

Evolution de la nutrition des espèces monogastriques

Au cours des dernières décennies, le développement des productions monogastriques en France a été marqué par de très fortes évolutions structurelles et techniques, caractérisées par une spécialisation des élevages, plus importants en taille et plus réduits en nombre, de plus en plus concentrés dans des régions spécialisées pour bénéficier des meilleures conditions d'environnement technico-économique, en vue d'une productivité sans cesse accrue.

Dans le cas du porc, si l'effectif de truies est demeuré relativement stable au plan national (entre 1,1 et 1,2 millions), la production de viande a plus que doublé entre 1962 et 1993 (d'un peu moins d'un million de tonnes d'équivalent-carcasse à 2,1 millions). Le nombre d'exploitations ayant au moins une truie ou 5 porcs est passé de 250 000 en 1969 à 150 000 en 1993 ; les élevages de plus de 100 truies, très peu nombreux à cette époque, représentaient 56 % du cheptel en 1993. En ce qui concerne les porcs à l'engrais, les élevages de plus de 100 porcs (55 % des effectifs) ont fourni 95 % de la production en 1993, contre 17 % en 1966 (0,6 % des élevages) ; ceux de plus de 1 000 porcs (11 % des effectifs) y ont contribué pour 45 %. Dans cette évolution, la concentration géographique n'a cessé de s'accroître, notamment en Bretagne (de 30 % des effectifs en 1969 à 53 % en 1993). En même temps, la production s'est organisée au sein de groupements de producteurs, dont la contribution est passée de 15 % en 1969 à 90 % en 1993 (effectifs de truies).

Des évolutions semblables sont observées en aviculture avec une accentuation des tendances vers la concentration de la production entre les mains d'un nombre de plus en plus restreint d'acteurs, et vers la concentration géographique (Bretagne et Pays-de-Loire). L'organisation en filières est, elle-même, plus prononcée qu'en production porcine. En pratique, c'est le plus souvent l'abattoir qui organise la production (volume et types de produits) en fonction d'un marché. Grâce à ce dynamisme structurel, la production de viande de volailles a été multipliée par 3,8 entre 1963 et 1993. En 1993, les viandes de volailles occupaient la deuxième place en

France, juste derrière le porc (1,95 millions de tonnes) et devant les viandes bovines (1,76 millions de tonnes). Cette situation permet à la France d'être le premier producteur et le premier exportateur européen de viande de volailles et, selon les années, le deuxième ou le troisième exportateur mondial.

La filière cunicole est sensiblement moins organisée que les autres filières monogastriques : seulement 40 % des éleveurs de lapins sont affiliés à un groupement de producteurs ; ils produisent cependant 62,2 % des 110 000 tonnes d'équivalent-carcasse mises sur le marché chaque année. Cette filière est par contre très homogène, puisque 95 % de la production est assurée par des naisseurs-engraisseurs effectuant toutes les opérations d'élevage dans leur exploitation. La concentration géographique s'est fortement accentuée au cours des 10 dernières années : 58,8 % de la production est actuellement fournie par 2 régions seulement : Pays-de-Loire (36,3 %) et Bretagne (22,5 %).

Les performances du cheptel porcin ont maintenu une progression constante, qu'il s'agisse de la reproduction ou de l'engraissement. La productivité numérique des truies a ainsi augmenté de 40 % entre 1970 et 1994 (tableau 1). Son amélioration a été due en premier lieu à la diminution de l'âge au sevrage (57 jours en 1969, 28 jours dans les années 80), grâce à la mise au point de la technique de sevrage précoce (Aumaitre 1978), puis à la diminution des périodes improductives (intervalle sevrage-saillie fécondante, intervalle dernier sevrage-réforme), et enfin, plus récemment, à l'exploitation de l'hyperprolificité par la voie génétique. Chez le porc à l'engrais, la vitesse de croissance, exprimée en grammes par jour, s'est améliorée d'environ 50 g tous les 10 ans pour dépasser 700 g par jour entre 25 et 105 kg de poids vif dans l'ensemble des élevages suivis en gestion technique. En même temps, l'indice de consommation a diminué régulièrement de 0,2 à 0,3 point tous les 10 ans. Cette évolution est due à une augmentation progressive de la teneur en muscle des carcasses au détriment du gras, sous l'effet de la sélection en faveur de la croissance des tissus

Tableau 1. Evolution des performances des troupeaux porcins en France (sources : résultats de Gestion Technique des Troupeaux de truies (GTTT) et de Gestion Technico-économique (GTE), et des Tests des produits terminaux des schémas de sélection et croisement).

Troupeaux de truies	1970	1994
Sevrés/truie productive/an ⁽¹⁾	16,4	23,5
Nés vivants/portée	10,3	11,0
Age au sevrage (j)	52,1	27,2
Intervalle sevrage-saillie fécondante (j)	20,6	10,8
Portées/an	1,9	2,4
Porcs à l'engrais	1976	1994
Gain de poids moyen (g/j) ⁽²⁾	585	722
Aliment (kg/j) ⁽²⁾	2,05	2,19
Indice de consommation ⁽²⁾	3,46	2,92
Muscle (%)	48 ⁽³⁾	56,2
Schémas de sélection : race Large White ⁽⁴⁾	1977	1994
Gain de poids moyen (g/j)	834	962
Aliment (kg/j)	2,52	2,60
Indice de consommation	3,06	2,71
Rapport longe/bardière	2,68	4,12
Muscle (%)	-	55,5

(1) Diminution de l'âge au sevrage (stabilisation vers les années 1980), puis réduction des temps improductifs (puberté, intervalle sevrage-saillie, intervalle dernière saillie-réforme) et, plus récemment, amélioration de la prolificité.

(2) Entre 25 et 105 kg de poids vif.

(3) Teneur estimée.

(4) Résultats entre 35 et 100 kg de poids vif.

maigres. En raison de l'augmentation du format adulte, les porcs atteignent ainsi leur stade habituel d'abattage (100-105 kg) de plus en plus précocement, 160 jours ou moins contre 200 jours ou plus il y a 30 ans.

