

CUNICULTURE Magazine

Volume 32 (année 2005) pages 19 à 30

ASFC 10 mars 2005 - Journée d'étude « Puebla - Ombres & Lumières »

Les apports en physiologie digestive et métabolique lors du 8^{ème} Congrès Mondial de Cuniculture de Puebla - Mexique, en septembre 2004

François LEBAS
Cuniculture

L'une des 10 sessions du congrès a été consacrée à la Physiologie Digestive chez le lapin. Elle comprenait un rapport général préparé par L. Fortun-Lamothe et S. Bouillier [1] et 9 communications libres. En outre, différentes communications de la session "Alimentation et Nutrition" présentaient des résultats en relation totale ou partielle avec la physiologie digestive ou métabolique. Nous en avons retenu un vingtaine C'est cet ensemble de 29 communications et rapport que nous allons tenter d'analyser.

INTRODUCTION GENERALE

Un premier fait à souligner est l'importance de l'activité dans ce domaine des équipes espagnoles, et de celle de l'École d'Agronomie de Madrid en particulier. En effet sur les 29 communications produites au total par les équipes de 11 pays, 8 ont été présentées par des équipes espagnoles, 5 par des équipes hongroises, 3 chacune par des équipes françaises, chinoises et tchèques, 2 par une équipe du Portugal et 1 par des équipes cubaine, égyptienne, roumaine et brésilienne.

Le deuxième fait remarquable est l'augmentation du nombre de critères ou paramètres mesurés pour tenter de caractériser ou de comprendre l'ampleur ou la nature des phénomènes digestifs. Ainsi aux critères classiques

- de mesure de la digestibilité globale ou iléale des aliments,
- de caractéristiques physicochimiques du contenu caecal (concentration et nature des acides gras volatils, pH, teneur en matière sèche et en ammoniac)
- d'activités enzymatiques pancréatiques ou intestinales
- de mesure de la flore digestive bactérienne par les méthodes de culture *in vitro*

sont venues s'ajouter par exemple des mesures

- de la flore digestive utilisant les méthodes issues de la biologie moléculaire, méthodes couvrant beaucoup mieux l'ensemble de la flore que les méthodes de culture. En effet seulement 20 à 25% des bactéries présentes sont cultivables, alors que les méthodes de biologie moléculaire couvrent l'ensemble de la flore.
- des mesures de la variation du contenu iléal et pas seulement caecal,
- des mesures de la viscosité du contenu digestif,
- des mesures du développement de la muqueuse digestive, en particulier dans l'intestin grêle,
- des mesures quantitatives des apports nutritionnels provenant de l'activité de la flore digestive, recyclés ou non *via* la cæcotrophie.

Tous ces éléments contribuent à démontrer que la Physiologie Digestive du Lapin est une discipline de recherche active. Nous allons tenter de voir quelles conclusions pratiques pour l'élevage il est possible de tirer de ce foisonnement d'idées.

Le rapport général de la session Physiologie de la Digestion

Le rapport général présenté par deux scientifiques INRA/ENV de Toulouse [1] était consacré aux interactions entre la flore digestive et l'immunité pariétale digestive d'une part et aux stratégies envisageables pour améliorer la santé digestive des jeunes lapereaux d'autre part. Compte tenu de son ampleur (24 pages de texte et figures basées sur 140 références), le plus simple pour la présentation de ce rapport très complet et détaillé, est de reprendre son résumé (voir ci-dessous). Les auteurs ont insisté sur le rôle et la répartition des tissus lymphoïdes et des lymphocytes qu'ils génèrent. En effet ces cellules sont à l'origine des défenses immunitaires spécifiques. Elles sont réparties tout au long de la paroi intestinale et dans des localisations spécifiques telles que l'appendice cæcal ou le *sacculus rotundus* (jonction entre l'intestin grêle et le cæcum).

La localisation macroscopique est schématisée sur la figure 1 et la localisation microscopique sur la figure 2. Nous en retiendrons surtout que le système de défense du tube digestif est pratiquement autonome et très complexe, tous les éléments constituant la paroi du tube digestif, le chyme alimentaire et la flore digestive interagissant entre eux. Par exemple les "corps étrangers" présents dans la lumière intestinale sont reconnus au niveau des cellules M à la surface des dômes folliculaires ou des plaques de Peyer et la sécrétion d'IgA effectuée en réaction pour les neutraliser est assurée dans les autres parties de la muqueuse digestive (figure 3)

