

Amélioration de la qualité de la viande par une supplémentation flash en méthionine dans l'alimentation des porcs en finition

Bénédicte LEBRET (1), Dolores I. BATONON-ALAVO (2), Marie-Hélène PERRUCHOT (1), Yves MERCIER (2), Florence GONDRET (1)

(1) PEGASE, Agrocampus-Ouest, INRA, 35590 Saint-Gilles, France

(2) ADISSEO France SAS, CERN, 03600 Commentry, France

Benedicte.Lebret@inra.fr

*Avec la collaboration de Sophie DARE, Sandrine TACHER, Frédérique MAYEUR, Nathalie BONHOMME
et le personnel de l'UEPR, INRA Saint-Gilles*

Amélioration de la qualité de la viande par une supplémentation flash en méthionine dans l'alimentation des porcs en finition

L'alimentation peut moduler la qualité des viandes. Outre son rôle favorable sur la croissance musculaire, la méthionine (Met) influence les capacités antioxydantes tissulaires. Accroître ces capacités in vivo pourrait limiter l'oxydation tissulaire post-mortem et améliorer la qualité des produits. L'étude visait à déterminer l'influence d'une supplémentation en Met dans l'aliment à des doses excédant le besoin de croissance, sur les caractéristiques tissulaires et la qualité de viande. A 70 kg, 45 porcs femelles LWxLD x Piétrain NN ont été répartis en trois traitements expérimentaux selon le niveau d'apport en acides aminés soufrés digestibles Met et cystéine (Cys): CONT (4,5 g/kg Met+Cys, niveau recommandé en finition), Met+ (8,9 g/kg Met+Cys) ou Met++ (13,3 g/kg Met+Cys). Les porcs étaient d'abord alimentés avec l'aliment CONT, puis recevaient durant 14 jours avant abattage, respectivement, l'aliment CONT, Met+ ou Met++. La vitesse de croissance, l'ingéré, l'indice de consommation, le poids et la teneur en muscle des carcasses ne différaient pas entre traitements ($P > 0,05$). Comparés aux traitements CONT et Met+, les porcs Met++ présentaient des teneurs musculaires supérieures en glutathion à l'abattage ($P < 0,01$). Le pH ultime était plus élevé dans la longe et le jambon des porcs Met++ (+0,10 à 0,15 point, $P < 0,01$). La luminance, l'angle de teinte et les pertes en eau de la longe après 7 jours de maturation tendaient à être réduits ($P < 0,10$) chez les porcs Met++. La supplémentation en Met améliorait l'index de qualité de viande de façon dose-dépendante ($P < 0,05$). Ainsi, une supplémentation alimentaire flash en Met (5 x le besoin de croissance) améliore la qualité des viandes sans altérer les performances et les caractéristiques des carcasses.

Improvement of pork quality by "flash" methionine supplementation in the diet of finishing pigs

Pork quality can be modulated by pig diet. Besides increasing muscle growth, methionine (Met) influences tissue antioxidant capacities. Increasing these capacities in vivo could limit post-mortem tissue oxidation and improve product quality. The purpose of this study was to determine the influence of Met dietary supplementation at levels exceeding growth requirements on tissue characteristics and meat quality. At 70 kg, 45 LWxLD x Pietrain NN female pigs were distributed among three experimental treatments according to the level of digestible sulfur amino acids Met and cysteine (Cys) in the finishing diet: CONT (4.5 g/kg Met+Cys, recommended level for finishing pigs), Met + (8.9 g/kg Met+Cys) or Met++ (13.3 g/kg Met+Cys). Pigs were first fed the CONT diet and then, for the last 14 days before slaughter, they received the CONT, Met+ or Met++ diet. Growth rate, feed intake, feed conversion ratio, carcass weight and lean meat content did not differ between treatments ($P > 0.05$). Compared to CONT and Met+ treatments, the Met++ pigs had higher muscular glutathione levels at slaughter ($P < 0.01$). Ultimate pH was higher in the loin and ham (+ 0.10 to 0.15 point, $P < 0.01$) of the Met++ pigs. Loin meat of Met++ pigs tended to have less lightness, hue angle and drip loss after 7 days of aging ($P < 0.10$). Met supplementation improved the meat quality index in a dose-dependent manner ($P < 0.05$). Altogether, dietary supplementation of Met (at 5 times that required for growth) improves pork quality without impairing animal performance or carcass traits.

