



Qualité de la viande de volailles

Apport de la génomique pour l'identification des gènes*

Science et technique

Du fait des évolutions des modes de consommation (vers davantage de produits découpés et élaborés), la qualité technologique de la viande de volailles est devenue un critère déterminant, à la fois pour satisfaire les besoins des consommateurs et augmenter le niveau de compétitivité des filières françaises et européennes. Plusieurs composantes de la qualité, tel que le pouvoir de rétention en eau (PRE), la texture ou la couleur, sont influencées par le métabolisme musculaire et en particulier la cinétique de chute du pH *post mortem* (Berri, 2000). Ainsi, les viandes à pH ultime (pHu) bas (inférieur à 5,7) ou à vitesse de chute de pH élevée (pH inférieur à 6,2 à 15 min *post mortem*) présentent un faible PRE et une texture dure et sèche après cuisson (Barbut, 1997; Gigaud et al., 2008). Par abus de langage, elles sont parfois qualifiées de PSE (pour pale, soft, exudative), par référence aux défauts du même type décrits chez le porc. Les viandes à haut pH (supérieur à 6,0) sont peu adaptées à la conservation en cru en raison d'un développement microbien favorisé (Allen et al., 1997) et d'une dégradation de la jutosité. Les données récemment collectées en abattoir sur du filet de poulet soulignent la très forte variabilité des valeurs du pH (Gigaud et al., 2007; figure 1), à l'origine d'une forte hétérogénéité de la qualité du produit final (viande de découpe ou produit élaboré). Pour remédier à cette hétérogénéité, des adaptations technologiques tel qu'un tri en ligne de la viande sur sa couleur sont aujourd'hui envisagées (Popot et al., 2006). Néanmoins, des gains substantiels pourraient aussi être réalisés par une amélioration en amont de la qualité de la matière première.

Satisfaire aux exigences de qualité, de conservation et de transformation, est devenu un enjeu majeur en production de viande de volailles. Des études génomiques sont aujourd'hui en cours pour identifier les gènes, ou plus largement les voies métaboliques, impliqués dans la qualité. À l'avenir, ces outils moléculaires pourront contribuer au développement de stratégies génétiques et d'élevage optimisant la qualité de la viande.

LE BIHAN-DUVAL E.¹, BERRI C.¹, PITEL F.², NADAF J.¹, SIBUT V.³, GIGAUD V.³, DUCLOS M.-J.¹

¹ Inra, UR83 Recherches avicoles, 37380 NOUZILLY, France

² Inra-ENVT, UMR444 Génétique cellulaire, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France

³ Institut technique avicole, Unité de Recherches avicoles, 37380 NOUZILLY, France

*Ce texte est extrait d'un article plus complet publié dans *INRA Productions animales* 2008 Vol. 21 (159-166)

Le métabolisme musculaire *post mortem* et la qualité de la viande dépendent de nombreux paramètres, tels que les caractéristiques intrinsèques de l'animal ou ses conditions d'élevage et d'abattage (Berri, 2000; Berri et al., 2005; Debut et al., 2003, 2004, 2005). Les données disponibles au niveau génétique montrent qu'une sélection sur les caractéristiques de qualité (pH, couleur, PRE, texture...) est envisageable (Le Bihan-Duval et al., 2001, 2008).

Toutefois, sa mise en œuvre est aujourd'hui freinée par la nécessité d'abattre les animaux pour évaluer la qualité, ce qui implique des coûts importants et une diminution de l'efficacité de sélection. La sélection assistée par marqueurs (SAM) est donc une voie à explorer si l'on veut accroître les efforts de sélection sur la qualité. Cette sélection pourrait en premier lieu bénéficier aux souches à croissance rapide, largement utilisées pour les marchés de la découpe et des produits

élaborés. À terme, elle pourrait aussi intéresser les filières alternatives de type « Label Rouge » et « certifié », qui sont aujourd'hui largement tournées vers la production du poulet entier (avec plus de 65% des parts de marché), mais qui devront s'adapter aux nouveaux débouchés de la découpe et des produits élaborés.

