



Vision numérique : un outil pour évaluer la qualité de la viande de poulet en ligne

BRUNO BOUTTEN¹, LAURENT DROUET², NATHALIE JEHL²

(1) CTSCCV, 7 avenue du Général de Gaulle, 94704 Maisons-Alfort cedex

(2) ITAVI, 28 rue du Rocher, 75008 Paris

INTRODUCTION

La filière volaille bénéficie de la bonne image de marque de ses produits et plus particulièrement de ceux à base de poulet pour leurs caractéristiques diététiques. Elle est au cœur du processus de mutation qui amène les filières alimentaires à devenir celles du "prêt-à-manger". Le consommateur privilégie les produits pratiques, prêts à l'emploi. Il privilégie les produits préparés, au détriment de la viande fraîche.

Les produits élaborés représentaient début 2003, 1/5 de la consommation de viande de volaille. Ils pourraient en représenter près de la moitié en 2010.

On voit, en effet, que la gamme des produits "service" est extrêmement large. Elle résulte d'une grande variété de technologies, mises en œuvre par de nombreux opérateurs de la petite et de la grande industrie mais aussi de l'artisanat et du commerce moderne.

Les critères de qualité de la viande demandés par les industries de la transformation sont différents de ceux requis par le consommateur lors de son acte d'achat de viande fraîche. En ce qui concerne les pièces cuites saumurées, l'évolution de la demande privilégie les produits préemballés, prétranchés. Ce conditionnement entraîne des contraintes supplémentaires pour le transformateur (rigueur pour éviter les contaminations microbiologiques et cadences de tranchages élevées).

Ces contraintes nécessitent une amélioration de la qualité de la matière première. Mesurer la qualité de la viande revient à définir des critères qui permettent une classification de la matière première, en vue de déterminer si elle peut ou non répondre aux besoins des utilisateurs. Pour le transformateur, la qualité de sa matière première

doit lui permettre de maîtriser et d'améliorer :

- le rendement technologique,
- le rendement de tranchage,
- les caractéristiques organoleptiques du produit fini.

Dans notre étude, nous nous limitons aux facteurs de qualité liés aux rendements technologiques.

PRÉDIRE LA QUALITÉ DES VIANDES

Deux mesures prédictives de la qualité ont été retenues : le pH et la couleur.

Le pH est source d'information sous deux formes : la vitesse de chute du pH d'une part et le pH ultime (pHu) d'autre part. La cinétique de chute du pH dépend des conditions d'abattage et de la vitesse de refroidissement de la carcasse. Cette situation nous a conduit à privilégier le pHu, dans un premier temps, plus facile à évaluer.

Vision numérique : un outil pour évaluer la qualité de la viande de poulet en ligne

Le pHu largement développé comme critère de qualité pour la viande de porc (Jacquet *et al.*, 1984) apporte des solutions par son étroite relation avec les conditions d'abattage (Lesiak *et al.*, 1996) et son aspect prédictif tant pour le rendement technologique, pour le rendement de tranchage que pour l'aspect couleur. Dans le cas de la filière volaille, son application au niveau industriel semble encore plus difficile que dans la filière porcine, à cause du rapport de poids, un jambon de porc pesant entre 8 et 12 kg, un blanc de poulet entre 100 et 300 g. Les cadences seront donc plus de 50 fois supérieures, d'où la nécessité de travailler par lot. En tant que technique de référence, le tri selon le pHu pourra être utilisé dans des expériences ponctuelles.

Couleur et pH sont étroitement liés, comme le montrent les travaux antérieurs (Barbut, 1998 ; Ahn et Maurer, 1990 ; Woelfel *et al.*, 2002, Wilkins *et al.*, 2000) qui ont porté sur cette liaison dans la volaille.

Après l'abattage de l'animal, la respiration cellulaire est progressivement inhibée. En profondeur, la myoglobine est sous forme réduite. En surface, l'oxygène est fixé sur la myoglobine (oxy-myoglobine).

Lorsque le pH reste élevé, les fibres musculaires utilisent l'oxygène disponible permettant d'obtenir, même en surface, la forme réduite de la myoglobine.

Une conjonction pH bas - température élevée entraîne une dénaturation partielle des protéines, ce qui diminue la consommation d'oxygène et donc favorise l'oxydation de la myoglobine en metmyoglobine.

À ce facteur d'oxydation de la myoglobine, vient s'ajouter l'importance de la répartition de l'eau. À pH bas, la liaison de l'eau par les protéines est plus faible (rapprochement du point isoélectrique, charge électrique des protéines plus faible). L'eau passe donc du compartiment intracellulaire au compartiment extracellulaire. Elle crée des surfaces plus réfléchissantes et augmente la réflexion de la lumière incidente et l'impression de pâleur.

La composante L*, composante clarté allant du blanc au noir, traduit l'humidité de surface. Elle est influencée, entre autres, par le type de muscle et le pH de la viande et intervient pour la prévision du comportement technologique (Jacquet *et al.*, 1984). C'est cette composante qui a été principalement étudiée.