INTRODUCTION

La méthionine (Met) est un acide aminé (AA) essentiel pouvant être limitant pour la croissance chez le porc. Les besoins estimés pour la croissance peuvent être couverts par une alimentation incluant des matières premières riches en matières azotées (tourteaux, protéagineux). Cependant, afin de réduire les teneurs en protéines des régimes pour limiter les rejets azotés, il est courant d'incorporer des AA de synthèse dont la Met, disponible sous forme de DL-méthionine ou de son analogue DL-2-hydroxy-4-méthylthiobutanoïque acide (HMTBA). La Met est un AA soufré impliqué dans la constitution de pratiquement toutes les protéines animales. Chez le jeune porc, une carence en Met réduit l'accrétion protéique et les performances de croissance (Conde-Aguilera *et al.*, 2010, 2016a) ; elle accroît les dépôts lipidiques dans la carcasse et les tissus adipeux et musculaires via une stimulation de l'expression de gènes du métabolisme lipidique, suite à une redistribution de l'énergie alimentaire disponible (Castellano *et al.*, 2015). Chez le porc en croissance-finition, la carence en Met modifie la composition en AA des protéines et favorise le stockage du glucose sous forme de glycogène dans le muscle (Conde-Aguilera *et al.*, 2014). La Met intervient aussi dans de nombreuses fonctions non protéinogènes (Tesseraud *et al.*, 2009). C'est notamment le précurseur de la cystéine, un AA soufré semi-essentiel impliqué dans la synthèse de glutathion et de taurine, deux agents antioxydants cellulaires majeurs. Une carence en Met chez le jeune porc réduit la quantité de glutathion dans le foie et/ou le muscle et s'accompagne de l'activation des systèmes enzymatiques antioxydants dans le muscle et/ou le tissu adipeux (Castellano *et al.*, 2015 ; Conde-Aguilera *et al.*, 2016a). Ces modifications pourraient moduler les capacités de défense contre le stress oxydant et influencer le niveau d'oxydation des protéines, des lipides ou de l'ADN, avec des conséquences sur la physiologie et la santé de l'animal. En période post-mortem (p.m.), elles pourraient également influencer sur l'évolution biochimique du muscle en viande et l'aptitude de la viande à la conservation. Les études considérant les effets d'une supplémentation en Met à des niveaux d'apport excédant les besoins pour la croissance sont peu nombreuses. Chez le porcelet, un excès important de Met (4 fois le besoin) réduit le niveau d'ingestion alors que des excès plus modérés (x 0,5 à 2) ne modifient pas les performances (Fau *et al.*, 1980 ; Edmonds *et al.*, 1987a,b). L'activité de la méthionine adenosyl transferase, une enzyme qui catalyse la première étape de la voie de trans-sulfuration de la méthionine en glutathion, est induite proportionnellement à la quantité de méthionine ingérée (Fau *et al.*, 1980), ce qui suggère qu'il serait possible d'accroître la teneur en glutathion de certains compartiments tissulaires en augmentant les apports en méthionine.

Si le porc semble tolérer un excès de méthionine par rapport à son besoin pour la croissance, les réponses observées pourraient toutefois varier selon l'âge de l'animal, la durée de la supplémentation mais aussi la forme chimique de Met utilisée (DL-Met ou HMTBA). Par exemple, chez le porcelet allaité par une truie recevant un régime supplémenté en HMTBA, les concentrations en glutathion dans l'intestin et en cystéine (Cys) dans le plasma sont supérieures à celles mesurées chez un porcelet allaité par une truie recevant un régime supplémenté en DL-Met (Li *et al.*, 2014). Des poulets nourris avec des régimes enrichis en HMTBA ont des concentrations hépatiques en glutathion supérieures et globalement un meilleur statut antioxydant (peroxydation

lipidique réduite) comparativement à des poulets recevant des régimes supplémentés en DL-Met (Swennen *et al.*, 2011).

Les conséquences d'excès en Met sur le métabolisme musculaire pendant la phase p.m. de transformation du muscle en viande ont été peu considérées jusque-là. Les effets biologiques variés de la Met sont en théorie susceptibles d'influencer l'évolution p.m. du muscle et ainsi les qualités sensorielles ou technologiques des viandes, notamment 1) le turn-over protéique et l'attendrissement progressif de la viande, 2) les capacités oxydantes tissulaires avant abattage et, par suite, l'oxydation p.m. des protéines et des lipides et la stabilité de la couleur, et 3) les réserves en glycogène musculaire et l'évolution du pH. Ainsi, un effet antioxydant de la forme HMTBA a été rapporté sur la viande de poulet lors de sa conservation, associé à une augmentation du pH ultime (Mercier *et al.*, 2009). L'objectif de notre étude était donc de caractériser les effets d'un apport « flash » en méthionine (forme HMTBA) en fin de période d'élevage sur les performances de croissance, la composition corporelle, les propriétés musculaires et la qualité de la viande chez le porc.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Elevage des animaux