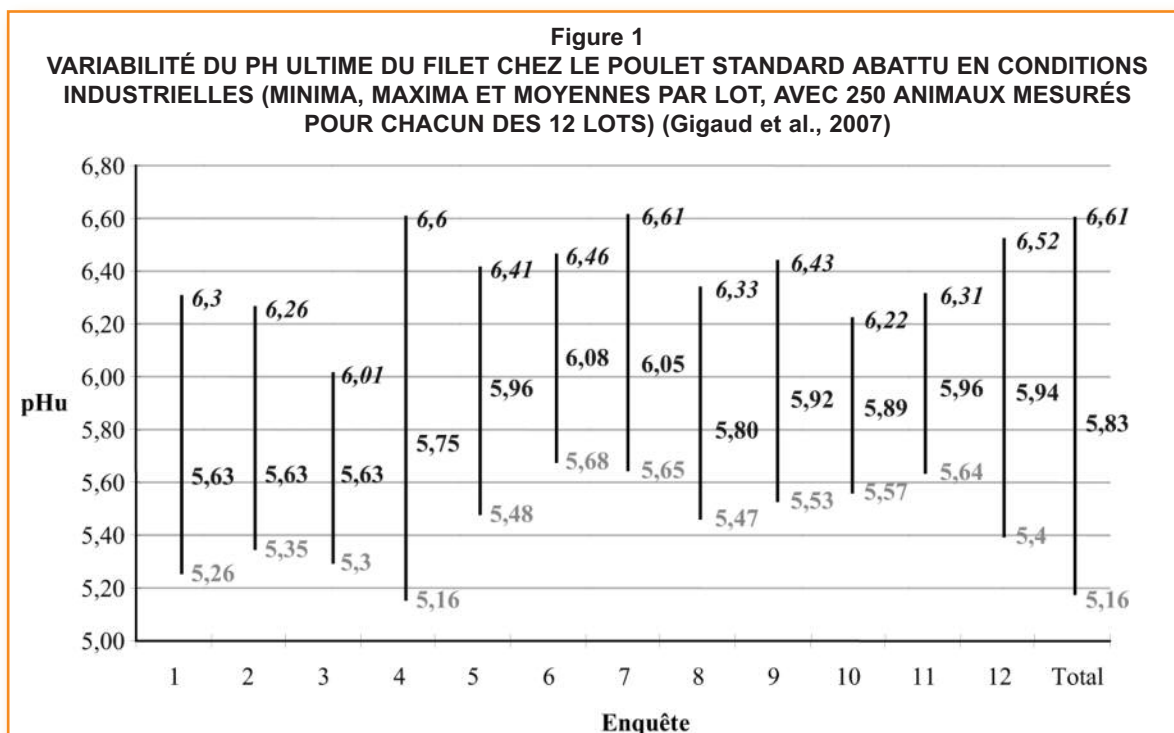


Tableau 1
POIDS VIF, COMPOSITION CORPORELLE ET CARACTÉRISTIQUES DE QUALITÉ DE LA VIANDE (MOYENNE ± ÉCART-TYPE) DANS LE FILET DES POULETS LÉGERS À CROISSANCE LENTE OU LOURDS À CROISSANCE RAPIDE ET MAIGRES OU GRAS ABATTUS À L'ÂGE DE 9 SEMAINES

