

FORMATION CONTINUE – ARTICLE DE SYNTHÈSE

Facteurs influençant la consommation alimentaire et les performances zootechniques du porc sevré : perception et caractéristiques de l'aliment

LAITAT M.¹, DE JAEGER F.², VANDENHEEDE M.³, NICKS B.³

1 Médecine et Gestion des Exploitations Porcines B42
Département des Sciences Cliniques des Grands et des Petits Animaux
Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Sart-Tilman B-4000 Liège, Belgique

2 Inve België NV
Oeverstraat, 7, B-9200 Baasrode, België

3 Hygiène et Bioclimatologie B43
Département des Productions Animales
Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Sart-Tilman B-4000 Liège, Belgique

Correspondance : Martine Laitat
e-mail : mlaitat@ulg.ac.be

RESUME : Le sevrage est une période critique pour les porcelets. Favoriser la consommation précoce d'aliment en maternité et en post-sevrage est essentiel pour optimiser leurs performances, leur santé et leur bien-être. La perception sensorielle des qualités organoleptiques des aliments par les porcs a fait l'objet d'une abondante littérature. On y apprend l'attrait des porcs pour des arômes spécifiques et leur capacité de percevoir les cinq goûts de base. Le choix des porcs pour une formulation de la ration est prioritairement guidé par la teneur élevée en protéines et l'absence de toxines ou de facteurs anti-nutritionnels. Pour une même formulation, la présentation sous la forme de pellets ou de miettes semble préférée à la farine. L'aliment distribué sous une forme liquide est volontiers consommé par les porcelets sevrés. Quant à l'utilisation de nourrisseurs à abreuvoirs intégrés, elle offre la possibilité aux animaux de mélanger l'aliment et l'eau au même endroit et, avec la farine, leur permet de manger plus vite. Cependant, l'alimentation humide peut entraîner un gaspillage important. L'impact de l'aspect visuel de la ration sur la consommation a été peu étudié chez le porc. On sait par contre l'importance que revêt, dans cette espèce, la perception visuelle et auditive du comportement des congénères.

INTRODUCTION

Dans les unités de production intensive, les porcelets sont sevrés à l'âge de 3 à 4 semaines. Cet événement correspond à de nombreux changements : séparation de la truie, déplacement vers l'unité de post-sevrage ou transport vers une autre exploitation, puis hébergement dans des loges rassemblant une ou plusieurs dizaines d'animaux. Le regroupement de plusieurs nichées donne lieu, durant les premières heures qui suivent le sevrage, à d'intenses combats pour l'établissement du rang social.

C'est dans ce contexte que les porcelets vont devoir modifier radicalement leur comportement alimentaire, passant d'une alimentation lactée, disponible régulièrement et de façon rationnée, à une alimentation le plus souvent présentée sous une forme solide et distribuée *ad libitum*.

Pour faciliter cette transition alimentaire, il est recommandé de mettre un aliment solide à leur disposition dès l'âge de 7-10 jours. Pour des porcelets sevrés à l'âge de 28 jours, Bruininx et collaborateurs (2002) ont montré que les « bons consommateurs » d'aliment solide en maternité

commencent à manger plus tôt de cet aliment en post-sevrage et que leur comportement alimentaire s'avère plus efficace (valeur plus élevée du rapport « nombre de visites au nourrisseur avec ingestion d'aliment / nombre total de visites »). En conséquence, ces porcelets ont présenté un ingéré quotidien moyen supérieur durant la première semaine suivant le sevrage et un gain quotidien moyen supérieur durant toute la période de post-sevrage. Favoriser la consommation d'un aliment « premier âge » déjà en maternité semble donc être l'une des clefs de l'optimisation des per-

performances des porcelets durant le post-sevrage. Selon Mavromichalis et collaborateurs (2000a), avec un sevrage à l'âge de 21 jours, des porcelets ayant présenté une vitesse de croissance de 250 g/jour en maternité devraient ingérer quotidiennement 250 à 300 g d'aliment pour maintenir cette vitesse de croissance au cours de la première semaine en post-sevrage. Pour Geary et Brooks (1998), tout ingéré quotidien supplémentaire de 10 g de matière sèche durant cette semaine critique se traduit, 28 jours après le sevrage, par un gain de poids supplémentaire de 174 g. Ces résultats sont illustrés par l'équation suivante :

$$PV(j28) = 15,0 + 2,49 \text{ MSI}$$

- PV(j28) est le poids vif du porcelet 28 jours après le sevrage (kg);
- MSI est la quantité (kg/semaine) de matière sèche ingérée au cours de la semaine suivant le sevrage.

Depuis les années '40 et le début de l'intensification de la production porcine, différentes voies ont été explorées – et continuent à l'être – afin de stimuler l'appétit des porcelets. Divers essais ont été menés pour comparer l'appétence des matières premières utilisées (Leamaster et Cheeke, 1979; Baidoo *et al.*, 1986; Ermer *et al.*, 1994). L'arôme (Campbell, 1976; Kornegay *et al.*, 1979; King, 1979; McLaughlin *et al.*, 1983) et les propriétés gustatives (Gatel et Guion, 1990) des aliments ont également fait l'objet de multiples publications et, en particulier, l'attrait du porc pour le goût sucré a été largement documenté (Lewis *et al.*, 1955; Kennedy et Baldwin, 1972; Aumaître *et al.*, 1978; Glaser *et al.*, 2000; Munro *et al.*, 2000). Pour une même formulation, l'aliment peut être présenté sous la forme de bouchons, de granulés, de miettes ou de farine. Les granulés distribués peuvent être tendres ou plutôt durs (Mavromichalis *et al.*, 2002), tandis que la mouture de la farine peut être grossière ou plutôt fine (De Jaeger, 2002). Enfin, selon les unités, la ration est distribuée sous la forme de soupe ou d'aliment sec (Lawlor *et al.*, 2002). Dans ce dernier cas, si le nourrisseur est équipé d'abreuvoirs intégrés, les porcelets ont la possibilité de mélanger l'aliment avec de l'eau (O'Connell *et al.*, 2002). Autant de caractéristiques qui pourraient influencer la consommation alimentaire...

Cet article fait le point sur les connaissances relatives à la perception des odeurs et du goût par le porc et à l'impact que les facteurs d'appétence, la formulation, la présentation et le mode de distribution des aliments peuvent avoir sur la consommation, voire sur les performances des porcs sevrés.

LES CARACTÉRISTIQUES DES ALIMENTS ET LEUR PERCEPTION PAR L'ANIMAL

Dans leur étude, Gallouin et Le Magnen (1987) définissent les notions relatives aux concepts de faim, satiété et appétits. Ils précisent que l'appétit est « l'attirance et la stimulation à manger que suscitent les aliments dans l'état de faim ». La faim, quant à elle, est définie comme étant : « un état d'éveil spécifique ou de motivation du système nerveux central, provoqué par des signaux internes résultant du déficit énergétique de l'organisme requérant l'apport d'aliment et/ou par des stimulations sensorielles externes issues des aliments ».

En fonction de leurs qualités organoleptiques, les aliments seront plus ou moins préférés. Les termes « palatabilité » et « appétibilité » sont des synonymes qui rendent compte de cette échelle de valeur. On dira d'un aliment qu'il est plus ou moins appétible, palatable ou préféré par rapport à un aliment de référence. L'appétibilité (ou la palatabilité) est appréciée par la réponse ingestive (vitesse d'ingestion, quantité consommée) de l'animal en fonction des qualités sensorielles de l'aliment.

Les qualités organoleptiques d'un aliment sont définies par l'arôme, la texture et la flaveur (Jeremiah *et al.*, 1997), mais aussi l'apparence et les bruits produits lors de la mastication (Meilgaard *et al.*, 1999). L'arôme est à l'origine de sensations olfactives et de sensations nasales telles que la fraîcheur ou l'âcreté. Les arômes peuvent atteindre directement les cavités nasales ou provenir de la bouche lors de l'ingestion et de la mastication, via le pharynx. La texture d'un aliment est à l'origine de sensations mécaniques (comme la perception de la dureté), géométriques (comme la perception de la taille et de la forme des aliments ou de la mouture des particules) et de la sensation de jutosité (comme la perception de l'humidité ou de la teneur en graisse). La notion

de flaveur se décompose en termes de sensations gustatives et olfactives, mais aussi de sensations tactiles, d'ordre thermique ou chimique (chaud, froid, épicé,...).

La capacité de percevoir et distinguer l'odeur et le goût des aliments a probablement le rôle premier de guider l'animal dans ses choix alimentaires (Prescott, 2001). En théorie, éviter les composés amers et acides serait une bonne façon de se protéger des substances toxiques et dangereuses. Tandis que l'attrait pour les composés sucrés, salés ou du groupe umami (un goût commun à l'asperge, au parmesan et à la viande; voir paragraphe 1.2.5) guiderait les animaux vers les aliments riches en énergie, en minéraux et/ou en protéines. D'autre part, la facilité de préhension ou la vitesse d'ingestion (McDonald et Gonyou, 2001) pourraient motiver la préférence des porcs pour une présentation de l'aliment ou pour un mode de distribution en particulier.

Les paragraphes suivants vont décrire tout d'abord la perception des odeurs et du goût par le porc en s'attardant à chaque fois sur des composés pour lesquels les porcs manifestent une aversion ou, au contraire, un attrait particulier. L'impact de la formulation, de la présentation de l'aliment ou du mode de distribution de la ration seront ensuite abordés successivement. L'apparence des aliments, la perception visuelle du comportement des congénères et le rôle des bruits associés à la consommation d'aliments seront brièvement énoncés, tout comme le phénomène d'aversion alimentaire. Enfin l'interprétation et les limites des tests d'appétence et de choix seront discutées dans le dernier paragraphe.

1.1. La perception des odeurs

Même si le sens de l'odorat du porc domestique semble moins efficace que celui du sanglier (Popovic, 1988), il est très performant. Lors d'une étude récente, Jones et collaborateurs (2001) ont montré une sensibilité du porc 2000 fois supérieure à celle de l'homme pour la détection du n-butanol, un composé de référence utilisé dans les tests d'olfactométrie. Cependant, l'exposition prolongée des porcs aux polluants d'élevage, tels que l'ammoniac, peut avoir un impact négatif sur leur odorat (Jones *et al.*, 2001). Comme cette équipe le sou-

ligne, le NH_3 pourrait interférer avec le transport des substances odorantes vers les récepteurs sensoriels, occuper préférentiellement ceux-ci ou en altérer le fonctionnement, causer une inflammation voire favoriser une infection du tractus respiratoire.