L'expérimentation a été réalisée au sein de l'Unité Expérimentale Porcs de Rennes (UEPR, INRA, 35590 Saint-Gilles). Lors de la transition croissance - finition à environ 70 kg de poids vif (PV), 45 porcs femelles ([Large White × Landrace] × Piétrain NN) issus de 16 portées ont été répartis (intra-portée, PV équilibrés entre lots) en trois groupes expérimentaux (n = 15 / groupe) et placés en loges individuelles dans une même salle jusqu'à la fin de l'étude. Jusqu'à 14 jours avant l'abattage, tous les porcs ont été alimentés à volonté avec un aliment de finition conforme aux recommandations du NRC (2012), à teneurs en Met (apportée uniquement par les matières premières) et AA soufrés totaux couvrant les besoins de croissance : aliment Contrôle (Tableau 1). Durant les 14 jours précédant l'abattage, les porcs ont été nourris à volonté avec soit l'aliment Contrôle (groupe CONT), soit un aliment supplémenté en HMTBA : aliment Met+ avec une teneur en méthionine correspondant à 3 fois le besoin de croissance (groupe MET+), ou aliment Met++ avec une teneur en méthionine correspondant à 5 fois le besoin de croissance (groupe MET++) (Tableau 1).

Les porcs ont été pesés et leur épaisseur de lard dorsal mesurée (site P2) au début de l'expérimentation, et chaque semaine durant les 14 derniers jours. Les consommations alimentaires individuelles ont été déterminées chaque semaine (distributions - refus). La vitesse de croissance et l'indice de consommation individuel ont été ensuite calculés. Pour des raisons de cadence d'abattage et d'organisation des prélèvements, les porcs ont été abattus en deux séries équilibrées entre lots (n = 21 et n = 24 respectivement pour les séries 1 et 2). L'entrée en expérimentation et les abattages ont été décalés de 7 jours entre séries, les porcs les moins lourds à la mise en lot étant placés de préférence en série 2. Pour chaque série, 24 h avant l'abattage, les porcs ont été mis à jeun, pesés, transportés puis mis en attente (une case commune par groupe) à l'abattoir expérimental de l'UEPR.

1.2. Abattage des animaux et caractéristiques des carcasses

Les porcs ont été abattus après anesthésie électrique à bas voltage. La carcasse chaude et les pannes ont été pesées et les

épaisseurs de muscle et de gras dorsal mesurées avec un capteur gras-maigre (3/4 dernières côtes, 6 cm de la fente).

Le lendemain de l'abattage, les poids de carcasse froide et des pièces issues de la découpe hollandaise normalisée (dhn) de la ½ carcasse droite ont été enregistrés. Les pourcentages des pièces de découpe ont été calculés afin de déterminer la teneur en muscle des pièces après découpe (TMP_dhn) selon l'équation $TMP_dhn = 25,08 + 0,73 \%jambon + 0,87 \%longe - 1,23 \%poitrine$ (Daumas, 2008).

Tableau 1 – Composition des aliments expérimentaux

	Contrôle	Met+	Met++
Matières premières, %			
Maïs	66,09	66,09	66,09
Tourteau de soja 48	15,98	15,98	15,98
Blé	10,00	10,00	10,00
Huile de palme	3,00	3,00	3,00
Carbonate de calcium	1,28	1,28	1,28
Phosphate bicalcique	0,98	0,98	0,98
Premix	1,00	1,00	1,00
Remoulage de blé	1,00	0,50	-
Sel	0,40	0,40	0,40
L-Lysine HCl 98	0,22	0,22	0,22
L-Tryptophane	0,04	0,04	0,04
L-Thréonine	0,01	0,01	0,01
HMTBA	-	0,50	1,00
Valeur nutritionnelle calculée			
Matière sèche, %	86,33	86,33	86,33
Protéines, %	13,7	13,6	13,6
Matière grasse, %	5,82	5,81	5,79
Cellulose brute, %	2,59	2,57	2,54
Matières minérales, %	4,80	4,78	4,76
Energie nette MJ/kg	10,38	10,41	10,44
dLys ¹ , g/kg	7,3	7,3	7,3
dMet ¹ , g/kg	2,2	6,6	11,0
dMet+Cys ¹ , g/kg	4,5	8,9	13,3

¹Lysine, méthionine et cystéine (digestibilité iléale standardisée)

1.3. Caractéristiques musculaires et qualité de viande

Des échantillons de muscle Longissimus (LL, dernière côte) ont été prélevés 30 minutes après la saignée, immédiatement congelés dans l'azote liquide et stockés à -80°C pour détermination ultérieure du pH 30 min et du potentiel glycolytique (PG) (Lebret *et al.*, 2015). Les activités d'enzymes antioxydantes et les teneurs en glutathion (réduit et oxydé) ont également été mesurées (en duplicat) par spectrophotométrie (Castellano *et al.*, 2015).

Le lendemain de l'abattage (J1), le pH ultime (pHu) du LL (entre les 13^e et 14^e côtes) et de différents muscles du jambon [Semimembraneux (SM), Gluteus medius (GM), Gluteus superficialis (GS), Adductor (AD)] a été mesuré à l'aide d'un pHmètre équipé d'une électrode à pénétration et d'une sonde température (compensation pour la mesure du pH).