VISION NUMÉRIQUE ET TRI COULEUR

La vision numérique présente, pour la réalisation de tri couleur, de nombreux avantages pour les industriels de la transformation de la viande. Son application a déjà été tentée (Marty-Mahé *et al.*, 1999). Elle est rapide et souple à mettre en place dans un outil de production.

Les études préliminaires en laboratoire ont montré des relations étroites entre la composante L de la couleur du pectoral de poulet et le rendement technologique (Boutten et Boutten, 2004 ; Debut *et al.*, 2004). Elles ont également montré une relation étroite entre la couleur évaluée par un appareil de mesure de laboratoire, à savoir un colorimètre ou un spectrocolorimètre, et celle évaluée par une caméra numérique.

Pour les industries de la transformation, compte tenu que nous nous intéressons pour l'instant au blanc cuit saumuré, le tri couleur semble le mieux adapté à cette matière première de volaille. Le tri couleur bénéficie de la simplicité anatomique de la pièce observée, le *pectoralis major*. Cette simplicité permet une rapidité du tri adaptée aux conditions industrielles.

Deux critères simples peuvent être retenus pour évaluer la qualité technologique de la viande de volaille pour les pièces cuites saumurées : le rendement technologique et le rendement de tranchage.

Cette étude met en place une méthodologie de tri en abattoir de la viande de poulet en fonction de sa qualité technologique et du

comportement au tranchage, basé sur la valeur de l'indice qualité évalué par caméra numérique. Les mesures sont réalisées par acquisition et traitement de l'image, à un rythme suffisamment élevé pour ne pas perturber la cadence de la chaîne. Les filets triés par classe de couleur subissent une transformation par saumurage et cuisson. L'étude est réalisée en parallèle sur plusieurs sites industriels d'abattage.

L'objet de cet article est la présentation de résultats obtenus dans la transformation de muscles de poulet en pièces cuites saumurées en utilisant :

- comme critère de qualité, un rendement technologique,
- comme prédicteur, la couleur, évaluée de manière automatique par la vision numérique.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

MESURE DU PH ET DE LA COULEUR

Le pHu est mesuré avec un "pHmètre Sydel pH plus" au même endroit que la mesure de la couleur.

Les mesures de couleur sont faites à l'aide du spectrocolorimètre MINOLTA CM2002 dans le repère CIELAB suivant les travaux de K.O. Honikel (1998) et de l'AMSA (1991). La configuration de cet appareil est :

- Géométrie à sphère intégratrice diffuse d/8°,
- Composant spéculaire inclus, la composante de la brillance est incluse,
- Illuminant D65,
- Observateur standard 10°,
- Temps d'acquisition de 3 secondes.

Les mesures de couleur par acquisition d'images sont réalisées avec une caméra Sony 3 CCD et une carte d'acquisition d'image Matrox. Le temps d'acquisition et de traitement de ces images couleurs est inférieur à 0,1 seconde et son traitement est entièrement automatisé. La caméra est disposée à 1,2 m du tapis de convoyage.

RENDEMENT TECHNOLOGIQUE

Un protocole comparable au test de rendement Napole de Naveau (1986) est appliqué. Les échantillons sont parés au couteau à 2 jours, les tissus gras et conjonctifs enlevés. 50 grammes de muscle sont placés dans un sac plastique. 10 grammes de saumure à base de sel nitraté sont ajoutés à la viande (saumure à 136 g de sel nitraté par litre d'eau).

Le sac est mis sous vide et incubé pendant 24 heures entre 4 et 8 °C. Il subit un malaxage en conditions standardisées pendant 12 heures à raison de 20 minutes à 8 tours par minute et 40 minutes de repos.

Les sacs sont plongés dans l'eau bouillante sous agitation. Des conditions homogènes de cuisson sont ainsi obtenues pour chaque échantillon. La durée totale de cuisson est de 10 minutes.

Les sachets sont ensuite retirés et ouverts. Le produit cuit est disposé sur un égouttoir où le surnageant peut s'écouler. Il reste 2 h 30 à l'égouttage avant la pesée.

Le rendement de cuisson estimé est alors :

Rendement technologique = Poids de viande cuite égouttée/ poids de viande au départ.

RÉSULTATS

La vision numérique pourra-t-elle assurer une fonction dans l'évaluation de la qualité de la viande et cette fonction est-elle transposable en site industriel ?

Nous avons essayé de répondre à cette question, en analysant les relations qui existent entre les composantes de la couleur évaluée par une caméra et des références de qualité telles que :

- l'âge de la viande,
- le type de muscle considéré,
- le rendement technologique,
- la composante L* de la couleur,
- le pH.