L'amélioration génétique, accompagnée des progrès en matière de nutrition et de maîtrise du milieu, a permis d'accomplir des progrès spectaculaires chez les espèces avicoles. La ponduse d'œuf de consommation produit, en 1995, près de 100 œufs de plus qu'en 1960 (305 œufs contre 203). Les performances des reproductrices ont seulement été maintenues dans l'espèce poule destinée à la production de poulet de chair, alors que parallèlement les performances de croissance étaient rapidement et régulièrement augmentées. Chez les espèces « nouvelles » comme la pintade, le canard de Barbarie et la dinde, les performances de reproduction et de croissance ont été significativement améliorées simultanément. Mais ce sont surtout les performances de croissance qui ont été profondément modifiées. Le poulet atteint aujourd'hui le poids vif de 2 kg à 37 jours d'âge, au lieu de 56 jours en 1975 et 70 jours en 1965. En 30 ans le poids du dindonneau a été augmenté de plus de 40 % à même âge à l'abattage. De 1980 à 1995, le poids du caneton mâle de Barbarie âgé de 84 jours a été multiplié par 1,2.

Les progrès techniques dans la filière cynicole ont été d'une ampleur comparable à celle observée dans les autres filières monogastriques. Ainsi, au cours des 35 dernières années, la production de lapins commercialisables par lapine et par an (au poids vif de 2,4 kg), est passée de 25-28 sujets en 1960 à 47,8 en moyenne en 1994. Parallèlement, la dépense alimentaire totale nécessaire pour produire 1 kg de lapin vif a été abaissée de 6 kg d'aliment concentré complet en 1965 à seulement 3,84 en moyenne en 1994. Dans le même temps, la vitesse de croissance des lapins en engraissement augmentait de 28 à 44 g/j. Ces progrès, en particulier ceux relatifs au nombre de lapins produits par lapine et par an, sont en grande partie dus à la diffusion des travaux de la recherche ; par exemple la prise en compte des travaux de l'INRA sur le rôle exact des fibres alimentaires dans le fonctionnement digestif a permis de faire passer la viabilité post-sevrage de 75-80 % seulement en 1965 à plus de 95 % actuellement. Parallèlement, selon une enquête du SCEES de février 1995, 80 % des élevages commerciaux emploient des lapines issues de croisements entre lignées spécialisées comme l'INRA le préconise depuis 1970. En outre, près de 60 % de ces lapines « hybrides » sont fournies par les réseaux de multiplication diffusant les génotypes sélectionnés par l'INRA au Centre de Toulouse, ce qui permet aux éleveurs de bénéficier de tailles de portées accrues de près de 25 % par rapport aux races pures initiales (10,2 lapins nés par portée contre 8,0 pour les meilleures races pures).

Comme l'illustre la figure 1, la production d'aliments composés a suivi une progression régulière ; elle a pratiquement triplé depuis 1970 et augmenté de 50 % depuis 1985. En 1993, la première production des industries (privées et coopératives) est destinée à l'aviculture (8 millions de tonnes), devant le porc (6,4 millions de tonnes) et les bovins (3,8 mil-

Figure 1. Production française d'aliments composés pour le bétail (en millions de tonnes).

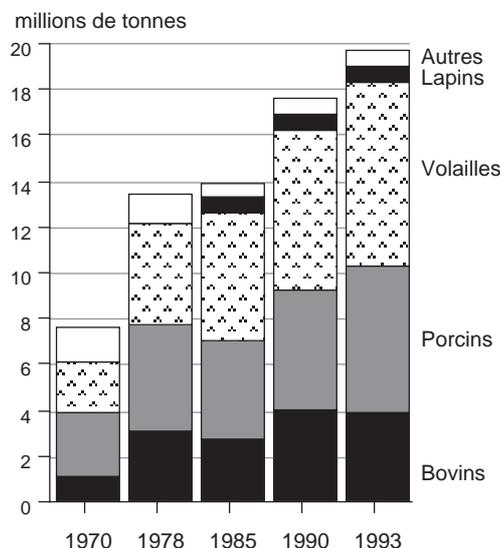
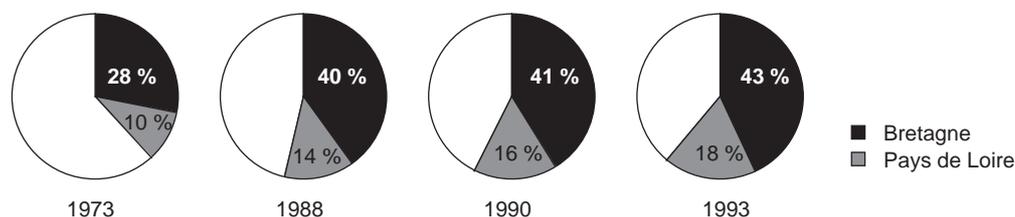


Tableau 2. Les grandes étapes de la recherche en nutrition porcine et avicole.