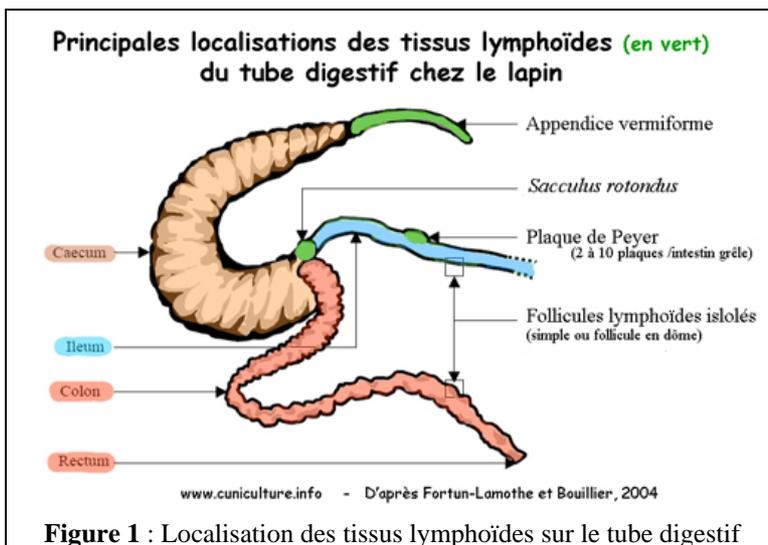


Figure 1 : Localisation des tissus lymphoïdes sur le tube digestif

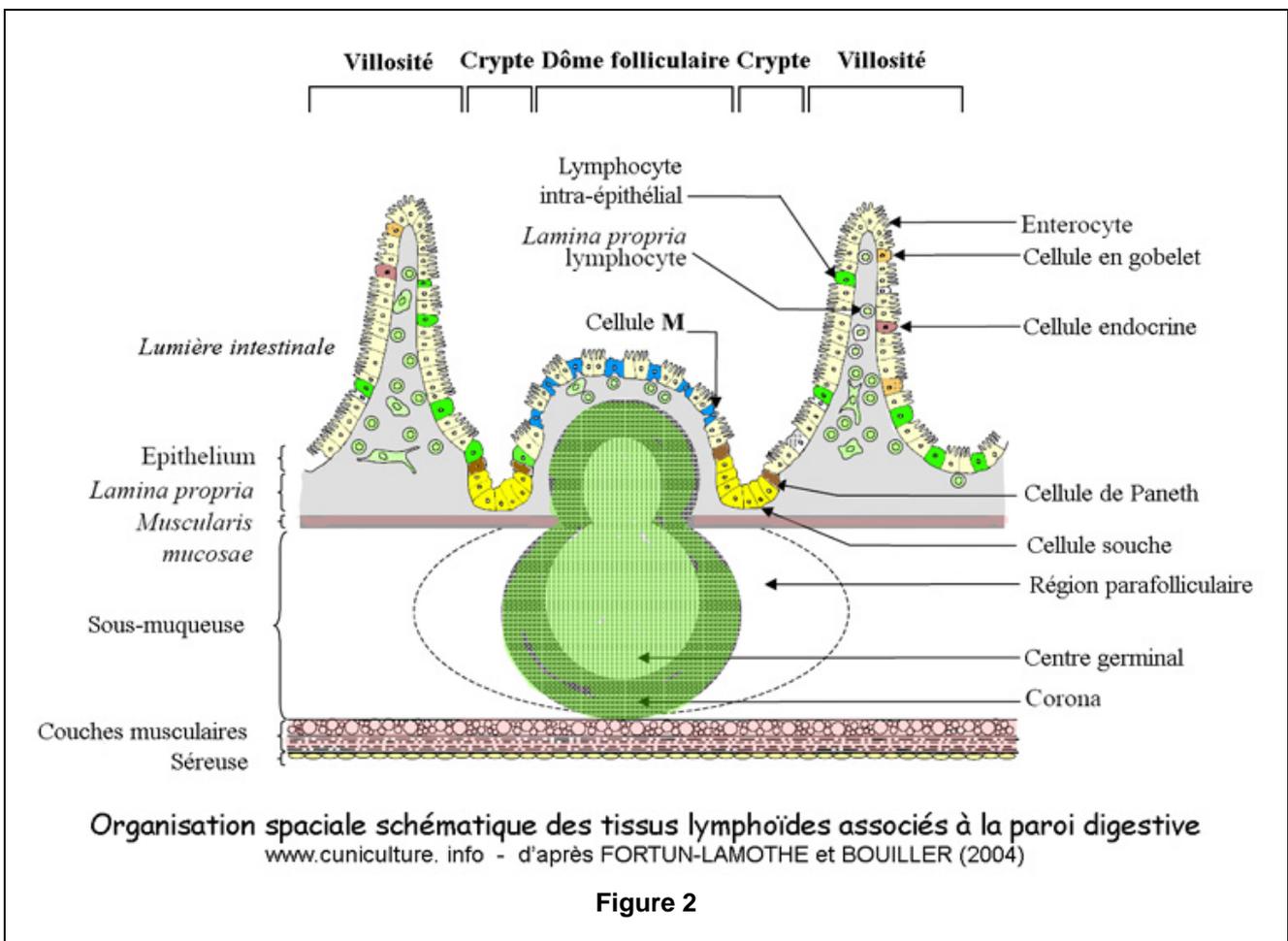


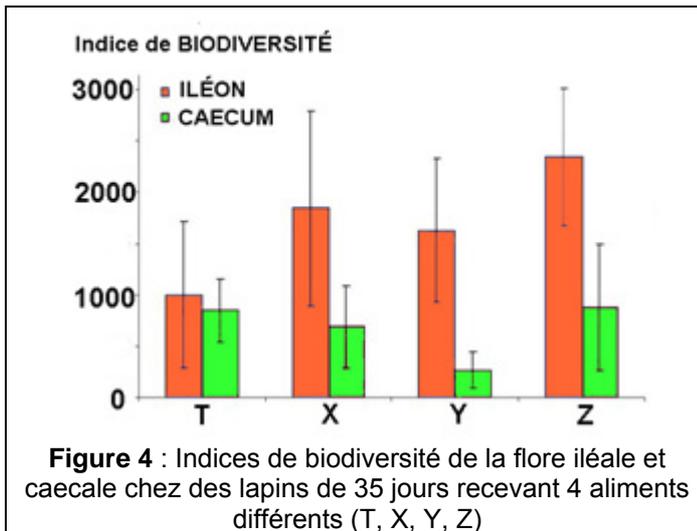
Figure 2

Analyses de la flore digestive et des causes de sa variation

L'apport des méthodes de biologie moléculaire.

Les méthodes de biologie moléculaire permettent de séparer l'ADN des microorganismes et en comparant les différentes séquences constitutives de cet ADN, elles permettent de déterminer un index de la biodiversité des microorganismes présents dans la flore digestive. Le principal avantage est que cette méthodologie prend en compte la totalité des microorganismes présents dans la flore et non pas seulement les 20-25% cultivables. La comparaison des séquences d'ADN obtenues avec celles de banques de données permet également d'identifier un très grand nombre de microorganismes.

Par cette méthodologie l'équipe espagnole de Badiola *et al.* [12] a confirmé qu'entre les âges de 15 et 35 jours (avec un point intermédiaire à 25 j) la nature de la flore évolue, certains microorganismes apparaissant et d'autres disparaissant, cette évolution étant indépendante du type d'aliment (4 aliments testés). L'apport original de ce travail a été de démontrer que la flore du contenu iléal (fin de l'intestin grêle) est systématiquement plus diversifiée que celle du cæcum. Comme le montre la figure 4, l'ampleur de la biodiversité et l'écart entre iléon terminal et cæcum sont aussi très dépendants de l'alimentation des lapins. On doit par exemple remarquer que l'utilisation de l'aliment T a conduit à une biodiversité proche dans l'iléon et dans le cæcum, alors que l'utilisation d'un autre aliment Y a conduit à un écart beaucoup plus important (les auteurs n'ont donné aucune indication sur la nature des 4 aliment utilisés).



La même équipe, dans un travail sur l'influence du taux de fibres alimentaires et de leur broyage [24] a confirmé la plus grande biodiversité du contenu iléal par rapport au contenu cæcal. En outre, le degré de similarité entre les flores cæcale et iléale est de 65%. Un aliment à teneur élevée en fibres (30% NDF vs 25%) conduit à une réduction de la biodiversité de 31% sans altération de la digestibilité des fibres, mais avec une réduction de celle de la matière sèche et des matières azotées. Un broyage très grossier (grille de 9 mm vs 1 mm) conduit aussi à une réduction de cette biodiversité (- 40%), mais cette fois associée à une réduction de 9% de la digestibilité des fibres (NDF). Le broyage grossier réduit par exemple dans la flore iléale les bactéries des genres *Escherichia*, *Helicobacter* ou *Klebsiella*. L'aliment ayant le taux de fibres le plus faible réduit de son côté le nombre de bactéries du genre *Bacteroides* (impliquées dans la digestion des fibres). Enfin, les auteurs soulignent que la flore cæcale est nettement moins influencée par les aliments testés que celle de l'iléon.