Caractères	Lignée légère (n = 56)	Lignée lourde (n = 53)	Effet lignée	Lignée maigre (n = 60)	Lignée grasse (n = 60)	Effet lignée
Croissance corporelle						
Poids vif (g)	683 ± 67	1922 ± 157	<.0001	2522 ± 193	2627 ± 162	<.001
Gras abdominal (%)	0.2 ± 0.2	2.5 ± 0.7	<.0001	1.4 ± 0.5	3.9 ± 0.7	<.001
Filet (%)	10.4 ± 0.8	11.4 ± 0.8	<.0001	12.8 ± 0.9	11.5 ± 0.9	<.001
Cuisse (%)	22.0 ± 0.7	23.2 ± 0.9	<.0001	NA	NA	NA
Indicateurs de qualité						
Luminosité (L*)	45.6 ± 1.8	48.3 ± 3.2	<.0001	44.9 ± 2.6	47.4 ± 2.7	<.001
Indice de rouge (a*)	1.6 ± 0.7	-0.2 ± 0.8	<.0001	-0.3 ± 0.7	-1.0 ± 0.7	<.001
Indice de jaune (b*)	13.3 ± 1.4	9.4 ± 1.2	<.0001	9.3 ± 1.0	8.3 ± 1.3	<.001
pH 15 min	6.33 ± 0.16	6.20 ± 0.22	0.0004	6.38 ± 0.21	6.36 ± 0.22	NS
pH ultime	6.14 ± 0.14	5.74 ± 0.09	<.0001	5.79 ± 0.12	5.66 ± 0.11	<.001
Pertes en eau (%)	2.1 ± 1.5	2.3 ± 1.2	NS	1.1 ± 0.6	1.4 ± 0.6	<.05

NS = non significatif; NA = données manquantes.

MODÈLES D'ÉTUDES : INTÉRÊT DES LIGNÉES EXPÉRIMENTALES ET COMMERCIALES

En aviculture, les différents modes de production s'appuient sur une diversité des génotypes qui présentent des performances de croissance et de composition corporelle bien démarquées. S'il faut aujourd'hui moins de 6 semaines à un poulet de type « standard » pour atteindre le poids requis par le marché (environ 2,5 kg), les souches label à croissance lente l'atteignent avec une durée minimale d'élevage de 81 jours (fixée par la notice technique Label Rouge). Des variations de composition corporelle existent aussi, certaines souches ayant été sélectionnées pour une augmentation du rendement en filet (morceau noble de la carcasse) et une diminution de l'adiposité. Les études en lignées expérimentales et commerciales montrent que ces variations de croissance et de composition corporelle sont associées à des modifications de la qualité de la viande du filet.

Les souches lourdes commerciales se caractérisent aujourd'hui par un fort développement musculaire dont il faut évaluer l'impact sur la qualité. Grâce à une première étude génétique, nous avons confirmé que cette croissance musculaire s'accompagne d'une hypertrophie des fibres, et de façon plus originale d'une diminution des réserves du muscle en glycogène (Berri et al., 2007). Au sein du génotype étudié, le poids du filet est génétiquement négativement relié au potentiel glycolytique (-0,58), et positivement au pH ultime (0,84) (Le Bihan-Duval et al., 2008). En conséquence, la sélection pour augmenter le développement musculaire conduit, au moins dans ce type de lignée, à un filet moins acide, moins pâle, moins exsudatif, et plus tendre. La comparaison de deux lignées expérimentales de poulets, sélectionnées de façon divergente sur l'engraissement abdominal (Leclercq et al., 1980), souligne par ailleurs un lien entre adiposité et qualité (tableau 1). Le génotype « maigre » présente des réserves en glycogène dans le filet plus faibles, à l'origine d'un pH ultime plus élevé que le génotype gras (5,8 vs 5,6). La sélection sur la vitesse de croissance a aussi modifié les caractéristiques musculaires et de qualité de la viande chez le poulet. C'est ce qu'illustre l'é-

tude des lignées « lourde » et « légère » sélectionnées à l'Inra (Ricard, 1975), extrêmement différentes tant sur le plan du poids vif (le critère de sélection appliqué) que de leur composition corporelle (tableau 1). Dans ce modèle expérimental, la sélection pour une augmentation du poids vif a entraîné une vitesse de chute du pH plus importante (révélée par un pH à 15 min *post mortem* plus faible, 6,2 vs 6,3), un pH ultime plus bas (5,7 vs 6,1) et une moindre coloration (dans les teintes rouge et jaune) de la viande du filet. Le génotype à croissance « rapide » présente un Potentiel Glycolytique dans le filet plus important et une activité physique plus soutenue, conduisant à une acidification du muscle à la fois plus rapide et plus prononcée.