Dès leur plus jeune âge, les porcelets ont recours à leur odorat (Jeppesen, 1982; Morrow-Tesch et McGlone, 1990; Parfet et Gonyou, 1991). Celui-ci a une influence sur le comportement alimentaire du porc, mais aussi sur son comportement social (Kristensen *et al.*, 2001; Mendl *et al.*, 2002) et sexuel (Perry, 1982). Du point de vue alimentaire, les porcs sont capables de distinguer des rations aromatisées différemment (McLaughlin *et al.*, 1983; Jones *et al.*, 2000) et manifestent des préférences individuelles (Jones *et al.*, 2000), certains animaux consommant davantage les rations rejetées par d'autres. Il est difficile de prédire le choix des porcs en matière d'arôme. En effet, les porcelets sevrés ne manifestent pas de préférence pour des familles d'arômes, mais bien pour des arômes spécifiques au sein de ces familles (McLaughlin *et al.*, 1983; Jones *et al.*, 2000). Parmi les préférences, on trouve des parfums ou des associations de parfums aussi variées que « fromage » (*cheesy*), « sucre-mélasse-caramel » ou « viande-sucre » (*meaty and sweet*) (McLaughlin *et al.*, 1983). De manière étonnante, l'attrait des porcelets nouveau-nés pour l'odeur du colostrum et du lait maternel ne fait pas l'unanimité (Morrow-Tesch et McGlone, 1990; Parfet et Gonyou, 1991). En fait, les porcelets seraient d'abord stimulés par la perception d'odeurs d'origine maternelle telles que celles provenant des matières fécales, des sécrétions cutanées de la truie (Morrow-Tesch et McGlone, 1990) ou des eaux foetales (Parfet et Gonyou, 1991) voire par la perception d'odeurs laissées par eux-mêmes sur les tétines au moment des tétées (Jeppesen, 1982). Selon Morrow-Tesch et McGlone (1990), le colostrum, le lait et les sécrétions cutanées de la truie auraient un rôle dans le comportement de tétée, mais n'agiraient pas comme signal olfactif à distance.

Un exemple d'utilisation des arômes a consisté en l'incorporation combinée d'une même substance dans l'aliment destiné à des truies en lactation et à leurs porcelets. L'objectif était de familiariser ceux-ci avec l'arôme dès

leur plus jeune âge, lors de l'ingestion du lait aromatisé des truies. Une consommation de starter supérieure a été obtenue (Tableau I; références 1 et 2) avec les arômes utilisés par Campbell (1976) et King (1979).

Utilisés dans l'aliment des porcelets uniquement, les arômes ont parfois un impact favorable sur leur consommation alimentaire et sur leurs performances au moment du sevrage (McLaughlin *et al.*, 1983) (Tableau 1; références 3 et 4). Cette amélioration est cependant souvent limitée dans le temps (McLaughlin *et al.*, 1983; Carter *et al.*, 1991) quand elle n'est pas absente (Kornegay *et al.*, 1979). Malgré cela, l'emploi des arômes dans l'alimentation des porcelets semble encore promis à un bel avenir... En effet, si leur pouvoir attractif sur les porcelets est limité, ils permettent aux firmes d'aliment de personnaliser leurs produits et de conférer aux maternités et aux unités de post-sevrage une certaine « odeur de marque »!

Récemment, une nouvelle piste a été explorée avec succès en post-sevrage (McGlone et Anderson, 2002). Elle a consisté à appliquer une phéromone maternelle synthétique (Suilence®, Ceva Santé Animale) sur les nourrisseurs de la loge (ou directement sur le groin des porcelets), avec pour résultat une augmentation de l'efficacité du comportement alimentaire et une amélioration des performances des porcelets sevrés (Tableau I; référence 5).

1.2. La perception du goût

Si l'on ne sait pas chiffrer les catégories d'odeurs tant elles sont nombreuses, on reconnaît au total cinq goûts de base : l'acide, l'amer, le salé, le sucré et l'umami (Mennella et Beauchamp, 1998). Appliqués sur la langue, des composés de chacune de ces 5 catégories sont capables d'induire une réponse nerveuse chez le porc (Hellekant et Danilova, 1999). La corde tympanique, innervant les papilles fongiformes (situées sur le bout de la langue), est particulièrement sensible aux stimuli acides, tandis qu'elle réagit faiblement aux composés amers. Le nerf glosso-pharyngien, qui relaye les informations issues des papilles foliées et circumvallées (situées sur la partie postérieure de la langue), donne une réponse inverse. Les deux structures

répondent aux composés du groupe « umami » mais réagissent faiblement au chlorure de sodium et de lithium, ce que ces auteurs interprètent par une faible capacité du porc à goûter le sel. La réponse du porc aux composés sucrés pour l'homme est très variable en intensité et d'une substance à l'autre.

Les acides

L'utilisation des acidifiants en alimentation porcine remonte aux années '50 (Thomke et Elwinger, 1998). En post-sevrage (Partanen, 2001) et en engraissement (van der Peet-Schwering *et al.*, 1999; Partanen, 2001), l'ajout dans la ration d'acides organiques ou de leurs sels a permis d'améliorer les performances des animaux. Les acides organiques peuvent avoir un impact favorable sur la flore intestinale, pathogène ou non. Ainsi, par exemple, en réduisant l'activité microbienne dans le tractus digestif, ils favorisent une absorption et une rétention azotée supérieures et une meilleure digestibilité des matières grasses (Partanen, 2001). van der Wolf et collaborateurs (2001) ont, de plus, montré l'intérêt d'acidifier l'eau de boisson (avec un mélange de formiate d'ammonium et d'acides lactique, formique, acétique, propionique et sorbique) dans le contrôle de *Salmonella* chez les porcs en finition.

Du point de vue appétibilité, les porcs sont capables de distinguer des aliments contenant ou non des acides organiques. Après avoir distribué simultanément à des porcelets sevrés un aliment non acidifié et deux aliments enrichis soit en acide citrique (30 g/kg aliment) soit en acide fumarique (15 g/kg aliment), Henry et collaborateurs (1985) ont constaté une nette préférence des porcelets pour l'aliment neutre. Les porcs peuvent aussi distinguer des aliments contenant des acides organiques différents. Ayant donné le choix entre 2 rations acidifiées à des porcelets sevrés, Partanen et collaborateurs (2002) ont constaté que des rations enrichies (8 g kg^{-1}) en acide formique ou en formate de calcium étaient consommées de manière équivalente à une ration enrichie en acide lactique, mais moins bien acceptées qu'une ration supplémentée en benzoate de sodium.

L'acceptabilité des rations acidifiées est variable selon les substances et les

Tableau I. Quelques exemples illustrant le potentiel des arômes, phéromones et autres additifs, sur la consommation alimentaire et/ou la vitesse de croissance des porcelets.

Numéro de référence dans le texte	Additif (catégorie)	Amélioration de la consommation [niveau de base (g/jour)]	Amélioration de la vitesse de croissance [niveau de base (g/jour)]	Age des porcelets (jours)	Type de test	Références
1	Firanor n° 3 (arôme)	+ 12 % [729]	+ 24 % [363]	30 à 51	aromatisation de l'aliment de la truie et des porcelets sevrés	Campbell, 1976
2	Firanor n° 24 (arôme)	+ 9 % [773]	+ 10 % [362]	27 à 58	aromatisation de l'aliment de la truie et des porcelets sevrés	King, 1979
3	Fromage (arôme)	+ 40 % [136]	+ 279 % [29]	21 à 28	un seul aliment par loge	McLaughlin <i>et al.</i> , 1983
4	Sucre-mélasse-caramel (arôme)	+ 44 % [136]	+ 238 % [29]	21 à 28	un seul aliment par loge	McLaughlin <i>et al.</i> , 1983
5	Suilence® (phéromone)	- 2 % [520] + 4 % [520]	+ 19 % (nourrisseur) [198] + 27 % (groin) [198]	21-28 à 49-56	application sur le nourrisseur ou sur le groin	McGlone et Anderson, 2002
6	Glutamate monosodique (umami)	+ 10 % [390]	+ 7 % [326]	28 à 41	un seul aliment par loge	Gatel et Guion, 1990

doses utilisées et il est difficile de dire, quand elle est mise en évidence, si l'augmentation de la consommation alimentaire des porcs est liée à leur attrait pour le goût de la ration ou si elle est la conséquence de l'impact favorable des acidifiants sur la santé et la fonction digestive des animaux. Comparant les consommations alimentaires de porcelets sevrés recevant un aliment de contrôle ou un aliment acidifié, Partanen (2001) a montré une augmentation de l'ingéré quotidien moyen lors de l'ajout d'acide formique (0,3 à 1,8 %) ou de diformate de potassium (0,4 à 2,4 %), et des consommations similaires lors de l'ajout (0,5 à 2,5 %) d'acides fumarique ou citrique. Des truies gestantes ont toléré l'ajout de 60 g d'acide citrique dans leur ration journalière, soit une dose de l'ordre de 2 % (Dee *et al.*, 1994). L'utilisation de HCl à la dose de 0,25 ou 0,50 % dans l'aliment de porcelets sevrés a donné lieu à une augmentation de la consommation et à une amélioration des performances (Mahan *et al.*, 1996). Par contre, à la dose de 1,4 %, l'ajout de HCl a eu un effet inverse (Eidelsburger *et al.*, 1992). Eckel et collaborateurs (1992), incorporant de l'acide formique dans l'aliment des porcelets sevrés, ont montré un impact favorable à la dose de 0,6 et 1,2 %, mais défavorable à la dose de 2,4 %.

Les composés amers

Les composés amers ne sont pas appréciés par les porcs, qui manifestent une nette attitude de rejet : détournement, secouement de la tête (Glaser *et al.*, 2000). D'une manière générale, les porcs perçoivent et rejettent les solutions que l'homme trouve amères, mais pas toujours avec la même sensibilité (Nelson et Sanregret, 1997).

Cette aversion pourrait engendrer des difficultés lors de l'administration de certains médicaments, comme par exemple la Tilmicosine®, un antibiotique connu pour son efficacité dans le traitement des pathologies respiratoires du porc (Hellekant et Danilova, 1999). De même, certaines matières premières comme la luzerne sont rejetées par le porc. Le porc est en effet capable de détecter la présence d'une très faible proportion (1 %) de farine de luzerne dans sa ration en raison de l'amertume de l'un de ses constituants, la saponine (Leamaster et Cheeke, 1979).

Les composés salés

Au moment du sevrage, les besoins en sel des porcelets sont estimés à 0,15-0,25 % de leur ration (Mahan *et al.*, 1996). Tandis qu'un déficit en sodium ou en chlore aurait pour effet de limiter les performances des animaux, le National Research Council

(1998a) rapporte que le porc peut tolérer des taux élevés de NaCl dans sa ration, pourvu qu'il ait un accès illimité à une eau dépourvue de sel. Dans le cas contraire, il y a un risque d'intoxication au sel. Tsourgiannis et collaborateurs (2003) ont montré récemment l'intérêt de l'augmentation de la concentration en sel (de 0,25 à 1 %) dans la ration pour limiter l'incidence des morsures de queue en engraissement.

Les avis sont partagés concernant le goût des porcs pour les aliments salés. Selon Hellekant et Danilova (1999), les porcs semblent détecter faiblement le goût salé. Pourtant, lors d'essais menés en maternité (Aumaître, 1975) ou en engraissement (Falkowski *et al.*, 1998), les porcs ont tantôt consommé davantage la ration de base, tantôt la ration la plus enrichie en sel. Peut-être les diverses réactions observées tiennent-elles à la différence d'âge des porcs testés. En effet, si chez l'homme, les nouveau-nés sont indifférents ou rejettent le goût salé, un changement de comportement apparaît vers l'âge de 4 mois, reflétant une maturation des mécanismes centraux et/ou périphériques de perception (Mennella et Beauchamp, 1998).

Les composés sucrés

Le porc montre une forte préférence pour les substances sucrées et en par-

Tableau II. Comparaison (sur une base molaire relative au sucrose) entre le potentiel sucrant pour l'homme et la préférence chez le porc, de 23 composés des familles hydrates de carbone et alcools (traduit d'après Glaser et al., 2000 ; avec l'aimable autorisation de l'éditeur, Elsevier).

