

Effet d'un sevrage à l'âge de 7 jours et du niveau alimentaire après le sevrage sur les modifications structurales de l'intestin grêle chez le porcelet

*Julia MARION (1), Marzena BIERNAT (2), Gérard SAVARY (1), Françoise THOMAS (1),
Romuald ZABIELSKI (2), Isabelle LE HUËROU-LURON (1), Jean LE DIVIDICH (1)*

(1) Institut National de la Recherche Agronomique, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 St-Gilles

(2) The Kielanowski Institute of Animal Physiology and Nutrition, Polish Academy of Sciences, Jablonna, Poland

Effet d'un sevrage à l'âge de 7 jours et du niveau alimentaire post-sevrage sur les modifications structurales de l'intestin grêle chez le porcelet.

Le sevrage précoce des porcelets a notamment pour conséquence une réduction brutale de la consommation alimentaire lors des premiers jours post-sevrage. L'amplitude et la durée de la période de sous-consommation varient considérablement entre les animaux. Les objectifs de notre étude sont, d'une part, de déterminer la dynamique de l'adaptation digestive en examinant les modifications structurales de l'intestin grêle (IG) chez le porcelet sevré à l'âge de 7 jours (expérience 1), et d'autre part, d'étudier les effets du niveau d'énergie ingérée et de la durée de la période de sous-alimentation sur cette adaptation (expérience 2). Nos résultats indiquent qu'au cours du développement, les caractéristiques pondérales et structurales de l'IG évoluent chez les porcelets allaités. Cependant, ces changements sont fortement amplifiés au moment du sevrage. Ainsi la hauteur des villosités est réduite de moitié environ. Successivement, l'atrophie villositaire et la restauration apparaissent tout d'abord dans la partie proximale puis progressent vers la partie distale de l'IG. La distribution des villosités par classe de hauteur met en évidence la dynamique spatiale et temporelle de ces phénomènes. Dans la première semaine post-sevrage, le niveau d'énergie ingérée et la hauteur des villosités sont positivement corrélés, illustrant le rôle important de la sous-consommation spontanée dans la genèse des modifications structurales post-sevrage. Toutefois, les capacités digestives sont rapidement récupérées dès lors que le niveau d'alimentation augmente.

Effects of weaning at 7d of age and of the level of energy intake on structural changes in the small intestine of piglets.

The major consequence of weaning is a decrease in nutrient intake. The extent and duration of underfeeding vary greatly between animals. Two trials involving a total of 48 piglets weaned at 7d of age were conducted to examine (1) the capacity for digestive adaptation after weaning by studying the structural modifications the small intestine (SI) (trial 1) and (2) the effect of the level of energy intake and of the duration of underfeeding on these parameters (trial 2). As age increased, the weight and the structure of the SI evolved in suckling piglets. However, these modifications were dramatically enhanced at weaning. The heights of villi were on average halved. Successively, atrophy of villi and then their restoration were observed to start in the proximal part of the SI and spread distally. This phenomenon was clearly seen by analysing the distribution of villi heights in time and space. There was a positive correlation between villi heights and the amount of energy consumed in the first week post-weaning. This illustrates the relationship between voluntary underfeeding and the initiation of mucosal architectural changes post-weaning. However, our results demonstrated that digestive capacity was rapidly restored when food intake increased.

INTRODUCTION

Chez le porcelet, le sevrage est une étape critique, caractérisée par des changements d'alimentation, de bâtiments d'élevage et parfois d'environnement social. Une des conséquences majeures du sevrage précoce est une réduction brutale de la consommation alimentaire des porcelets lors des premiers jours post-sevrage. Ainsi, la fonction digestive doit non seulement s'adapter à un nouvel aliment de composition complexe comparé au lait maternel hautement digestible, mais elle doit également faire face à une période de sous-alimentation. Après un sevrage précoce, le comportement alimentaire est très variable selon les individus. Ces différences portent sur la durée de la période de la sous-alimentation et la vitesse de ré-alimentation.

La sous-consommation spontanée d'aliment semble une des principales causes des modifications fonctionnelles et structurales de l'intestin grêle (IG) observée dans la période qui suit immédiatement le sevrage à 21-28 jours (PLUSKE et al, 1997). Ainsi, l'atrophie des villosités intestinales, temporaire mais marquée (MILLER et al, 1986 ; KELLY et al, 1990), entraîne une réduction de la surface de muqueuse en contact avec les ingesta. Associée à la réduction des capacités digestives enzymatiques (PLUSKE et al, 1996) et à la modification de la flore commensale, elle est considérée comme un élément important dans la manifestation des diarrhées de post-sevrage (VAN BEERS-SCHREURS et al, 1992).