Nutrition porcine	1960	Nutrition avicole
<ul style="list-style-type: none"> - Rationnement des truies gestantes - Sevrage précoce du porcelet - Valeur nutritionnelle des aliments pondéreux (betteraves, pommes de terre) et sous-produits laitiers 		<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité comparée de la DL-Méthionine et du MHA - Rapport calories/protéines chez le poulet - Rôle des antibiotiques sur la nutrition du poulet
<ul style="list-style-type: none"> - Supplémentation des céréales par les acides aminés - Alimentation selon le sexe et le potentiel de production 	1965	<ul style="list-style-type: none"> - Besoins de la pondeuse en protéines et acides aminés - Utilisation du tourteau de colza
Premières journées de la recherche porcine	1969	Délocalisation de Jouy à Nouzilly
<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des protéagineux (pois, féverole, et des tourteaux métropolitains (colza, tournesol) - Interactions génétique x nutrition (porcs culards) - Prédiction de l'Energie digestible des aliments - Valeur nutritionnelle du maïs ensilé - Mise au point des aliments d'allaitement artificiel - Mesure de la charge polluante des lisiers 	1970	<ul style="list-style-type: none"> - Effets du gène de nanisme sur le métabolisme et les besoins du poulet et de la poule - Rationnement des futures pondeuses et des reproductrices - Nutrition du pintadeau et du caneton de chair
	1973	Premières journées de la Recherche Avicole et Cunicole
	1975	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des protéagineux (pois, lupin, féverole) pour réduire les importations de soja
<ul style="list-style-type: none"> - Recherches sur les tourteaux de colza pauvres en glucosinolates - Recherches sur la valeur nutritionnelle des PSC (Produits de Substitution des Céréales). 	1975	<ul style="list-style-type: none"> - Nutrition des reproducteurs pintades - Equilibre Na+K-Cl chez le poulet de chair - Alimentation calcique séparée chez la pondeuse - Rôle de l'insuline chez le poulet
Délocalisation de Jouy à Saint-Gilles	1980	
<ul style="list-style-type: none"> - Premières expériences sur le porc chinois - Métabolisme énergétique de la truie reproductrice - Effet de la température ambiante sur les besoins alimentaires du porc 	1980	<ul style="list-style-type: none"> - Programme pluriannuel de mesure de la valeur énergétique des céréales françaises (avec ITCF et ONIC) - Nutrition des canards de Barbarie reproducteurs - Métabolisme et nutrition du poulet génétiquement maigre - Nouvelles évaluations de la disponibilité du phosphore des matières premières - Rôle des polyosides non amylicés chez les volailles. Introduction du paramètre "Paois insolubles". - Equations de prédiction de la valeur énergétique des matières premières (farines de viande, tourteaux) et des aliments complets.
Publication du livre sur l'alimentation	1984	des espèces monogastriques
<ul style="list-style-type: none"> - Métabolisme énergétique du porc en croissance. Energie nette des aliments et des mat. premières - Effet de la somatotropine (pST) sur le métabolisme du porc - Méthodologie de la digestibilité iléale des acides aminés - Concept d'équilibre idéal des acides aminés alimentaires 	1985	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des graines oléagineuses entières (colza, soja) - Effets des traitements thermiques et thermo-mécaniques sur la valeur nutritionnelle des légumineuses - Rôle des polyosides non amylicés solubles chez les volailles en croissance. Effets des enzymes exogènes
Publication du livre "Le Porc"	1986	
<ul style="list-style-type: none"> - Nouveau système de prévision de la teneur en énergie nette des aliments pour les porcs 	1986	<ul style="list-style-type: none"> - Recherches sur l'efficacité des phytases ajoutés au régime - Métabolisme du poulet à température élevée
<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des rejets azotés en production porcine - Modélisation des besoins alimentaires et des rejets - Facteurs de variation de la digestibilité iléale - Etudes sur le rendement d'utilisation métabolique des acides aminés alimentaires - Interactions entre nutrition et reproduction chez la truie 	1990	Publication du livre sur le Canard de Barbarie
<ul style="list-style-type: none"> - Recherches sur l'équilibre idéal entre acides aminés alimentaires chez le poulet - Interactions génotypes-besoins en acides aminés - Nutrition de la cane Pékin reproductrice 	1991	Publication du livre "Nutrition et alimentation des volailles"
		<ul style="list-style-type: none"> - Comportement alimentaire du poulet et de la poule pondeuse

Figure 2. Part de la Bretagne et des Pays-de-Loire dans le marché français des aliments composés.

lions de tonnes). De 1967 à 1993, le tonnage d'aliments pour l'aviculture a été multiplié par 4. Ce développement s'est accompagné d'une forte concentration de la production des aliments du bétail dans le Grand-Ouest (Bretagne et Pays-de-Loire) (figure 2).

Les importants changements techniques et structurels des productions se sont accompagnés de profonds bouleversements de l'alimentation des animaux monogastriques au cours des 50 dernières années. Nous avons résumé dans le tableau 2 les grandes étapes de la recherche nutritionnelle de l'INRA pour ce qui concerne le porc et les volailles. Dans les exemples qui vont suivre, nous considérerons en premier lieu les aspects relatifs à l'évaluation des aliments et à la connaissance des matières premières. Nous envisagerons ensuite les changements intervenus dans les besoins des animaux et la manière de les étudier, notamment en relation avec l'évolution du progrès génétique. Enfin, nous aborderons les nouvelles contraintes en matière d'alimentation, en relation notamment avec les problèmes de qualité, de reproduction, de bien-être, et d'environnement (rejets), avant d'examiner les orientations futures des recherches.

Les nouveaux systèmes d'évaluation des aliments

Energie nette (porc), énergie métabolisable (volailles), énergie digestible (lapin)

Depuis les années 50, il s'est produit un profond changement dans la manière de concevoir l'évaluation énergétique des aliments pour le porc, bien que le concept de l'énergie nette (EN) ait été initié dès cette époque avec l'unité fourragère (UF) ou équivalent-orge de Leroy. En réalité, l'UF de Leroy, qui correspondait à une estimation de l'énergie nette toutes espèces confondues, faisait très vite apparaître ses limites pour le porc. A cela on pouvait avancer deux raisons : la non constance du coefficient d'estimation de l'extra-chaaleur due à la consommation d'aliment, en raison d'un rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable (EM) plus élevé chez le porc que chez les ruminants, et la nécessité de prendre en compte les variations de l'utilisation digestive de l'énergie, au-delà de la simple matière organique digestible.

Dans une première démarche, vers les années 70, après que les chercheurs allemands de Rostock aient mis au point un système de prévision de l'EN pour l'engraissement chez le porc à partir des éléments digestibles du régime, selon le fractionnement traditionnel de Weende, nous avons porté notre effort sur l'analyse des sources de variation de l'utilisation digestive de l'énergie et de la teneur en énergie digestible (ED) des aliments en fonction des teneurs en constituants pariétaux selon Van Soest, d'abord dans les matières premières, puis dans les aliments complets. Pour ces derniers, les travaux se sont inscrits au début des années 80 dans le cadre d'une action financée par le ministère de l'Agriculture et conduite en partenariat avec les professionnels et les industriels de l'alimentation animale (Perez *et al* 1985). La maîtrise de la variabilité de la teneur en ED des matières premières s'imposait avec l'accroissement des importations de produits de substitution des céréales (PSC) et l'utilisation de divers sous-produits de l'agro-industrie incorporables dans les aliments complets. Elle a donné lieu à la publication des tables INRA (1984) pour les besoins des professionnels et des industriels.

