'ostéochondrose que les juments nourries uniquement avec des fourrages.**

Comme il avait été présenté dans le précédent chapitre, la nutrition du poulain durant sa croissance est **particulièrement importante pour prévenir l'apparition de lésions d'ostéochondrose.** Dans le projet Foetalim, les poulains ont été nourris grâce à un distributeur automatique de concentrés avec au moins 4 repas par jour. Ainsi, plus le poulain fait de repas et moins la quantité de sucre par repas est importante. Une hypothèse est que les poulains de cette étude auraient donc pu guérir de leurs lésions entre 6 et 18 mois grâce à ce dispositif. Comme la surnutrition a été réalisée après 18 mois (période à laquelle les lésions d'ostéochondrose se stabilisent chez les poulains) il n'y a pas d'effet de cette surnutrition sur les résultats des radiographies réalisées à 24 mois.

## 2.4 Conclusions de l'étude

- Nourrir les juments avec des concentrés en fin de gestation permet de maintenir un état corporel stable et optimal tout au long de la gestation. Cependant cela altère leur métabolisme glucidique et augmente le risque pour les poulains de développer des lésions d'ostéochondrose au moins à 6 mois.
- Sous-nourrir modérément les juments avec des fourrages qui ne sont pas de qualité suffisante ou distribués en quantité insuffisante entraîne un retard de maturité des poulains (maturité testiculaire à 12 mois, largeur des canons moins importante dès 19 mois) et altère le métabolisme des poulains au moins jusqu'à 19 mois.
- Une surnutrition des poulains après 20 mois entraîne une augmentation de l'adiposité et une altération de la régulation du stockage du glucose. Cela peut entraîner par la suite des pathologies qui diminueront les



capacités des poulains voire arrêteront leur carrière sportive et/ou reproductive.

### 3 Conclusions générales et perspectives

En conclusion, si l'on reprend les résultats de l'étude FOETALIM et des autres études scientifiques réalisées sur le sujet, pour réduire l'ostéochondrose chez le poulain et optimiser sa capacité à réguler le stockage du glucose il faut :

- **S'assurer que la poulinière est en bon état (optimal : 3 – 3,5 /5) mais pas trop grasse (éviter les notes d'état > 4).**
- Bien nourrir la poulinière durant la gestation avec des fourrages en qualité et quantité suffisante, des compléments minéraux et vitaminiques, le moins possible de céréales, à fractionner en plusieurs repas.
- Après sevrage, nourrir le poulain avec des fourrages en qualité et quantité suffisante, des compléments minéraux et vitaminiques, le moins de céréales possibles. Si on utilise des céréales, il vaut mieux fractionner les apports en au moins 4 repas par jour et éviter de trop fortes vitesses de croissance.

La suite des projets « Foetalim » (projets encore en cours) vise à séparer l'effet de la surnutrition et de l'obésité maternelles durant la gestation de l'effet de l'apport de céréales. Les premiers résultats obtenus nous permettent de confirmer l'effet délétère de l'apport de céréales sur le développement de l'ostéochondrose chez le poulain (données non-publiées). Dans un deuxième temps, l'effet de l'obésité maternelle – avant et pendant la gestation- sur la santé du poulain est actuellement étudié. Enfin, nous envisageons des interventions nutritionnelles (compléments alimentaires) afin de réduire les effets négatifs de l'apport en céréales et/ou de l'obésité maternelle sur la santé du poulain après la naissance.

### Remerciements

Nous souhaitons remercier l'Institut Français du cheval et de l'équitation et la station expérimentale des haras à Chamberet pour le soin et la gestion des animaux, l'assistance durant les castrations, les tests métaboliques et les radiographies.

Nous souhaitons également remercier la plateforme CMABIO3 de l'Université de Caen et spécialement Nicolas Elie pour son aide.

Nous remercions également l'Institut Français du cheval et de l'équitation, le Fonds Eperon et le département PHASE de l'INRA qui ont financé cette étude.

### Références

- Cavinder, C.A., Burns, S.A., Coverdale, J.A., Hammer, C.J., Holub, G., and Hinrichs, K. (2012). Late gestational nutrition of the mare and potential effects on endocrine profiles and adrenal function of the offspring. *Prof. Anim. Sci.* **28**, 344–350.
- Donabédian, M., Fleurance, G., Perona, G., Robert, C., Lepage, O., Trillaud-Geyl, C., Leger, S., Ricard, A., Bergero, D., and Martin-Rosset, W. (2006). Effect of fast vs. moderate growth rate related to nutrient intake on developmental orthopaedic disease in the horse. *Anim. Res.* **55**, 471–486.
- George, L.A., Staniar, W.B., Treiber, K.H., Harris, P.A., and Geor, R.J. (2009). Insulin sensitivity and glucose dynamics during pre-weaning foal development and in response to maternal diet composition. *Domest. Anim. Endocrinol.* **37**, 23–29.
- Heyden, L.V., Lejeune, J.-P., Caudron, I., Detilleux, J., Sandersen, C., Chavatte, P., Paris, J., Deliège, B., and Serteyn, D. (2013). Association of breeding conditions with prevalence of osteochondrosis in foals. *Vet. Rec.* **172**, 68–68.
- Peugnet, P., Robles, M., Mendoza, L., Wimel, L., Dubois, C., Dahirel, M., Guillaume, D., Camous, S., Berthelot, V., Toquet, M.-P., et al. (2015a). Effects of Moderate Amounts of Barley in Late Pregnancy on Growth, Glucose Metabolism and Osteoarticular Status of Pre-Weaning Horses. *PLoS ONE* **10**, e0122596.
- Peugnet, P., Wimel, L., Tarrade, A., Robles, M., Dubois, C., Serteyn, D., and Chavatte Palmer, P. (2015b). La santé du futur poulain se prépare dès la gestation. *41ème Journ. Rech. Équine* **41**.
- Ralston, S. (1996). Postprandial hyperglycemia/hyperinsulinemia in young horses with osteochondritis dissecans lesions. *Pferdeheilkunde* 320–322.
- Steven, D., and Samuel, P. (1975). Anatomy of the placental barrier in the mare. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 579–582.





Thorson, J.F., Karren, B.J., Bauer, M.L., Cavinder, 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**, 982–990.

Wilsher, S., and Allen, W.R. (2006). Effects of a *Streptococcus equi* infection--mediated nutritional insult during mid-gestation in primiparous Thoroughbred fillies. Part 1: placental and fetal development. *Equine Vet. J.* **38**, 549–557.