Notre objectif est d'analyser la cinétique d'adaptation après sevrage et l'incidence du niveau d'énergie métabolisable ingérée et de la durée de la période de sous-alimentation sur les modifications structurales de l'intestin grêle chez des porcelets sevrés à l'âge de 7 jours.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Animaux

Deux expériences portant sur 48 porcelets de race Large White x Landrace sevrés à l'âge de 7 jours ont été réalisées. Ils sont équipés d'une sonde oesophagienne afin de contrôler avec précision les quantités d'aliment ingéré. Les animaux sont placés dans des cages individuelles. La température du local est de 32°C, puis diminue progressivement à 28°C les jours suivants.

Expérience 1 :

Trente porcelets sont répartis en 5 lots de 6 porcelets : un lot de porcelets allaités abattus à l'âge de 7 jours (**A7**), trois lots d'animaux sevrés à 7 jours et abattus à l'âge de 10 (**S10**), 14 (**S14**) et 21 (**S21**) jours (soit, respectivement 3, 7 et 14 jours après le sevrage) et un lot de porcelets allaités, maintenus sous la mère et abattus à l'âge de 21 jours (**A21**).

Expérience 2 :

Dix-huit porcelets sevrés à l'âge de 7 jours, sont répartis en 3 lots de 6 porcelets : un lot de porcelets nourris à un haut niveau alimentaire (**H14**), un lot nourri à un bas niveau ali-

Tableau 1 - Niveau d'énergie métabolisable ingérée par jour (kJ/kg^{0,75} PV) dans les expériences 1 et 2

Jour après sevrage	Expérience 1	Expérience 2		
		B14	I14	H14
1	65	65	65	190
2	225	65	65	370
3	370	65	65	565
4	480	125	375	680
5	700	185	580	810
6	840	225	680	910
7	980	260	830	980
8 à 14	1200			

mentaire (**B14**) et un lot nourri à un bas niveau alimentaire pendant 3 jours suivi d'un haut niveau alimentaire (**I14**). Les porcelets des 3 lots sont abattus à l'âge de 14 jours soit 7 jours après le sevrage.

1.2. Alimentation

L'aliment utilisé contient 16,6kJ d'énergie métabolisable (EM)/g. Les quantités journalières administrées aux porcelets sous forme liquide (eau : 80, aliment : 20) sont ajustées quotidiennement en fonction de leur poids. Les quantités d'EM ingérée par les porcelets lors des expériences 1 et 2 sont indiquées dans le tableau 1. Elles miment celles mesurées sur un grand nombre de porcelets sevrés au même âge et alimentés à volonté (ORGEUR et al, 2000).

1.3. Expérimentation

Les porcelets sont abattus environ 3 heures après le dernier repas. L'IG est rapidement prélevé, pesé et mesuré. Il est alors vidé et rincé au sérum physiologique froid puis sectionné en trois parties de longueur équivalente (proximale, intermédiaire et distale). Des échantillons de chaque partie sont prélevés pour les mesures biochimiques et histologiques.

1.4. Analyses de laboratoire

Les teneurs en ADN, ARN et protéines de la muqueuse intestinale sont déterminées selon les méthodes de LABARCA et PAIGEN (1979), MUNRO et FLECK (1969) et LOWRY et al (1951), respectivement. Dans l'expérience 1, la hauteur des villosités et la profondeur des cryptes intestinales sont analysées après microdissection à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image (Optimas version 6.5, Media cyberbetics, Silver Spring, USA) selon une technique décrite par GOODLAD et al (1991). Dans l'expérience 2, les échantillons intestinaux sont fixés dans une solution de Bouin pendant 5 jours avant d'être inclus dans la paraffine. Après coloration, les coupes histologiques (5 µm d'épaisseur) sont analysées à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image (MultiScan version 8.08, MultiScan, Pologne). Trente villosités et vingt cryptes, au minimum, sont analysées par site et par animal.