La flore digestive analysée par les méthodes classiques de culture in vitro

Les chercheurs spécialisés sur le comportement animal (Hudson *et al.*, 1996) ont montré il y a quelques années qu'à l'occasion de chaque allaitement la lapine laissait dans le nid de ses jeunes lapereaux quelques crottes molles. Ces crottes disparaissent au cours de la journée, probablement ingérées par les lapereaux.. L'hypothèse a été émise que leur rôle était de fournir aux lapereaux une flore digestive similaire à celle de leur mère. L'équipe hongroise de Kovacs *et al.* [6] a voulu vérifier cette hypothèse. Par des allaitements libres ou contrôlés et la surveillance du contenu de la boîte à nid avec retrait éventuel des crottes maternelles, elle a bien confirmé l'émission puis la disparition de ces crottes laissées par la mère. La flore digestive des lapereaux a été analysée tous les 2 jours entre 2 et 10 jours d'âge par la détermination du nombre de bactéries des genres *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Escherichia coli*. Chez les lapereaux en allaitement libre la colonisation du cæcum par le genre *Bacteroides* (et la quasi disparition concomitante des genres *Lactobacillus* et *E. coli*) est un peu plus rapide que chez les lapereaux en allaitement contrôlé une fois par 24h. Le retrait scrupuleux des crottes laissées par la mère ne fait que retarder un peu plus la mise en place de la flore cæcale. Mais à 10 jours les 3 groupes expérimentaux avaient des flores tout à fait comparables. Au plan pratique cela veut dire qu'un allaitement contrôlé (tétée 1 fois par 24h) ne modifie pratiquement pas la mise en place de la flore digestive des lapereaux et peut donc être mis en œuvre si d'autres critères le justifient

Deux autres communications l'une portugaise et l'autre hongroise se sont intéressées aux conséquences sur la flore de la présence d'antibiotiques dans l'alimentation : **bacitracine** [27] et **tiamuline +OTC+diclazuril** [7]. Dans les deux cas la présence d'antibiotiques réduit l'importance de la flore totale cultivable et celle des colibacilles en particulier. La bacitracine fait pratiquement disparaître les entérocoques [27]. Par contre, dans l'étude hongroise [7], le complexe antibiotique utilisé n'a pas modifié le nombre de *Bacteroides* (non déterminé dans l'autre étude). Dans cette même étude [7] l'addition d'un facteur de croissance non antibiotique (benzoquinones obtenues par culture de levures sur germe de blé) ne modifie ni l'ampleur de la flore totale, ni le nombre de *Bacteroides*.

La flore digestive analysée à travers le résultat des fermentations

Comme cela est classique depuis plusieurs dizaines d'années, certaines communications ont présenté des analyses des concentrations dans le contenu cœcal des produits de l'activité de la flore: acides gras volatils (AGV), ammoniac, pH.

Ainsi la présence de bacitracine dans l'alimentation (0,1 kg/t) qui réduit la flore totale [27], tend par contre à augmenter la concentration du contenu cœcal [26] en AGV (80 vs 52 mM/L), et en particulier celle de l'acide butyrique (10,7 vs 4,6 mM/L) et à réduire le pH cœcal. L'addition le mannane-oligosaccharides en lieu et place de la bacitracine conduit à des résultats similaires quand à composition du contenu cœcal.

A l'inverse le complexe tiamuline+OTC+diclazuril placé dans l'aliment [7] réduit de manière drastique la concentration en AGV totaux (43 vs 104 mM/L), en réduisant particulièrement les concentrations en acétate et en butyrate. Le remplacement du complexe antibiotique par un activateur de croissance (benzoquinones [voir plus haut]) conduit à un résultat intermédiaire.

En marge de l'activité directe de la flore, un travail roumain de physiologie aiguë [3] a montré qu'un accroissement de la concentration d'acétate, de propionate ou surtout de butyrate dans le sang périphérique stimule la sécrétion d'amylase pancréatique. Ainsi une absorption digestive accrue d'AGV issus des fermentations cœcales et l'augmentation corrélée des taux sanguins, stimule l'efficacité de la digestion de l'amidon (meilleure hydrolyse et production de glucose directement absorbé dans l'intestin grêle), privant ainsi les bactéries cœcales d'une partie du substrat leur permettant de produire ces AGV. Cela correspond à une système classique de régulation digestive avec modification du fonctionnement physiologique en amont du point "critique" (ici le cæcum).

Mesure quantitative des nutriments élaborés par la flore digestive

La **lysine** est un acide aminés indispensable que le lapin doit trouver que dans son alimentation ou dans les produits synthétisés par sa flore digestive. Mais en aucun cas la lysine ne peut être "fabriquée" par le lapin lui-même. En incorporant du chlorure d'ammonium marqué à l'azote 15 (¹⁵N) dans l'alimentation et en récupérant la lysine totale et celle marquée ¹⁵N dans les corps bactériens (contenu digestif et cæcotrophes) mais aussi dans l'organisme du lapin (muscles, foie) il est possible de déterminer la contribution de la synthèse microbienne à l'approvisionnement en lysine du lapin. Avec cette technique, une équipe espagnole de Saragosse [13] a pu déterminer d'abord que la flore cœcale du lapin synthétise effectivement de la ¹⁵N-lysine (forme organique) à partir de l'azote 15 du chlorure d'ammonium (forme minérale). Au plan quantitatif, la lysine synthétisée par la flore digestive représente 46% de la quantité de lysine absorbée chaque jour par un lapin. Sur ce total 40% sont absorbés après ingestion des cæcotrophes, tandis que 6% sont absorbés directement sans passer par l'ingestion des cæcotrophes. La teneur en ¹⁵N-lysine de la flore cœcale est d'ailleurs indépendante du fait que les cæcotrophes soient absorbés ou non.

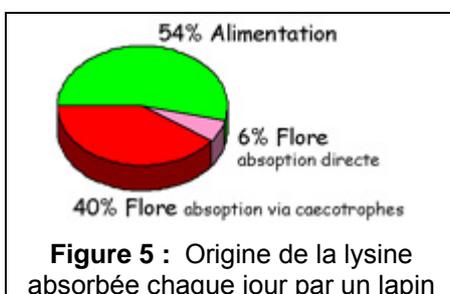


Figure 5 : Origine de la lysine absorbée chaque jour par un lapin

Au plan pratique, cela veut dire que chez tout lapin au fonctionnement digestif perturbé entraînant un arrêt de l'ingestion des cæcotrophes (cas très fréquent), il manque 40% de l'apport de lysine. Cet acide aminé étant indispensable, le lapin se trouve donc immédiatement carencé (pas de stockage) et toutes les synthèses protéiques sont altérées : aussi bien celles nécessaires à la croissance musculaire ou

foetale que la synthèse des enzymes nécessaires à l'organisme ou que la synthèse des immunoglobulines. Ce raisonnement est applicable aux autres acides aminés indispensables tels que la acides aminés soufrés ou la thréonine, mais l'ampleur de l'apport via la flore n'a pas été chiffré.

Dans un esprit similaire, une autre équipe espagnole, de Madrid cette fois [20], a mesuré la quantité de cæcotrophes produite par les lapins en fonction de la teneur en **fibres solubles** de l'alimentation (7,9 à

13,1%, en substitution à de l'amidon - teneur constante en NDF). La quantité produite s'accroît avec la teneur en fibres solubles, de 13,6 à 17,7 g de matière sèche par jour. Parallèlement **la quantité de lipides ingérés en provenance des cæcotrophes** s'accroît aussi, passant de 0,35 à 0,44 g/jour. La composition de ces lipides est également affectée par les fibres solubles, substrat privilégié de la flore cæcale. Ainsi la proportion d'acides gras à nombre impair de carbones (issus exclusivement de la synthèse bactérienne) passe de 7,2% à 11,4% des acides gras totaux. De même, les acides gras ramifiés, également issus de la synthèse bactérienne, passent de 6,7% à 9,7% des acides gras totaux. Enfin les acides gras conjugués (a. linoléiques conjugués = CLA) augmentent aussi de 6,7 à 8,2% des acides gras totaux. En moyenne, les auteurs de cette communication [20] estiment que 12% des lipides ingérés par un lapin proviennent des synthèses effectuées par sa flore digestive. L'ingestion de CLA (impliqués dans différents mécanismes de défense) peut représenter jusqu'à 30 mg par animal et par jour avec le régime le plus riche en fibres solubles. Là encore au plan pratique on ne peut que souligner le déséquilibre nutritionnel engendré par un arrêt de la cæcotrophie inmanquablement associé à toute perturbation du fonctionnement digestif.