Hydrates de carbone et alcools	Potentiel sucrant pour l'homme ^a	Préférence chez le porc ^c
Sucrose	1,00	1,00
D-Fructose	0,50	0,50
Melezitose	0,35	0,25
Lactose	0,33	0,146
Maltose	0,33	0,146
Xylitol	0,30	1,00
D-Glucose	0,25	0,125
L-Glucose	0,25	0,125
D-Mannose	0,25 ^b	0,125
Melibiose	0,25	0,125
Trehalose	0,25	0,125
Raffinose	0,25	0,125
Methyl α -D-glucopyranoside	0,25	0,125
DL-Threitol	0,25	0,125
Erythritol	0,25	0,062
D-Arabitol	0,25 ^b	0,062
Ribitol	0,25	0,062
Mannitol	0,25	0,062
Sorbitol	0,25	0,25
D-Galactose	0,20 ^b	0,125
D-Xylose	0,20	0,125
D-Ribose	0,15 ^b	0,062
Methyl β -D-glucopyranoside	0,00 ^b	0,00

a le potentiel sucrant (sur une base molaire relative à une solution de sucrose 2 %) pour l'homme a été évalué approximativement (ou ré-évalué) par un panel de 6 testeurs entraînés de notre laboratoire, grâce à un test de comparaisons paires (2 échantillons) (Amerine et al., 1965) ;

b composés présentant un goût (ou un arrière-goût) déplaisant pour l'homme, décrit comme un goût (ou un arrière-goût) « chimique » ou « métallique » par notre panel de testeur ;

c les préférences relatives chez le porc ont été déterminées de manière approximative à partir de la plus faible concentration de sucrose capable d'induire une préférence chez tous les animaux d'un même groupe expérimental (14,60 mmol/l) divisée par la plus faible concentration du composé testé, capable d'induire une préférence chez tous les animaux de ce même groupe (e.g. 29,14 mmol/l pour le D-fructose).

ticulier pour le sucrose (Kennedy et Baldwin, 1972). Cette attirance se manifeste par son attitude (tête tournée vers le stimulus ; succession de mouvements de succion-déglutition), une vitesse de consommation élevée (Glaser *et al.*, 2000) et l'ingestion de quantités impressionnantes – jusqu'à 17 litres d'eau sucrée en 12 heures, donc dépassant largement le niveau normal d'abreuvement (environ 3 l par jour, pour des porcs d'un poids de 15 à 30 kg) (Kennedy et Baldwin, 1972).

Ayant eu le choix entre de l'eau et des solutions plus ou moins concentrées de substances sucrées pour l'homme, des porcs ont manifesté une préférence pour les différents carbohydrates et polyalcools testés (Glaser *et al.*, 2000). La plus faible concentration de sucrose (14 mmol/l d'eau) préférée par le porc est proche du seuil de détection de l'homme (Kennedy et Baldwin, 1972 ; Glaser *et al.*, 2000). En tenant compte du pou-

voir sucrant perçu par l'homme et de la préférence manifestée par le porc, Glaser et son équipe ont classé les carbohydrates par ordre décroissant d'efficacité (sur une base molaire relative au sucrose). Le sucrose est suivi par le fructose, le maltose et le lactose, le D-glucose et le D-galactose. Si l'ordre de classement est similaire pour l'homme et le porc, la perception n'est cependant pas identique pour les deux espèces, à l'exception du sucrose (valeur de référence, = 1) et du fructose (valeur relative, = 0,5). Ainsi par exemple, pour l'homme, le pouvoir sucrant relatif du lactose et du maltose vaut le tiers de celui du sucrose (sur une base molaire) alors que le porc préfère 6 fois moins (sur base molaire, toujours) ces 2 substances que le sucrose. Un autre exemple concerne le xylitol (un polyalcool) : le porc l'apprécie autant que le sucrose, tandis que pour l'homme, le xylitol est 3 fois moins sucré. Ces comparaisons sont rappor-

tées en détail dans les Tableaux II et III qui ont été réalisés par l'équipe du Professeur Dieter Glaser (Glaser *et al.*, 2000). Le stévioloside, un additif issu d'une plante originaire du Paraguay dont le pouvoir sucrant pour l'homme atteint 250 à 300 fois celui du sucrose, ne semble pas être un édulcorant efficace pour l'alimentation du porc (Hellekant et Danilova, 1999 ; Munro *et al.*, 2000). Il en va de même de la thaumatine, une protéine naturelle issue d'une plante africaine (*Thaumatococcus daniellii*) : ses propriétés édulcorantes pour l'homme (100 000 fois plus sucrante que le sucrose) semblent laisser le porc indifférent (Hellekant et Danilova, 1999 ; Glaser *et al.*, 2000).

L'incorporation de sucres naturels dans les aliments destinés aux animaux, outre son coût élevé, peut poser des difficultés lors de la fabrication (Lewis *et al.*, 1955) et de la conservation (Hellal, 2003). Aussi, ceux-ci sont souvent remplacés – par-

Tableau III. Comparaison (sur une base molaire relative au sucrose) entre le potentiel sucrant pour l'homme et la préférence chez le porc, de différents composés édulcorants pour l'homme (traduit d'après Glaser et al., 2000 ; avec l'aimable autorisation de l'éditeur, Elsevier).

Composés	Potentiel sucrant pour l'homme ^a	Préférence chez le porc ^{b, c}	Ratio potentiel sucrant pour l'homme / préférence chez le porc ^d
Monelline	100 000	-	
Thaumatine	100 000	-	
Néohespéridine dihydrocalchone (NHDHC)	3600	-	
5-nitro-2-propoxyaniline (P-4000)	2300	-	
Alitame	1900	48,66	40
Sucralose	1160	47,09	25
Perillartine	370	-	
Saccharine	215	3,34	65
Aspartame	155	-	
Acesulfame-K	150	8,43	18
Dulcine	130	1,09	120
Cyclamate (Na)	17,6	-	

a le potentiel sucrant (sur une base molaire relative à une solution de sucrose 2%) pour l'homme a été évalué approximativement (ou ré-évalué) par un panel de 6 testeurs entraînés de notre laboratoire, grâce à un test de comparaisons paires (2 échantillons) (Amerine et al., 1965) ;

b les préférences relatives des porcs ont été déterminées de manière approximative à partir de la plus faible concentration de sucrose capable d'induire une préférence chez tous les animaux d'un même groupe expérimental (14,60 mmol/l) divisée par la plus faible concentration du composé testé, capable d'induire une préférence chez tous les animaux de ce même groupe (e.g. 4,36 mmol/l pour la saccharine) ;

c le signe - indique l'indifférence ou le rejet ;

d la valeur du ratio indique combien de fois, sur une base molaire, le composé étudié est supposé moins "sucré" pour le porc que pour l'homme.

tiellement ou totalement – par des édulcorants artificiels de haute intensité. La saccharine et la néohespéridine dihydrocalchone (NHDHC ou NHDHC), inscrites parmi les substances aromatiques et apéritives de la liste des additifs alimentaires JO 2002/C329/CE (Communautés Européennes, 2002), sont les deux seuls édulcorants artificiels autorisés en alimentation porcine. Leur usage est permis dans les aliments pour porcs jusqu'à l'âge de 4 mois, à la dose maximale de 150 et 35 mg/kg d'aliment complet, respectivement. Pourtant, la littérature semble indiquer les limites de ces molécules. Tout d'abord, la saccharine est bien moins édulcorante pour le porc que pour l'homme : pour ce dernier, la saccharine a un pouvoir sucrant 215 fois supérieur à celui du sucrose, tandis que pour le porc, il est seulement 3 fois supérieur (Glaser et al., 2000). Ainsi, en solution dans l'eau, la plus faible concentration de saccharine capable d'induire une préférence chez le porc serait de l'ordre de 800 à 1200 mg/l (Kennedy et Baldwin, 1972 ; Glaser et al., 2000). De plus, il existe une grande variation de perception de la saccharine entre les individus (Kennedy et Baldwin, 1972). Selon Glaser et collaborateurs (2000), les différences de perception existant entre l'homme et le porc ou même entre différentes souches de porcs,

pourraient s'expliquer par la présence ou l'absence, au niveau des récepteurs gustatifs, de l'un des deux sites de reconnaissance et d'interaction avec la molécule de saccharine.

La NHDHC, bien qu'étant perçue 3600 fois plus sucrée que le sucrose par l'homme (sur une base molaire) semble laisser le porc indifférent (Glaser et al., 2000). Cette différence pourrait également être le résultat de l'absence d'une ou plusieurs interaction(s) ou de compatibilité entre la NHDHC et le récepteur gustatif pour cette molécule chez le porc, rendant impossible son activation et la perception du goût sucré par l'animal. La NHDHC est pourtant utilisée en alimentation porcine pour ses effets de renforteur d'arômes, de « potentiateur » et d'exhausteur de goût, qui permettraient, entre autre, de supprimer l'arrière-goût désagréable de la saccharine en lui conférant une sensation sucrée de longue durée. Cependant, testée seule ou en combinaison avec la saccharine, la NHDHC n'a donné lieu qu'à une faible stimulation nerveuse chez le porc, amenant Hellekant et Danilova (1999) à remettre en question son utilisation comme additif alimentaire pour cette espèce.

Bien que ces substances ne soient pas autorisées en alimentation porcine, il est intéressant de noter que l'aspartame et le cyclamate (Hellekant et

Danilova, 1999), la monelline, la 5-nitro-2-propoxy-aniline et la perillartine semblent également laisser le porc indifférent (Glaser et al., 2000). Par contre, le lugduname et le carrelame, les deux molécules possédant le potentiel sucrant le plus élevé pour l'homme (respectivement 230 000 et 200 000 fois plus important que le sucrose, sur une base molaire), sont également les deux molécules les plus efficaces chez le porc : elles sont perçues à une concentration respectivement 10 300 et 10 000 fois plus faible (sur une base molaire) que la plus faible concentration de sucrose induisant une préférence chez tous les porcs testés (Nofre et al., 2002). Ces deux molécules, dérivées de l'acide guanidinoacétique, ne sont pas autorisées actuellement en alimentation porcine.

Les composés du groupe umami

Le goût umami, encore souvent méconnu, a pourtant été mis en évidence en 1907 au Japon. Umami désigne cette note commune à l'asperge, au champignon, à la tomate, au parmesan et à la viande... Ce mot se traduit en anglais par « *savoury deliciousness* » (Prescott, 2001). Trois molécules naturelles constituent la référence pour cette saveur particulière (Kurihara, 2000) :

- le glutamate monosodique (MSG),

commercialisé dès 1917 aux USA sous le nom de « *super seasoning* » ;

- le disodium 5'-inosinate (ou IMP, pour inosine monophosphate) ;
- le disodium 5'-guanylate (ou GMP, pour guanosine monophosphate).

Depuis peu, l'umami a été reconnu officiellement comme l'un des désormais cinq goûts de base (Kurihara, 2000).

Selon Hellekant et Danilova (1999), les composés du groupe umami sont perçus très distinctement par le porc. En fait, des résultats variables se retrouvent dans la littérature. L'emploi de glutamate monosodique dans l'aliment de démarrage pour porcelets a permis une augmentation de l'ingéré alimentaire en maternité et en post-sevrage, couplée, dans ce dernier cas, à une meilleure vitesse de croissance (Gatel et Guion, 1990) (Tableau 1 ; référence 6). Incorporé dans une ration à base de colza par contre, le MSG n'a pas permis d'améliorer l'ingéré alimentaire (Baidoo *et al.*, 1986).

