



Chez le poulet le métabolisme musculaire *post-mortem* est à la fois influencé par les caractéristiques génétiques des animaux et les conditions de pré-abattage. Ainsi, plusieurs études ont montré des différences de vitesse ou d'amplitude de chute de pH entre lignées de poulets (Gardzielewska et al., 1995; Schreurs et al., 1995; Le Bihan-Duval et al., 1999; Berri et al., 2001). Plus précisément, il semble que la sélection pour la croissance et/ou le rendement en filet a induit un ralentissement de la chute de pH *post-mortem* et produit des viandes avec un pH ultime plus élevé, présentant de ce fait un meilleur pouvoir de rétention en eau (Le Bihan-Duval et al., 1999; Berri et al., 2001). Alors que les conditions d'abattage qui conditionnent la qualité des viandes sont relativement bien identifiées (Debut et al., 2005), les propriétés du muscle responsables des variations métaboliques *post-mortem* restent incertaines. Cette étude a pour objectif d'étudier l'impact de l'hypertrophie musculaire, en particulier celui de la taille des fibres sur les caractéristiques et la qualité du filet de poulet.

Hypertrophie des fibres musculaires

Conséquence pour la qualité technologique du filet de poulet

Les caractéristiques de croissance du poulet de chair ont largement évolué car désormais cinq semaines suffisent pour obtenir un poulet de 2 Kg avec 20 % de filet! Ces progrès, obtenus en grande partie par sélection, n'ont pas été sans conséquence sur la qualité des viandes. S'il est indiscutable que la réduction de l'âge d'abattage des poulets a modifié les caractéristiques gustatives de la viande, les conséquences en terme de qualité technologique sont plutôt favorables du fait d'un pH ultime plus élevé.

Science et technique

BERRI C.¹, LE BIHAN-DUVAL E.¹, DEBUT M.¹, SANTÉ-LHOUELIER V.², HAJ HATTAB N.¹, JEHL N.³, JÉGO Y.⁴, DUCLOS M.J.¹

¹ Inra — Unité de recherches avicoles, 37380 Nouzilly,

² Inra — Unité Qualité des produits animaux, 63122 Saint Genès -Champanelle,

³ Itavi, 28 rue du Rocher, 75008 Paris,

⁴ Hubbard, 35200 Châteaubourg

Tableau 1 — CORRÉLATIONS ENTRE L'AIRES DE SECTION TRANSVERSALE (AST) DES FIBRES MUSCULAIRES ET LES PROPRIÉTÉS DU MUSCLE *PECTORALIS MAJOR* (N = 600)

	Corrélations avec l'AST des fibres	
	Phénotypiques	Génétiques
Potentiel glycolytique	-0,25***	-0,52 ± 0,13
Lactate (15 min <i>post mortem</i>)	-0,27***	-0,41 ± 0,08
pH (15 min <i>post mortem</i>)	0,38***	0,40 ± 0,14
pHu	0,22***	0,61 ± 0,11
L*	-0,27***	-0,41 ± 0,13
a*	0,08*	-0,12 ± 0,17
b*	0,002	-0,42 ± 0,16
Pertes par exsudation	-0,24***	-0,44 ± 0,08
Pertes par décongélation-cuisson	-0,38***	-0,63 ± 0,08
Force maximale de cisaillement	-0,31***	-0,64 ± 0,10

**Tableau 2
CARACTÉRISTIQUES PONDÉRALES ET MUSCULAIRES EN RELATION AVEC L'AST DES FIBRES MUSCULAIRES DU MUSCLE *PECTORALIS MAJOR***