Sources de variation de la digestibilité des aliments

Méthodologie de détermination du CUDa

La grande majorité des expérimentateurs détermine la digestibilité globale des aliments par mesure directe des quantités ingérées et excrétées (collecte totale des crottes) selon une méthodologie qui a été parfaitement bien définie, dite méthode européenne standardisée (Perez *et al.*, 1995). Toutefois une équipe brésilienne [25] a cherché à déterminer la digestibilité des aliments par utilisation d'un marqueur interne ajouté, en l'occurrence de la lignine purifiée. Cette méthodologie présente l'avantage de ne pas nécessiter la mesure de l'ingestion, ni de collecter toutes les crottes émises. Par contre, elle suppose que la composition des crottes est constante sur la journée, que le transit du marqueur est identique à celui de l'aliment, qu'il n'est ni absorbé ni modifié lors du passage dans le tube digestif et enfin elle nécessite de doser avec grande précision le marqueur utilisé dans l'aliment et dans les crottes. Dans l'expérience présentée dans cette communication [25], la mesure de la digestibilité de 5 aliments a été effectuée en double, par collecte totale et en utilisant la lignine comme marqueur interne. Pour 2 des 5 aliments, les résultats ont été comparables, mais pour les 3 autres une différence significative a été obtenue entre les 2 méthodes (sous-estimation avec le marqueur interne). La détermination de la digestibilité en utilisant de la lignine purifiée comme marqueur interne ne peut donc être retenue.



Dans leur travail sur la détermination de la valeur alimentaire d'une légumineuse arbustive des déserts froids (*Caragana microphylla*) l'équipe chinoise de Ren *et al.* [9] a déterminé la digestibilité des aliments expérimentaux en utilisant l'insoluble chlorhydrique (minéraux insolubles dans l'acide chlorhydrique concentré 4M) comme marqueur interne, sans comparer ses résultats à ceux obtenus avec une collecte totale. La forte variation de la digestibilité mesurée en fonction du taux d'incorporation du produit testé (0 - 10 - 20%) et en fonction du type de lapin (jeunes ou adultes) laisse penser que, comme cela avait été démontré il y a fort longtemps pour différentes espèces animales, l'usage de l'insoluble chlorhydrique pour estimer la digestibilité des aliments est une méthode insuffisamment fiable pour être recommandée.

Effets de l'âge ou du type de lapin sur la digestibilité des aliments

Comme cela l'avait été par l'équipe française de l'INRA-Toulouse il y a déjà quelques années (Debray *et al.*, 2000) pour des lapereaux sevrés à 32 jours et étudiés entre 18 et 42 jours, l'équipe de Madrid [22] a montré que, chez les lapereaux sevrés à 25 jours, la digestibilité de la matière sèche décroît de 25 à 32 jours puis se stabilise entre 32 et 40 jours (CUDa = 69,4 ± 0,47%). Selon ces auteurs, la décroissance entre 25 et 32 jours serait linéaire (- 2,17 points par jour). Le travail toulousain avait d'ailleurs montré que cette décroissance concernait l'ensemble des nutriments à l'exception de l'amidon, quelque soit le ratio amidon/fibres.

Un travail chinois proposé par Li *et al.* [23] a montré que la digestibilité des différents nutriments est plus élevée (+2 à +4 points) chez des lapins âgés de 2-3 mois que chez ceux de 1 à 2 mois, l'âge n'étant pas fourni avec plus de précision. Un résultat similaire a été observé par une équipe tchèque [28] ayant mesuré la digestibilité au cours de 3 périodes : 42-49j puis 49-56 j et enfin 56-63 j.

De leur côté Gidenne et Fortun-Lamothe [19] ont montré qu'à l'âge de 6 semaines la digestibilité des différents nutriments est identique chez des lapins sevrés à 23 jours et chez des lapins sevrés à 32 jours. Enfin, en complément de la partie consacrée à l'effet de l'âge, le travail espagnol précédent [22] a permis de montrer que si les CUDa peuvent varier entre individus, cela n'est pas relié à leur portée d'origine, malgré des différences très importantes d'ingestion entre individus issus de portées différentes (5 portées testées).

Effets de l'alimentation sur l'efficacité de la digestion

Comme cela avait été déjà largement prouvé, l'équipe tchèque déjà mentionné [28] a montré qu'une restriction alimentaire quantitative permet d'améliorer significativement la digestibilité des aliments, mais cet effet cesse dès que les lapins sont réalimentés à volonté.

La présence dans l'alimentation de bacitracine qui, nous l'avons vu plus haut réduit l'importance de la flore [27], ne modifie pas la digestibilité des différents nutriments, en particulier celle des fibres. Seule la digestibilité de la matière organique est légèrement réduite, à la limite du seuil de signification (tableau 1).

Tableau 1 : Digestibilité des nutriments d'aliment supplémenté ou non en bacitracine zinc (0,1 g/kg) chez des lapins étudiés entre 42 et 46 jours selon Pinheiro *et al.* [27]

Coefficients de digestibilité	Aliments		Écart type de la moyenne	Seuil de signification
	Témoin	Bacitracine		
- Matière sèche	70,6	69,4	0,48	ns
- Matière organique	79,5	78,2	0,36	P = 0,07
- Fibres (NDF)	45,4	46,0	0,85	ns
- Protéines brutes	75,2	75,7	0,45	ns
- Amidon	98,3	98,3	0,08	ns
- Lipides	88,4	87,5	0,70	ns

Selon un travail présenté par une équipe égyptienne [11], l'addition d'extraits de yucca (250 mg/kg) ou de lactobacilles vivants (0,5mg/kg de Lact-A-Bac) permettrait d'améliorer la digestibilité des différents éléments nutritifs. La conséquence a été une amélioration de 2 à 5% de la valeur énergétique de l'aliment de base. Ces additions permettraient également d'améliorer la vitesse de croissance (31,6 et 30,9 g/jour vs 28,2 pour le témoin) ainsi que l'indice de consommation (3,61 et 3,60 vs 3,87).

De manière classique Nicodemus *et al.* [24] ont montré qu'une réduction de l'apport de fibres alimentaire (25% vs 30% de NDF) se traduit par une meilleure digestibilité de la matière sèche et des protéines tant au niveau iléal que fécal. Par contre, la digestibilité fécale des fibres (ADF 22,0% et NDF 32,9%) n'est pas affectée par leur taux dans l'aliment. Il faut cependant signaler que cette diminution du taux de fibres se traduit aussi par un accroissement significatif de la mortalité des lapins suivis en engraissement entre 25 et 55 jours (17% vs 8%) sans modification de la digestibilité iléale ou fécale de l'amidon (96,6 et 100% respectivement). Rappelons que le taux de fibre le plus faible se traduit aussi par une forte augmentation de la biodiversité au sein de la flore cœcale (+ 45% [24]).