Les données acquises sur ces modèles expérimentaux et commerciaux soulignent donc la grande plasticité des volailles et attirent l'attention sur les conséquences de la sélection au niveau du muscle et de la qualité. Largement complémentaires, ces modèles permettent de développer efficacement les études de génomique sur la qualité de la viande de volailles. À terme, celles-ci aboutiront à une meilleure compréhension des mécanismes moléculaires reliant croissance et qualité et, nous l'espérons, au développement de stratégies génétiques et d'élevage visant à l'amélioration conjointe de ces caractères.

APPORT DE LA GÉNOMIQUE POSITIONNELLE : DÉTECTION DE QTL

Le développement des techniques de biologie moléculaire a permis dans de nombreuses espèces d'intérêt agronomique la construction de cartes génétiques, à partir de marqueurs servant de « balises » sur le génome. Ces marqueurs génétiques, fragments d'ADN, sont polymorphes c'est-à-dire qu'ils présentent plusieurs formes ou « allèles ». Bien répartis sur l'ensemble du génome, ils ont été largement utilisés pour l'identification des régions chromosomiques expliquant une part significative de la variabilité des caractères d'intérêt ou « QTL » (pour Quantitative Trait Loci). Lorsqu'un QTL est confirmé, il indique la présence dans la région chromosomique d'un ou plusieurs gènes dont les différentes formes sont à l'origine de la variabilité du caractère étudié.

Si, chez le poulet, de nombreux QTLs ont déjà été identifiés pour les caractères de production (Hocking, 2005; Abasht et al., 2006; Chicken QTL database : <http://www.animal-genome.org/QTLdb/chicken.html>), la qualité de la viande a fait l'objet d'un nombre très réduit d'études.

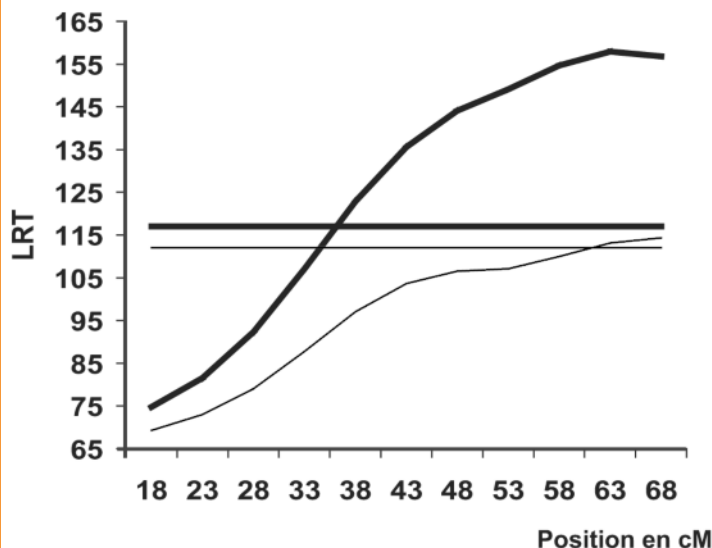
Récemment, l'analyse du croisement entre les lignées divergentes lourde et légère développées par l'Inra a permis d'identifier plusieurs QTL originaux pour la qualité. Un QTL hautement significatif (figure 2) a ainsi été identifié sur le chromosome 11 pour la couleur, l'un des caractères déterminants pour la qualité de la viande. Deux régions significatives pour le pH15 ont aussi été détectées sur les chromosomes 1 et 2, à proximité pour la première d'un QTL affectant les pertes en eau par exsudation (Nadaf et al., 2007).