	Classe 1 1257µm ²	Classe 2 1582 µm ²	Classe 3 1812 µm ²	Classe 4 2048 µm ²	Classe 5 2447 µm ²	P
Poids vif (g)	1861 ^a	2025 ^c	2208 ^b	2248 ^b	2328 ^a	***
Poids PM (g)	118,8 ^c	139,0 ^d	151,2 ^c	159,3 ^b	170,6 ^a	***
% filet	16,5 ^d	17,6 ^c	17,7 ^c	18,4 ^b	18,8 ^a	***
% gras abdominal	2,01 ^d	2,46 ^c	2,67 ^b	2,79 ^b	2,96 ^a	***
PG ¹ (µM/g)	111,6 ^{ab}	113,8 ^a	107,9 ^{bc}	105,0 ^{cd}	102,4 ^d	***
Lactate 15' (µM/g)	36,1 ^a	34,8 ^a	34,1 ^a	31,3 ^b	28,9 ^b	***
pH15	6,39 ^d	6,42 ^c	6,44 ^c	6,48 ^b	6,53 ^a	***
pHu	5,62 ^b	5,61 ^b	5,65 ^a	5,66 ^a	5,68 ^a	***
Exsudat (%)	1,89 ^a	1,77 ^b	1,56 ^b	1,36 ^c	1,33 ^c	***
L*	55,87 ^a	55,54 ^a	55,20 ^a	54,27 ^b	53,85 ^b	***
a*	-0,87	-0,89	-0,79	-0,79	-0,70	NS
b*	11,70	11,93	11,84	11,91	11,80	NS
Pertes après cuisson (%)	17,53 ^a	15,52 ^b	14,89 ^b	12,95 ^c	12,45 ^c	***
Warner-Bratzler ² (N)	15,74 ^a	15,25 ^a	14,47 ^b	14 ^c	13,18 ^d	***

¹ PG = potentiel glycolytique; ² Warner-Bratzler = Résistance maximale au cisaillement;

^{a-b-c-d} Les moyennes avec des lettres différentes dans la même ligne diffèrent significativement ($P < 0,05$);

NS = non significatif; *** $P < 0,001$.

Tableau 3 — TEST DE RÉGRESSION MULTIPLE (N = 600)

Variables	R ² partiel			R ² total
	pHu	pH 15	AST	
Pertes par exsudation	0,168	0,089	0,001	0,293
	***	***	NS	
	pHu	pH 15	AST	
L*	0,374	0,070	0,002	0,446
	***	***	NS	
	AST	pHu	pH 15	
Pertes (décongélation-cuisson)	0,145	0,081	0,062	0,289
	***	***	***	
	pHu	AST	pH15	
Force maximale de cisaillement (Warner-Bratzler)	0,112	0,058	0,016	0,186
	***	***	***	
	pHu	AST	pH15	

NS = non significatif; *** $P < 0,001$

PROTOCOLE

Animaux

Six cents poulets (mâles et femelles) issus d'une lignée grand-parentale commerciale lourde (Hubbard Europe) ont été élevés en 2 lots successifs à l'Unité de recherches avicoles. Après un jeûne de 8 h, les poulets de 6 semaines ont été étourdis dans un bain électrifié (80 mA; 125 Hz; 5 s) puis abattus à l'abattoir expérimental de l'Unité de recherches avicoles. Les carcasses ont été conservées à 2 °C pendant 24 h.

Mesures

Le jour de l'abattage nous avons réalisé une série de prélèvements sur le muscle *Pectoralis major* du filet. Quinze minutes après la mort, nous avons prélevé 2 g de tissu que nous avons broyé dans une solution de iodoacétate 5mM — KCl 0,15M afin de mesurer le pH₁₅ du muscle. Nous avons aussi prélevé un échantillon de muscle, parallèlement au sens des fibres, que nous avons rapidement congelé dans l'isopentane refroidi à l'azote liquide en vue de l'analyse histologique. Par ailleurs, nous avons broyé 1 g de tissu dans une solution d'acide perchlorique (0,55 M) pour déterminer le potentiel glycolytique du muscle selon la méthode décrite par Dalrymple et Hamm (1973). La mesure du potentiel glycolytique (PG) permet de tenir compte de la dégradation des stocks de glycogène lors du processus d'abattage car elle prend en compte la somme des composés produisant l'acide lactique. Le PG est déterminé selon l'équation suivante (Monin et Sellier, 1985): $PG = 2 [(glycogène) + (glucose + (glucose-6-phosphate))] + (lactate)$ Il est exprimé en μM de lactate équivalent par g de tissu frais.