1.3. La formulation ou l'appétence des matières premières

Au niveau de la formulation de l'aliment, deux facteurs prioritaires semblent entrer en jeu dans les choix des porcs, à savoir la teneur élevée en protéines de l'aliment et l'absence de toxines ou de facteurs anti-nutritionnels (Bradford et Gous, 1992), substances connues pour leurs effets négatifs sur les processus digestifs et métaboliques (van Heugten, 2001). Le rancissement des matières grasses contenues dans la ration peut également avoir un effet négatif sur l'appétence de la ration et donc sur la vitesse de croissance des animaux (DeRouchey *et al.*, 2000).

Les porcs sont en mesure de distinguer des rations plus ou moins riches en protéines (Nam *et al.*, 1995) ou en acides aminés essentiels (Bradford et Gous, 1992 ; Beltranena *et al.*, 1995). En présence de rations couvrant au minimum leurs besoins, des porcelets ont ainsi consommé davantage celles qui contenaient de la méthionine en excès (Beltranena *et al.*, 1995). Bradford et Gous (1992) ont montré que des porcelets sevrés ayant accès à plusieurs rations ont choisi la plus adaptée à leurs besoins en lysine, excepté en présence de toxines ou de facteurs anti-nutritionnels. Cepen-

dant, les porcs seraient incapables d'adapter leur consommation de protéines et de lysine à leurs besoins de croissance si on leur donne accès à deux rations iso-énergétiques dont le contenu en protéines et lysine diffère (Nam *et al.*, 1995). Quand une ration est carencée en acides aminés, les premiers signes cliniques observés sont, d'une manière générale, une diminution de l'ingéré alimentaire, une réduction de la vitesse de croissance et un gaspillage important de l'aliment (National Research Council, 1998b). Le rôle stimulant du tryptophane sur l'appétit est particulièrement intéressant. En post-sevrage, la distribution d'un aliment contenant 2,3 vs 1,4 g tryptophane/kg (Sève *et al.*, 1991) ou 2,6 vs 1,5 tryptophane/kg (Eder *et al.*, 2001) a entraîné une augmentation de l'ingéré alimentaire (respectivement +15 et +43 %) et de la vitesse de croissance (respectivement +60 et +57 %) associée à une amélioration de l'indice de consommation (respectivement de 29 et 9 %). En engraissement, la supplémentation de la ration en tryptophane (0,13 vs 0,09 %) a également un effet stimulant sur l'ingéré alimentaire et les performances des animaux (Henry *et al.*, 1992). L'équipe de Henry et collaborateurs (1992) a montré qu'une alimentation déficiente en tryptophane conduit à une trop faible concentration en sérotonine dans l'hypothalamus qui pourrait expliquer une moindre consommation alimentaire. Ce phénomène est aggravé par un excès de protéines ou un déséquilibre du rapport tryptophane/acides aminés neutres (tels que la leucine, l'isoleucine, la valine, la phénylalanine et la tyrosine) dans la ration.

Certaines matières premières utilisées dans la fabrication des aliments sont peu appréciées par les porcs, justifiant en partie l'usage de facteurs d'appétence (Baidoo *et al.*, 1986). A titre d'exemple, on peut citer des légumineuses comme le colza (Baidoo *et al.*, 1986), la luzerne (Leamaster et Cheeke, 1979) et le lupin (Bugnacka et Falkowski, 2001). Le rejet de ces sources de protéines par les porcs est attribué à des composants amers tels que la sinapine (composé phénolique), la saponine (glycoside) et la lupinine (alcaloïde). En plus d'un impact sur la palatabilité, les facteurs anti-nutritionnels présents dans certains aliments peuvent avoir un effet négatif sur la santé et sur les perfor-

mances des animaux. Cependant, l'utilisation de matières premières telles que le colza et le lupin suscite l'intérêt des chercheurs tant elle permettrait de valoriser des sources de protéines végétales produites en Europe notamment (Gdala *et al.*, 1996 ; Skiba *et al.*, 1999 ; Bugnacka et Falkowski, 2001 ; Chérière *et al.*, 2003 ; Froidmont *et al.*, 2003 ; Skiba *et al.*, 2002).

Régulièrement, des essais d'incorporation de « nouvelles » matières premières sont tentés en alimentation porcine. Le souci de valoriser les coproduits de l'industrie agroalimentaire tout en minimisant le prix de revient des aliments justifie pleinement ces études. La valeur nutritive des ingrédients, leur palatabilité et leur impact sur les performances des animaux et sur la qualité des carcasses produites sont alors évalués. Parmi les résultats d'appétence, on peut noter le succès, auprès des porcelets sevrés, de denrées telles que le plasma porcin (Ermer *et al.*, 1994 ; Steidinger *et al.*, 2000) ou le chocolat au lait sucré (Yang *et al.*, 1997). Il faut noter toutefois que, au sein de la Communauté Européenne, l'utilisation du plasma et, plus généralement, de toutes les matières protéiques ayant pour origine les animaux terrestres est interdite en alimentation animale depuis le 1^{er} janvier 2001.

1.4. La granulométrie et la présentation de l'aliment

La granulométrie

La mouture des matières premières est le pré-requis indispensable au mélange homogène des multiples ingrédients composant les aliments pour porcs. La granulométrie (caractérisant la finesse de la mouture) peut avoir des implications à plusieurs niveaux de l'atelier porcin. La digestibilité de l'aliment, la vitesse de croissance et l'indice de consommation des porcelets sevrés peuvent être améliorés par la réduction de la taille des particules. Les meilleures performances zootechniques sont obtenues avec des moutures comprises entre 300 et 600 µ, tant en post-sevrage (Healy *et al.*, 1994 ; Albar *et al.*, 2000 ; De Jaeger, 2002) qu'en engraissement (Wondra *et al.*, 1995a). Hélas, en contrepartie, la finesse des particules peut influencer négativement l'état sanitaire des animaux, en favorisant

la formation d'ulcères gastriques (Wondra *et al.*, 1995a) et en augmentant la prévalence des atteintes par *Salmonella* en engraissement (Kjeldsen et Dahl, 1999). L'impact négatif d'une plus faible granulométrie sur le prix de revient de l'aliment est également à prendre en compte, tant en termes de cadence de production que d'énergie requise (Healy *et al.*, 1994). Ainsi, pour passer d'une mouture moyenne de 600 à 400 μ , l'énergie nécessaire est doublée et la vitesse de production est divisée par deux (Wondra *et al.*, 1995a). La qualité de l'aliment (homogénéité du mélange, durabilité des granulés) est augmentée par une mouture plus fine, tandis que la facilité de stockage et de distribution (écoulement de la farine dans les silos et les nourrisseurs) est diminuée (Sorrell *et al.*, 1998). Enfin, on peut noter des effets de la granulométrie sur la qualité de l'environnement. En effet, la diminution de la taille des particules présente l'avantage d'augmenter la digestibilité de la ration et donc de réduire l'excrétion des nutriments dans les matières fécales (Wondra *et al.*, 1995a), mais, en contrepartie, elle augmente la pulvéulence de l'aliment (Albar *et al.*, 2000). En tenant compte des paramètres zootechniques, sanitaires, économiques et environnementaux, un bon compromis semble être atteint avec une granulométrie avoisinant 500-600 μ (Healy *et al.*, 1994; Wondra *et al.*, 1995a).

Il ne semble pas que la préférence des porcs pour une mouture plus ou moins fine de l'aliment ait été testée en donnant le choix aux animaux. Lorsque des farines de granulométries différentes sont proposées *ad libitum* à des porcs logés séparément, la consommation a tendance à être supérieure dans les lots ayant accès à une mouture plus grossière, tant en post-sevrage (Healy *et al.*, 1994; Mavromichalis *et al.*, 2000b) qu'en engraissement (Wondra *et al.*, 1995a; 1995b; Dirkzwager *et al.*, 1998). Cette consommation supérieure, généralement associée à une vitesse de croissance équivalente, et donc à un indice de consommation en faveur de la mouture fine, semble davantage s'expliquer par la moindre digestibilité de l'aliment moulu grossièrement que par un gaspillage plus important.

La présentation

Pour une même formulation, un aliment peut être présenté sous la forme de farine, de granulés, aussi appelés « pellets », ou de miettes, qui sont obtenues par l'écrasement de granulés (Pond *et al.*, 1995; Institut Technique du Porc, 2000a). Enfin, il y a les bouchons, qui sont typiques de l'alimentation, à même le sol, des truies en élevage plein air (Martin et Edwards, 1994; Institut Technique du Porc, 2000b).

La distribution de granulés plutôt que de farine présente des avantages zootechniques (Wondra *et al.*, 1995a) et des inconvénients sanitaires (Kjeldsen et Dahl, 1999) comparables à ceux observés lors de la distribution d'une farine fine plutôt que grossière. Cela s'explique notamment par l'utilisation préférentielle, lors de la confection de pellets, d'une farine finement moulue et par la tendance de la granulation à réduire encore la taille des particules (Dirkzwager *et al.*, 1998), mais également par le conditionnement thermomécanique appliqué à la farine lors de la granulation (Johnston *et al.*, 1999). Sur le plan économique, la fabrication de pellets augmente le coût énergétique et nécessite un équipement supplémentaire (Skoch *et al.*, 1983), mais permet de limiter le gaspillage (Pond *et al.*, 1995; Hutson, 1997). Pratiquement, il faut compter un supplément d'environ 5 euros par tonne, à l'achat d'un aliment pour porcelets présenté sous la forme de pellets plutôt que de farine (communication personnelle). Les granulés, par leur plus grande densité, sont plus faciles à stocker et à utiliser dans les silos et les nourrisseurs, puisqu'ils empêchent la formation de dômes. Du point de vue de la qualité de l'aliment, la forme « pellets » offre une moindre surface d'exposition aux agents chimiques (Dumonteil, 1966) et empêche la ségrégation des ingrédients (Skoch *et al.*, 1983). Enfin, sur le plan environnemental, les granulés limitent la production de poussières (Pond *et al.*, 1995) et l'excrétion de nutriments dans les matières fécales du fait de leur plus grande digestibilité (O'Doherty *et al.*, 2000).

Les pellets disponibles sur le marché se distinguent notamment par deux caractéristiques : la dimension et la durabilité. Les pellets durables ne se désagrègent pas ou très peu pendant le transport ou la distribution. Cette

propriété peut être mesurée de manière standardisée après passage dans un agitateur : on parlera de l'index de durabilité, exprimé en pourcentage (American Society of Agricultural Engineers, 2002). Ces deux paramètres influencent le prix de revient de l'aliment, un surcoût d'énergie allant de pair avec la fabrication de pellets de petit diamètre et/ou plus durables (Hanrahan, 1984). Le diamètre des granulés, déterminé par la dimension des alvéoles de la filière, semble avoir peu d'impact sur les performances des porcs, ou alors à l'avantage des pellets de petit diamètre (Luce *et al.*, 1973; Hanrahan, 1984). Pratiquement, le diamètre des pellets destinés aux porcelets varie entre 2,4 et 4 mm (Sauer *et al.*, 1990; Johnston *et al.*, 1999; Steidinger *et al.*, 2000; Mavromichalis *et al.*, 2002). La dureté des pellets, étroitement associée à leur durabilité, est conditionnée par la granulométrie de la farine, l'usage de liants, la proportion de matière grasse (Angulo *et al.*, 1996), la nature de l'amidon – brut ou gélatinisé – incorporé (Mavromichalis *et al.*, 2002), l'épaisseur de la matrice, la température de la vapeur d'eau utilisée durant le processus de granulation (Hanrahan, 1984), la durée de celui-ci ou encore le passage dans un expandeur avant la granulation (Johnston *et al.*, 1999). Elle est mesurée par la force (exprimée en kg ou en N) nécessaire pour casser un pellet, à l'aide d'appareils spécifiques (Kahl, Allemagne; Kiya, Japon).