Néanmoins, comme pour la majorité des autres caractères (Hocking, 2005), la localisation de ces QTL pour la qualité reste très imprécise : plusieurs dizaines de centimorgans (de 20 à 50), représentant plusieurs centaines de gènes candidats possibles. Cette faible résolution du QTL induit à terme des pertes d'efficacité de la sélection assistée par marqueurs, du fait de recombinaisons possibles entre les marqueurs et le QTL. En conséquence et du fait des caractéristiques propres des schémas avicoles (cycles de reproduction courts et familles de relative petite taille), il semble aujourd'hui nécessaire pour les applications en sélection d'affiner les régions QTL pour si possible identifier les polymorphismes sous-jacents, ou à défaut des marqueurs génétiques qui leur soient étroitement associés. À court terme, l'utilisation des marqueurs de type SNP (single nucleotide polymorphism), plus nombreux et moins coûteux, devrait apporter des progrès considérables avec une détection plus systématique et plus précise des QTL.

L'approche « gène candidat » pour de la sélection implique d'identifier des variations au sein (ou à proximité) du gène et d'étudier l'association entre les différents allèles de ce gène et le caractère d'intérêt. Outre les gènes candidats suggérés par les résultats QTL dans l'espèce d'intérêt, cette approche peut aussi tirer profit des connaissances acquises dans d'autres espèces, où des gènes majeurs ont déjà été identifiés. Ainsi pour la qua-



Figure 2
PROFIL DE VRAISEMBLANCE (LIKELIHOOD RATIO TEST, LRT)
ET SEUIL DE SIGNIFICATION À 1% DU QTL DE COULEUR
JAUNE (COURBE SUPÉRIEURE) ET ROUGE (COURBE
INFÉRIEURE) SUR LE CHROMOSOME 11
(Nadaf et al., 2007)



lité, on sait que les chutes de pH rapides parfois observées chez le poulet ou la dinde présentent des similarités avec le syndrome de type PSE observé chez le porc. Celui-ci est dû à une mutation dans le gène codant pour la protéine musculaire RYR1 (canal calcique également dénommé récepteur à la ryanodine). Chez le poulet, deux isoformes (RYR1 et RYR3) de ces récepteurs ont été identifiés (Ottini et al., 1996) et leurs gènes respectifs sont positionnés. Le développement de marqueurs moléculaires à proximité ou au sein de ces deux gènes devrait permettre de préciser leurs effets sur la cinétique de chute du pH, mesurée dans différentes populations de poulets. De façon analogue, l'effet du gène de l'AMP kinase PRKAG3 (ou gène RN pour Rendement Napole), responsable chez le porc d'un excès de glycogène musculaire à l'origine des problèmes de viande acide (Milan et al., 2000), reste à étudier chez le poulet. À terme, l'ensemble de ces approches devrait permettre le développement de tests génétiques (portant idéalement sur les mutations causales), applicables à grande échelle pour le typage des animaux et l'évaluation de leur potentiel génétique pour la qualité.

APPORT DE LA GÉNOMIQUE EXPRESSIONNELLE : ÉTUDES DE TRANSCRIPTOME

La technologie des puces à ADN (ou microarrays) permet de relier le niveau d'expression d'un grand nombre de gènes (ou transcriptome) aux variations du phénotype d'intérêt. Cette approche a été mise en œuvre pour comparer le transcriptome musculaire des lignées maigre ou grasse et lourde ou légère de l'Inra. Dans ces dernières, plusieurs gènes sont différenciellement exprimés entre 1 et 11 semaines d'âge, et ce de façon cohérente. Des catégories très variées, comme le gène Pr57 (codant pour une protéine d'enveloppe rétrovirale) ou l'alpha-énolase (enzyme impliquée dans la voie de la glycolyse), peuvent être concernées (Jenkins et al., 2007). L'effet de ces gènes candidats sur les variations de croissance musculaire et de qualité reste à valider sur de plus larges effectifs, et dans d'autres populations en particulier commerciales. Des études ciblées sur la qualité de la viande sont aussi en cours, grâce à la comparaison du transcriptome d'animaux à « fort » ou « faible » potentiel glycolytique, issus de lignées expérimentales (maigre ou grasse) et d'une population commerciale (Projet QualViVol, ANR-Genanimal et Agenavi).