Dans ce même travail les auteurs ont montré qu'un broyage grossier de l'aliment (grille de 9 mm vs grille de 1 mm) ne modifie pas de manière significative la digestibilité de la matière sèche ou des protéines, mais réduit celle des fibres : -8,5% pour NDF et -16,5% pour ADF. Rappelons que les travaux antérieurs conduits en France sur les effets du broyage des matières premières entrant dans les aliments n'avaient pas permis de démontrer de variation de la digestibilité des aliments, sauf dans le cas d'un broyage très fin utilisant une grille expérimentale ayant des orifices de 0,25 mm de diamètre.

Fonctionnement du système digestif en relation avec l'âge, le sevrage et la composition de l'alimentation

Le travail présenté par Gallois *et al.* [4] a permis de montrer que l'âge au sevrage (21 ou 35 jours) n'a pas d'incidence sur le développement de la muqueuse intestinale mesuré chaque semaine entre 14 et 49 jours. Par contre la hauteur des villosités intestinales (figure 6) en 3 points au long de

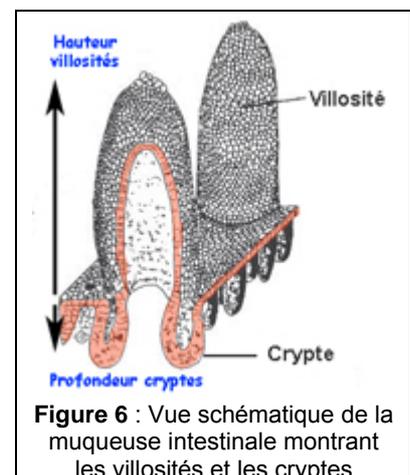


Figure 6 : Vue schématique de la muqueuse intestinale montrant les villosités et les cryptes

l'intestin grêle (duodénum, jéjunum et iléon) varie très significativement avec l'âge (figure 7). Ainsi la hauteur des villosités s'accroît assez régulièrement avec l'âge dans le duodénum (de 600 µm à 14 jours jusqu'à 1000 µm à 42-49 j). Elle diminue à l'inverse dans l'iléon entre 14 j. (500 µm) et 28 jours (400 µm) pour augmenter ensuite jusqu'à 49 jours (650 µm), sans relation avec l'âge des lapins au moment de leur sevrage. La profondeur des cryptes situées entre les villosités varie aussi significativement en fonction de l'âge des lapereaux.

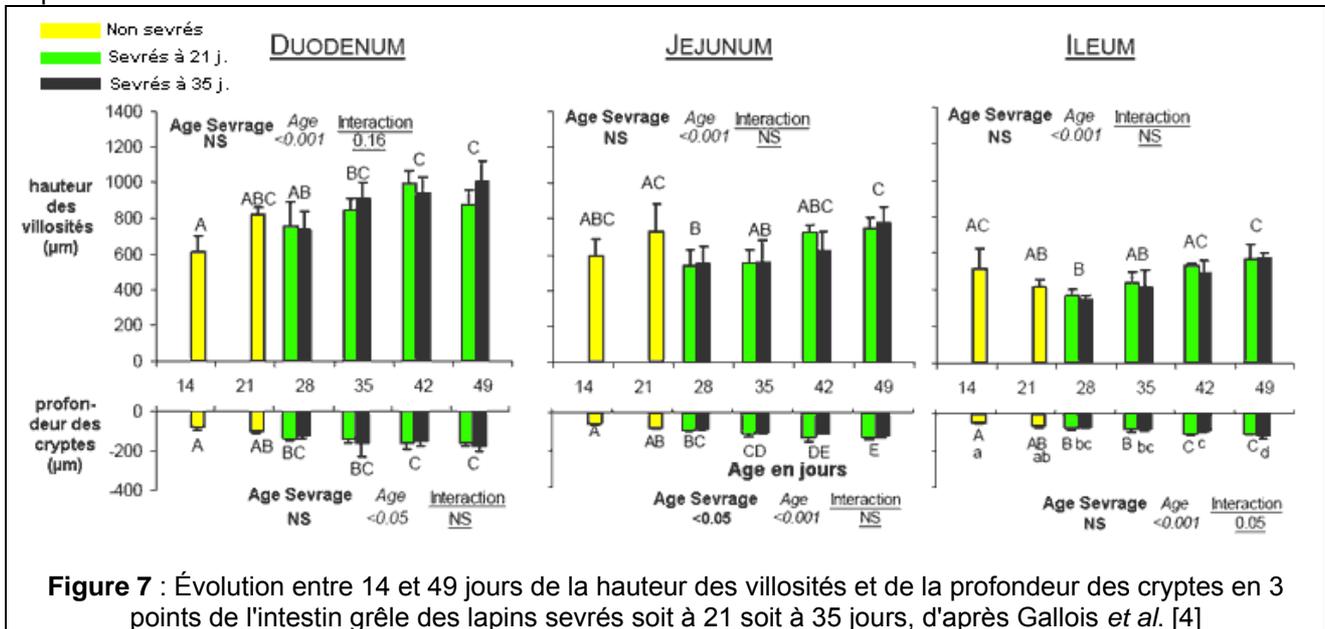


Figure 7 : Évolution entre 14 et 49 jours de la hauteur des villosités et de la profondeur des cryptes en 3 points de l'intestin grêle des lapins sevrés soit à 21 soit à 35 jours, d'après Gallois *et al.* [4]

Tout au long de l'intestin grêle la hauteur des villosités représente environ 3 à 5 fois la profondeur des cryptes à 14 et 21 jours (période d'allaitement strict) alors qu'elle représente 2 à 2,5 fois la hauteur des cryptes à partir de 28 jours, sans évolution significative ni avec l'âge, ni en fonction de l'âge au sevrage (figure 8).

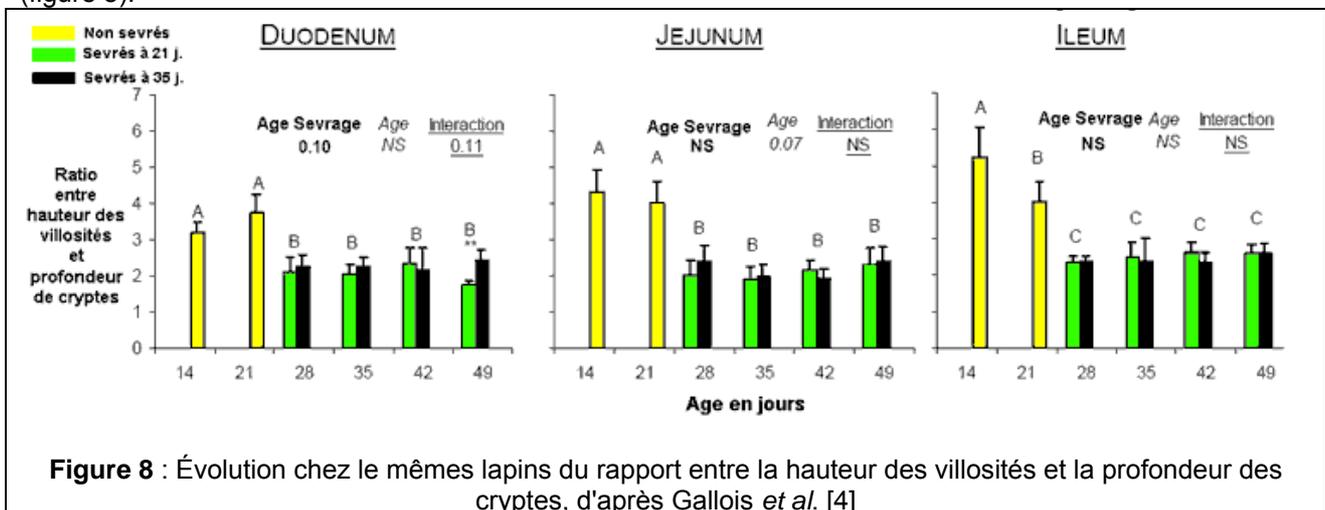


Figure 8 : Évolution chez le mêmes lapins du rapport entre la hauteur des villosités et la profondeur des cryptes, d'après Gallois *et al.* [4]