1.5. Statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel SAS (1990). Les effets des traitements et des sites intestinaux

sur les teneurs en ADN, ARN et protéines de la muqueuse et la morphométrie sont déterminés selon la procédure GLM et l'utilisation du test LSD. La comparaison deux à deux des différentes classes de taille des villosités est réalisée par le test du Khi 2 ; les effets des traitements et des sites intestinaux sur la distribution sont testés. Les corrélations sont déterminées par la procédure REG du logiciel SAS.

2. RÉSULTATS

2.1. Croissance corporelle

Dans chaque expérience, le poids moyen des porcelets à l'âge de 7 jours n'est pas différent entre les lots (2682 ± 150 g, moyenne $\pm$ SEM). Dans l'expérience 1, après une perte de poids de 220 ± 16 g le 1^{er} jour post-sevrage, les porcelets retrouvent leur poids initial au 3^{ème} jour post-sevrage. Au cours de la 2^{ème} semaine post-sevrage, le gain de poids quotidien, d'environ 217 ± 10 g pour les porcelets sevrés, est inférieure à celui des porcelets allaités (281 ± 17 g ; $P < 0,01$) durant la même période. Dans l'expérience 2, pendant les 3 premiers jours post-sevrage, les porcelets recevant un faible niveau alimentaire perdent en moyenne 237 ± 20 g, tandis que ceux recevant un haut niveau alimentaire perdent 130 ± 22 g le 1^{er} jour qui suit le sevrage puis gagnent du poids les jours suivants. Les porcelets des lots H14 et I14 recouvrent leur poids initial 3 et 6 jours après le sevrage respectivement, tandis que ceux du lot B14 ne le retrouvent pas 7 jours après le sevrage.

2.2. Développement de l'intestin grêle

Expérience 1. (tableau 2)

Chez les porcelets allaités, le poids relatif (g/kg de poids vif) de l'IG décroît de 11% ($P < 0,05$) entre 7 et 21 jours d'âge.

Chez les porcelets sevrés, il diminue de 20% pendant les 3 premiers jours post-sevrage, puis augmente par la suite. Quatorze jours après le sevrage, il est 19% ($P < 0,01$) plus élevé que chez les porcelets allaités de même âge (S21 vs. A21). Au cours du développement, la longueur relative (cm/kg de poids vif) de l'IG pour A21 comparé à A7 diminue de 38 % chez les porcelets allaités ($P < 0,001$), et de 31 % pour les porcelets sevrés ($P < 0,001$). En conséquence, le poids de l'IG exprimé par unité de longueur (g/cm) est plus important à 21 jours qu'à 7 jours d'âge, respectivement de +43% ($P < 0,001$) et +52% ($P < 0,001$) chez les lots allaités et sevrés. Chez les porcelets allaités, cette augmentation ne s'explique pas par un accroissement spécifique du poids de la muqueuse puisque la proportion relative de muqueuse (g muqueuse/g IG) ne varie pas avec l'âge. En revanche, 3 jours après le sevrage, la proportion relative de muqueuse (g/g IG) diminue de 21%. Elle augmente ensuite pour atteindre, à 21 jours d'âge, 93% (S21) de la valeur mesurée à 7 jours (A7). En d'autres termes, l'augmentation de poids de la muqueuse intestinale explique donc l'augmentation du poids de l'IG par unité de longueur.

Chez les porcelets allaités, les teneurs en ADN et ARN de la muqueuse intestinale augmentent, respectivement, de 79% ($P < 0,001$) et 26% ($P < 0,001$) entre 7 et 21 jours d'âge. L'augmentation observée après le sevrage, est du même ordre de grandeur (respectivement, 53% et 20% en moyenne). En revanche, aucune variation de la teneur en protéines n'est observée chez les porcelets allaités et sevrés. Il en résulte que les rapports ARN/ADN ($P < 0,001$) et protéines/ADN ($P < 0,001$) sont plus faibles à 21 jours qu'à 7 jours d'âge.

Expérience 2. (tableau 3)

Le poids et la longueur de l'IG rapportés au poids vif des porcelets sont, respectivement, positivement ($r = +0,61$; $P < 0,01$) et négativement ($r = -0,51$; $P < 0,05$) corrélés au niveau d'énergie

Tableau 2 - Expérience 1. Poids vif, caractéristiques de l'intestin grêle (IG) et paramètres biochimiques de la muqueuse intestinale.