Sur la longe droite, une tranche (section transversale consécutive au prélèvement réalisé la veille, côté échine) a été prélevée à J1, parée et broyée. Une fraction a été conservée à -80°C pour détermination de l'oxydation des protéines (thiols et carbonyles, Mercier *et al.*, 1998), une autre fraction conservée à -20°C pour détermination des lipides totaux (extraction chloroforme/méthanol) et de la vitamine E (par HPLC). Le reste a été lyophilisé avant détermination des teneurs en eau et protéines (Lebret *et al.*, 2015).

Une deuxième tranche de LL a été prélevée à J1 et exposée sous lumière blanche à 4°C pendant 15 minutes avant détermination de la couleur (L*, a*, b*, C*, h°, CIE-Lab) en trois sites représentatifs, à l'aide d'un chromamètre (Minolta CR 300). Les tranches ont ensuite été recouvertes d'un film plastique perméable à l'air, laissées à 4°C sous lumière permanente indirecte jusqu'à J4 puis J7 pour la détermination de la couleur. Une fraction de tranche a été prélevée, broyée et congelée à J4 et J7 pour mesure de l'oxydation des protéines pendant la conservation. Une troisième tranche de LL (100 ± 10 g) a été prélevée à J1, pesée et suspendue dans un sac plastique fermé à +4°C jusqu'à J4 et J7 pour détermination des pertes en eau (méthode Honikel).

Sur le jambon droit, 15 minutes après découpe et exposition à la lumière blanche à +4°C, la couleur (cf. ci-dessus) et le temps d'imbibition des muscles GS et GM ont été déterminés, de manière à calculer l'indice de qualité de viande (IQV) selon l'équation $IQV = -41 + 11,01 pHu_SM + 0,105 \text{ temps imbibition GS} - 0,231 L^*_GS$ (Tribout et Bidanel, 2000).

1.4. Analyses statistiques

Les données ont été soumises à une analyse de variance (procédure GLM, logiciel SAS, v9.4, Inst. Inc. Cary, NC) en incluant les effets du régime, de la série d'abattage et de l'interaction régime x série dans le modèle. Les contrastes entre groupes (CONT/MET+, CONT/MET++, MET+/MET++) ont été calculés (option contrast de GLM) et indiqués dans les tableaux ou figures lorsque $P < 0,20$ pour l'effet régime. Les corrélations entre indicateurs de qualité ont été calculées (procédure CORR, SAS).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances de croissance et composition corporelle

Durant les 14 jours d'alimentation expérimentale, aucune mortalité n'a été constatée, démontrant l'absence de toxicité aigüe de la Met aux poids vifs et durées de distribution considérées. Les performances de croissance des porcs (vitesse de croissance, consommation alimentaire, indice de conversion, PV à l'abattage) ne sont pas affectées par le régime alimentaire (Tableau 2), indiquant que la Met a bien été fournie à un niveau excédant le besoin de croissance. L'évolution de l'adiposité corporelle, estimée par le gain d'épaisseur de gras sous-cutané dorsal durant les 14 jours avant abattage, et le poids des pannes à l'abattage (données non présentées) ne diffèrent pas selon les régimes.

Le régime expérimental n'influence pas le poids de carcasse chaude, le rendement ou les pertes au ressuyage (Tableau 2). La composition de la carcasse, estimée par le TMP_dhn et les proportions des pièces de découpe, ne sont pas affectées par le régime. Ces résultats indiquent que les niveaux de supplémentation en Met pratiqués n'ont pas affecté les dépôts de tissus maigres et gras durant les deux semaines précédant l'abattage des porcs.

2.2. Caractéristiques biochimiques du tissu musculaire

Les teneurs en eau et protéines totales du muscle LL ne sont pas affectées par le régime, alors que la teneur en lipides tend à être réduite ($P = 0,07$) dans le groupe MET++ par rapport au groupe CONT (Tableau 3). Lors d'une carence en Met, une précédente étude a montré une augmentation de la teneur en lipides intramusculaires par rapport aux animaux nourris avec

un régime équilibré en Met (Castellano *et al.*, 2015). Ces variations pourraient indiquer que l'énergie ingérée lors de régimes largement excédentaires en Met serait moins disponible pour un stockage à long terme sous forme de lipides. Sans mesures complémentaires (expression de gènes

du métabolisme lipidique, turn-over protéique), il reste difficile de confirmer cette hypothèse. L'écart de lipides entre groupes CONT et MET++ (0,23 point) est faible et, dans cette gamme de valeurs, il n'induirait vraisemblablement pas de différences de perception sensorielle de la viande par les consommateurs.