Chez des lapins sevrés à 25 jours et sacrifiés à 35 après avoir consommé un aliment expérimental contenant 7,9%, 10,3% ou 13,1% de fibres solubles (et 33% de NDF, 20% de protéines et 20% d'amidon) l'accroissement de l'apport de alimentaire de fibres solubles entraîne un accroissement de la hauteur des villosités intestinales : 722 µm contre 492 µm [21]. Cet accroissement est associé à une meilleure digestibilité iléale de l'amidon (96,9 vs 93,2%), mais sans variation significative de la digestibilité iléale de la matière sèche des aliments.

Le remplacement d'une partie de l'amidon de l'alimentation des lapereaux sevrés à 21 jours par de la pectine ou un mélange pectine+inuline [29], entraîne une plus grande viscosité du contenu intestinal (P=0,10). De son côté l'apport d'inuline en plus des pectines semble favoriser les fermentations cœcales, puisque la

concentration en AGV totaux passe de 60 mM/L avec l'aliment riche en pectines à 93 mM/L lorsque 4% d'inuline sont ajoutés.

De 16 à 28 jours d'âge (sevrage) des lapereaux allaités ont reçu [15] soit l'aliment maternel (19% d'amidon) soit un aliment dit de sevrage plus pauvre en amidon (12%). De 20 à 28 jours les consommations de lait et d'aliment solide ont été identiques dans les 2 groupes et il en a été de même pour la croissance. A 28 jours les différences de contenu cæcal (quantité, composition) ont été faibles à nulles. On peut cependant noter un pH cæcal un peu plus élevé avec 19% d'amidon qu'avec 12% (6,26 vs 6,05) associé avec une proportion d'acétate un peu plus faible et une proportion de butyrate un peu plus forte au sein des acides gras volatils (25,4% des AGV contre 22,1%). Après le sevrage tous les lapins ont reçu l'aliment riche en amidon. Ceux qui en avaient eu peu avant leur sevrage ont eu transitoirement une croissance et une consommation plus élevées entre 28 et 35 jours, mais à 70 jours les performances étaient identiques. La seule différence sensible a été une mortalité 28-70 j plus faible avec chez les lapereaux ayant eu peu d'amidon dans leur jeune âge (3/100 vs 8/100 lapins par lot).

L'inclusion de taux croissants de canne à sucre totale (séchée et broyée, et contenant donc du saccharose) dans l'alimentation de lapins en croissance se traduit [2] par une diminution significative de la teneur en matière sèche du contenu cæcal, mais sans variation significative de la teneur en protéines ou en fibres de la matière sèche de ce contenu (11,8% et 6,7% de la MS pour les protéines et ADF respectivement). La teneur en matière sèche des fèces diminue de manière drastique avec l'augmentation du taux de canne à sucre : de 37% avec l'aliment témoin jusqu'à seulement 18% avec 45% de canne à sucre. On peut penser que les lapins consommant ce dernier aliment étaient en permanence à la limite de la diarrhée.

Effets des additions enzymatiques

Une idée assez répandue est que les enzymes produites par l'organisme des animaux et du lapin en particulier, ou par les microorganismes de leur flore digestive, pourraient ne pas être assez actives pour hydrolyser la totalité des aliments et permettre l'absorption maximale des nutriments qu'ils contiennent. Pour améliorer l'efficacité de la digestion, la solution proposée est d'ajouter des enzymes exogènes dans l'alimentation, pour suppléer ou aider celles qui agissent déjà dans le tube digestif.

Avec une ration à base essentiellement de fanes d'arachide (24%), de maïs (27%) et de son de riz (18%), et contenant 0,35% de phosphore total, l'équipe chinoise de Zao *et al.* [10] a montré qu'une addition à l'aliment de **phytase** microbienne (produite par BASF) permet d'améliorer sensiblement l'absorption apparente du phosphore total (55% vs 39%) grâce à une meilleure absorption du phosphore phytique (76% vs 68%). L'excrétion fécale de calcium, de cuivre, de fer, de zinc et de manganèse n'ont pas été modifiées. La vitesse de croissance des lapins rex utilisés pour cet essai a été améliorée de 11%, sans modification de l'efficacité alimentaire. Il faut rappeler qu'aucun des quelques travaux antérieurs conduits sur ce thème n'avait réellement trouvé d'effet positif lié à l'addition de phytase exogène, celle produite par la flore digestive étant trouvée suffisante. Compte tenu des résultats positifs obtenus par ce travail [10] il serait intéressant de recommencer l'expérience avec une ration de base plus proche de celles utilisées en France ou en Europe de manière générale.

L'équipe espagnole de Madrid [18] n'a trouvé aucune amélioration de performance (vitesse de croissance moyenne 50 g/j ou indice de consommation moyen de 2,69) après addition soit d'une **protéase**, soit d'une **protéase + une xylanase** dans l'alimentation des lapins en croissance (origine des enzymes non indiquées dans le texte).

Dans un travail antérieur l'équipe hongroise de Eiben *et al.* (2002) avait obtenu des résultats favorables à la croissance dans les 2 semaines suivant le sevrage, après addition à la ration des lapins en croissance d'un complexe de **cellulases-hémicellulases** (endoglucanases + cellobiohydrolases + β -glucosidases). La même équipe a présenté lors du Congrès de Puebla une étude [16] avec des doses réduites du même complexe enzymatique introduit dans l'alimentation de lapins sevrés à 23 jours (75% - 50% - 25% de la dose antérieure). En remarque annexe, le poids moyen annoncé par les auteurs pour leurs lapereaux de 23 jours (510-516 g) nous paraît extrêmement élevé pour des lapins Néo-Zélandais de cet âge, mais ce sont bien les valeurs écrites dans la communication. La vitesse de croissance a été améliorée de manière transitoire, non pas immédiatement après le sevrage, mais au cours de la période 35-49 jours avec la dose testée la plus élevée (50,7 g/jour avec 53 FPU/kg vs 46,5 g/j pour la témoin - P=0,067). Cependant, à 77 jours plus aucune différence n'a été observée entre les différents lots. De même, l'indice de consommation a été nettement amélioré au cours de la période 35-49 j (IC 2,59 vs 2,85 - P=0,021) mais détérioré au cours des 2 semaines

suivantes (IC 3,81 vs 3,56 - P = 0,036). Sur l'ensemble de la période 23-77 jours, seul le lot ayant reçu l'aliment additionné de 50% de la dose antérieure a eu un indice de consommation plus faible que le témoin sans enzymes ajoutées (2,91 vs 3,03 - P = 0,039). Les auteurs concluent à un effet positif de l'addition du complexe fibrolytique utilisé en se basant en plus sur la plus faible mortalité observée après addition d'enzymes à l'alimentation: 6 morts sur 30 lapins en essai dans le lot témoin, contre 4/30 - 4/30 et 1/30 pour les doses croissantes d'enzymes ajoutées. *Malheureusement le test de Kh^2 que nous avons fait a posteriori sur ces données montre que l'écart de mortalité entre le lot témoin et les 3 lots avec enzymes n'est pas significatif.* Nous laissons donc aux auteurs la responsabilité de l'optimisme de leur conclusion.