Pour ce qui concerne la prévision de l'énergie nette, une étape décisive devait être franchie lors du transfert des Recherches Porcines à Rennes-Saint-Gilles en 1980, lorsque la mise à disposition d'un équipement de chambres respiratoires permit d'analyser les voies de l'utilisation métabolique de l'énergie selon le stade physiologique, chez la truie, puis chez le porc en croissance. Les études sur l'utilisation de l'énergie pour la croissance conduisirent à proposer un nouveau système d'évaluation de l'énergie nette (EN) chez le porc (Noblet *et al* 1989), dans un contexte nouveau de production de porcs de type maigre, et prenant en compte les caractéristiques de composition chimique et les teneurs en éléments digestibles des aliments, à l'aide des nouveaux systèmes de fractionnement (Van Soest, teneur en amidon). Ce travail, entrepris avec l'appui financier du ministère de l'Agriculture, et avec la participation des professionnels et des industriels de l'alimentation animale a fait ressortir la supériorité de prédiction de ce système sur ceux existants, en particulier le système EN engraissement de Rostock. Ce dernier, alors largement utilisé dans les pays européens, et en premier lieu aux Pays-Bas, ne permettait pas en effet de séparer, dans la fraction « extractif non azoté », la contribution de l'ami-

don, hautement assimilable, de celle des parois végétales, peu digestibles. Par ailleurs, l'intégration de la valeur ED des matières premières dans les équations proposées a contribué à valoriser largement les travaux réalisés sur l'énergie digestible pendant une période d'une trentaine d'années. Des affinements du mode d'évaluation de l'énergie des aliments pour le porc ont été proposés plus récemment par la prise en compte des effets du stade physiologique des animaux, sur la base d'une utilisation digestive de l'énergie plus élevée chez le porc adulte à l'entretien (truie) que chez les animaux en croissance, alors que l'utilisation métabolique reste sensiblement la même. En définitive, la mise au point du système EN croissance a permis de corriger la surestimation des valeurs fournies par l'ED dans les sources azotées riches ou dans les aliments riches en fibres, et leur sous-estimation dans les graisses (tableau 3).

Tableau 3. Hiérarchie des valeurs énergétiques de quelques matières premières pour le porc, selon le système d'évaluation (Noblet 1993).

Matière première	Energie	
	digestible	nette
Mais (MJ/kg MS)	15,79	12,41
% Mais	100	100
Orge	95	93
Blé	102	98
Tourteau de soja	103	65
Pois	103	89
Manioc	100	104
Corn gluten feed	55	52
Graisses	189	236

La mise au point du système EN a permis de corriger la surestimation des valeurs fournies par l'ED dans les sources azotées riches (tourteau de soja, pois) ou dans les aliments riches en fibres (corn gluten feed), et leur sous-estimation dans les graisses.

Les progrès ont été moins spectaculaires en aviculture. Le système « énergie métabolizable » (EM) demeure jusqu'à présent la référence internationale. Il a surtout bénéficié d'améliorations méthodologiques conduisant à plus de précision et de facilité d'exécution. Le principal apport de l'INRA a été d'affiner ou de créer de nouveaux descripteurs analytiques permettant d'apprécier plus correctement la valeur énergétique des aliments et des matières premières. C'est ainsi que les « parois insolubles » (polyosides non amyliques insolubles) (Carré et Brillouet 1989), mesurées par combinaison de réactions enzymatiques et chimiques, s'avère à la fois un excellent prédicteur dans les équations de régression linéaire multiple et une caractéristique très reproductible entre laboratoires. Entre 1975 et 1985, ces méthodologies ont permis d'analyser de nombreux échantillons de matières premières françaises et européennes (céréales, farines de viandes, tour-

teaux, protéagineux, graines oléagineuses...) et d'en cerner les critères analytiques les plus appropriés à l'estimation de leur valeur énergétique.

Pour le lapin, les travaux sur les nouveaux systèmes d'évaluation des aliments sont récents : il y a 15 ans encore, seule la composition brute des matières premières était prise en considération. Des progrès importants ont été réalisés au cours des dix dernières années avec la définition d'un système, considéré d'ailleurs par tous comme encore provisoire, basé sur la digestibilité fécale de l'énergie et de l'azote, et élaboré en concertation avec les chercheurs des différents pays européens concernés par le lapin. Les travaux en cours devraient d'ici quelques années déboucher sur un système d'énergie nette.

Protéines : digestibilité iléale des acides aminés

Pendant longtemps, l'évaluation des apports de protéines chez le porc a été limitée aux quantités totales ou digestibles apparentes au niveau fécal. Il a d'abord fallu disposer des méthodes d'analyse des acides aminés par chromatographie liquide pour caractériser la qualité des protéines alimentaires par leurs teneurs en acides aminés totaux relativement aux profils des besoins des animaux. Devant l'insuccès de la mesure de la digestibilité fécale des acides aminés, du fait des remaniements des acides aminés non absorbés lors de la synthèse des protéines microbiennes dans le gros intestin, il a fallu attendre les années 80 pour disposer d'un modèle de mesure de la digestibilité iléale (à la fin de l'intestin grêle) des acides aminés, par l'utilisation d'animaux porteurs de canules digestives ou d'une anastomose iléo-rectale, pour pouvoir entreprendre des mesures sérieuses visant à caractériser les différentes matières premières et les sources de variabilité. La contribution de l'INRA a surtout été de mettre au point la méthodologie d'étude (Laplace *et al* 1985), puis de proposer une stratégie d'approche de l'étude des matières premières (évaluation des pertes endogènes, digestibilité vraie), conduisant à l'élaboration de tables de composition et de digestibilité des acides aminés dans les différents aliments consommés par les porcs.

En nutrition avicole, le passage des acides aminés totaux aux acides aminés digestibles a été également la préoccupation de tous (chercheurs, professionnels). En l'absence de gros intestin et du fait de la faible activité microbienne dans les caeca, les mesures de digestibilité sont plus simples que chez le porc. L'INRA a surtout contribué à utiliser cette méthode pour préciser les effets (bénéfiques ou néfastes) des traitements technologiques (thermiques) sur la biodisponibilité des acides aminés des tourteaux (cuisson, désolvantation) et des protéagineux (pois et féverole). En partenariat avec des firmes privées (Guyomarc'h, Rhône-Poulenc) ces études ont conduit à l'établissement de tables de

digestibilité moyenne des différents acides aminés.