Statut	Allaité	Sevré			Allaité	
Age (j)	7	10	14	21	21	
Lot	A7	S10	S14	S21	A21	ETR
Poids vif (kg)	2,7 ^d	2,7 ^d	3,3 ^c	4,9 ^b	6,5 ^a	0,5
Intestin grêle :						
Poids (g.kg ⁻¹ PV)	41 ^{ab}	32 ^d	38 ^{bc}	43 ^a	36 ^{cd}	4
(g.cm ⁻¹ IG)	0,19 ^b	0,16 ^b	0,21 ^{ab}	0,28 ^a	0,26 ^a	0,02
Longueur (cm.kg ⁻¹ PV)	220 ^a	211 ^{ab}	193 ^b	152 ^c	136 ^c	24
Muqueuse intestinale :						
Poids (g.g ⁻¹ IG)	0,71 ^a	0,56 ^d	0,61 ^{cd}	0,66 ^{bc}	0,67 ^{ab}	0,03
(g.kg ⁻¹ PV)	29 ^a	19 ^d	24 ^c	28 ^{ab}	25 ^{bc}	3
(g.cm ⁻¹ IG)	0,19 ^b	0,09 ^d	0,13 ^b	0,18 ^a	0,18 ^a	0,01
En mg.g ⁻¹ muqueuse :						
ADN	5,6 ^{c1}	8,0 ^b	9,1 ^{ab}	8,5 ^{ab}	10,0 ^a	1,4
ARN	5,7 ^c	6,5 ^b	7,3 ^a	6,6 ^{ab}	7,2 ^{ab}	0,7
Protéines	112	109	107	112	111	9
Rapport ARN/ADN	1,03 ^a	0,83 ^b	0,83 ^b	0,80 ^b	0,72 ^b	0,11
Rapport Protéines/ADN	20 ^a	14 ^b	12 ^{bc}	14 ^{bc}	11 ^c	2

^{a,b,c,d} : Pour chaque ligne, les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$).

PV : Poids vif ; IG : Intestin grêle

Tableau 3 - Expérience 2. Poids vif et caractéristiques de l'intestin grêle (IG).

Niveau d'ingestion	Bas	Intermédiaire	Haut	
Age (j)	14	14	14	ETR
Lots	B14	I14	H14	
Poids vif (kg)	2,4 ^b	2,9 ^a	3,2 ^a	0,4
Intestin grêle				
Poids (g. kg ⁻¹ PV)	31 ^b	39 ^a	39 ^a	4
(g.cm ⁻¹)	0,13 ^b	0,19 ^a	0,20 ^a	0,01
Longueur (cm.kg ⁻¹ PV)	243 ^a	208 ^{ab}	196 ^b	29
Muqueuse intestinale				
Poids (g.g ⁻¹ IG)	0,57 ^b	0,65 ^{ab}	0,69 ^a	0,07
(g.kg ⁻¹ PV)	15 ^b	21 ^a	24 ^a	4
(g.cm ⁻¹)	0,06 ^c	0,10 ^b	0,12 ^a	0,01

^{a,b,c,d}: Pour chaque ligne, les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$).

PV : Poids vif ; IG : Intestin grêle

métabolisable ingérée pendant la 1^{ère} semaine post-sevrage. Parallèlement, la proportion relative de muqueuse dans l'IG est 21% ($P < 0,05$) plus élevée chez les porcelets du lot H14 que chez ceux du lot B14. Ainsi, exprimés par unité de longueur, le poids de l'IG et celui de la muqueuse sont 1,5 et 1,9 fois plus élevés dans le lot H14 que dans le lot B14 ($P < 0,05$). La seule différence significative entre les lots H14 et I14 concerne le poids relatif de la muqueuse par unité de longueur qui est plus faible chez les porcelets qui ont été temporairement sous-alimentés ($P < 0,05$). Par ailleurs, les teneurs en ADN, ARN et protéines ne sont pas significativement affectées par le niveau d'énergie métabolisable ingérée.

2.3. Morphométrie

Expérience 1

Chez les porcelets allaités, la hauteur des villosités diminue de 38% en moyenne entre 7 et 21 jours d'âge (tableau 4). Elle est également réduite après le sevrage. L'altération maximale est observée dès 3 jours après le sevrage au niveau proximal et seulement 7 jours après le sevrage aux niveaux intermédiaire et distal. Les valeurs minimales sont

respectivement 59%, 41% et 44% plus faibles que celles mesurées chez les porcelets âgés de 7 jours. Par la suite, la hauteur des villosités augmente. Ainsi, aucune différence n'est observée, entre les porcelets sevrés et les animaux allaités, à l'âge de 21 jours. Il n'existe aucun effet significatif, ni des traitements, ni des sites, sur la profondeur des cryptes (117 ± 11 µm en moyenne ; données non rapportées).