Un jour après l'abattage, les carcasses ont été disséquées en vue de déterminer les poids et rendements en muscles pectoraux et gras abdominal. Nous avons mesuré le pH ultime (pH_u) ainsi que les paramètres de couleur L*, a*, b* des muscles *Pectoralis major*. Nous avons ensaché les muscles pour déterminer les pertes par exsudation entre J + 1 et J + 3. Puis à J + 3, nous les avons congelés dans l'éthanol à -25 °C puis stockés à -20 °C jusqu'aux analyses sur viande cuite.

Après décongélation une nuit à 4 °C et une cuisson de 15 min à 85 °C, nous avons déterminé les pertes en eau et la force maximale de cisaillement (Warner-Bratzler) de la viande cuite.

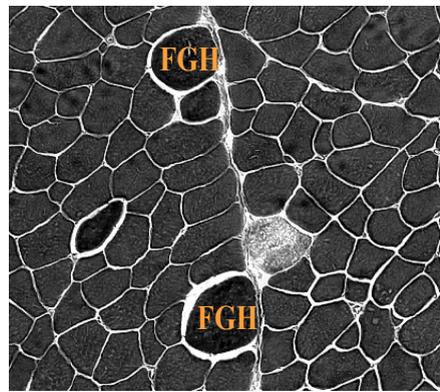
Sur des coupes transversales de muscles colorées à l'azorubine, nous avons mesuré l'aire de section transversale (AST) des fibres selon la méthode décrite par Rémignon et al. (1995). Sur un sous-effectif de muscles divergeant sur la taille des fibres, nous avons mesuré la surface occupée par le tissu conjonctif (40 muscles) et déterminé le rapport FGH/FN (fibres géantes hypercontractées sur fibres normales) (54 muscles). Les FGH sont des fibres de forme ronde ou ovoïde, présentant un diamètre et un espace intercellulaire plus élevé, et une intensité de coloration à l'azorubine plus intense que les fibres musculaires normales (Figure 1). Nous avons réalisé ces mesures à l'aide d'un oculaire micrométrique sur 40 champs par échantillon.

Analyses statistiques

Nos résultats ont été analysés avec les procédures CORR, RANK, GLM et REG du logiciel SAS® (SAS® Institute, 1999). Les corrélations génétiques entre paramètres ont par ailleurs été estimées par la méthode du REML (Restricted Maximum Likelihood) grâce au logiciel VCE (Neumaier et Groeneveld, 1998). Au total, 600 animaux issus de 15 pères et 64 mères ont été utilisés pour les analyses génétiques.

Figure 1

Coupe transversale de muscle *Pectoralis major* contenant des fibres géantes hypercontractées (FGH)



RÉSULTATS

Relation entre la croissance hypertrophique des fibres et la qualité des viandes

L'aire de section transversale (AST) des fibres est phénotypiquement reliée au poids vif (+0,51, $P < 0,0001$), au poids du muscle PM (+0,65, $P < 0,0001$) et au rendement en filet (+0,51, $P < 0,0001$). L'augmentation de l'AST des fibres n'a pas d'incidence sur la surface occupée par le tissu conjonctif (21 % en moyenne) et n'induit pas de nécrose comme cela avait pu être observé chez la dinde (Sosnicki et al., 1998). Les relations phénotypiques et génétiques entre l'AST des fibres musculaires et les paramètres métaboliques et de qualité des viandes sont décrites dans le tableau 1. Au sein du muscle *Pectoralis major*, l'augmentation de l'AST des fibres se fait parallèlement à une diminution des réserves en glycogène du muscle au moment de la mort (PG) et du lactate à 15 min *post-*