En ce qui concerne le lapin, l'estimation de la biodisponibilité des acides aminés est recherchée, mais elle se heurte à la complexité de son système digestif qui recycle les protéines microbiennes synthétisées dans sa partie terminale. Elle devrait conduire à l'élaboration d'un système original d'évaluation de la fraction azotée, prenant en compte la complexité du système digestif de ce monogastrique herbivore.

Connaissance approfondie des matières premières

L'alimentation des monogastriques au cours des dernières décennies a été caractérisée par une diversification accrue de l'approvisionnement en matières premières, avec un emploi massif des PSC en substitution des céréales, le développement de la production de protéines complémentaires en Europe (oléo-protéagineux), et une disponibilité accrue de sous-produits d'une agro-industrie en expansion. A l'appui des innovations variétales et technologiques, il en est ainsi résulté de nombreux travaux visant à définir les conditions optimales d'utilisation des matières premières, par une meilleure connaissance de la biodisponibilité des nutriments (amidon, acides aminés, phosphore...), et par une plus grande maîtrise des effets des facteurs antinutritionnels (glucosinolates du colza, tanins du sorgho et de la féverole...) sur la croissance ou la reproduction. Après les céréales, un effort particulier a été consacré à l'étude des conditions d'emploi des protéagineux (pois, féverole, lupin) et des tourteaux issus des oléagineux métropolitains (colza, tournesol), puis des sous-produits de l'agro-industrie, en liaison étroite avec les secteurs de l'amélioration des plantes et de la technologie. De nombreuses équations de prédiction des valeurs nutritionnelles, énergétiques et azotées, ont été établies, qui ont abouti à l'élaboration de tables complètes de composition et de valeur alimentaire pour les volailles (Larbier et Leclercq 1992), le porc et le lapin (INRA 1984, réédition en 1989).

Les besoins des animaux : une démarche factorielle de la détermination des besoins nutritionnels

L'étude des besoins nutritionnels s'appuyait jusqu'aux années 70 sur une approche globale et empirique, sur la base d'essais sur animaux au coup par coup, conduisant à des applications à caractère ponctuel et de portée limitée, sous forme de recommandations moyennes. La mise en œuvre d'une démarche analytique, par l'étude des mécanismes et des facteurs de variation, devait contribuer progressivement à l'élaboration d'une stratégie

de prévision des besoins alimentaires par l'approche factorielle. Celle-ci était basée sur une quantification des dépenses (entretien, productions) et des rendements d'utilisation des nutriments pour la formation des dépôts (croissance) ou pour l'exportation des nutriments (lactation, ponte). C'est ainsi que successivement les besoins en minéraux (calcium, phosphore), en énergie, et en acides aminés, ont pu être estimés à l'aide de modèles de prévision prenant en compte les facteurs liés aussi bien à l'animal (type génétique ou sexuel) qu'aux conditions de milieu (milieu thermique). Cette démarche permet d'estimer, a priori, les besoins de nouveaux génotypes et l'incidence de nouvelles conditions d'élevage.

Chez le porc, cette approche factorielle pour la prévision du besoin énergétique a été mise en œuvre avec la réalisation de bilans énergétiques, d'abord chez la truie en gestation et en lactation (Dourmad *et al* 1994), et plus récemment chez le porc en croissance, en intégrant la forte variabilité entre types génétiques et entre types sexuels. Au cours des dernières années, la mesure de l'efficacité d'utilisation des acides aminés et l'étude cinétique des dépôts de protéines et d'acides aminés au cours de la croissance ou du cycle de reproduction ont permis d'initier une approche factorielle de la détermination des besoins du porc en protéines et en acides aminés en relation avec le potentiel de production (Sève 1994). Pour l'énergie comme pour les protéines, la prévision des apports alimentaires peut désormais se raisonner en terme de modélisation, en vue de son application au niveau de l'alimentation animale. L'amélioration des conditions de logement et d'ambiance, en plaçant les animaux dans un milieu thermique optimal, a contribué à abaisser de façon significative le coût alimentaire (Le Dividich et Rinaldo 1989).

Après les années 80, le potentiel génétique est devenu un élément déterminant dans l'évolution des besoins nutritionnels (tableau 4). C'est ainsi que chez le porc, la croissance accrue des tissus maigres sous l'effet de la sélection, principalement au cours des 10 dernières années, a entraîné un accroissement progressif des besoins en acides aminés relativement à l'énergie. Déjà, vers les années 70, la mise en place d'une action concertée sur le porc culard (porcs de Piétrain et Landrace Belge : Sellier *et al* 1974) avait fourni l'opportunité d'établir une différenciation dans l'importance des besoins nutritionnels selon l'intensité du développement musculaire, dont l'étude n'a cessé de prendre de l'importance au cours de la période récente. Cette évolution de la composition tissulaire, en même temps que l'amélioration de la prolificité, a conduit à son tour à reconsidérer la bonne adéquation des apports d'énergie et d'acides aminés chez la truie reproductrice, afin de compenser la forte mobilisation des réserves lipidiques corporelles au cours de la lactation par leur restauration pendant la gestation suivante.

Tableau 4. Evolution des recommandations alimentaires moyennes pour les porcs au cours des 25 dernières années.

Année	1970	1995
Truie en gestation ⁽¹⁾ □		
Aliment (kg/j)	2,0	2,7
Protéines (%)	12	12
Lysine - en % aliment	0,40	0,45
- en g/j	8	12 + 50 %
Truie en lactation ⁽¹⁾ □		
Aliment (kg/j)	5,5	ad libitum (5,5-6,0)
Protéines (%)	14-15	16,5
Lysine - en % aliment	0,60	0,85-0,90
- en g/j	33	45-50 + 50 %
Porc en croissance-finition ⁽²⁾ :		
Aliment (kg/j)	2,1	2,2
Protéines (%)	16	17
Lysine - en % aliment	0,70	0,90-0,95
- en g/j	15	20-21 + 35 %

(1) Il y a 25 ans, on préconisait le rationnement de la truie en gestation pour économiser l'aliment et réduire le coût de production du porcelet. Aujourd'hui, l'amélioration de la productivité numérique de la truie, qui dispose de moins de réserves grasses, oblige à reconsidérer en hausse les niveaux d'apports quotidiens d'énergie et d'acides aminés.