Fonctionnement général de l'organisme et immunité

Un travail préliminaire (une portée par lot) a été présenté par une équipe espagnole [14] sur l'existence d'anticorps sanguins spécifiques à l'aliment consommé par les lapins. En concevant 2 aliments de même valeur nutritionnelle mais n'ayant aucune matière première en commun, distribués de 21 jours à 60 jours aux lapins, les auteurs ont mis en évidence dans le sang de ces lapins des immunoglobulines de type IgG réagissant spécifiquement sur des antigènes préparés avec la partie soluble de chacun des 2 aliments. Les mères ayant reçu un 3^e type d'aliment ont transmis aux lapereaux (in utero ou via le lait) des anticorps réagissant aux antigènes issus de ce 3^e aliment. La réaction est très nette chez les lapereaux de 21 jours alors qu'ils n'ont (en principe) jamais consommé d'aliment solide maternel ou autre (cage différente de celle de la mère). A 60 jours, la réaction par rapport à l'aliment consommé en engraissement est toujours forte tandis que celle vis-à-vis le l'aliment maternel ou de l'autre aliment expérimental est très atténuée. Pour l'instant on ignore le rôle joué par ces anticorps, mais on peut supposer qu'ils ne sont pas élaborés "pour rien".

Dans le cadre de l'étude de l'évolution de différents paramètres digestifs et métaboliques chez des lapins Néo Zélandais en fonction de l'âge, Li *et al.* ([23] - voir plus haut pour l'étude sur la digestibilité) ont pesé la rate et le thymus, estimant que plus le poids relatif de ces organes est élevé (en % du poids vif) plus forte sont les capacités de défense immunitaires des animaux. Ils n'apportent aucun élément à l'appui de leur affirmation. Celle-ci mériterait donc une validation. On ne sait en effet si l'hyper-développement relatif de ces deux organes est la réponse classique à une stimulation excessive (début d'infection) ou la preuve réelle de capacités de réponses immunitaires supérieures.

Pour en finir avec l'analyse des différentes communication présentées à Puebla en relation avec digestion et le métabolisme des lapins, il nous semble opportun de rapporter au moins en partie un travail hongrois [17] dans lequel les auteurs ont espéré améliorer l'activité de la glutathion peroxydase (une des enzymes intervenant dans la limitation de l'oxydation de l'organisme par les radicaux libres d'oxygène et donc dans celle du processus de vieillissement et de réaction aux agressions). L'activité de cette importante enzyme de la famille des peroxydases est "sélénium dépendante". Les auteurs ont donc espéré stimuler son activité en ajoutant du sélénium organique facilement absorbé (Seleno-Yeast®) à la ration de base : +0,3 mg de Se /kg d'aliment. L'aliment de base contenait déjà 0,125 mg de Se /kg provenant des matières premières. La teneur en sélénium a bien augmenté dans le sang et dans le foie des lapins, mais contrairement à ce qui était attendu, l'activité de la glutathion peroxydase a été significativement réduite dans tous les tissus ou organes où elle a été mesurée. L'explication est simple: l'apport initial de sélénium était suffisant et l'apport supplémentaire de sélénium organique a fait croître l'ingestion total de sélénium (14 µg/kg vif) à un niveau proche de celui de la toxicité (15 µg/kg vif) alors que le besoin reconnu est de 4 µg/kg vif. Ainsi à vouloir bien faire les auteurs ont dégradé les défenses des animaux qu'ils espéraient mieux protéger. Ainsi, même pour les micro-éléments les apports alimentaires doivent toujours tenir compte de ce qui est déjà fourni par les matières premières composant les aliments, et l'usage irraisonné d'additifs alimentaires peut conduire à l'inverse du résultat escompté.

CONCLUSION

En conclusion de cette analyse des communications consacrées à la digestion et au métabolisme des lapins, côté négatif on doit remarquer l'absence totale de communication sur l'estimation *in vitro* de la digestibilité des aliments, sujet qui avait fait l'objet de plusieurs interventions prometteuses lors des précédents congrès.

Côté positif nous devons souligner une fois encore le foisonnement des idées et des méthodes visant à mieux suivre la digestion et le métabolisme des lapins. Ces techniques et méthodes ont été appliquées

quasi exclusivement à des lapins en croissance, mais en commençant de plus en plus tôt après la naissance.

En particulier ces différents travaux ont permis de démontrer que pour le fonctionnement du tube digestif, l'évolution de la flore digestive comme pour l'évolution de l'efficacité de la digestion, le sevrage lui-même (arrêt de l'alimentation lactée et séparation mère-jeunes) est pratiquement un non-événement. A l'inverse la connaissance des différentes évolutions physiologiques peut permettre de choisir des conditions de sevrage (âge, méthodes) non plus sur la base de critères subjectifs comme la réduction d'un stress impossible à quantifier, mais sur la base de critères objectifs permettant de maximiser les potentialités ultérieures des lapereaux.

Enfin, l'application des méthodes de biologie moléculaire à la quantification de la flore digestive dans différentes situations nutritionnelles laisse penser que l'augmentation de la biodiversité de la flore digestive du lapin doit être considérée comme une dégradation de la situation sanitaire ou tout au moins comme la preuve d'une aggravation du risque sanitaire.

Liste des références

LISTE DES COMMUNICATIONS

Section Physiologie de la digestion

- [1] FORTUN-LAMOTHE L., BOULLIER S., 2004. Interactions between gut microflora and digestive mucosal immunity, and strategies to improve digestive health in young rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed.,1035-1067. (rapport général invité)*
- [2] DIHIGO L. E., SAVÓN L. , SIERRA F., 2004. Cecal content composition and dry matter excretion in rabbits consuming sugar cane meals. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed.,1068-1071.*
- [3] DOJANA N., POP A. , PAPUC C., 2004. Effects of exogenously added short-chain fatty acids on pancreatic exocrine secretion in domestic rabbit. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 1072-1078.*
- [4] GALLOIS M., GIDENNE T., FORTUN-LAMOTHE L., LE HUEROU-LURON. , LALLES J. P., 2004. Weaning age and development of the small intestinal mucosa in the young rabbit. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed.,1079-1085.*
- [5] KÓSA E. , KOVÁCS M. , RIGÓ Z., 2004. Effect of a vegetable extract (trade name: Immunovet-hbm®) upon activity of digestive enzymes in rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed.,1086-1090.*
- [6] KOVÁCS M., SZENDRŐ Zs., CSUTORÁS I., BÓTA B., BENCSNÉ K. Z., OROVA Z., RADNAI I., BIRÓNÉ N. E., HORN P., 2004. Development of the caecal microflora of newborn rabbits during the first ten days after birth. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 1091-1096.*
- [7] KOVACS M., SZENDRŐ ZS., CSUTORÁS I., BÓTA B., FÉBEL H., KÓSA E., BENCSNÉ K. Z., SZAKÁCS Á. , HORN P., 2004. Some digestive-physiological parameters of early-weaned rabbits fed non-medicated diets. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed.,1097-1102.*
- [8] MAROUNEK M., SKŘIVAN M., SKŘIVANOVÁ V., SAVKA O., 2004. Weights of digestive organs, caecal metabolites and fermentation stoichiometry in coypus and rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed.,1103-1108.*
- [9] REN K. L., NIU X. W., LUOH D.,LI Y. S., WANG F., 2004. Digestibility of dietary peashrub nutrients. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 1109-1113.*
- [10] ZHAO GUO-XIAN , FENG ZHI-HUA , WANG YU-DING , LI YUN-QI , LIU GUAN-ZHONG , 2004. The effects of supplemental microbial phytase in diets on the growth performance and mineral excretion of rex-rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed.,1114-1120.*