Vision numérique : un outil pour évaluer la qualité de la viande de poulet en ligne

INFLUENCE DU SITE DE LA MESURE

La localisation anatomique a une très grande influence sur la couleur ainsi que sur le pH. Car ces données sont influencées par le type de fibres musculaires qui composent le muscle. De plus, des travaux antérieurs nous ont montré que la relation entre le pH et la couleur mesurés sur différents types de muscles, chez un même individu, était fonction du type de fibres musculaires qui compose ce muscle (Boutten et Boutten, 2004 ; Sakakibara *et al.*, 2000). La relation qui lie le pH du *pectoralis major* et le pH de l'*iliotibialis* chez un même poulet est très faible. Il en est de même pour les mesures de couleur. La même relation entre le pH du *pectoralis major* et du *pectoralis minor* est étroite, ces deux muscles étant fortement apparentés.

INFLUENCE DU MOMENT DE LA MESURE

L'âge de la viande est un facteur qui influence les mesures de couleur et les mesures de pH. Les évolutions sont rapides après l'abattage. En sites industriels, elles sont évaluables facile-

ment dès le stade de la découpe qui pour le poulet peut être de 2 heures après l'abattage.

Les évolutions du pH et de la couleur après abattage sont complexes. Elles sont soumises à des influences diverses : génétique, régime alimentaire, jeunement, stress mais également anesthésie et vitesse de refroidissement.

Pour une mesure précoce en abattoir, la mesure de la couleur est plus stable qu'une mesure de pH comme le montrent les figures 1A et 1B. Les mesures ont été réalisées en abattoir pendant quatre jours de prélèvement, elles utilisent la matière première provenant de 9 élevages différents.

Les mesures réalisées précocement montrent une relation comparable aux mesures réalisées à 24 heures avec le rendement technologique. Le travail des pectoraux de poulet par lots de 10 pectoraux en classe de pH et de couleur est représenté figure 2A pour le pH et figure 2B pour la couleur. On observe que les relations sont meilleures pour les mesures réalisées 3h30 après abattage.

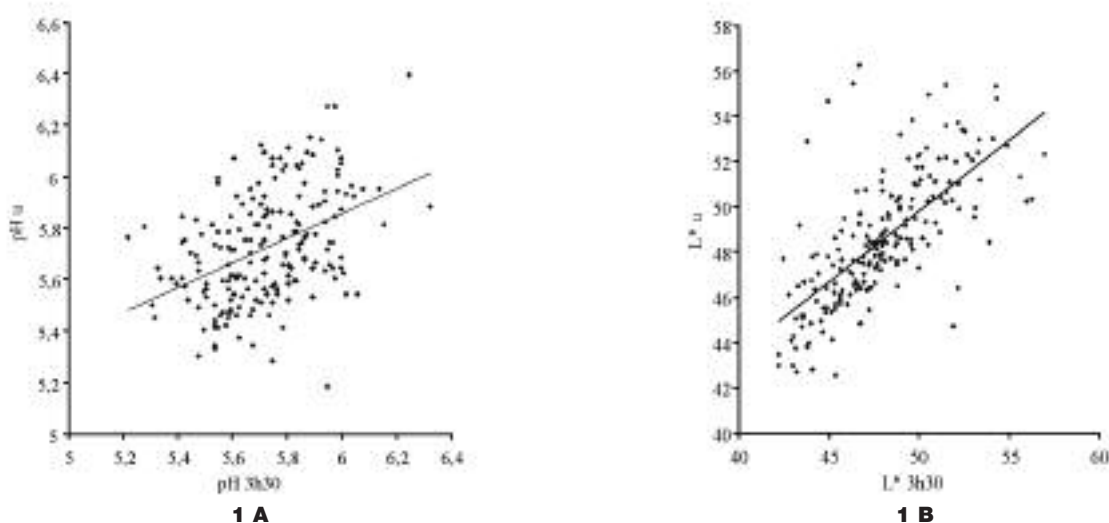


FIGURE 1. Relation entre mesures réalisées après ressuyage 3h30 après abattage et à 24 heures après abattage.