(2) Aliment unique. Le rationnement alimentaire pour produire des carcasses plus maigres a fait place à une alimentation libérale ou à volonté pour les nouveaux génotypes maigres et à croissance rapide. En 25 ans, la vitesse de croissance et l'indice de consommation ont respectivement augmenté et diminué en moyenne de 25-30 %.

Les travaux sur la nutrition azotée du porc ont mis en évidence dès les années 60 la possibilité d'améliorer la qualité des protéines par la supplémentation en acides aminés industriels (Rérat et Henry 1969), et de proposer des solutions d'économie de protéines, en particulier lors du premier choc pétrolier et de la première « crise du soja » de 1973. Mais ce n'est que plus tard que cette notion d'équilibre en acides aminés a conduit à l'élaboration d'un concept nouveau de besoin de protéine équilibrée ou « idéale » pour le porc, dont les avantages sont vite apparus, que ce soit pour réduire les excès alimentaires et les rejets d'azote par les élevages, ou pour favoriser l'optimisation des performances, notamment par une meilleure utilisation des nutriments (énergie, acides aminés) et par une stimulation de l'appétit pour la production de tissus maigres (Henry 1993).

Il en est de même en nutrition avicole où la prévision des besoins (énergie, acides aminés, minéraux) a bénéficié non seulement aux espèces « classiques », tels la poule pondeuse et le poulet de chair, mais également aux espèces « nouvelles » ou « secondaires » qui sont souvent des spécialités françaises (canard de Barbarie, pintade). C'est aussi le

cas des génotypes nouveaux issus de sélections expérimentales qui devancent les génotypes « du commerce ». Il est ainsi possible de prévoir les conséquences de la sélection pour un critère donné sur la nutrition de l'espèce. Des découvertes assez originales ont ainsi été faites chez les génotypes à faible adiposité, démontrant clairement que la sélection peut modifier de façon significative les besoins des animaux. En effet, les animaux à adiposité réduite exigent des aliments plus riches en acides aminés indispensables ; mais, paradoxalement, ils utilisent ceux-ci plus efficacement.

Comportement alimentaire

L'appétit des animaux a toujours constitué un problème majeur pour l'optimisation de leurs performances de production. En ce qui concerne le porc, il s'agissait au départ de limiter l'ingestion alimentaire pour diminuer l'adiposité des carcasses, par la détermination de la concentration énergétique optimale des régimes chez les animaux nourris à volonté et par la mise au point de plans de rationnement alimentaire conciliant les impératifs d'efficacité alimentaire et de qualité de carcasse (Henry et Etienne 1978). Mais, progressivement, à la faveur de la sélection sur la croissance des tissus maigres, le problème s'est inversé, pour chercher en définitive à favoriser un appétit devenu limitant chez les animaux de type maigre et à croissance rapide. La mise à disposition, au cours des dernières années, de systèmes d'alimentation automatisés et individualisés a permis de reprendre les études de comportement alimentaire initiées vers les années 60 (profils d'ingestion), en relation avec les conditions de logement et les potentiels génétiques des animaux.

En aviculture, le comportement alimentaire devient aussi une préoccupation commune. L'INRA l'a d'abord illustrée par des expériences sur le choix alimentaire, en particulier chez la poule pondeuse. Les fondements métaboliques comme les intérêts pratiques de l'alimentation calcique séparée ont fait l'objet d'investigations très complètes. Il en est de même de la texture de l'aliment (taille des particules, granulation...). Poursuivies sur des espèces « capricieuses » comme la dinde, ces approches sont prometteuses de retombées pratiques très intéressantes.

De nouvelles contraintes

L'évolution du type d'animal comme des conditions d'élevage au cours des dernières décennies n'a pas été sans générer de nouvelles contraintes, de plus en plus fortes, concernant l'incidence de l'alimentation sur la qualité des produits, la reproduction, les problèmes de bien-être et de santé, et l'environnement, nécessitant la mise en œuvre de

nouvelles recherches pluridisciplinaires de type intégré.

Relations alimentation - qualité des produits

Chez le porc, les effets de l'alimentation sur la qualité du gras ont pris une dimension nouvelle à mesure que les efforts de la sélection ont contribué, en réduisant les masses adipeuses, à la production de dépôts gras de plus en plus insaturés et mous, répondant ainsi moins bien aux contraintes technologiques de la transformation. Les travaux réalisés (Mourot *et al* 1991) ont contribué à fixer les nouveaux seuils d'incorporation d'acides gras insaturés (acide linoléique) compatibles avec un degré d'insaturation acceptable pour les dépôts gras.

Chez les volailles il en a été de même à propos de la maîtrise, par voie nutritionnelle, de l'importance des dépôts adipeux et de leur texture. La réduction de l'adiposité et l'abaissement de l'indice de consommation peuvent être obtenus par des aliments enrichis en protéines.

Relations alimentation - reproduction

Comme pour la croissance, les relations entre l'alimentation et la reproduction, chez la truie, se sont modifiées dans le temps au fur et à mesure de la sélection sur la croissance musculaire. Initialement, la truie en gestation accroissait inutilement ses masses adipeuses, de sorte que le rationnement alimentaire s'imposait pour abaisser le coût de l'alimentation (Salmon-Legagneur 1965). Mais, progressivement, la diminution des réserves adipeuses dans les lignées maternelles de type maigre, notamment chez des femelles primipares où elles atteignaient seulement 30 à 40 % du poids à maturité, a conduit à reconsidérer le niveau des apports alimentaires (énergétiques et azotés) pour faire face à une productivité accrue tout en sauvegardant la longévité. Ceci a donné lieu à l'adaptation de la conduite alimentaire de la truie au cours du cycle de reproduction en fonction de sa productivité et de son état nutritionnel (Dourmad *et al* 1994).