Section Alimentation et Nutrition

- [11] AMBER KH., YAKOUT H. M., HAMED RAWYA S., 2004. Effect of feeding diets containing yucca extract or probiotic on growth, digestibility, nitrogen balance and caecal microbial activity of growing New Zealand white rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 737-745.*
- [12] BADIOLA I., PÉREZ DE ROZAS A. M., ROCA M., CARABAÑO R., GÓMEZ M., GARCÍA J. , DE BLAS C., 2004. Characterization of the microbial diversity of rabbit intestinal tract by restriction fragment length polymorphism. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 746-751.*

- [13] BELENGUER A., BALCELLS J., GUADA J. A., GONZALEZ RONQUILLO, DECOUX M., 2004. Protein recycling in rabbits: incorporation of microbial lysine in growing rabbits as a method of measurement. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 752-758.*
- [14] CANO J. L., BLAS E., SOLER M. D., MOYA V. J., GUILLÉN M. I., 2004. Immune response induced by feed in growing rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 765-770.*
- [15] DI MEO C., BOVERA F., PICCOLO G., GAZANEO M. P., NIZZA A., 2004. Effect of pre-weaning diet on rabbit performance. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 792-798.*
- [16] EIBEN CS., MÉZES M., SZIJÁRTÓ N., KUSTOS K., GÓDOR-SURMANN K., ERDÉLYI M., 2004. Dose-dependent effect of cellulase supplementation on performance of early-weaned rabbit. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 799-804.*
- [17] ERDELYI M., MÉZES M., VIRÁG G., 2004. Study of glutathione peroxidase activity in some environmental induction models in rabbit. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 811-817.*
- [18] GARCÍA J. , GARCÍA A. I., GARCÍA-REBOLLAR P. , DE BLAS C. , CARABAÑO R., 2004. Effects of source of protein and enzyme supplementation on performance of fattening rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 845.*
- [19] GIDENNE T., FORTUN-LAMOTHE L., 2004. Growth, health status and digestion of rabbits weaned at 23 or 32 days of age. 846-852.
- [20] GÓMEZ-CONDE M.S., CHAMORRO S., MENOYO D., GARCÍA-REBOLLAR P., DE BLAS C., 2004. Effects of source of fibre on fat composition and fat recycling with caecotrophes. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 864.*
- [21] GÓMEZ-CONDE M.S., CHAMORRO S., NICODEMUS N., GARCÍA J., CARABAÑO R., DE BLAS C., 2004. Effect of the level of soluble fibre on ileal apparent digestibility at different ages. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 862-863.*
- [22] GÓMEZ-CONDE M.S., CHAMORRO S., NICODEMUS N., VILLAMIDE M.J., GARCÍA J., DE BLAS C., CARABAÑO R., 2004. Determination of faecal dry matter digestibility in rabbits weaned at 25 days of age. 861.
- [23] LI FU-CHANG, LEI QIU-XIA, ZHANG XIULING, 2004. Comparative studies on growth performance, nutrient digestibility, immunity index and protease activities between weaning-2 month and 2-3 month New Zealand rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 885-890.*
- [24] NICODEMUS N., PÉREZ-ALBA L., CARABAÑO R., DE BLAS C., BADIOLA I., PÉREZ DE ROZAS A., GARCÍA J., 2004. Effect of level of fibre and level of ground of fibre sources on digestion and ileal and caecal characterization of microbiota of early weaned rabbits. 928-929.
- [25] PEREIRA R. A. N., SALIBA E. O. S. , MOTTA W. F., BERTECHINI A. G., DONATO D. C. Z., DUARTE M. R., CHAVES, M. L., 2004. Lipe® marker for estimating total faecal production and dry matter apparent digestibility in growing rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 930-935.*
- [26] PINHEIRO V., ALVES A., MOURÃO J. L., GUEDES C. M, PINTO L1, SPRING P., KOCHER A. 2004. Effect of mannan oligosaccharides on the ileal morphometry and cecal fermentation of growing rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 936-941.*
- [27] PINHEIRO V., MOURÃO J. L., ALVES A., RODRIGUES M., SAAVEDRA M. J., 2004. Effects of zinc bacitracin on performance, digestibility and caecal development of growing rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 942-947.*
- [28] TŮMOVÁ E., SKŘIVANOVÁ V. , ZITA L. , SKŘIVAN M., FUČÍKOVÁ A, 2004. The effect of restriction on digestibility of nutrients, organ growth and blood picture in broiler rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 1008-1014.*
- [29] VOLEK Z., SKŘIVANOVÁ V., MAROUNEK M., ZITA L., 2004. Replacement of starch by pectin and chicory inulin in the starter diet of early-weaned rabbits: effect on growth, health status, caecal traits and viscosity of the small intestinal content. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004, WRSA ed., 1022-1028*

Autres références citées

- DEBRAY L., GIDENNE T., FORTUN-LAMOTHE L., ARVEUX P., 2000. Digestive efficiency before and after weaning, according to the dietary starch/fibre ratio. *7th World Rabbit Congress, Vol. C, 167-174.*
- EIBEN CS., SZIJÁRTÓ N., MÉZES M., KUSTOS K., GÓDOR-SURMANN K., RÉCZEY K., 2002. Effect of dietary cellulase enzyme supplementation on the performance of early weaned rabbits. *14th Rabbit Day, Kaposvár (Hungary), 77-82.*
- HUDSON R., SCHAAL B., BILKO A., ALTBACKER V., 1996. Just three minutes a day : the behaviour of young rabbits viewed in the context of limited maternal care. *6th World Rabbit Congress, Toulouse, Vol. 2 , 395-403.*
- PEREZ J.M., LEBAS F., GIDENNE T., MAERTENS L., XICCATO G., PARIGI-BINI R., DALLE ZOTTE A., COSSU M.E., CARAZZOLO A., VILLAMIDE M.J., CARABANO R., FRAGA M.J., RAMOS M.A., CERVERA C., BLAS E., FERNANDEZ J., FALCAO E CUNHA L., BENGALA FREIRE J., 1995. European reference method for *in vivo* determination of diet digestibility in rabbits. *World Rabbit Science, 3, 41-43.*

=====