



Mise en place d'un tri qualité par vision pour jambon 4D et jambon dépiécé dit 5D



Le jambon cuit supérieur est le produit phare en valeur et en tonnage, des Industries de transformation de la viande (203 779 tonnes en 2005). Ce tonnage augmente encore régulièrement : + 0,8 % entre 2004 et 2005.

Dans les années 80, les salaisonniers ont développé un nouveau produit, le jambon cuit supérieur, prétranché, préemballé. Ce produit connu immédiatement une progression spectaculaire et régulière depuis sa création en 1987. Il progresse encore actuellement d'après les chiffres de la FICT : + 7,7 % entre 2004 et 2005. Le jambon à la coupe, lui, connaît une régression régulière, d'après les chiffres de la FICT, - 6,6 % entre 2004 et 2005.

Le conditionnement du jambon prétranché et préemballé entraîne des contraintes supplémentaires pour le transformateur :

- hygiène rigoureuse pour éviter les contaminations microbiologiques,
- cadence de tranchage élevée,
- maîtrise de l'aspect du produit qui doit être irréprochable.

En plus de ces nouvelles contraintes, le salaisonnier doit répondre aux contraintes inhérentes à la fabrication du produit qu'est le jambon cuit supérieur, c'est à dire qu'à partir d'un jambon de caractéristiques pondérales, dimensionnelles et fonctionnelles hétérogènes, il doit fabriquer un produit de caractéristiques les plus constantes possibles qu'il s'agisse de l'assemblage des muscles, de la couleur, de la texture, mais aussi des critères analytiques internes, réglementaires ou contractuels et bien sûr des rendements technologiques de fabrication des pièces et de tranchage.

Le salaisonnier, pour répondre à cette production, a donc augmenté ses critères de qualité vis-à-vis de la matière première.

Actuellement, le tri qualité du jambon destiné à la transformation en jambon cuit se fait principalement et d'abord sur le jambon brut à réception grâce à la pHmétrie sur un site de mesure dont la localisation est parfaitement définie par la norme NF V 46-012 juillet 2001, c'est-à-dire dans le muscle demi-membraneux à 5 cm du quasi et entre 2 et 3 cm de profondeur. Le tri qualité se fait également visuellement après désossage-parage et ouverture du jambon.

Aujourd'hui, du fait de l'évolution des échanges entre découpeurs et transformateurs et notamment de la commercialisation de plus en plus fréquente de jambons 4 et 5 D (4D : Découenné, Désossé, Dénervé, Dégraissé, 5D : la même chose mais Dépiécé en plus), la référence au site de la norme AFNOR est perdue et les industriels sont à la recherche d'autres méthodes d'évaluation de la qualité pour déterminer l'aptitude à la transformation.

Résumé

Le contrôle de la qualité du jambon est nécessaire pour le salaisonnier. Prédire son comportement à la transformation permet de maîtriser son rendement technologique. Cette prédiction s'exprime vis à vis du rendement de tranchage. L'évolution de l'approvisionnement des salaisonniers du jambon brut au jambon 4D, puis 5D impose une autre méthode que le tri pH à réception difficile sur jambon 4D et surtout 5D. Le tri en ligne par vision permet une évaluation de la qualité des jambons 4D. L'équation fait intervenir 4 variables (rouge, vert, bleue, L). La mesure présente une bonne reproductibilité dans la configuration de l'étude, le tapis évoluant à 6 m/min, ce qui permet de répéter 10 fois la mesure sur le même jambon. Les relations entre mesure par caméra et pH sont fortement corrélées. Des résultats favorables ont été obtenus avec les transformations industrielles.

Pour la qualification des jambons 5D, une reconnaissance des pièces anatomiques doit être mise en place faisant intervenir des outils statistiques adaptés.

Bruno BOUTTEN



La vision utilise l'information générée par la couleur de la viande pour prédire le comportement technologique de celle-ci.

La vision numérique est une méthode possible pour l'évaluation de la qualité de la viande. La vision numérique a déjà été utilisée dans différentes études en donnant des résultats qui sont prometteurs mais parcellaires (Franck et al., 2000 ; Marty-Mahé, 1999 ; Sébastien et al., 2003). La vision utilise l'information générée par la couleur de la viande pour prédire le comportement technologique de celle-ci.