La conduite d'élevage des reproducteurs des espèces avicoles destinés à la production de viande a concerné autant les mâles que les femelles. Ces génotypes, au potentiel de croissance exacerbé, exigent un rationnement très strict pendant la période de croissance sous peine de compromettre la reproduction ultérieure. Initiées sur les croisements créés par l'INRA avant 1975 (Vedette, pondeuses à œufs colorés M41 et M519), ces études ont été poursuivies par la suite sur les croisements commerciaux, et généralisées aux espèces « secondaires » (pintade, canard de Barbarie, oie). De ce point de vue l'INRA a apporté sa contribution aux guides d'élevage des reproducteurs des firmes françaises de sélection.

Bien-être et comportement

La période récente a vu l'émergence des problèmes de confort et de bien-être, en relation avec une certaine perception de l'image des productions et des produits. Dans le cas du porc, la compétitivité de la production n'a pu être assurée qu'en maintenant un système d'élevage en bâtiment fermé présentant les conditions optimales d'environnement thermique pour la transformation de l'aliment. Les observations sur le comportement social ont mis en évidence une certaine plasticité du porc dans sa capacité d'adaptation aux techniques modernes d'élevage en confinement (Meunier-Salaün *et al* 1987). Néanmoins, il existe des limites à cette adaptation, en particulier chez les truies qui subissent une restriction alimentaire et répondent en développant des comportements aberrants (stéréotypies). Une des voies actuellement prometteuses consiste à incorporer des constituants fibreux dans la ration, ce qui permettrait d'envisager une distribution libérale évitant les stéréotypies.

Environnement : relations alimentation - rejets d'élevage

La forte concentration des populations animales monogastriques dans les bassins de production a entraîné des rejets excessifs dans le milieu par les effluents d'élevage (azote, phosphore, oligo-minéraux). Ceci a conduit, dans les années 90, à rechercher des solutions préventives permettant, par l'alimentation, de réduire l'importance des rejets, plus particulièrement dans le cas de l'azote. C'est ainsi qu'a été réalisée une étude européenne (1991-1994), coordonnée par l'INRA, qui a permis d'évaluer des stratégies d'alimentation respectueuses de l'environnement, combinant un ajustement continu des apports azotés en fonction du potentiel de production (alimentation par phase) et leur réduction quantitative par une amélioration de l'équilibre en acides aminés, en vue d'un abaissement des rejets d'azote dans le lisier, ainsi que des émissions d'ammoniac dans l'atmosphère (Dourmad et Henry 1994). En même temps, il convenait d'en mesurer l'impact économique sur le coût de l'alimentation (Dourmad *et al* 1995). Un modèle de prévision des rejets azotés dans les élevages porcins à partir des intrants alimentaires et des productions a été mis au point, et est désormais utilisé dans la pratique, pour les besoins des professionnels et des décideurs économiques et administratifs. Par rapport à la situation d'apport pléthorique de protéines qui a prévalu jusqu'à présent, il est ainsi possible d'abaisser le niveau des rejets azotés de 50 %, en associant une conduite alimentaire par phase et l'emploi de régimes parfaitement équilibrés en acides aminés. Une réduction de l'ordre de 25 % s'est avérée réalisable, sans augmentation du coût alimentaire, dans le contexte technico-économique suivant la réforme de la Politique Agricole Commune (PAC).

Des études similaires ont été initiées à la même époque chez le poulet de chair en partenariat avec les firmes européennes produisant des acides aminés « industriels » (synthèse chimique ou bactérienne). On est ainsi en mesure actuellement de réduire de 15 à 20 % les rejets d'azote. Ce sont les conditions économiques (marché des matières premières) qui, pour le moment, régulent ces rejets. En outre les rejets de phosphore ont été abordés en aviculture. La biodisponibilité du phosphore végétal a fait l'objet d'investigations basées sur une méthodologie renouvelée (Sauveur 1983, 1989), ce qui a permis d'introduire des valeurs originales intéressantes dans les diverses tables de composition élaborées par l'INRA (INRA 1984 et 1989, Larbier et Leclercq 1992). En particulier le phosphore du blé et de l'orge s'est trouvé très revalorisé.

En ce qui concerne le lapin, une analyse critique des recommandations anciennes et différents contrôles expérimentaux ont permis de réduire de 40 % les rejets de phosphore de la partie maternité des élevages cunicoles. Une réduction de même ampleur est attendue des travaux en cours sur les lapins en engraissement.

Orientations futures

Faisant suite à une approche globale au coup par coup, les recherches sur l'alimentation des animaux monogastriques ont progressé depuis les années 70 suivant une démarche analytique et explicative, incluant l'exploration des voies métaboliques et d'utilisation des nutriments, ainsi que des mécanismes de régulation. Désormais, de nouvelles avancées sont possibles en menant de front la démarche analytique et une approche plurifactorielle (relations nutrition-génétique, nutrition-milieu, nutrition-santé...), notamment pour la mise en œuvre de modèles de prévision opérationnels, qu'il s'agisse de la valeur des aliments, des besoins nutritionnels, de l'optimisation des conditions d'élevage ou de la protection de l'environnement. Un rapprochement de la zootechnie et de l'économie devrait permettre de mieux optimiser la formulation alimentaire en fonction des contraintes économiques (prix relatifs de l'énergie et des protéines, prix des produits, contraintes de qualités, contraintes de l'environnement). Cela devrait permettre de tirer le plus grand bénéfice des travaux qui ont été conduits jusqu'à présent à l'intérieur de

chaque discipline, tout en incluant les résultats des études analytiques en cours. Parallèlement, il convient de poursuivre l'approfondissement des mécanismes, en vue des futures innovations des années 2000.