- A mesure du pH : $r = 0,43$; $n = 196$; $p = 3,4 * 10^{-10}$

- B mesure du L* : $r = 0,69$; $n = 196$; $p = 3,5 * 10^{-29}$

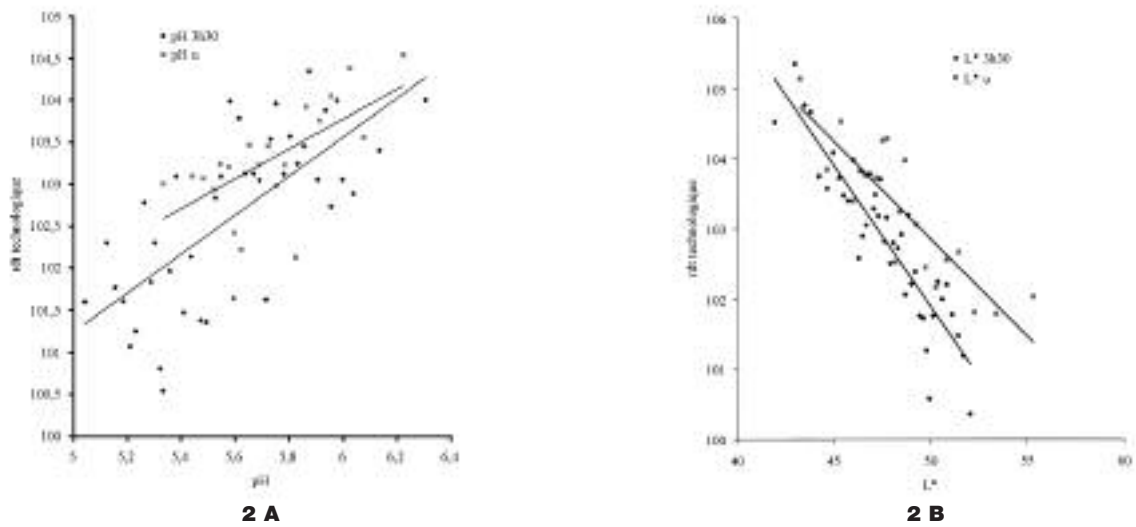


FIGURE 2. Relation entre les mesures de pH et de la composante L* de la couleur (à 3h30 et 24h après abattage) et le rendement technologique.

- A pH3h30 ; $r = 0,70$ pour 41 lots de 10 pectoraux ($p = 3,1 * 10^{-7}$)
 pHu ; $r = 0,64$ pour 20 lots de 10 pectoraux ($p = 2 * 10^{-3}$)
- B L*3h30 ; $r = 0,90$ pour 46 lots de 10 pectoraux ($p = 2,4 * 10^{-19}$)
 L*u ; $r = 0,87$ pour 20 lots de 10 pectoraux ($p = 9,6 * 10^{-7}$)

INFLUENCE DE L'ABATTAGE

L'outil d'abattage influence fortement les mesures précoces après ressuyage. Des valeurs différentes sont observées lors de l'utilisation de différents outils d'abattage. Cette situation est montrée figure 3. Dans deux outils d'abattage, la

relation entre la composante L* de la couleur et le pH après ressuyage sur un total de 680 pectoraux provenant de 10 élevages différents a été étudiée. On observe une différence de relation entre pH et L* en travaillant par lot de 10 pectoraux entre les deux abattoirs. Pour l'abattoir 1, les prélèvements

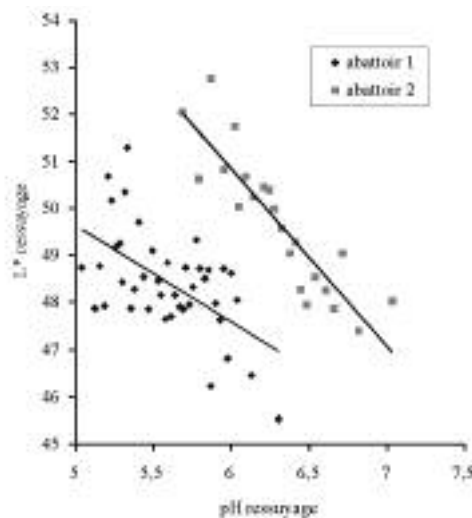


FIGURE 3. Relation entre pH et L* ressuyage dans deux abattoirs :
 - abattoir 1 : $r = 0,57$; pour 46 lots de 10 pectoraux ($p = 9. 10^{-5}$).
 - abattoir 2 : $r = 0,89$; pour 22 lots de 10 pectoraux ($p = 3,5. 10^{-8}$).

Vision numérique : un outil pour évaluer la qualité de la viande de poulet en ligne

avaient été réalisés sur quatre jours sur des échantillons provenant de 9 élevages différents. Alors que pour l'abattoir 2, les prélèvements ont été réalisés le même jour sur des échantillons provenant d'un même élevage.

Les relations entre pH ressuyage et rendement technologique, et entre L* ressuyage et rendement technologique sont également données pour les deux abattoirs (figure 4). Dans cette situation, les relations entre composante L* ressuyage et rendement technologique sont meilleures qu'entre pH ressuyage et rendement technologique. Globalement, à pH ou L* ressuyage équivalent, le rendement technologique de l'abattoir 1 est meilleur. Cette situation peut avoir différentes causes :

- conditions d'élevage,
- outil d'abattage,
- conditions technologiques.

Cette dernière cause semble plus probable compte tenu des résultats obtenus avec les mesures à 24 heures (figure 5). Deux autres abattoirs ont été testés, ils donnent des résultats comparables à l'abattoir 2. Sur 4 abattoirs testés par des mesures à 24 heures, 3 donnent les mêmes types de résultats. Il n'est pas logique de voir de telles différences de rendement technologique entre l'abattoir 1 d'une part et l'abattoir 2, 3, et 4 d'autre part, alors que les mesures de pH et de couleurs sont comparables. Cette différence de comportement technologique doit s'expliquer par une différence de manipulation lors du processus technologique.

L'analyse de l'évolution des mesures de pH et de couleur est représentée dans la figure 6 et le tableau 1.