Quand ils ont le choix, les porcs semblent préférer les pellets à la farine (Lewis *et al.*, 1955; Skoch *et al.*, 1983), les miettes occupant une place intermédiaire (Lewis *et al.*, 1955). Selon Sukemori et collaborateurs (2001), ce n'est pas tant la forme de l'aliment qui influence sa palatabilité chez le porc à l'engrais mais bien sa consistance, une dureté de l'ordre de 1,15 à 2,3 kg étant préférée à une dureté de 0,34 kg. Concernant le post-sevrage, Mavromichalis et collaborateurs (2002) ont montré que, durant les deux premières semaines suivant le sevrage, la consommation de pellets par les porcelets a tendance à diminuer quand leur dureté augmente, passant de 2,3 à 6,7 kg (communication personnelle). Il semble que la préférence des porcs pour la dureté de leur aliment évolue avec l'âge, mais également en fonction de l'éruption des dents (communication

personnelle). Une remarque intéressante quand on sait que, durant la période du post-sevrage, les deuxièmes prémolaires et les troisièmes et quatrièmes prémolaires inférieures lactéales font leur apparition (Pavaux, 1982).

Les granulés sont particulièrement appréciés quand ils sont sucrés et les meilleurs résultats sont obtenus lorsque le sucre est intégré dans la farine avant la confection des pellets plutôt qu'utilisé en enrobage. En effet, dans ce cas, les porcelets ont tendance à sucer les granulés sans vraiment les manger, avec pour conséquence un gaspillage important et un risque accru de formation de bouchon dans la trémie (Lewis *et al.*, 1955). D'ailleurs, si certaines firmes d'aliment utilisent la technique du 'sprayage' pour aromatiser les pellets (les arômes échappant ainsi aux contraintes de la granulation), les édulcorants sont incorporés à la farine avant la granulation.

1.5. La distribution de l'aliment

En France, jusqu'au début des années '90, c'est surtout sous une forme liquide (appelée « soupe ») que la ration était délivrée en engraissement (Institut Technique du Porc, 2000a). Dans les porcheries d'engraissement belges, par contre, l'aliment a longtemps été distribué sec et ad libitum dans un nourrisseur équipé d'une trémie, l'eau étant accessible séparément au niveau d'un abreuvoir à tétine ou à bol (Maton et Daelemans, 1991). Depuis les années '80, des nourrisseurs à abreuvoirs intégrés ont fait leur apparition sur le marché, qui permettent aux porcs de consommer, au choix, leur ration sèche ou mélangée à l'eau.

L'alimentation liquide des porcelets sevrés a ses partisans et ses détracteurs. A priori, on pourrait s'attendre à une transition alimentaire plus facile pour le porcelet au moment du sevrage et donc à une vitesse de croissance supérieure. C'est ce qu'ont démontré plusieurs études comparant la soupe aux pellets distribués secs (Russell *et al.*, 1996; Orgeur *et al.*, 2003). Cependant, cela n'a pas toujours été le cas: Lawlor et collaborateurs (2002) ont bien observé une augmentation de l'ingéré quotidien moyen avec une alimentation liquide plutôt que présentée sous la forme de pellets, mais celle-ci était associée à

une vitesse de croissance inférieure, et donc à un indice de consommation défavorable. Le défaut majeur de la distribution de l'aliment sous une forme liquide est en effet le gaspillage (Russell *et al.*, 1996; Lawlor *et al.*, 2002). La distribution de soupe semble avoir un effet favorable sur la fonction digestive des porcelets. En 1987, Deprez et collaborateurs ont démontré l'effet positif de l'alimentation liquide sur la longueur des villosités intestinales. De plus, si la soupe peut être préparée immédiatement avant la distribution, les ingrédients sont parfois mélangés à l'avance et subissent alors un processus de fermentation durant le stockage. La prolifération de bactéries telles que *Lactobacillus spp.*, en réduisant le pH de la ration (Geary *et al.*, 1996), peut avoir un effet favorable sur la flore intestinale. Attention, toutefois: les effets de la fermentation de l'aliment (décarboxylation des acides aminés, dégradation des sucres) ne sont pas tous favorables pour la santé et pourraient influencer négativement les performances des animaux (Lawlor *et al.*, 2002). La soupe consiste soit en un aliment concentré additionné d'eau ou en un mélange équilibré de divers co-produits de l'industrie agro-alimentaire. Elle présente alors un intérêt économique, via la valorisation de matières premières bon marché. Cet effet est bien entendu contrebalancé par la nécessité d'un équipement non négligeable (silos volumineux, machine à soupe et réseau de canalisations, le tout géré par un programme informatisé).

Du point de vue appétence, les porcelets sevrés consomment volontiers un aliment liquide dont le taux de matière sèche varie entre 149 et 255 g/kg (Geary *et al.*, 1996). Cependant, à une plus haute dilution correspond une utilisation accrue d'eau par les porcs, avec pour conséquence une augmentation de la production d'effluents. Afin de limiter cet effet, il est recommandé de ne pas diluer la soupe au-delà d'un ratio eau/aliment équivalent à 3,5:1. Ce ratio est souvent compris entre 2:1 et 2,5:1, les porcelets ayant en plus accès à un abreuvoir (Russell *et al.*, 1996; Geary *et al.*, 1999; Lawlor *et al.*, 2002).

Les nourrisseurs à abreuvoir(s) intégré(s) (*wet/dry feeders*) donnent accès aux deux ressources au même endroit, présentant l'avantage de laisser le choix aux porcs entre un ali-

ment sec ou mouillé. Ce rapprochement est intéressant quand on sait que 91 à 97% de l'eau consommée quotidiennement par les porcs pesant entre 10 et 30 kg est ingérée en phase prandiale (i.e. durant la période allant de 10 minutes avant le début du repas à 10 minutes après la fin de celui-ci), et plus particulièrement, 61% en phase intra-prandiale (Bigelow and Houpt, 1988). La possibilité de mouiller la farine permet en outre aux animaux de manger plus vite. Gonyou et Lou (2000) nous apprennent que, lorsque la farine est mélangée à un poids équivalent d'eau, la vitesse d'ingestion est maximale. En pratique, pour des porcs à l'engrais utilisant un nourrisseur équipé d'une source d'eau plutôt que de farine « sèche », une réduction de 17 à 36% du temps d'alimentation quotidien a été enregistrée (Gonyou et Lou, 2000; McDonald et Gonyou, 2001). Une implication pratique de cette augmentation de vitesse d'ingestion est la possibilité d'augmenter le nombre de porcs par place à table (Gonyou et Lou, 2000). Avec des granulés, le temps d'ingestion quotidien reste constant, qu'ils soient consommés secs ou mouillés (McDonald et Gonyou, 2001).

Du point de vue zootechnique, l'utilisation de nourrisseurs à abreuvoirs intégrés en engraissement permet des performances au moins aussi bonnes que les nourrisseurs « classiques » (Walker, 1990; Maton et Daelemans, 1991; Gonyou et Lou, 2000). Une réduction de la consommation d'eau et donc de la production d'effluents ont également été rapportées (Maton and Daelemans, 1991). En contrepartie, la qualité des carcasses est généralement moins bonne (Walker, 1990; Gonyou et Lou, 2000), nécessitant parfois une re-formulation de la ration (Payne, 1991), abaissant l'apport énergétique. En post-sevrage, O'Connell et son équipe (2002) ont rapporté un gaspillage d'aliment plus important lors de l'utilisation d'un nourrisseur à abreuvoir intégré de type « nourri-soupe » (3 places à table) plutôt que d'un nourrisseur classique (4 places à table), conduisant à un indice de consommation moins bon pour des vitesses de croissance équivalentes. Par contre, en utilisant des nourrisseurs à abreuvoirs intégrés de type « MaxiMat® » (Echberg, Danemark) ou « Lean Machine® » (Big Dutchman International GmbH, Allemagne), les

consommations alimentaires et les performances ont été équivalentes à celles obtenues avec les nourrisseurs classiques. Dans une autre étude, l'utilisation d'un nourrisseur à abreuvoirs intégrés mono-place, plutôt qu'un nourrisseur sec classique mono-place, a conduit à une vitesse de croissance plus lente au cours de la première semaine suivant le sevrage, mais équivalente pour la durée totale du post-sevrage (Pluske et Williams, 1996).

Enfin, l'étude menée en post-sevrage par van de Loo (1996) mérite d'être mentionnée. Elle a montré que le réchauffement (35 vs 20°C) de l'eau de boisson distribuée dans les nourrisseurs permet d'augmenter la consommation d'aliment et la vitesse de croissance, tout en diminuant les mortalités et les frais vétérinaires. Cependant, toute dépense prise en compte (investissement en matériel, coût énergétique, frais vétérinaires,...), malgré cette amélioration des performances, le réchauffement de l'eau de boisson ne se justifie pas économiquement puisqu'elle correspond à un surcoût de 0,2 EUR par porcelet.

1.6. L'apparence de la ration

La vue est considérée comme le « cinquième sens » dans l'espèce porcine. C'est probablement ce qui justifie la maigre littérature sur le sujet. Concernant l'aspect de la ration, une publication de Hone et collaborateurs (1985) décrit cependant une étude de terrain testant l'acceptabilité d'aliments colorés auprès de porcs vivants à l'état sauvage, en vue de leur utilisation comme appâts empoisonnés potentiellement sélectifs. Les céréales « natures » ou colorées en bleu ou en vert, ont été consommées de manière similaire, indépendamment de leur aspect.

1.7. La perception du comportement des congénères et l'apport répété d'aliment

Si l'apparence de la ration en elle-même a été peu étudiée, on sait par contre tout l'impact que représente la perception visuelle par le porc du comportement alimentaire de ses congénères. Ainsi, le déplacement de quelques individus de la loge depuis la zone de couchage vers la zone d'alimentation et leur présence autour

du nourrisseur ont un effet stimulant sur le comportement alimentaire d'un individu (Hafez *et al.*, 1962). On parlera de comportement allélomimétique : deux animaux font la même chose au même moment, en se stimulant mutuellement (Scott, 1962). En se stimulant, les animaux produisent le phénomène de facilitation sociale, qui est définie, comme le rappellent Brumm et Gonyou (2001), par l'augmentation d'un comportement résultant de la présence d'un autre individu impliqué dans la même activité. Un exemple de ce phénomène a été rapporté par Hsia et Wood-Gush en 1984. Après 12 heures de jeûne, deux porcs à l'engrais logés individuellement ont accès à de l'aliment à volonté. Dix minutes après l'arrêt de leur repas, un porc à jeun est introduit dans une loge voisine et commence à manger. A chaque fois, les deux porcs rassasiés se remettent à manger.