Tableau 2 – Performances de croissance et caractéristiques des carcasses en fonction du régime expérimental

	Régime expérimental			ETR ¹	Signification (P) ²
	CONT	MET+	MET++		
Nombre d'animaux	15	15	15		
Performances de croissance, phase expérimentale					
Poids vif initial, kg	105,5	102,6	105,1	6,1	0,31
Poids vif final (abattage), kg	124,5	121,1	123,0	6,8	0,35
Age à l'abattage, j	173,1	172,7	172,9	0,9	0,44
Vitesse de croissance, kg/j	1,33	1,32	1,28	0,21	0,65
Consommation alimentaire, kg/j	3,49	3,51	3,39	0,31	0,46
Indice de consommation, kg/kg	2,33	2,36	2,36	0,23	0,80
Gain d'épaisseur de gras dorsal, mm	3,3	3,3	3,0	1,7	0,77
Caractéristiques des carcasses					
Poids de carcasse chaude, kg	99,5	97,3	98,2	6,2	0,59
Rendement carcasse, %	79,8	80,4	79,9	1,6	0,65
Pertes au ressuyage, %	2,29	2,24	2,22	0,15	0,39
Poids relatif des pièces de découpe, % ½ carcasse droite					
Jambon	26,3	26,6	26,3	0,8	0,55
Longe	27,3	27,2	27,2	1,0	0,94
Epaule	24,6	24,8	25,0	0,7	0,26
Poitrine	12,8	12,8	12,7	0,5	0,94
Bardière	6,4	6,2	6,2	0,8	0,70
Teneur en Muscle des Pièces (dhn) ³ , %	60,1	60,6	60,5	1,9	0,86

¹Ecart-type résiduel. ²P-value de l'effet régime dans l'analyse de variance incluant les effets régime, série et régime x série. ³Découpe hollandaise normalisée.

Le régime alimentaire n'induit pas de différence significative du potentiel glycolytique (calculé comme la somme du glycogène et des métabolites issus de la dégradation du glycogène) (Tableau 3). Toutefois, les valeurs observées pour le groupe MET++ contrastent avec celles du groupe CONT, indiquant une tendance à une diminution du PG avec un

régime fortement excédentaire en Met. Cette variation est cohérente avec l'augmentation du PG observée à l'inverse chez des porcelets carencés en Met (Conde-Aguilera *et al.*, 2014) et suggère là-aussi une modulation du métabolisme énergétique musculaire par le niveau d'apport alimentaire en Met.

Tableau 3 – Caractéristiques biochimiques du muscle Longissimus en fonction du régime expérimental

	Régime expérimental			ETR ¹	Signification (P) ²		
	CONT	MET+	MET++		Régime	Contraste CONT/MET+	Contraste CONT/MET++
Eau, %	79,9	80,4	80,2	1,55	0,70		
Protéines, %	18,4	18,2	18,5	1,41	0,87		
Lipides, %	1,67	1,64	1,44	0,30	0,070	0,85	0,038
Potentiel glycolytique (PG), $\mu\text{mol/g}^3$	151,3	144,9	139,0	18,8	0,18	0,37	0,06
Glutathion, forme oxydée (GSSG), nmole/g	144	146	173	24	0,005	0,86	0,003
Glutathion, forme réduite (GSH) nmole/g	313	316	361	44	0,008	0,80	0,006
Rapport GSH/GSSH	2,19	2,16	2,09	0,13	0,15	0,58	0,06
Vitamine E, $\mu\text{g/g}$	2,92	3,61	3,43	2,54	0,73		
Myoglobine, mg/g	1,09	1,03	1,03	0,16	0,57		
Groupes thiols libres, nmol/mg protéines, J1	39,8	41,1	41,2	15,2	0,96		
Carbonyles, nmol DNPH ⁴ fixé/mg protéines, J1	2,25	1,92	2,08	1,05	0,68		

¹Ecart-type résiduel. ²P-values de l'effet régime (n = 15 porcs/groupe) dans l'analyse de variance incluant les effets régime, série et régime x série et P-value des contrastes entre groupes expérimentaux lorsque P-value régime < 0,20. ³Exprimé en μmol équivalent lactate/g. ⁴Dinitrophenyl-hydrazine.

Concernant les systèmes antioxydants non-enzymatiques cellulaires, on observe une augmentation ($P \leq 0,005$) des quantités de glutathion sous formes réduite (GSH) et oxydée (GSSG) avec le régime Met++ (Tableau 3). Ces différences suggèrent l'existence d'une synthèse accrue du glutathion dans le groupe MET++ par la voie de trans-sulfuration de la Met (Fau *et al.*, 1980), soit parce que les apports recommandés pour la croissance sont inférieurs aux besoins nécessaires pour maintenir des capacités antioxydantes satisfaisantes, soit plus vraisemblablement parce que l'organisme cherche à éviter un excès délétère d'homocystéine

résultant de l'excès de Met (Garlick, 2006) en convertissant la Met en glutathion. Des analyses complémentaires (non présentées) indiquent qu'à l'inverse du muscle, la supplémentation en Met ne modifie pas les teneurs en glutathion hépatique mais accroît l'activité de la glutathion peroxydase dans le foie, en particulier dans le groupe MET+. Ainsi, l'apport alimentaire en Met pourrait favoriser la synthèse du glutathion dans le foie, organe majeur de détoxification dans l'organisme, puis son export dans les tissus périphériques. Le rapport entre les formes réduite et oxydée du glutathion dans le muscle LL des porcs ne varie pas