Après 24 heures, dans des conditions de température stabilisée, le pH évolue faiblement. Il en va

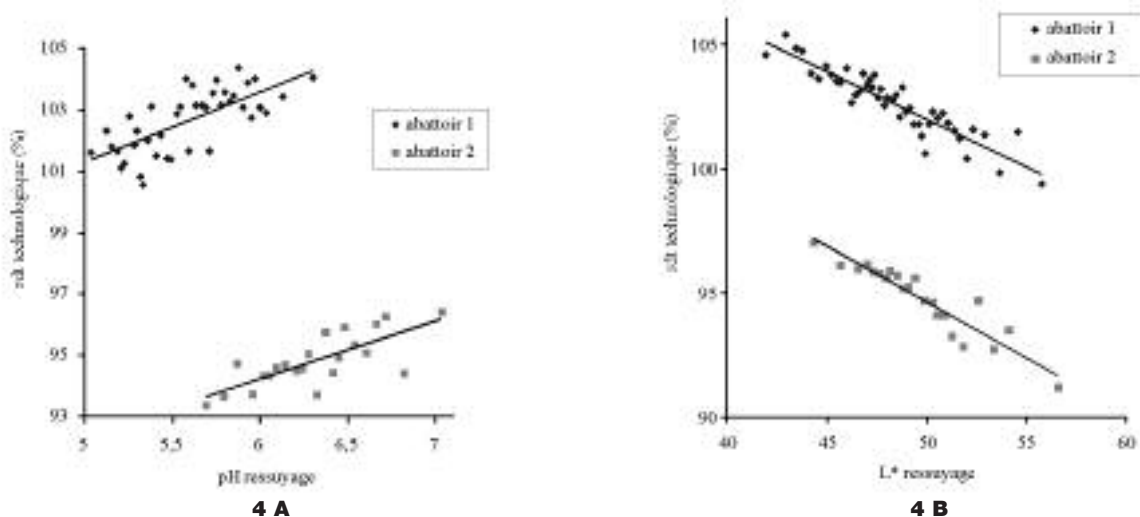


FIGURE 4. Relation entre pH ressuyage et rendement technologique (4A), et entre L* ressuyage et le rendement technologique en % (4B) :

- 4A - abattoir 1 : $r = 0,70$; pour 41 lots de 10 pectoraux ($p = 3,1.10^{-7}$).
- abattoir 2 : $r = 0,75$; pour 22 lots de 10 pectoraux ($p = 5,2.10^{-5}$).
- 4B - abattoir 1 : $r = 0,93$; pour 46 lots de 10 pectoraux ($p = 2,4.10^{-19}$).
- abattoir 2 : $r = 0,92$; pour 22 lots de 10 pectoraux ($p = 2,1.10^{-10}$).

de même pour la composante L* de la couleur, alors que les composantes a* et b* vont poursuivre leur évolution.

Cette évolution est traduite par la relation moins étroite entre les composantes a* et b* de la couleur mesurées à J+2 et mesurées à J+6 lors de la régression passant par le point origine (0,0).

Les évolutions des mesures de pH et de couleur sont également montrées par les écarts entre les

droites de régression passant par les points originaires (qui représentent la non évolution de la mesure) et la droite de régression des moindres carrés. Les plus forts écarts sont observés pour a* et pour b*.

Elles sont encore montrées par la valeur du coefficient multiplicateur de la droite des moindres carrés.

Les résultats obtenus avec les composantes L* de la couleur mesurées par un spectrophotomètre sont transposables aux mesures réalisées par

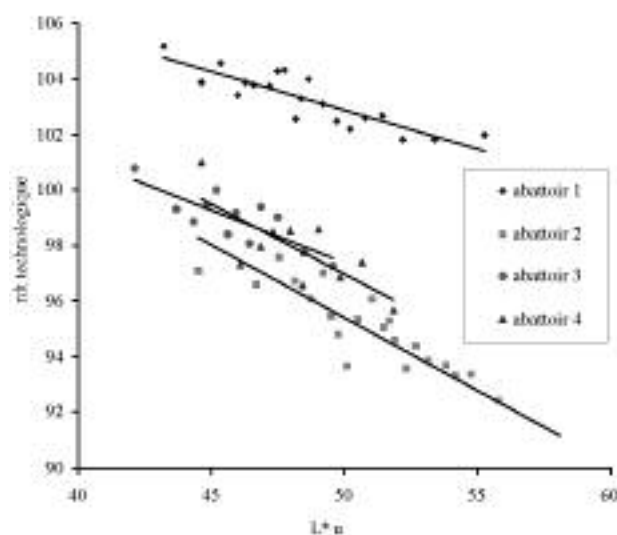


FIGURE 5. Relation entre L* ultime et rendement technologique dans quatre abattoirs différents :
 - abattoir 1 : $r = 0,87$; pour 20 lots de 10 pectoraux ($p = 7,6 \cdot 10^{-7}$).
 - abattoir 2 : $r = 0,91$; pour 22 lots de 10 pectoraux ($p = 6,4 \cdot 10^{-9}$).
 - abattoir 3 : $r = 0,81$; pour 12 lots de 10 pectoraux ($p = 1,6 \cdot 10^{-3}$).
 - abattoir 4 : $r = 0,75$; pour 10 lots de 10 pectoraux ($p = 1,3 \cdot 10^{-2}$).