Le fait d'ajouter régulièrement de petites quantités d'aliment dans la mangeoire, alors même qu'elle en contient encore, a également un effet stimulant sur l'ingestion et l'abreuvement (Csermely et Wood-Gush, 1981).

1.8. Les bruits associés à la consommation

Déjà en maternité, les stimulations auditives ont un rôle important sur le comportement alimentaire. Au moment de la tétée, les grognements qu'émet une truie sont en effet perçus et identifiés par ses porcelets, résultant en l'initiation et la synchronisation de leur comportement de tétée (Schön *et al.*, 1999). La perception du signal par l'ensemble des porcelets est primordiale quand on sait que l'éjection du lait ne durera que quelques secondes. L'attention des porcelets peut également être attirée de manière artificielle. Associant des stimuli auditifs et visuels, via un mécanisme de bouillonnement continu, Phillips et Fraser (1991) ont favorisé une utilisation précoce de l'abreuvoir par les porcelets nouveau-nés. En post-sevrage, les comportements alimentaire et dipsique de porcelets sevrés âgés de 4 à 5 semaines peuvent être encouragés par l'émission d'un enregistrement reproduisant des bruits de succion de porcelets allaités ou les grognements d'une truie allaitant ses petits (Csermely et Wood-Gush, 1981 ; Petrie et Gonyou,

1988). De manière générale, les vocalisations émises par les porcs et les bruits produits lors de l'utilisation de l'équipement d'alimentation sont autant de stimuli pour la consommation alimentaire (Hafez *et al.*, 1962).

2. L'AVERSION GUSTATIVE ACQUISE

L'aversion gustative acquise est l'évitement appris d'un aliment particulier qui, après ingestion, a rendu l'animal malade (Hurnik *et al.*, 1995). Les stimuli par lesquels l'animal est capable d'éviter l'aliment font appel au sens du goût. Même très jeunes, les porcs sont capables de cet apprentissage (Haupt *et al.*, 1979). Selon cette équipe, cette aversion, causée par des moisissures, un médicament ou un agent infectieux par exemple, pourrait expliquer certains épisodes d'anorexie chez le porc : le porc associe le goût de l'aliment à son malaise et l'évite dorénavant. Il est à noter que les animaux apprennent plus vite à éviter un aliment qui a été associé à un malaise lors de sa première présentation.

3. L'INTERPRETATION DES TESTS D'APPETENCE

De manière générale, les tests de préférence et de motivation fournissent des informations précieuses sur les réactions des animaux face aux méthodes d'élevage et d'hébergement auxquelles ils sont soumis. Appleby et Hugues ont consacré récemment un chapitre complet de leur livre à l'intérêt et aux limites de ces tests dans l'estimation du bien-être animal (Fraser et Matthews, 1997).

Les résultats des tests d'appétence permettent d'estimer la préférence pour un aliment, mais nécessitent certaines précautions d'interprétation. Par exemple, « le résultat d'un test de libre choix, en termes de préférences ou de seuils d'aversion, ne prédit pas le comportement en situation pratique d'aliment unique » (Meunier-Salaün et Picard, 1996). Les paramètres impliqués concernent l'aliment lui-même, mais aussi les animaux et leur environnement. Pour tester un additif ou une formulation, il est notamment important d'utiliser un nombre repré-

sentatif d'animaux afin de pallier la forte variabilité existant entre les individus. Il faut aussi veiller à l'âge et à la diversité génétique des souches d'animaux utilisées, comme l'illustrent respectivement les exemples du sel (Mennella et Beauchamp, 1998) et de la saccharine (Glaser *et al.*, 2000). Le vécu de l'animal, tant en termes d'expérience antérieure (Campbell, 1976; King, 1979), que de sensations perçues après l'ingestion (Hurnik *et al.*, 1995) joue un rôle non négligeable dans ses choix. Enfin, lorsque les animaux sont testés en groupe, des influences sociales telles que la facilitation sociale ou la compétition entrent aussi en ligne de compte.

CONCLUSIONS

Les porcs sont capables de percevoir différentes qualités organoleptiques des aliments. Plusieurs études ont démontré l'impact potentiel de ces caractéristiques sur la consommation alimentaire et même sur les performances des animaux. Si les porcs sont capables de manifester leur préférence pour certains aliments en situation de choix, ils sont néanmoins

dotés d'une grande capacité d'adaptation aux conditions d'élevage qui leur sont imposées. Dans le cas particulier de la stimulation précoce à consommer des aliments concentrés, les recherches menées par les nutritionnistes et les éthologistes, ainsi que le développement des technologies de la distribution de l'aliment offrent des perspectives nombreuses... et autant d'occasions de les valider sur le terrain!

Factors influencing feed ingestion and performance of weaned pigs : perception and characteristics of diets

SUMMARY

Weaning is a critical period for piglets. Promoting solid food ingestion in the farrowing pen and early after weaning is essential to optimise piglets' performance, health and welfare. A lot of papers report studies about pigs' perception of the

feed's organoleptic properties. Pigs are attracted by specific flavors and show taste acuity for the five basic stimuli. The choice of pigs for a diet formulation is mainly based on the protein content of the food and the absence of toxin or anti-nutritional contaminants. They also tend to prefer eating pellets and crumbles rather than meal. Weaned pigs readily accept liquid feed. Wet/dry feeders give the possibility to the pigs to mix water and food at the same place and notably allow them to eat faster when they are fed meal. However, wet feeding may induce greater food wastage. The influence of food visual aspect on feed intake in pigs has been little assessed. Visual and auditory stimuli produced by the feeding behaviour of penmates have although a better-known impact on feed intake in this species.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBAR J., SKIBA F., ROYER E., GRANIER R. Incidence de la granulométrie sur les performances en post-sevrage et la digestibilité de quatre aliments à base d'orge, de blé, de maïs et de pois. In: Institut National de la Recherche Agronomique (France), Institut Technique du Porc, 32^e Journées de la Recherche Porcine en France: Paris, 1^{er}, 2 et 3 février 2000, 2000, 193-200.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS Cubes, pellets, and crumbles-definitions and methods for determining density, durability, and moisture content. In: American Society of Agricultural Engineers, ASAE Standards S269. American Society of Agricultural Engineers: St-Joseph, 2002, 563-565.
- ANGULO E., BRUFAU J., ESTEVE-GARCIA E. Effect of a sepiolite product on pellet durability in pig diets differing in particle size and in broiler starter and finisher diets. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1996, **63**, 25-34.
- AUMAITRE A. Sur l'appétibilité des aliments destinés aux porcelets: importance du sel et du sucre. In: Institut National de la Recherche Agronomique (France), Institut Technique du Porc, Journées de la Recherche Porcine en France: Paris, 19, 20, 21 février 1975, 1975, 169-176.
- AUMAITRE A., MELCION J.P., VAISSADE P., SEVE B. Glucose, sirop de glucose à haute teneur en fructose (S.G.H.T.F.), ou saccharose dans les aliments de sevrage précoce du porcelet: influence sur l'agglomération et l'appétibilité. *Ann. Zootech.*, 1978, **27**, 409-421.
- BAIDOO S.K., MCINTOSH M.K., AHERNE F.X. Selection preference of starter pigs fed canola meal and soybean meal supplemented diets. *Can. J. Anim. Sci.*, 1986, **66**, 1039-1049.
- BELTRANENA E., PETRACEK R.A., BZOWEY A., GONYOU H., PATIENCE J.F. Methionine sources for weanling pigs. Annual Research Report - Prairie Swine Centre, 1995, 32-36.
- BIGELOW J.A., HOUPPT T.R. Feeding and drinking patterns in young pigs. *Physiol. Behav.*, 1988, **43**, 99-109.
- BRADFORD M.M.V., GOUS R.M. The response of weaner pigs to a choice of foods differing in protein content. *Anim. Prod.*, 1992, **55**, 227-232.
- BRUININX E.M.A.M., BINNENDIJK G.P., VAN DER PEET-SCHWERING C.M.C SCHRAMA J.W., DEN HARTOG L.A., EVERTS H., BEYEN A.C. Effect of creep feed consumption on individual feed intake characteristics and performance of group housed weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 2002, **80**, 1413-1418.
- BRUMM M.C., GONYOU H.W. Effects of facility design on behavior and feed and water intake. In: Lewis A.J., Southern L.L. (Eds.), Swine nutrition. 2nd ed. CRC Press:

- Boca Raton, 2001, 499-518.
- BUGNACKA D., FALKOWSKI J. The effect of dietary levels of yellow lupin seeds (*Lupinus luteus* L.) on feed preferences and growth performance of young pigs. *J. Anim. Feed Sci.*, 2001, **10**, 133-142.
- CAMPBELL R.G. A note on the use of a feed flavour to stimulate the feed intake of weaner pigs. *Anim. Prod.*, 1976, **23**, 417-419.
- CARTER R.R., M'GEE D.P., CULLIS B. Effect of a feed flavour in a high and low quality diet on feed intake and growth rate in the young pig. In: Batterham E. S., Manipulating Pig Production III, Proceedings of the 3rd biennial conference of the Australasian Pig Science Association, Albury, November 24-27, 1991, 1991, 80.
- CHERRIERE K., ALBAR J., NOBLET J., SKIBA F., GRANIER R., Peyronnet C. Utilisation du lupin bleu (*Lupinus angustifolius*) et du lupin blanc (*Lupinus albus*) par les porcelets en post-sevrage. In: Institut National de la Recherche Agronomique (France), Institut Technique du Porc, 35^e Journées de la Recherche Porcine en France: Paris, 4, 5, 6 février 2003, 2003, 97-104.
- COMMUNAUTES EUROPEENNES Liste des additifs autorisés dans l'alimentation des animaux publiée en application de l'article 9 T, point b), de la directive 70/524/CEE du Conseil concernant les additifs dans l'alimentation des animaux (2002/C329/CE). *J. Off. Commun. Eur.*, 2002, 19.
- CSERMELY D., WOOD-GUSH D.G.M. Artificial stimulation of ingestive behaviour in early-weaned piglets. *Biol. Behav.*, 1981, **6**, 159-165.
- DEE S.A., TRACY J.D., KING V. Using citric acid to control urinary tract disease in swine. *Vet. Med.*, 1994, **89**, 473-476.
- DE JAEGER F. Maalfijnheidsproef bewijst: biggen verkiezen grof gemalen voeder. *Varkensbedrijf*, 2002, **8**, 20-21.
- DEPREZ P., DEROOSE P., VAN DEN HENDE C., MUYLLE E., OYAERT W. Liquid versus dry feeding in weaned piglets: the influence on small intestinal morphology. *J. Vet. Med. B*, 1987, **34**, 254-259.
- DEROUCHEY J.M., HANCOCK J.D., HINES R.H., CAO H., MALONEY C.A., DEAN D.W., LEE D.J., PARK J.S. Effects of rancidity in choice white grease on growth performance and nutrient digestibility in weanling pigs. In: Goodband B., Tokach M., Dritz S., 2000 Swine Day Report of Progress, Kansas State University: Manhattan, November 15-16, 2000, 2000, 83-86.
- DIRKZWAGER A., ELBERS A.R.W., VAN DER AAR P.J., VOS J.H. Effect of particle size and addition of sunflower hulls to diets on the occurrence of oesophagogastric lesions and performance in growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 1998, **56**, 53-60.
- DUMONTEIL M. L'agglomération et les presses. In: Ferrando R., Monographies alimentaires: technologie de la fabrication des aliments du bétail. Vigot Frères: Paris, 1966, 69-100.
- ECKEL B., KIRCHGESSNER M., ROTH F.X. Influence of formic acid on daily weight gain, feed intake, feed conversion rate and digestibility. 1. Investigations about the nutritive efficacy of organic acids in the rearing of piglets. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 1992, **67**, 93-100.
- EDER K., SVETLANA PEGANOVA, KLUGE H. Studies on the tryptophan requirement of piglets. *Arch. Anim. Nutr.*, 2001, **55**, 281-297.
- EIDELSBURGER U., KIRCHGESSNER M., ROTH F.X. Influence of formic acid, hydrochloric acid, sodium formate, tylosin and toyocerin on daily weight gain, feed intake, feed conversion rate and digestibility. 11. Investigations about the nutritive efficacy of organic acids in the rearing of piglets. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 1992, **68**, 82-92.
- ERMER P.M., MILLER P.S., LEWIS A.J. Diet preference and meal patterns of weanling pigs offered diets containing either spray-dried porcine plasma or dried skim milk. *J. Anim. Sci.*, 1994, **72**, 1548-1554.
- FALKOWSKI J., KOZERA W., BUGNACKA D. Effect of different fodder salt (NaCl) content of diets on feed preferences of weaned pigs. *Nat. Sci.*, 1998, **1**, 51-58.
- FRASER D., MATTHEWS L.R. Preference and motivation testing. In: Appleby M.C., Hughes B.O., Animal welfare. CAB International: Wallingford, 1997, 159-173.
- FROIDMONT E., SCHOELING O., DELIEGE F., WATHELET B., WAVREILLE J., BARTIAUX-TILL N. Influence de la substitution du tourteau de soja par des graines de lupin, avec ou sans complément d' α -galactosidase, sur la digestibilité des régimes et la rétention azotée du porc en croissance. In: Institut Technique du Porc, 35^e Journées de la Recherche Porcine en France: Paris, 4, 5, 6 février 2003, 2003, 105-112.
- GALLOUIN F., LE MAGNEN J. Evolution historique des concepts de faim, satiété et appétits. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 1987, **27**, 109-128.
- GATEL F., GUION P. Effects of monosodium L glutamate on diet palatability and piglet performance during the suckling and weaning periods. *Anim. Prod.*, 1990, **50**, 365-372.
- GDALA J., JANSMAN A.J.M., VAN LEEUWEN P., HUISMAN J., VERSTEGEN M.W.A. Lupins (*L. luteus*, *L. albus*, *L. angustifolius*) as a protein source for young pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1996, **62**, 239-249.
- GEARY T.M., BROOKS P.H., MORGAN D.T., CAMPBELL A., RUSSELL P.J. Performance of weaner pigs fed ad libitum with liquid feed at different dry matter concentrations. *J. Sci. Food Agric.*, 1996, **72**, 17-24.
- GEARY T.M., BROOKS P.H. The effect of weaning weight and age on the post-weaning growth performance of piglets fed fermented liquid diets. *Pig J.*, 1998, **42**, 10-23.
- GEARY T.M., BROOKS P.H., BEAL J.D., CAMPBELL A. Effect on weaner pig performance and diet microbiology of feeding a liquid diet acidified to pH 4 with either lactic acid or through fermentation with *Pediococcus acidilactici*. *J. Sci. Food Agric.*, 1999, **79**, 633-640.
- GLASER D., WANNER M., TINTI J.M., NOFRE C. Gustatory responses of pigs to various natural and artificial compounds known to be sweet in man. *Food Chem.*, 2000, **68**, 375-385.

- GONYOU H.W., LOU Z. Effects of eating space and availability of water in feeders on productivity and eating behavior of grower/finisher pigs. *J. Anim. Sci.*, 2000, **78**, 865-870.
- HAFEZ E.S.E., SUMPTION L.J., JAKWAY J.S. The behaviour of swine. In: Hafez E.S.E. (Ed.), *The behaviour of domestic animals*. Baillière: London, 1962, 334-369.
- HANRAHAN T.J. Effect of pellet size and pellet quality on pig performance. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1984, **10**, 277-283.
- HEALY B.J., HANCOCK J.D., KENNEDY G.A., BRAMEL-COX P.J., BEHNKE K.C., HINES R.H. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. *J. Anim. Sci.*, 1994, **72**, 2227-2236.
- HELLAL H. Sweeteners: comparing natural, artificial and high intensity products. *Feed Int.* 2003, 16-20.
- HELLEKANT G., DANILOVA V. Taste in domestic pig, *Sus scrofa*. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 1999, **82**, 8-24.
- HENRY R.W., PICKARD D.W., HUGHES P.E. Citric acid and fumaric acid as food additives for early-weaned piglets. *Anim. Prod.*, 1985, **40**, 505-509.
- HENRY Y., SEVE B., COLLEAUX Y., GANIER P., SALIGAUT C., JEGO P. Interactive effects of dietary levels of tryptophan and protein on voluntary feed intake and growth performance in pigs, in relation to plasma free amino acids and hypothalamic serotonin. *J. Anim. Sci.*, 1992, **70**, 1873-1887.
- HONE J., BRYANT H., NICHOLLS P., ATKINSON W., KLEBA R. The acceptance of dyed grain by feral pigs and birds III. Comparison of intakes of dyed and undyed grain by feral pigs and birds in pig-proof paddocks. *Aust. Wildl. Res.*, 1985, **12**, 447-454.
- HOUP T.A., ZAHORIK D.M., ANIKA S.M., HOUP T.R. Taste aversion learning in suckling and weaning pigs. *Vet. Sci. Commun.*, 1979, **3**, 165-169.
- HSIA L.C., WOOD-GUSH D.G.M. Social facilitation in the feeding behaviour of pigs and the effect of rank. *Appl. Anim. Ethol.*, 1984, **11**, 265-270.
- HURNIK J.F., WEBSTER A.B., SIEGEL P.B. Taste aversion. In: Hurnik J.F., Webster A.B., Siegel P.B., *Dictionary of farm animal behavior*. 2nd ed. Iowa State University Press: Ames, 1995, 182.
- HUTSON G. Look how much feed is wasted. *Pig Int.*, 1997, **27**, 21-22.
- INSTITUT TECHNIQUE DU PORC. L'alimentation. In: Institut Technique du Porc, *Mémento de l'éleveur de porc*. Institut Technique du Porc: Paris, 2000a, 133-179.
- INSTITUT TECHNIQUE DU PORC. Le naissage en plein-air. In: Institut Technique du Porc, *Mémento de l'éleveur de porc*. Institut Technique du Porc: Paris, 2000b, 95-105.
- JEPPESEN L.E. Teat-order in groups of piglets reared on an artificial sow. II. Maintenance of teat-order with some evidence for the use of odour cues. *Appl. Anim. Ethol.*, 1982, **8**, 347-355.
- JEREMIAH L.E., GIBSON L.L., BURWASH K.L. Descriptive sensory analysis: the profiling approach. In: *Agriculture and Agri-food Canada, Technical Bulletin 1997-2E, Agriculture and Agri-food Canada: Lacombe*, 1997, 10 p.
- JOHNSTON S.L., HINES R.H., HANCOCK J.D., BEHNKE K.C., TRAYLOR S.L., CHAE B.J., HAN IN K. Effects of conditioners (standard, long-term and expander) on pellet quality and growth performance in nursery and finishing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 1999, **12**, 558-564.
- JONES J.B., CARMICHAEL N.L., WATHES C.M., WHITE R.P., JONES R.B. The effects of acute simultaneous exposure to ammonia on the detection of buried odourised food by pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 2000, **65**, 305-319.
- JONES J.B., WATHES C.M., PERSAUD K.C., WHITE R.P., JONES R.B. Acute and chronic exposure to ammonia and olfactory acuity for n-butanol in the pig. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 2001, **71**, 13-28.
- KENNEDY J.M., BALDWIN B.A. Taste preferences in pigs for nutritive and non-nutritive sweet solutions. *Anim. Behav.*, 1972, **20**, 706-718.
- KING R.H. The effect of adding a feed flavour to the diets of young pigs before and after weaning. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 1979, **19**, 695-697.
- KJELDSEN N., DAHL J. The effect of feeding non-heat treated, non-pelleted feed compared to feeding pelleted, heat-treated feed on the salmonella-prevalence of finishing pigs. In: *Proceedings of the 3rd international symposium on the epidemiology and control of salmonella in pork*, Washington D.C., Augustus 5-7, 1999, 1999, 313-316.
- KORNEGAY E.T., TINSLEY S.E., BRYANT K.L. Evaluation of rearing systems and feed flavors for pigs weaned at two to three weeks of age. *J. Anim. Sci.*, 1979, **48**, 999-1006.
- KRISTENSEN H.H., JONES R.B., SCHOFIELD C.P., WHITE R.P., WATHES C.M. The use of olfactory and other cues for social recognition by juvenile pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 2001, **72**, 321-333.
- KURIHARA K., KASHIWAYANAGI M. Physiological studies on umami taste. *J. Nutr.*, 2000, **130**, 931S-934S.
- LAWLOR P.G., LYNCH P.B., GARDINER G.E., CAFFREY P.J., O'DOHERTY J.V. Effect of liquid feeding weaned pigs on growth performance to harvest. *J. Anim. Sci.*, 2002, **80**, 1725-1735.
- LEAMASTER B.R., CHEEKE P.R. Feed preferences of swine: alfalfa meal, high and low saponin alfalfa, and quinine sulfate. *Can. J. Anim. Sci.*, 1979, **59**, 467-469.
- LEWIS C.J., CATRON D.V., COMBS G.E., ASHTON G.C., CULBERTSON C.C. Sugar in pig starters. *J. Anim. Sci.*, 1955, **14**, 1103-1115.
- LUCE W.G., OMTVEDT I.T., MAXWELL C.V. Effect of pellet size on pig performance. *J. Anim. Sci.*, 1973, **36**, 204.
- MCDONALD K.A.M., GONYOU H.W. To what extent can pigs adapt to a spatially restricted food source? In:

- Proceedings of the 35th International congress of the International Society for Applied Ethology, University of California : Davis, Augustus 4-9, 2001, 2001, 89.
- MCGLONE J.J., ANDERSON D.L. Synthetic maternal pheromone stimulates feeding behavior and weight gain in weaned pigs. *J. Anim. Sci.*, 2002, **80**, 3179-3183.
- MCLAUGHLIN C.L., BAILE C.A., BUCKHOLTZ L.L., FREEMAN S.K. Preferred flavours and performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 1983, **56**, 1287-1293.
- MAHAN D.C., NEWTON E.A., CERA K.R. Effect of supplemental sodium chloride, sodium phosphate, or hydrochloric acid in starter pig diets containing dried whey. *J. Anim. Sci.*, 1996, **74**, 1217-1222.
- MARTIN J.E., EDWARDS S.A. Feeding behaviour of outdoor sows : the effects of diet quantity and type. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 1994, **41**, 63-74.
- MATON A., DAELEMANS J. Study of the wet-feed hopper versus the dry-feed hopper for finishing pigs. *Rev. Agric.*, 1991, **44**, 763-773.
- MAVROMICHALIS I., STOERGER J.E., BAKER D.H. Natural feeding enhances appetite of newly-weaned pigs. [en ligne] (sans date). Adresse URL : <http://traill.outreach.uiuc.edu/porknet/paperDisplay.cfm?ContentID=100>, consulté le 30/06/2003.
- MAVROMICHALIS I., HANCOCK J.D., SENNE B.W., GUGLE T.L., KENNEDY G.A., HINES R.H., WYATT C.L. Enzyme supplementation and particle size of wheat in diets for nursery and finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2000b, **78**, 3086-3095.
- MAVROMICHALIS I., COOK D.R., WARD M.M., PATON N.D. Effect of pellet hardness on growth performance of weaned pigs. In : Proceedings of the Midwestern meeting of the American Society of Animal Sciences, Des Moines, March 18-20, 2002, 2002, 29.
- MEILGAARD M., CIVILLE G.V., CARR B.T. Sensory attributes and the way we perceive them. In : Meilgaard M., Civille G.V., Carr B.T., Sensory evaluation techniques. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, 1999, 7-22.
- MENDL M., RANDLE K., POPE S. Young female pigs can discriminate individual differences in odours from conspecific urine. *Anim. Behav.*, 2002, **64**, 97-101.
- MENNELLA J.A., BEAUCHAMPS G.K. Early flavor experiences: research update. *Nutrition Rev.*, 1998, **56**, 205-211.
- MEUNIER-SALAÜN M.C., PICARD M. Les facteurs des choix alimentaires chez le porc et les volailles. *Prod. Anim.*, 1996, **9**, 339-348.
- MORROW-TESCH J., MCGLONE J.J. Sources of maternal odors and the development of odor preferences in baby pigs. *J. Anim. Sci.*, 1990, **68**, 3563-3571.
- MUNRO P.J., LIRETTE A. ANDERSON D.M., JU H.Y. Effects of a new sweetener, Stevia, on performance of newly weaned pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 2000, **80**, 529-531.
- NAM D.S., AHERNE F.X., DARROCH C.S. Growth performance of pigs given a choice of natural ingredient diets containing different levels of protein and amino acid(s). *Anim. Feed Sci. Tech.* 1995, **56**, 265-276.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. SUBCOMMITTEE ON SWINE NUTRITION Minerals. In : National Research Council, Nutrient requirements of swine. 10th revised edition. National Academy Press: Washington, 1998a, 47-70.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. SUBCOMMITTEE ON SWINE NUTRITION Proteins and amino acids. In : National Research Council, Nutrient requirements of swine. 10th revised edition. National Academy Press : Washington, 1998b, 16-30.
- NELSON S.L., SANREGRET J.D. Response of pigs to bitter-tasting compounds. *Chem. Senses*, 1997, **22**, 129-132.
- NOFRE C., GLASER D., TINTI J.-M., WANNER M. Gustatory response of pigs to sixty compounds tasting sweet to humans. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2002, **86**, 90-96.
- O'CONNELL N.E., BEATTIE V.E., WEATHERUP R.N. Influence of feeder type on the performance and behaviour of weaned pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 2002, **74**, 13-17.
- O'DOHERTY J.V., MCGLYNN S.G., MURPHY D. The effect of expander processing and pelleting on the nutritive value of feed for growing and finishing pigs. *J. Sci. Food Agric.*, 2000, **81**, 135-141.
- ORGEUR P., RIGAUD V., LE DIVIDICH J. Liquid feeding to improve welfare and performance of piglets at weaning. In : Proceedings of the 37th International congress of the International Society for Applied Ethology, Abano Terme, June 24-28, 2003, 2003, 229.
- PARFET K.A.R., GONYOU H.W. Attraction of newborn piglets to auditory, visual, olfactory and tactile stimuli. *J. Anim. Sci.*, 1991, **69**, 125-133.
- PARTANEN K. Organic acids – their efficacy and modes of action in pigs. In : Piva A., Knudsen K.E.B., Lindberg J.E. (Eds.), Gut environment of pigs. Nottingham University Press: Nottingham, 2001, 201-217.
- PARTANEN K., SILJANDER-RASI H., SUOMI K. Dietary preferences of weaned piglets offered diets containing organic acids. *Agric. Food Sci. Finl.*, 2002, **11**, 107-119.
- PAVAUX C. Rappels anatomiques. In : Mornet P., Tournut J., Toma B., Le porc et ses maladies. Maloigne: Paris, 1982, 65-126.
- PAYNE H.G. The evaluation of single-space and wet-and-dry feeders for the Australian environment. In : Batterham E. S., Manipulating pig production III, Proceedings of the 3rd biennial conference of the Australasian Pig Science Association, Albury, November 24 to 27, 1991, 1991, 158-161.
- PERRY G.C. The role of olfaction in the reproductive behaviour of pigs. *Pig News Inf.*, 1982, **3**, 11-15.
- PETRIE C.L., GONYOU H.W. Effects of auditory, visual and chemical stimuli on the ingestive behavior of newly weaned piglets. *J. Anim. Sci.*, 1988, **66**, 661-668.
- PHILLIPS P.A., FRASER D. Discovery of selected water dispensers by newborn pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 1991, **71**, 233-236.

- PLUSKE J.R., WILLIAMS I.H. The influence of feeder type and the method of group allocation at weaning on voluntary food intake and growth in piglets. *Anim. Sci.*, 1996, **62**, 115-120.
- POND, W.G., CHURCH D.C., POND K.R. Feed preparation and processing. In : Pond W.G., Church D.C., Pond K.R., Basic animal nutrition and feeding. 4th ed. John Wiley and Sons : New York, 1995, 353-364.
- POPOVIC S. Influence of aerodynamic properties of the nasal cavity on the function of the olfactory sense in the wild and domestic pigs. *Acta Vet. Beograd*, 1988, **38**, 287-292.
- PRESCOTT J. Taste hedonics and the role of umami. *Food Austr.* 2001, **53**, 550-554.
- RUSSELL P.J., GEARY T.M., BROOKS P.H., CAMPBELL A. Performance, water use and effluent output of weaner pigs fed ad libitum with either dry pellets or liquid feed and the role of microbial activity in the liquid feed. *J. Sci. Food. Agric.*, 1996, **72**, 8-16.
- SAUER W.C., MOSENTHIN R., PIERCE A.B. The utilization of pelleted, extruded, and extruded and repelleted diets by early weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 1990, **31**, 269-275.
- SCHÖN P.C., PUPPE B., GROMYKO T., MANTEUFFEL G. Common features and individual differences in nurse grunting of domestic pigs (Sus scrofa) : a multi-parametric analysis. *Behav.*, 1999, **136**, 49-66.
- SCOTT J.P. Introduction to animal behaviour. In: Hafez E.S.E. (Ed.), The behaviour of domestic animals. Baillière : London, 1962, 3-20.
- SEVE B., MEUNIER-SALAÜN M.C., MONNIER M., COLLEAUX Y., HENRY Y. Impact of dietary tryptophan and behavioral type on growth performance and plasma amino acids of young pigs. *J. Anim. Sci.*, 1991, **69**, 3679-3688.
- SKIBA F., CASTAING J., EVRARD J., MELCION J.P., HAZOUARD I., GATEL F. Valeur alimentaire de graines et tourteaux de colza en fonction des traitements technologiques chez le porcelet en post-sevrage. In : Institut National de la Recherche Agronomique (France), Institut Technique du Porc, 31^e Journées de la Recherche Porcine en France : Paris, 2, 3, 4 février 1999, 1999, 215-221.
- SKIBA F., NOBLET J., CALLU P., EVRARD J., MELCION J.P. Influence du type de broyage et de la granulation sur la valeur énergétique de la graine de colza chez le porc en croissance. In : Institut National de la Recherche Agronomique (France), Institut Technique du Porc, 34^e Journées de la Recherche Porcine en France : Paris, 5, 6, 7 février 2002, 2002, 67-73.
- SKOCH, E.R., BINDER, S.F., DEYOE, C.W., ALLEE, G.L., BEHNKE, K.C. Effects of pelleting conditions on performance of pigs fed a corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.*, 1983, **57**, 922-928.
- SORRELL S.P., HANCOCK J.D., TRAYLOR S.L., JOHNSTON S.L., KIM I.H., HINES R.H., KENNEDY G.A. Effects of magnesium silicate (talc) on feed flow characteristics and growth performance, carcass characteristics, and stomach morphology in finishing pigs. In: Goodband B., Tokach M., Dritz M., 1998 Swine Day Report of Progress, Kansas State University : Manhattan, 1998, 153-156.
- STEIDINGER M.U., GOODBAND R.D., TOKACH M.D., DRITZ S.S., NELSSON J.L., MCKINNEY L.J., BORG B.S., CAMPBELL J.M. Effects of pelleting and pellet conditioning temperatures on weanling pig performance. *J. Anim. Sci.*, 2000, **78**, 3014-3018.
- SUKEMORI S., IKEDA S., SUZUKI S., KURIHARA Y., ITO S. Effect of physical condition of feed such as form and hardness on feeding behavior and feed intake of pigs. *Jpn. J. Swine Sci.*, 2001, **38**, 52-58.
- THOMKE S., ELWINGER K. Growth promotants in feeding pigs and poultry. III. Alternatives to antibiotic growth promotants. *Ann. Zootech.*, 1998, **47**, 245-271.
- TSOURGIANNIS C.A., DEMECKOVA V., EDDISON J., BROOKS P.H. Effect of dietary salt (NaCl) level on biting by liquid fed growing-finishing pigs. In : Proceedings of the 37th International congress of the International Society for Applied Ethology, Abano Terme, Italy, June 24-28, 2003, 242.
- VAN DE LOO D.J.P.H. Brijbakken met verwarmd drinkwater voor gespeende biggen. Varkens rapport 15, 1996. [en ligne] (sans date) Adresse URL : <http://www.pv.wur.nl/index.asp?producten/boeken/rapport/var/15.asp>, consulté le 27/08/2003.
- VAN DER PEET-SCHWERING C.M.C., VERDOES N., PLAGGE J.G. Influence of benzoic acid in the diet on performance and urine pH of growing/finishing pigs. Research Report P5.8, Research Institute for Pig Husbandry, Rosmalen, 1999, 24 p.
- VAN DER WOLF P.J., VAN SCHIE F.W., ELBERS A.R.W., ENGEL B., VAN DER HEYDEN H.M.J.F., HUNNEMAN W.A., TIELEN M.J.M. Administration of acidified drinking water to finishing pigs in order to prevent Salmonella infections. *Vet. Q.*, 2001, **23**, 121-125.
- VAN HEUGTEN E. Mycotoxins and other antinutritional factors in swine feeds. In: Austin J.L., Southern L.L. (Eds.), Swine nutrition. CRC Press : Boca Raton, 2001, 563-583.
- WALKER N. The influence of hopper-type feeders on performance of pigs. *Pig News Inf.*, 1990, **11**, 31-33.
- WONDRA K.J., HANCOCK J.D., BEHNKE K.C., HINES R.H., STARK C.R. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 1995a, **73**, 757-763.
- WONDRA K.J., HANCOCK J.D., BEHNKE K.C., STARK C.R. Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 1995b, **73**, 2564-2573.
- YANG H., KERBER J.A., PETTIGREW J.E., JOHNSTON L.J., WALKER R.D. Evaluation of milk chocolate product as a substitute for whey in pig starter diets. *J. Anim. Sci.*, 1997, **75**, 423-429.