La distribution relative des villosités par classe de hauteur (figure 1), qui illustre bien les variations de taille des villosités, indique des effets âge et sevrage remarquables. Chez les porcelets allaités âgés de 7 jours, 75 à 80% des villosités sont de taille supérieure à 600 µm et 69 à 80% d'entre elles mesurent plus de 800 µm. En revanche à 21 jours d'âge, 35 à 50% seulement des villosités ont une taille supérieure à 600 µm et 22 à 33% d'entre elles dépassent 800 µm. Après le sevrage, les villosités de taille supérieure à 600 µm disparaissent précocement (à 3 jours post-sevrage) de la partie proximale de l'IG, puis, avec un décalage temporel (entre 3 et 7 jours post-sevrage), des parties intermédiaire et distale de l'IG. Avec les mêmes délais entre les 3 sites, la population de villosités de grande taille (>600 µm) réapparaît progressivement entre le 7 et le 14^{ème} jour post-sevrage.

Tableau 4 - Expérience 1. Hauteurs des villosités au niveau des 3 sites de l'intestin grêle

Statut	Allaités	Sevrés			Moy. par site	Allaités	Statistiques				
Age (j)	7	10	14	21		21	ETR	(1)	(2)	(3)	(4)
Lots	A7	S10	S14	S21		A21					
IG :											
proximal	975 ^a	403 ^d	490 ^{cd}	661 ^b	527	581 ^{bc}	101	L***	***	ns	***
intermédiaire	834 ^a	509 ^b	488 ^b	499 ^b	499	546 ^b	82	ns	***	ns	***
distal	827 ^a	635 ^b	461 ^c	528 ^{bc}	589	589 ^{bc}	125	ns	*	ns	**
Moy. par lot	879 ^a	515 ^b	480 ^b	562 ^b	SxL**	572 ^b	74	ns	***	ns	***

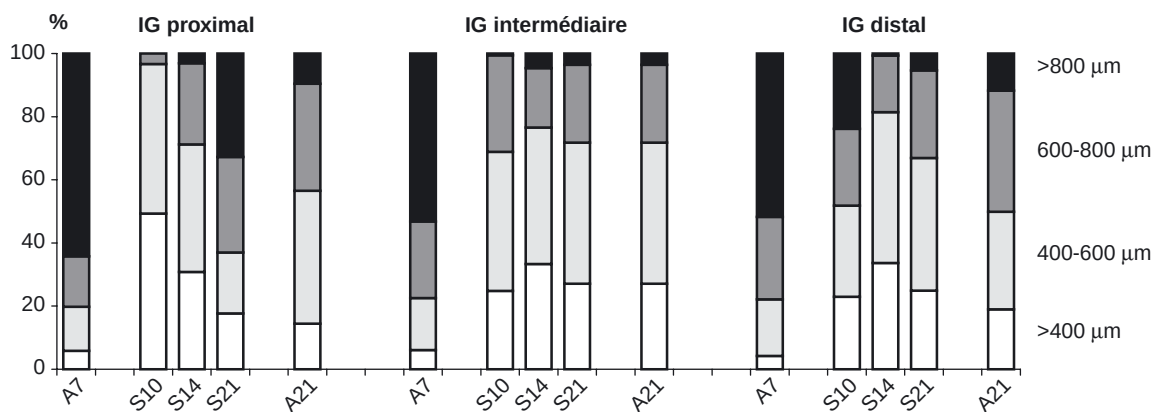
^{a,b,c,d}: Pour chaque ligne, les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$).

IG : Intestin Grêle. Moy. : Moyennes.

SxL** : Effet site x lot significatif ($P < 0,01$).

(1) Evolution après le sevrage. L : Linéaire ; (2) Différences lot A7 vs Lot S10 ; (3) Différences lot S21 vs A21 ; (4) Différences A7 vs A21.

ns : non significatif ; * : $P < 0,05$, ** : $P < 0,01$, *** : $P < 0,001$.