	effectif	Droite des moindres carrés	r	p	Droite passant par l'origine	r
L*	120	$y = 0,81x + 9,82$	0,80	$1,2 \cdot 10^{-25}$	$L^* j+6 = 1 L^* j+2$	0,78
A*	120	$y = 0,57x + 1,15$	0,72	$1,9 \cdot 10^{-16}$	$a^* j+6 = 0,91 a^* j+2$	0,56
B*	120	$y = 0,64x + 0,90$	0,73	$2,4 \cdot 10^{-16}$	$b^* j+6 = 1 b^* j+2$	0,53
pH	160	$y = 0,78x + 1,28$	0,75	$1,3 \cdot 10^{-29}$	$pH j+6 = 1 pH j+2$	0,71

TABLEAU 1. Équation des droites de régression des moindres carrés et des droites de régression passant par le point origine, montrant l'évolution des composantes L*A*B* de la couleur et du pH entre j+2 et j+6.

Vision numérique : un outil pour évaluer la qualité de la viande de poulet en ligne

une caméra comme montré sur la figure 7A. Les différences obtenues entre les deux types de mesures peuvent s'expliquer par la localisation de la mesure. Le spectrocolorimètre réalise une mesure localisée sur approximativement 1cm² dans la partie centrale du pectoral, alors que la caméra prend en compte l'ensemble du pectoral. Les relations entre le pHu et l'indice qualité mesuré par la caméra (Figure 7B) sont comparables avec celles trouvées entre le pHu et la composante L*u de la couleur mesurée avec un spectrocolorimètre.

La relation entre l'indice caméra et le rendement technologique a été évaluée sur deux lots de pec-

toraux de poulets de 2 types génétiques différents, avec deux alimentations différentes, dans deux élevages différents (Figure 8). La corrélation entre l'indice caméra et le rendement technologique est très fortement significative (série 1 : $r = 0,97$, $p = 6.10^{-6}$; série 2 : $r = 0,93$, $p = 9,7 * 10^{-5}$).

CONCLUSION

Le tri en ligne couleur permet une évaluation non invasive de la qualité de la viande. De plus, dans le cadre de la filière volaille, il présente l'avantage de pouvoir être rapide et robuste par opposition au tri