significativement selon le régime expérimental (Tableau 3). Cependant, comparé au groupe CONT, le groupe MET++ tend à présenter une augmentation plus accentuée du glutathion oxydé que du glutathion réduit, ce qui pourrait indiquer une prise en charge plus efficace du stress oxydant chez les MET++. La supplémentation en Met n'influence pas la teneur en vitamine E du LL, suggérant que l'augmentation du glutathion musculaire ne s'accompagne pas d'une épargne d'autres systèmes antioxydants comme la vitamine E.

Nous n'observons pas d'effets significatifs du régime alimentaire sur la teneur en myoglobine du muscle LL mesurée à J1.

Tableau 4 – Indicateurs de qualité de viande de la longe et du jambon en fonction du régime expérimental

	Régime expérimental			ETR ¹	Signification (P) ²		
	CONT	MET+	MET++		Régime	Contraste CONT/Met+	Contraste CONT/Met++
Longe : muscle Longissimus							
pH 30 min p.m.	6,13	6,19	6,22	0,14	0,17	0,21	0,06
pH 24h p.m.	5,55	5,57	5,66	0,11	0,015	0,58	0,006
Perte eau, 1-4 j p.m., %	6,0	6,5	4,5	2,4	0,063	0,56	0,086
Perte eau, 1-7 j p.m., %	7,9	8,2	6,3	2,4	0,058	0,72	0,059
Jambon							
pH 24h, <i>Semimebranosus</i>	5,61	5,68	5,77	0,14	0,007	0,20	0,002
pH 24h, <i>Gluteus medius</i>	5,55	5,59	5,69	0,14	0,017	0,47	0,006
pH 24h, <i>Gluteus superficialis</i>	5,66	5,75	5,76	0,16	0,17	0,14	0,08
pH 24h, <i>Adductor</i>	5,77	5,85	5,91	0,23	0,23	0,38	0,09
Indice de Qualité de Viande	11,2	12,6	13,5	1,9	0,004	0,053	0,001

¹Ecart-type résiduel. ²P-values de l'effet régime (n=15 porcs/groupe) dans l'analyse de variance incluant les effets régime, série et régime x série et P-value des contrastes entre groupes expérimentaux lorsque P-value régime < 0,20.

Le régime expérimental n'influence pas significativement la vitesse de chute du pH (pH 30 min) même si un niveau élevé de supplémentation en Met (MET++) tend à être associé à un pH 30 min plus élevé (Tableau 4). Le régime MET++ s'accompagne d'une augmentation du pHu de la longe comparé au CONT ($P = 0,006$), le groupe MET+ présentant un pHu moyen proche de celui du groupe CONT. Des variations similaires entre régimes sont observées dans le jambon, notamment dans les muscles SM et GM avec un pHu supérieur (+0,15 unité pH) pour le groupe MET++ comparé au groupe CONT, le groupe MET+ étant intermédiaire. Une tendance similaire est observée dans les muscles GS et AD. L'effet de la supplémentation en Met (5 x le besoin) sur le pHu pourrait s'expliquer par la tendance à la réduction du PG dans le groupe MET++ par rapport au groupe CONT, ces deux paramètres étant ici très fortement corrélés ($r = -0,81$, $P < 0,001$) en accord avec la littérature (Lebret et Faure, 2015). L'augmentation du pHu des muscles de la longe et du jambon des porcs MET++ est en accord avec l'augmentation du pHu observée dans la viande de poulets supplémentés en HMTBA (Mercier *et al.*, 2009). Ce résultat qui traduit une amélioration nette de la qualité technologique de la viande est particulièrement intéressant pour la filière porcine. En effet, le pHu du SM est un déterminant majeur du rendement technologique (Lebret et Faure, 2015) et constitue un des seuls indicateurs de qualité et de tri à réception des jambons en transformation.

Les pertes en eau de la longe pendant la maturation tendent à être réduites pour le groupe MET++ comparativement au CONT mais ne sont pas modifiées dans le groupe MET+ (Tableau 4). Ce résultat cohérent avec le pHu plus élevé du groupe MET++, peut aussi s'expliquer par une moindre altération des membranes cellulaires permettant de limiter l'exsudation, comme observé avec la distribution de régimes supplémentés en vitamine E chez le porc (Lebret, 2008).

Il pourrait être intéressant dans ce cadre d'évaluer les proportions relatives des différentes formes redox de myoglobine. Les teneurs en groupes thiols (SH) libres et en carbonyles du muscle LL à J1 (Tableau 3), J4 et J7 (données non présentées), représentatives de l'oxydation des protéines totales, ne sont pas modifiées par le régime. Comme attendu, ces niveaux augmentent au cours de la conservation dans les trois groupes expérimentaux (en moyenne et respectivement à J4 et J7, SH libres : 46,8 et 56,5 nmol/mg protéines, carbonyles : 2,59 et 3,24 nmol DPNH/mg protéines).