Figure 1 - Expérience 1. Distribution des villosités intestinales par classe de hauteurs.**Expérience 2**

La hauteur des villosités est affectée par le niveau d'ingestion au niveau des parties proximale et distale (tableau 5). Globalement au niveau de l'IG et spécifiquement au niveau proximal, la hauteur des villosités est significativement corrélée aux quantités d'énergie ingérée (respectivement, $r=+0,65$ et $+0,70$; $P<0,01$). Aucun effet n'est observé sur la profondeur des cryptes (données non rapportées).

La distribution des villosités par classe de hauteur est également modifiée selon le niveau alimentaire (figure 2). La proportion de villosités de taille inférieure à 400 µm représente

43 à 77% de la population chez les porcelets du lot B14 tandis qu'elle constitue seulement 5 à 33% de la population chez les porcelets des lots I14 et H14. Corrélativement, la proportion de villosités de taille supérieure à 600 µm est plus importante dans ces 2 lots. Au niveau proximal, 17 à 24% des villosités ont une taille supérieure à 600 µm dans les lots H14 et I14, tandis que la hauteur de toutes les villosités est inférieure à 600 µm dans le lot B14.

3. DISCUSSION

La perte de poids corporel observée le 1^{er} jour post-sevrage s'accorde avec la chute brutale de la quantité d'énergie

Tableau 5 - Expérience 2. Hauteur des villosités au niveau des 3 sites de l'intestin grêle.

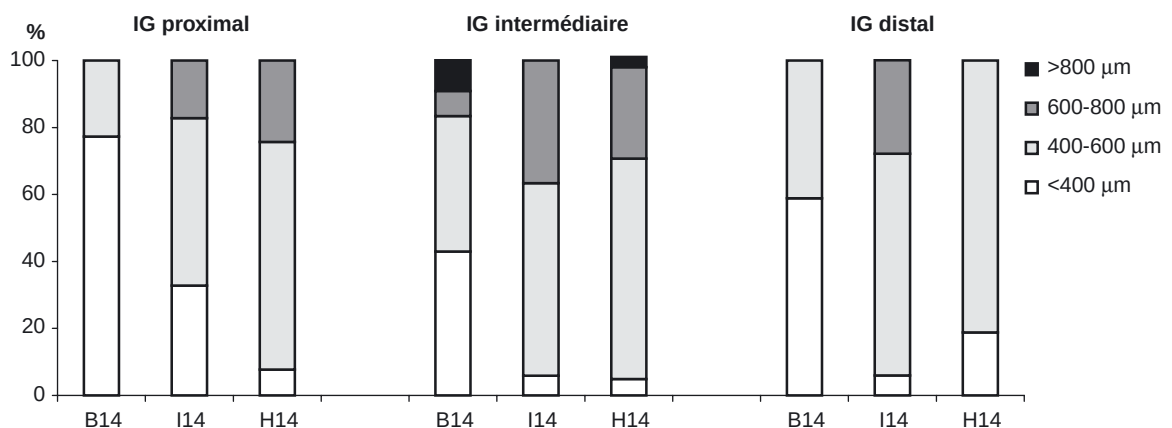
Niveau d'ingestion	Bas	Intermédiaire	Haut	Moyenne par site	Statistiques	
Age (j) Lots	14 B14	14 I14	14 H14		ETR	(1)
IG proximal	360 ^b	485 ^a	518 ^a	452 ^B	70	L**
IG intermédiaire	469	531	552	517 ^A	117	ns
IG distal	413 ^b	520 ^a	450 ^b	454 ^{AB}	48	Q**
Moyenne par lot	414 ^b	515 ^a	512 ^a	LxS*	44	Q*

^{a,b} : Pour chaque ligne, les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes ($P<0,05$).

IG : Intestin grêle.

LxS* : Effet site x lot significatif ($P<0,05$).

(1) Evolution avec le niveau d'ingestion : L : linéaire, Q : quadratique. * : $P<0,05$, ** : $P<0,01$.