Ces différentes approches (positionnelle, fonctionnelle et expressionnelle) peuvent converger, notamment grâce à la détection de « eQTL ». Si l'on réserve le terme de QTL à une région chromosomique contrôlant un phénotype classique (par exemple une mesure de qualité de viande), le eQTL correspond quant à lui à une région contrôlant le niveau d'expression d'un gène. Cette démarche a déjà été appliquée avec succès chez la levure (Brem et al., 2002) et la souris (Schadt et al., 2003). Elle est aujourd'hui en cours d'expérimentation chez le poulet dans des études sur le contrôle de la croissance et l'engraissement (projet ANR – Genanimal eQTL, 2004) et de la qualité des viandes (projet QualViVol). La colocalisation des QTL et eQTL devrait permettre d'identifier des voies de régulation et d'avancer dans la recherche des gènes responsables des variations des caractères d'intérêt.

CONCLUSIONS

Les recherches menées pour identifier les gènes impliqués dans la qualité des viandes de volailles bénéficient comme pour les autres caractères des progrès considérables réalisés ces dernières années dans le domaine de la biologie à haut débit. Elles impliquent des approches multidisciplinaires, pour couvrir des champs de compétences variées en génétique, physiologie, bioinformatique... Les connaissances acquises sur les modèles animaux restent un point crucial pour la réussite de ces recherches, car elles permettent de choisir des conditions d'études optimales et facilitent l'identification des voies métaboliques et des gènes impliqués. Enfin, ces recherches impliquent un partenariat actif avec les acteurs de la filière, pour faciliter le transfert des résultats vers la sélection et la production des volailles de chair.