En ce qui concerne le porc, l'importance du progrès génétique a permis d'atteindre un niveau de performances (gain journalier, teneur en muscle) qui oblige à prendre en compte des contraintes plus fortes de qualité et d'acceptabilité des produits. De nouvelles voies d'amélioration de l'efficacité alimentaire, pour une compétitivité des élevages encore meilleure, seront à rechercher, notamment au niveau des conditions d'ambiance et de l'état sanitaire, en relation avec la nutrition. L'utilisation accrue des lignées de truies hyperprolififiques va exiger un effort supplémentaire de recherche sur la nutrition du nouveau-né, pour améliorer le taux de survie (qui a peu évolué depuis 15 ans) et élever les porcelets surnuméraires dans les conditions de croissance optimale. Pour maintenir une bonne image des productions monogastriques, il conviendra également de porter une attention accrue aux aspects liés au bien-être et au confort animal. En particulier, chez la truie, cela peut se traduire par le développement de techniques d'alimentation permettant de mieux répondre à sa motivation alimentaire.

Les relations entre l'état sanitaire et l'alimentation sont devenues une préoccupation nouvelle pour l'élevage des animaux, en particulier pour ce qui concerne les aspects immunologiques, principalement pendant le jeune âge. Ce problème, qui a été relativement peu étudié jusqu'à présent chez le porc, devient de plus en plus préoccupant, par les pertes économiques qui en résultent, du fait d'un écart qui demeure important entre les performances des troupeaux de sélection et celles enregistrées communément dans les élevages.

Jusqu'à présent, les recherches sur l'alimentation des monogastriques à l'INRA ont surtout privilégié l'étude des nutriments majeurs, énergétiques et azotés. Un effort particulier devra désormais être porté sur les minéraux, les oligoéléments et les vitamines, très peu ou pas étudiés jusqu'à présent. Dans les secteurs nouveaux ou insuffisamment explorés, il convient également de mentionner les recherches sur le comportement alimentaire et l'étude des effets des traitements technologiques sur la valeur nutritionnelle des matières premières.

Pour en savoir plus

- Aumaitre A., 1978. Les conséquences zootechniques du sevrage précoce du porcelet. Journées Rech. Porcine en France, 10, 251-273.
- Carré B., Brillouet J.M., 1989. Determination of water insoluble cell walls in feed : interlaboratory study. J. AOAC, 72, 463-467.
- Dourmad J.Y., Henry Y., 1994. Influence de l'alimentation et des performances sur les rejets azotés des porcs. INRA Prod. Anim., 7, 263-274.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Noblet J., 1994. Les besoins énergétiques et protéiques de la truie reproductrice. Revue de Médecine Vétérinaire, 145, 641-649.
- Dourmad J.Y., Le Mouél C., Rainelli P., 1995. Réduction des rejets azotés des porcs par la voie alimentaire : évaluation économique et influence des changements de la Politique Agricole Commune. INRA Prod. Anim., 8, 135-144.
- Henry Y., 1993a. Alimentation du porc pour la production de viande maigre : évolutions récentes et perspectives. INRA Prod. Anim., 6, 31-45.
- Henry Y., 1993b. Affinement du concept de la protéine idéale pour le porc en croissance. INRA Prod. Anim., 6, 199-212.
- Henry Y., Etienne M., 1978. Alimentation énergétique du porc. Journées Rech. Porcine en France, 10, 119-165.
- INRA, 1989. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. 2^e édition, INRA, Paris, 282 pp.
- ITP, 1971. Memento de l'éleveur de porc. Institut Technique du Porc, Paris, p. 248-270.
- ITP, 1993. Le Porc par les chiffres 1993. Institut Technique du Porc, Paris, 40 pp.
- ITP, 1994. Porc performances 1994. Institut Technique du Porc, Paris, 58 pp.
- Laplace J.P., Darcy-Vrillon B., Picard M., 1985. Evaluation de la disponibilité des acides aminés - Choix raisonné d'une méthode. Journées Rech. Porcine en France, 17, 353-370.
- Larbier M., Leclercq B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles. INRA, Paris, 355 pp.
- Le Dividich J., Rinaldo D., 1989. Effets de l'environnement thermique sur les performances du porc en croissance. Journées Rech. Porcine en France, 21, 219-229.
- Meunier-Salaün M.C., Vantrinponte M.N., Raab A., Dantzer R., 1987. Effect of floor area restriction upon performance behavior and physiology of growing-finishing pigs. J. Anim.Sci., 64, 1371-1377.
- Mourot J., Chauvel J., Le Denmat M., Mounier A., Peiniau P., 1991. Variations de taux d'acide linoléique dans le régime du porc : effets sur les dépôts adipeux et sur l'oxydation du C 18 :2 au cours de la conservation de la viande. Journées Rech. Porcine en France, 23, 357-364.
- Noblet J., 1993. Les systèmes d'appréciation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. INRA Prod. Anim., 6, 105-115.
- Noblet J., Fortune H., Dubois S., Henry Y., 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA éd., Paris, 106 pp.
- Perez J.M., Mornet P., Rérat A., 1986. Le Porc et son élevage, bases scientifiques et techniques. Maloine, Paris, 575 pp.
- Perez J.M., Ramihone R., Henry Y., 1985. Prédiction de la valeur énergétique des aliments composés destinés au porc : étude expérimentale. INRA éd., Versailles, ISBN : 2-85340-639-3.
- Rérat A., Henry Y., 1969. Supplémentation des céréales par les acides aminés chez le porc pendant la période de finition. Journées Rech. Porcine en France, 1, 143-149.
- Salmon-Legagneur E., 1965. Quelques aspects des relations nutritionnelles entre la gestation et la lactation chez la truie. Thèse Univ. Paris. Ann. Zootech., 14, N° hors série, 137 pp.
- Sauveur B., 1983. Bioavailability to poultry of plant origin phosphorus. Methodological criticisms and results. Proceedings of the 4th European Symposium on Poultry Nutrition, Tours, 103-113.
- Sauveur B., 1989. Phosphore phytique et phytases dans l'alimentation des volailles. INRA Prod. Anim., 2, 343-351.
- Sellier P., Houix Y., Desmoulin B., Henry Y., 1974. Premières observations sur la relation entre conditions nutritionnelles et type génétique chez des porcs femelles. Journées Rech. Porcine en France, 6, 209-219.
- Sève B., 1994. Alimentation du porc en croissance : intégration des concepts de protéine idéale, de disponibilité digestive des acides aminés et d'énergie nette. INRA Prod. Anim., 7, 275-291.