Figure 2 - Expérience 2. Distribution des villosités par classe de hauteur.

ingérée au moment du sevrage. La croissance pondérale ultérieure est fortement dépendante du niveau d'ingestion et de la durée de la période de sous-alimentation. Pendant les 3 premiers jours qui suivent le sevrage, la diminution de 20% du poids relatif de l'IG est en accord avec celles rapportées (18-34%) dans la littérature chez des porcelets sevrés à 14 ou 21-28 jours d'âge (CERA et al, 1988 ; KELLY et al, 1991a ; MAKKINK et al, 1994). La diminution simultanée de 36% de la proportion relative de muqueuse dans l'IG explique en grande partie cette variation. Par la suite, la croissance de l'IG et celle de la muqueuse sont fortement corrélées au niveau d'énergie ingérée. Ainsi, 7 jours après le sevrage, chez les animaux nourris à un bas niveau alimentaire, la restauration est très ralentie puisque la proportion relative de muqueuse dans l'IG est proche de celle observée 3 jours après le sevrage. En revanche, la proportion relative de muqueuse est maximale dès le 7^{ème} jour post-sevrage chez les porcelets recevant un haut niveau alimentaire.

Chez les porcelets allaités, la diminution de la taille des villosités observée entre 7 et 21 jours d'âge résulte de la réduction du nombre de villosités de grande taille. Elle rend compte d'un changement progressif de la morphologie des villosités au cours de la période post-natale (SMITH, 1988). Au moment du sevrage, à 7 jours d'âge, la hauteur des villosités (880 µm en moyenne) est plus élevée au niveau proximal (975 µm comparés aux 834 et 827 µm aux niveaux intermédiaire et distal). L'atrophie villositaire, qui intervient 3 à 7 jours après le sevrage (41-59% selon les sites), est en accord avec celle décrite dans la littérature (33-56% ; van BEERS-SCHREURS, 1998 ; KELLY, 1990). En outre, nos résultats montrent que l'atrophie villositaire débute par la partie proximale de l'intestin, région de l'IG qui est la première en contact avec les ingesta/digesta. Elle se propage ensuite vers la partie distale où l'atrophie villositaire est maximale à 7 jours post-sevrage. La diminution de la hauteur des villosités coïncide avec la forte réduction du nombre des villosités de grande taille (>600 µm). Avec le même décalage temporel, la restauration des villosités commence dans la partie proximale dès le 7^{ème} jour post-sevrage, tandis qu'elle n'apparaît dans la partie distale qu'à partir du 14^{ème} jour post-sevrage. Elle se traduit par un accroissement de la population des villosités de grande taille au dépend des villosités de petite taille (<400 µm). Cette augmentation de la hauteur des villosités résulte vraisemblablement d'une augmentation du nombre de cellules. En effet, la teneur en ADN de la muqueuse intestinale augmente au cours du développement, traduisant une hyperplasie intestinale tandis que les rapports ARN/ADN et protéines/ADN reflétant respectivement, la capacité de synthèse protéique et la taille des cellules, diminuent avec l'âge et après le sevrage. Nous ne mettons pas en évidence de modification significative de la profondeur des cryptes, suggérant

que l'augmentation du nombre de cellules ne résulte pas d'une activité mitotique accrue dans les cryptes mais plutôt d'une réduction de l'apoptose cellulaire. Toutefois, une hyperplasie des cryptes est fréquemment décrite entre 3 et 7 jours post-sevrage (van BEERS-SCHREURS et al, 1995 ; PLUSKE et al, 1996 ; TANG et al, 1999).

Nos résultats indiquent un effet direct du niveau d'énergie ingérée sur les modifications structurales de l'IG. Un faible niveau d'énergie ingérée se traduit au niveau duodénal par une proportion d'environ 80% de villosités de petite taille (<400 µm). La corrélation positive entre la quantité totale d'énergie métabolisable ingérée et la hauteur des villosités le long de l'intestin confirme l'interdépendance entre les quantités de nutriments ingérés et la structure de l'IG, précédemment décrite par KELLY et al (1991b) et PLUSKE et al (1996) chez des porcelets sevrés à 14 et 28 jours d'âge. Aucun effet significatif du niveau d'ingestion sur la teneur en ADN, ARN et protéines de la muqueuse intestinale, ainsi que sur la profondeur des cryptes, n'est à noter 7 jours après le sevrage. Toutefois, selon MARION et al (données non publiées) et KELLY et al (1991b), 3 à 5 jours après le sevrage, un bas niveau alimentaire entraîne une diminution de la profondeur des cryptes. Ainsi, l'effet du niveau d'ingestion pourrait se traduire par une diminution temporaire de la vitesse de renouvellement cellulaire (KOGA et KIMURA, 1980).