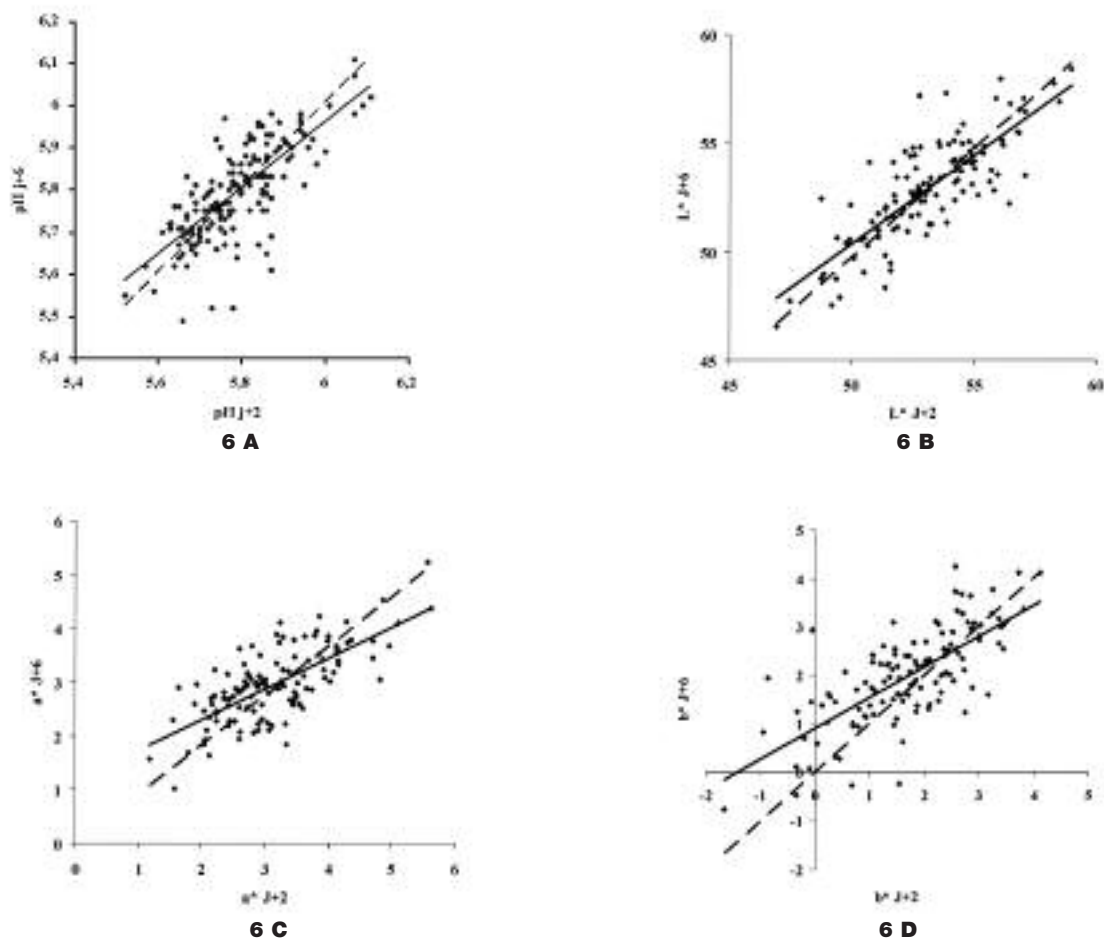


FIGURE 6. Évolution du pH (Fig 6 A) et des composantes de la couleur dans le systèmeLab (Fig 6 B C D) entre 2 jours (j+2) et 6 jours (j+6) après abattage.

— Droite de régression

- - - Droite de régression passant par le point origine (0,0)

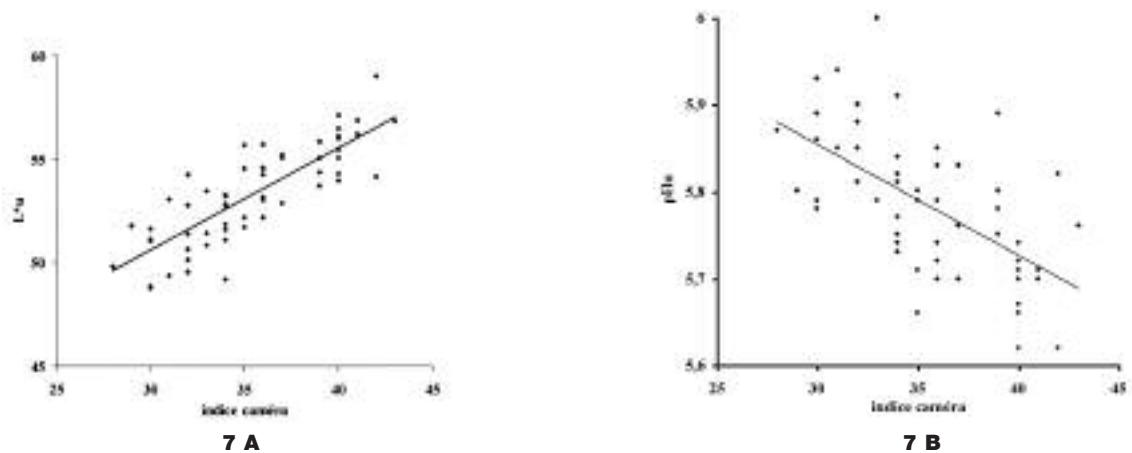


FIGURE 7. Relation entre l'indice évalué par une caméra et :
 - A la composante L^* ultime (Fig 7A ; $n = 60$, $r = 0,81$, $p = 5,6.10^{-26}$)
 - B le pH ultime (Fig 7B ; $n = 60$, $r = 0,61$, $p = 4,9.10^{-13}$)

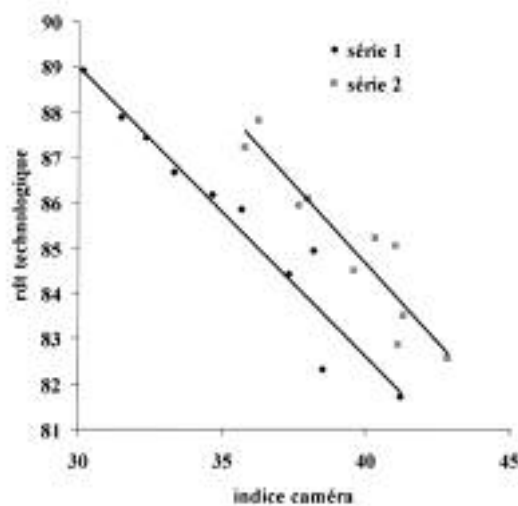


FIGURE 8. Relation entre indice caméra et rendement technologique sur des lots de fabrication de blanc cuit saumuré de 5 pectoraux.

pH dont la maintenance est plus complexe (sonde fragile nécessitant des changements réguliers, problème d'étalonnage et de stabilité) et qui nécessite une stabilisation pour réaliser la mesure.

Le tri en ligne couleur présente des difficultés de mise en place qui sont liées à la réponse à plusieurs questions.

- L'origine de la matière première influence-t-elle la validité de la mesure ?

Il faut d'abord remarquer que dans les différentes composantes de la couleur, c'est la compo-

sante L^* qui est la plus fortement liée à la notion de qualité de la viande (Boutten *et al.*, 2003). Les résultats que nous présentons ici montrent une variation acceptable de cette composante lors de la prise en compte des facteurs génétique, d'élevage, d'abattage, de découpe et de conservation de la viande. Dans des conditions précoces après le ressuyage, la composante L^* de la couleur est même plus pertinente que le pH pour l'évaluation de la qualité (Figures 1 et 2). La variabilité de la composante L^* a déjà largement été abordée par des études réalisées dans trois outils industriels d'abattage et de

Vision numérique : un outil pour évaluer la qualité de la viande de poulet en ligne

découpe dans la première partie de ce programme, où elle a montré des variations similaires.