2.3. Indicateurs de qualité de viande

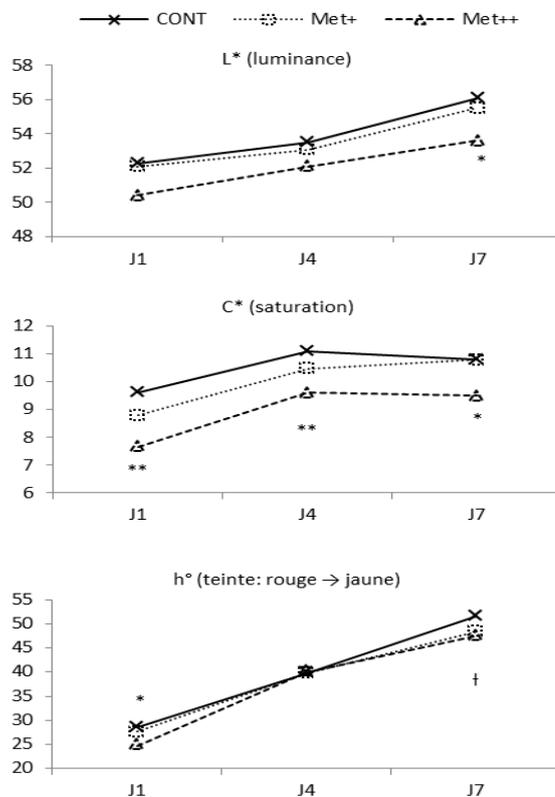


Figure 1 – Couleur de la longe 1, 4 et 7 j post-mortem en fonction du régime expérimental

(P values : contrastes CONT/MET++, **: $P < 0,01$; *: $P < 0,5$; †: $P < 0,10$)

L'indice de qualité de viande, critère synthétique de qualité technologique du jambon, est significativement amélioré avec la supplémentation en Met, de façon dose-dépendante. Ce résultat,

cohérent avec l'augmentation du pHu et les moindres pertes en eau du lot MET++, met en évidence un effet positif de l'excès de Met dans l'aliment ceci dès la dose équivalente à trois fois le besoin. Plusieurs paramètres de couleur de la longe mesurés à J1, J4 ou J7 sont influencés par la dose la plus élevée en Met dans l'aliment (Figure 1). Ainsi, la luminance (L^*) est réduite de façon significative à J7 dans le groupe MET++ relativement au groupe CONT, en accord avec les variations de pertes en eau entre groupes. L'indice a^* est réduit à J1 et J4, et l'indice b^* est réduit à J7 dans le groupe MET++ comparé au CONT ($P < 0,05$, données non présentées). Ceci se traduit par une réduction de la saturation (C^*) pour le groupe MET++ à J1, J4 et J7 et de l'angle de teinte h° à J1 et dans une moindre mesure à J7, indiquant une couleur plus rouge de la viande du lot MET++. Ce résultat est en accord avec l'augmentation de h° observée dans la viande de poulets carencés en Met (Conde-Aguilera *et al.*, 2016b) et suggère une moindre oxydation de la myoglobine chez les porcs ayant reçu le régime MET++. Une teinte plus rouge de la viande associée à une réduction de la luminance et des pertes en eau est favorable à l'aspect de la viande, dimension sensorielle importante dans l'acte d'achat par les consommateurs (Lebret et Faure, 2015).

CONCLUSION

Chez le porc, une supplémentation alimentaire en Met (sous forme d'hydroxy-analogue HMTBA) à des doses excédant trois