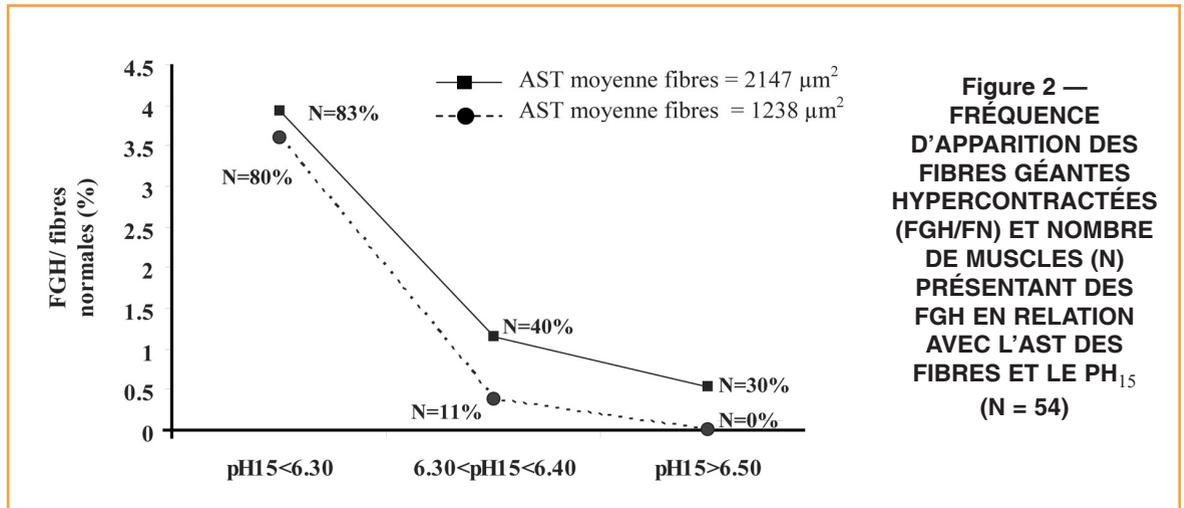
mortem. Les conséquences en terme de qualité sont une viande avec un pH₁₅ et un pH_u augmentés.

L'analyse des corrélations montre que la taille des fibres est en fait reliée à la plupart des critères de qualité technologique de la viande de filet. Ainsi, il existe des corrélations négatives notables entre l'AST des fibres musculaires et le L* et les pertes en eau de la viande fraîche ou après cuisson. De même, la résistance au cisaillement de la viande cuite est inversement corrélée à l'AST des fibres musculaires. Il semblerait que cette relation négative entre taille des fibres et dureté de la viande soit en partie liée aux variations de pertes en eau à la cuisson puisqu'il existe une corrélation de 0,46 ($P < 0,0001$) entre ce caractère et la résistance au cisaillement.

L'analyse de variance par classes de fibres (tableau 2) confirme l'ensemble des relations décrites précédemment. Les classes extrêmes 1 et 5 présentent des AST moyennes qui

vont du simple (1257 μm^2) au double (2447 μm^2). Elles correspondent à des animaux de 1,8 et 2,3 kg présentant des rendements en filet de 16,5 % et 18,8 %. Les conséquences en terme de qualité sont notables: les pertes en eau sont plus faibles d'environ 30 % à l'état frais ou cuit pour les filets de la classe 5 (gros) par rapport à ceux de la classe 1 (petits). De même, la résistance au cisaillement est environ 16 % plus faible pour les filets issus de la classe 5. Ces différences correspondent à des pH₁₅ et des pH_u plus élevés (6,53 vs 6,39 et 5,68 vs 5,62, respectivement) pour les muscles de la classe 5 par rapport à ceux de la classe 1.

Grâce à une analyse de régression multiple, nous avons précisé l'implication spécifique des caractéristiques structurales du muscle (AST des fibres) sur la qualité en corrigeant pour l'effet des autres facteurs connus, comme les pH₁₅ et pH_u (tableau 3). Ainsi, les pertes par exsu-



**Figure 2 —
FRÉQUENCE
D'APPARITION DES
FIBRES GÉANTES
HYPERCONTRACTÉES
(FGH/FN) ET NOMBRE
DE MUSCLES (N)
PRÉSENTANT DES
FGH EN RELATION
AVEC L'AST DES
FIBRES ET LE pH₁₅
(N = 54)**

dation et le L* des filets n'apparaissent pas reliés directement à la taille des fibres musculaires mais sont déterminées par le pH_u et, dans une moindre mesure, le pH₁₅ musculaire. Par contre, il apparaît que les propriétés de la viande cuite sont en partie déterminées par la structure des muscles. Les pertes à la cuisson dépendent à la fois de l'AST des fibres (et donc du poids du muscle) et des caractéristiques de pH (pH_u et pH₁₅) du muscle. De même, la résistance au cisaillement de la viande, qui est fortement influencée par les pertes à la cuisson, est aussi déterminée par le pH_u et l'AST des fibres musculaires.