- Les résultats obtenus avec un spectrocolorimètre ou un colorimètre sont-ils transposables à une caméra ?

Les résultats que nous obtenons ici sont positifs. On observe une transposition des résultats obtenus du spectrocolorimètre à la caméra ($p = 5,6 \cdot 10^{-26}$). Il faut toutefois remarquer que cette transposition est complexe. Elle nécessite de bien maîtriser le facteur éclairage lors de l'évaluation de la qualité de la viande par la caméra. Les conditions d'acquisition actuelle, déjà très satisfaisantes, devraient pouvoir encore être améliorées.

- Le système d'acquisition d'images sera-t-il adapté aux contraintes industrielles ?

L'acquisition d'images présente l'avantage d'une grande rapidité de traitement. Dans le cas du pectoral de poulet, le traitement de l'échantillon sur tapis de convoyage prend moins de 0,1 seconde et la vitesse du traitement peut encore être améliorée.

Le système dont nous disposons montre une bonne adaptation pour déterminer la qualité de la viande en situation industrielle. C'est la confrontation aux problèmes multiples du terrain qui lui permettront d'être validées.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'OFIVAL d'avoir soutenu le projet "Adaptation de la viande de poulet à la transformation : mise en place d'une méthode de tri".

RÉFÉRENCES

- AHN D.U. et MAURER J. (1990). Poultry meat color : pH and the heme-complex forming reaction. *Poultry science*, vol. 69, p. 2040-2050.
- AMSA (1991). Guidelines for meat color evaluation. *American meat science association and National livestock and Meat board*, Chicago, IL.
- BARBUT S. (1998). Estimating the magnitude of PSE problem in poultry. *Journal of muscle foods*, 9, p. 35-49.
- BOUTTEN B., PICARD M., BOUVAREL I., MEKHTICHE L., LARROUDE P., BARRIER-GUILLOT B. et ROFFIDAL L. (2003). Relationships between pH, colour and technological behaviour of brined cooked breast of chicken. *British poultry science*, vol. 44, n° 5, p. 783-784.
- BOUTTEN B. et BOUTTEN P. (2004). Adaptation des qualités technologiques de la viande de poulet aux nouvelles demandes des transformateurs. *Bulletin de liaison du CTSCCV* (en cours de publication).
- DEBUT M., BERRI C., BAÉZA E., SELLIER N., ARNOULD C., GUÉMÉNÉ D., JEHL N., BOUTTEN B., BEAUMONT C., JEGO Y. et LE BIHAN-DUVAL E. (2004). Variation of chicken technological meat quality in relation with genotype and stressing pre-slaughter conditions. En cours de publication *Journal of animal science*.
- HONIKEL K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat science*, vol. 49, n° 4, p. 447-457.
- JACQUET B., SELLIER P., RUNAVOT J.P., BRAULT D., HOUIX Y., PERROCHEAU C., GOGUÉ J. et BOULARD J. (1984). Prédiction du rendement technologique de la fabrication du jambon de Paris à l'aide de mesures prises à l'abattoir. *16^{es} Journées de la recherche porcine en France*, vol. 16, p. 49-58.
- LESIAK M.T. OLSON D.G., LESIAK C.A. et AHN D.U. (1996). Effect of post-mortem time before chilling and chilling temperatures on water-holding capacity and texture of turkey breast muscle. *Poultry science*, vol. 76, p. 552-556.
- MARTY-MAHÉ P., RAFFY G., OLLIVIER M. et MARCHAL P. (1999). Détection de défauts sur carcasses de dinde sur chaîne d'abattage par vision numérique couleur. *3^{es} Journées de la recherche avicole*, p. 371-374.
- NAVEAU J. (1986). Contribution à l'étude du déterminisme génétique de la qualité de viande porcine. Héritabilité du rendement technologique NAPOLE. *18^{es} Journées de la recherche porcine en France*, vol. 18, p. 265-276.
- SAKAKIBARA K., TABATA S., SHIBA N., GOTOH T., NISHIMURA S. et IWAMOTO H. (2000). Myofibre composition and total collagen content in *M. iliotibialis lateralis* and *M. pectoralis* of Sikie and White Leghorn chickens. *British poultry science*, vol. 41, p. 570-574.
- WILKINS L.J., BROWN S.N., PHILLIPS A.J. et WARRIS P.D. (2000). Variation in the colour of broilers breast fillets in the UK. *British poultry science*, vol. 41, p. 308-312.
- WOELFEL R.L., OWENS C.M., HIRSCHLER E.M., MARTINEZ-DAWSON R. et SAMS A.R. (2002). The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *Poultry science*, vol. 81, p. 579-584.