Enfin il est remarquable de noter la forte capacité de l'IG à s'adapter après une sous-alimentation transitoire de 3 jours à une ré-alimentation rapide. En effet, 7 jours après le sevrage, l'ensemble des paramètres mesurés concernant le développement du tissu intestinal et de sa structure est similaire entre les porcelets sous-alimentés pendant 3 jours puis ré-alimentés et les porcelets nourris à un niveau alimentaire plus élevé dès le 1^{er} jour post-sevrage.

CONCLUSION

Les caractéristiques structurales de l'IG évoluent au cours du développement chez les porcelets allaités. Les altérations et restaurations tissulaires successives induites par le sevrage apparaissent tout d'abord dans la partie proximale de l'IG, puis se propagent vers la partie distale. La distribution des villosités par classe de hauteur reflète bien la dynamique de ces phénomènes. Une corrélation positive est observée entre la quantité d'énergie ingérée après le sevrage et la hauteur des villosités indiquant que la sous-consommation spontanée d'aliment observée transitoirement juste après le sevrage est un facteur important impliqué dans l'étiologie des changements après sevrage. Toutefois, les capacités digestives sont rapidement recouvrées dès lors que le niveau d'alimentation augmente.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CERA K.R., MAHAN D.C., CROSS R.F., 1988. *J. Anim. Sci.*, 66, 574-584.
- GOODLAD R.A., LEVI S., LEE C.Y., MANDIR N., HODGSON H., WRIGHT N.A., 1991. *Gastroenterol.*, 101, 1235-1241.
- KELLY D., SMYTH J.A., MC CRACKEN K.J., 1990. *Res. Vet. Sci.*, 48, 350-356.
- KELLY D., SMYTH J.A., MC CRACKEN K.J., 1991a. *Br. J. Nutr.*, 65, 169-180.
- KELLY D., SMYTH J.A., MC CRACKEN K.J., 1991b. *Br. J. Nutr.*, 65, 181-188.
- KOGA A., KIMURA S., 1980. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 26, 33-38.
- LABARCA C., PAIGEN K., 1979. *Anal. Biochem.*, 102, 344-352.
- LOWRY O.H., ROSEBROUGH N.J., FARR A.L., RONDALL R.J., 1951. *J. Biol. Chem.*, 193, 265-275.
- MAKING C.A., NEGULESCU G.P., GUIXIN Q., VERSTEGEN M.W.A., 1994. *Br. J. Nutr.*, 72, 353-368.
- MILLER B.J., JAMES P.S., SMITH M.W., BOURNE F.J., 1986. *J. Agric. Sci.*, 107, 579-589.
- MUNRO H.N., FLECK A., 1969. *Mammalian Prot. Metabol.* 3, 423-525.
- ORGEUR P., SALAUN C., LE ROUX T., VENTURI E., LE DIVIDICH J., 2000. *Journées Rech Porcine en France*, 32, 143-149.
- PLUSKE J.R., WILLIAMS I.H., AHERNE F.X., 1996. *Anim.Sci.*, 62, 145-158.
- PLUSKE J.R., HAMPSON D., WILLIAMS I.H., 1997. *Livest. Prod. Sci.*, 51, 215-236
- S.A.S. (Statistical Analysis Systems), 1990. *SAS/STAT User's Guide : statistics*, Release 6.07. Cary, NY : SAS Institute Inc.
- SMITH M.W., 1988. *Comp. Biochem. Physiol.*, 90A, 577-582.
- TANG M., LAARVELD B., Van KESSEL A.G., HAMILTON D.L., ESTRADA A., PATIENCE J.F., 1999. *J. Anim. Sci.*, 77, 3191-3200.
- VAN BEERS-SCHREURS H.M.G., VELLENGA L., WENSING T., BREUKINK H.J., 1992. *The veterinary Quaterly*, 14, 29-33.
- VAN BEERS-SCHREURS H.M.G., NABUURS M.J., VELLENGA L., BREUKINK H.J., 1995. In the *Proceedings of the XIth International Conference on Production and Diseases in Farm Animals*, Berlin, p.350.
- VAN BEERS-SCHREURS H.M.G., NABUURS M.J.A., VELLENGA L., KALSBECK-VAN DES VALK H.J., WENSING T., BREUKING H.J., 1998. *J. Nutr.*, 128, 947-953.