ou cinq fois le besoin de croissance pendant les 14 jours précédant l'abattage, ne modifie pas les performances de croissance ni la composition et la valeur commerciale des carcasses. La supplémentation la plus élevée en Met (5 x besoin) augmente les concentrations en glutathion du muscle. Elle s'accompagne d'une augmentation du pH ultime (longe, jambon), d'une réduction des pertes en eau et d'une augmentation de l'IQV. L'ensemble de ces résultats témoigne d'une amélioration significative de la qualité technologique de la viande. L'effet favorable sur la qualité technologique du jambon s'accroît avec le niveau d'apport alimentaire en Met. La supplémentation en Met (5 x besoin) influence également la couleur de la viande avec une réduction de la luminance et une augmentation de la teinte rouge. Ainsi, une supplémentation alimentaire flash en méthionine (5 x besoin estimé pour la croissance) a des effets favorables sur la qualité technologique et l'aspect de la viande, dimensions qualitatives essentielles pour les industriels comme les consommateurs, sans affecter les performances en élevage ou la valeur commerciale des carcasses.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec le soutien financier de la société ADISSEO et de l'INRA. Les auteurs remercient les personnels de l'UMR PEGASE et de l'UEPR qui ont participé à l'étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Castellano R., Perruchot M.H., Conde-Aguilera J.A., van Milgen J., Collin A., Tesseraud S., Mercier Y., Gondret F., 2015. A methionine deficient diet enhances adipose tissue lipid metabolism and alters anti-oxidant pathways in young growing pigs. *PLoS One*, 10(7):e0130514.
- Conde-Aguilera J.A., Barea R., Le Floch N., Lefaucheur L., van Milgen J., 2010. A sulfur amino acid deficiency changes the amino acid composition of body protein in piglets. *Animal*, 4, 1349-1358.
- Conde-Aguilera J.A., Cobo-Ortega C., Mercier Y., Tesseraud S., van Milgen J., 2014. The amino acid composition of tissue protein is affected by the total sulfur amino acid supply in growing pigs. *Animal*, 8, 401-409.
- Conde-Aguilera J.A., Lefaucheur L., Tesseraud S., Mercier Y., Le Floch N., van Milgen J., 2016a. Skeletal muscles respond differently when piglets are offered a diet 30% deficient in total sulfur amino acid for 10 days. *Eur. J. Nutr.*, 55, 117-126.
- Conde-Aguilera J.A., Cholet J.C., Lessire M., Mercier Y., Tesseraud S., van Milgen J., 2016b. The level and source of free-methionine affect body composition and breast muscle traits in growing broilers. *Poult. Sci.*, 95, 2322-2331.
- Dumas G., 2008. Taux de muscle des pièces et appréciation de la composition corporelle des carcasses. *Journées Rech. Porcine*, 40, 61-68.
- Edmonds M.S., Gonyou H.W., Baker D.H., 1987a. Effect of excess levels of methionine, tryptophan, arginine, lysine or threonine on growth and dietary choice in the pig. *J. Anim. Sci.*, 65, 179-185.
- Edmonds M.S., Baker D.H., 1987b. Amino acid excesses for young pigs: effects of excess methionine, tryptophan, threonine or leucine. *J. Anim. Sci.*, 64, 1664-1671.
- Fau D., Delhomme B., Bourdon D., Rérat A., 1980. Enzymatic activities in the liver, and muscle nucleic acids, in swine receiving an unbalanced diet with an excess of methionine for 100 days. *C R Séances Acad. Sci.*, 291, 565-568.
- Garlick P.J., 2006. Toxicity of methionine in humans. *J. Nutr.*, 136, 1722S-1725S.
- Lebret B., 2008. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal*, 2, 1548-1558.
- Lebret B., Faure J., 2015. La viande et les produits du porc : comment satisfaire des attentes qualitatives variées ? In : Numéro spécial, Le muscle et la viande. Picard B. & Lebret B. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 28, 111-114.
- Lebret B., Ecolan P., Bonhomme N., Méteau K., Prunier A., 2015. Influence of production system in local and conventional pig breeds on stress indicators at slaughter, muscle and meat traits and pork eating quality. *Animal*, 9, 1404-1413.
- Li H., Wan H., Mercier Y., Zhang X., Wu C., Wu X., Tang L., Che L., Lin Y., Xu S., Tian G., Wu D., Fang Z., 2014. Changes in plasma amino acid profiles, growth performance and intestinal antioxidant capacity of piglets following increased consumption of methionine as its hydroxy analogue. *Br. J. Nutr.*, 112, 855-867.
- Mercier Y., Gatellier P., Viau M., Remignon H., Renner M., 1998. Effect of dietary fat and vitamin E on colour stability and on lipid and protein oxidation in turkey meat during storage. *Meat Sci.*, 48, 301-318.
- Mercier Y., Berri C., Baéza E., Bordeau T., Chartrin P., Mercierand F., Geraert P.A., 2009. Improvement of muscle oxidative stability and processing yield in relation with dietary methionine sources. *Proc. 98th Annual Meeting Poultry Science Association*, Raleigh, USA. Abstr. 117.
- NRC (National Research Council), 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Revised Edition. National Academies Press, Washington DC, USA.
- Swennen Q., Geraert P.A., Mercier Y., Everaert N., Stinckens A., Willemsen H., Li Y., Decuyper E., Buyse J., 2011. Effects of dietary protein content and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid or DL-methionine supplementation on performance and oxidative status of broiler chickens. *Br. J. Nutr.*, 106, 1845-1854.
- Tesseraud S., Métayer Coustard S., Collin A., Seilliez I., 2009. Role of sulfur amino acids in controlling nutrient metabolism and cell functions: implications for nutrition. *Br. J. Nutr.*, 101, 1132-1139.
- Tributout T., Bidanel J. P., 2000. Genetic parameters of meat quality traits recorded on Large White and French Landrace station-tested pigs in France. In C. Wenk, J. A. Fernandez, M. Dupuis (Eds), *EAAP*, 100, 37-41.