B I B L I O G R A P H I E

- ABASHT B., DEKKERS J.C.M., LAMONT S.J., 2006.** Review of Quantitative Trait Loci identified in the chicken. *Poult. Sci.*, 85, 2079-2096.
- ALLEN C.D., RUSSELL S.M., FLETCHER D.L., 1997.** The relationship of broiler breast meat color and pH to shelf-life and odor development. *Poult. Sci.*, 76, 1042-1046.
- BARBUT S., 1997.** Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 38, 355-358.
- BERRI C., 2000.** Variability of sensory and processing qualities of poultry meat. *World's Poult. Sci. J.*, 56, 209-224.
- BERRI C., DEBUT M., SANTÉ-LHOUTELLIER V., ARNOULD C., BOUTTEN B., SELLIER N., BAÉZA E., JEHL N., JÉGO Y., DUCLOS M.J., LE BIHAN-DUVAL E., 2005.** Variations in chicken breast meat quality : a strong implication of struggle and muscle glycogen level at death. *Br. Poult. Sci.*, 46, 572-579.
- BERRI C., LE BIHAN-DUVAL E., DEBUT M., SANTÉ-LHOUTELLIER V., BAÉZA E., GIGAUD V., JÉGO Y., DUCLOS M.J., 2007.** Consequence of muscle hypertrophy on Pectoralis major characteristics and breast meat quality of broiler chickens. *J. Anim. Sci.*, 85, 2005-2011.
- BREM R.B., YVERT G., CLINTON R., KRUGLYAK L., 2002.** Genetic dissection of transcriptional regulation in budding yeast. *Science*, 296, 752-755.
- DEBUT M., BERRI C., BAÉZA E., SELLIER N., ARNOULD C., GUÉMÉNÉ D., JEHL N., BOUTTEN B., JÉGO Y., BEAUMONT C., LE BIHAN-DUVAL E., 2003.** Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and preslaughter stress conditions. *Poult. Sci.*, 82, 1829-1838.
- DEBUT M., LE BIHAN-DUVAL E., BERRI C., 2004.** Impacts des conditions de pré-abattage sur la qualité technologique de la viande de volaille. *Sciences et Techniques Avicoles*, 48, 4-13.
- DEBUT M., BERRI C., ARNOULD C., GUÉMÉNÉ D., SANTÉ-LHOUTELLIER V., SELLIER N., BAÉZA E., JEHL N., JÉGO Y., BEAUMONT C., LE BIHAN-DUVAL E., 2005.** Behavioural and physiological responses of three chicken breeds to pre-slaughter shackling and acute heat stress. *Br. Poult. Sci.*, 46, 527-535.
- GIGAUD V., GEFFRARD A., BERRI C., LE BIHAN-DUVAL E., TRAVEL A., BORDEAU T., 2007.** Conditions environnementales ante mortem (ramassage – transport – abattage) et qualité technologique. *Viandes et Produits Carnés*, 26, 17-20.
- GIGAUD V., BORDEAU T., LE BIHAN-DUVAL E., BERRI C., 2008.** Impact du pH ultime sur les qualités technologiques, bactériologiques et gustatives des filets de poulet. 12ème JSMTV, Tours, Viandes et Produits Carnés, numéro hors série, 61-62.
- HOCKING P.M., 2005.** Review of QTL mapping in chickens. *World's Poultry Science Journal*, 61, 215-226.
- JENKINS C., LE BIHAN-DUVAL E., BERRI C., SIMON J., COGBURN L., DUCLOS M.J., 2007.** Comparaison des transcritomes musculaires de deux génotypes de poulet lourds et légers. 7èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 28-29 mars 2007, 409-413.
- LE BIHAN-DUVAL E., BERRI C., BAÉZA E., MILLET N., BEAUMONT C., 2001.** Estimation of the genetic parameters of meat characteristics and of their genetic correlations with growth and body composition in an experimental broiler line. *Poult. Sci.*, 80, 839-843.
- LE BIHAN-DUVAL E., DEBUT M., BERRI C.M., SELLIER N., SANTÉ-LHOUTELLIER V., JÉGO Y., BEAUMONT C., 2008.** Chicken meat quality : genetic variability and relationship with growth and muscle characteristics. *BMC Genetics*, 9, 53.
- LECLERCQ B., BLUM J.C., BOYER J.P., 1980.** Selecting broilers for low or high abdominal fat : initial observations. *Br. Poult. Sci.*, 21, 107-113.
- MILAN D., JEON J-T., LOOFT C., AMARGER V., ROBIC A., THELANDER M., ROGEL-GAILLARD C., PAUL S., IANNUCELLI N., RASK L., RONNE H., LUNDSTRÖM K., REINSCH N., GELLIN J., KALM E., LE ROY P., CHARDON P., ANDERSSON L., 2000.** A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle. *Science*, 288, 1248-1251.
- NADAF J., GILBERT H., PITEL F., BERRI C.M., FEVE K., BEAUMONT C., DUCLOS M.J., VIGNAL A., PORTER T.E., SIMON J., AGGREY S.E., COGBURN L.A., LE BIHAN-DUVAL E., 2007.** Identification of QTL controlling meat quality traits in an F2 cross between two chicken lines selected for either low or high growth rate. *BMC Genomics*, 8, 155.
- OTTINI L., MARZIALI G., CONTI A., CHARLESWORTH A., SORRENTINI V., 1996.** α and β isoforms of ryanodine receptor from chicken skeletal muscle are the homologues of mammalian RyR1 and RyR3. *Biochem. J.*, 315, 207-216.
- POPOT J., GIRARD J., DROUET L., 2006.** La qualité technologique de la viande de poulet — Aptitude au process type "jambon". 2nde Edition des Jeudis de la WPSA, 23 mars 2006, Le Mans (France).
- RICARD F.H., 1975.** Essai de sélection sur la forme de la courbe de croissance chez le poulet. Dispositif expérimental et premiers résultats. *Ann. Génét. Sé. Anim.*, 7, 427-443.
- SCHADT E.E., MONKS S.A., DRAKE T.A., LUSIS A.J., CHE N., COLINAYO V., RUFF T.G., MILLIGAN S.B., LAMB J.R., CAVET G., LINSLEY P.S., MAO M., STOUGHTON R.B., FRIEND S.H., 2003.** Genetics of gene expression surveyed in maize, mouse and man. *Nature*, 422, 297-302.