Fréquence d'apparition des fibres géantes hypercontractées (FGH)

D'après nos observations (figure 2), la proportion de FGH n'est pas influencée par l'AST des fibres. Le critère déterminant l'apparition de

FGH est la vitesse de chute de pH ($p < 0,001$). Quelle que soit la classe de taille des fibres (grosses ou petites), la fréquence d'apparition est plus élevée quand le pH₁₅ est bas. Pour les deux classes de fibres, elle est maximale (3,5 à 4 % environ) quand le pH est inférieur à 6,30. Dans le cas des muscles présentant des petites fibres, l'apparition de FGH est négligeable pour les échantillons qui ont un pH à 15 min supérieur à 6,30. Par contre, on observe une proportion significative de muscles présentant des FGH dans les muscles contenant des grosses fibres et présentant un pH supérieur à 6,30 (figure 2, 40 % entre 6,31 et 6,40 et 30 % quand le pH est supérieur à 6,50). Ces résultats suggèrent donc une relation entre la fréquence d'apparition des FGH et la vitesse de chute de pH du muscle différente selon la taille du muscle considéré. Ainsi, l'apparition de FGH est plus sensible aux vitesses de chute de pH rapides dans les muscles contenant des grosses fibres. La cause mais aussi l'incidence en terme de qualité

des viandes de la présence de FGH dans le muscle restent toutefois à démontrer.

CONCLUSIONS

Chez le Poulet, l'augmentation des poids et rendements en filet se fait principalement par une augmentation de la taille des fibres musculaires. Ce phénomène d'hypertrophie entraîne une diminution des réserves en glycogène du muscle et ralentit l'activité glycolytique *post-mortem*. Ces modifications métaboliques affectent plusieurs caractéristiques musculaires et il en résulte des viandes avec des pH₁₅ et pH_u plus élevés, qui présentent un meilleur pouvoir de rétention en eau et une tendreté supérieure après cuisson. Il serait maintenant intéressant de comprendre les mécanismes physiologiques qui contrôlent les niveaux de glycogène et l'activité glycolytique *post-mortem* chez le poulet pour à terme réduire les variations de qualité technologique observées en abattoir.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier de l'Ofival. Les auteurs remercient Thierry Bordeau, Estelle Godet, Nadine Sellier pour leur aide technique ainsi que le personnel de l'Unité expérimentale avicole pour l'élevage et l'abattage des animaux.

BIBLIOGRAPHIE

BERRI C., WACRENIER N., MILLET N., LE BIHAN-DUVAL E., 2001. *Poult. Sci.*, 80, 833-838.
DALRYMPLE R. H., HAMM R., 1973. *J. Food Technol.*, 8, 439-444.
DEBUT M., LE BIHAN-DUVAL E., BERRI C., 2005. *Sciences et Techniques Avicoles*, 48, 4-13.
GARDZIELEWSKA J., KORTZ J., JAKUBOWSKA M., 1995. In: 12ième European Symposium on the Quality of Poultry Meat, Saragosse, Espagne, 37-40.
LE BIHAN-DUVAL E., MILLET N., RÉMIGNON H. 1999. *Poult. Sci.*, 78, 822-826.

MONIN G., SELLIER P. 1985. *Meat Sci.*, 13, 49-63.
NEUMAIER A., GROENEVELD E. 1998. *Gen. Sel. Evol.*, 30, 13-26.
RÉMIGNON H., GARDAHAUT M.F., MARCHÉ G., RICARD F.H. 1995. *J. Muscle Cell Motil.*, 16, 95-102.
SAS® INSTITUTE. 1999. *SAS User's Guide: Statistics*. SAS Institute Inc., Cary, NC.
SCHREURS F.J.H., 1995. In: 12ième European Symposium on the Quality of Poultry Meat, Saragosse, Espagne, 41-49.
SOSNICKI, A.A., GREASER, M.L., PIETZRAK, M., POSPIECH, E., SANTÉ, V. 1998. *J. Muscle Foods.*, 9, 13-23.