Le jambon est une « matière première » hétérogène :

- **C'est une « mosaïque » de muscles**, plus de 25 qui présentent des différences anatomiques, et d'équipement en fibres musculaires (Boutten, 2002 B ; Guintard et al., 2004).
- **La génétique et les conditions d'élevage du porc charcutier** modifient la composition chimique (taux de matière grasse, taux de sucres) et les caractéristiques conformationnelles (taille des muscles) et génèrent également des différences de couleur et de pH (Boutten, 2002A ; Minvielle et al., 2002 ; Boutten, 2004A).
- **Les conditions dites « perimortem » de pré et de post abattage** affectent la conversion du muscle en viande. Elles conditionnent le pH et la couleur et déterminent des problèmes de qualité de viandes type PSE, DFD et plus récemment déstructurées (Monin et al., 1998 ; Minvielle et al. 2003 ; Boutten, 2004B).
- **Par son conditionnement**, le jambon arrive chez le salaisonnier entier ou déjà pré-découpé, dépiécé et paré. Les caractéristiques de ces deux matières premières sont différentes.

La vision a vocation à permettre la reconnaissance des différentes pièces anatomiques et la production de critères en relation avec la couleur en vue de prédire, pour

différents niveaux de seuils, le comportement en transformation, la déstructuration et les écarts de coloration sur matière première compatibles avec l'aspect recherché pour le produit fini. L'outil dont on dispose permet d'évaluer la couleur dans plusieurs espaces colorimétriques, (RVB, HLS, YUV) en temps réel.

Mesure du pH et de la couleur

Le pHu est mesuré avec un «pHmètre Sydel pH plus» et de manière la plus proche de la norme NF V 46-012 juillet 2001, c'est-à-dire dans le muscle demi-membraneux à 5 cm du quasi et entre 2 et 3 cm de profondeur. Il ne faut pas oublier que les mesures du pH sont réalisées sur jambon 4D.

Les mesures de couleur sont faites dans la partie centrale interne du demi-membraneux 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 de géométrie à sphère intégratrice diffuse d/8°, avec composant spéculaire inclus ; la composante de la brillance est incluse, avec illuminant D65, observateur standard 10 et temps d'acquisition de 3 secondes.

Les mesures de couleur par acquisition d'images sont réalisées avec une caméra digitale Sony 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 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 nitré sont ajoutés à la viande (saumure à 136 g de sel nitré 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.

Optimisation du système d'éclairage

6 éclairages différents ont été testés sur 40 carrés de viande de 10 cm de côté. Des différences de relation de la couleur mesurée par une caméra et la composante L* mesurée par un spectrocolorimètre ou le pHu, sont observées. Dans cette première approche, nous nous sommes volontairement limités aux relations entre la composante verte de la couleur, le pH et L*. Cette composante verte ayant été montrée comme la plus importante dans des publications antérieures (Franck et al.,

La vision a vocation à permettre la reconnaissance des différentes pièces anatomiques et prédire le comportement en transformation, la déstructuration et les écarts de coloration.



2000 ; Marty-Mahé et al., 1999). L'évolution de ces relations est montrée dans les Figures 1 et 2.

Des 6 éclairages, c'est l'éclairage D (OSRAM, Dulux El 16W 900 lumens) qui est le plus favorable avec un coefficient de corrélation avec le pH de 0,63, et avec le L* de 0,78. Cet éclairage sera utilisé pour la suite des manipulations.

Recherche d'un modèle d'équation pour la prévision du pHu

Pour des raisons de simplicité, la régression a été utilisée comme modèle. 7 variables (rouge, vert, bleue, H, L, S et Y) obtenues dans trois espaces colorimétriques différents ont été évaluées par le système d'acquisition d'image. La significativité des coefficients des différentes variables retenues est donnée en Tableau 1. Ces valeurs ont été évaluées à partir de 1 500 jambons de 36 lots provenant de 17 abattoirs différents. La régression 1 est une régression multiple des composantes rouge, verte, bleue, H, L, S, Y vis à vis du pHu. La régression 2 est une régression multiple des composantes rouge, verte, bleue, L vis à vis du pHu. La régression 3 est une régression multiple de

Figure 1 : Evolution du coefficient de corrélation entre le pHu et la composante verte évaluée par une caméra

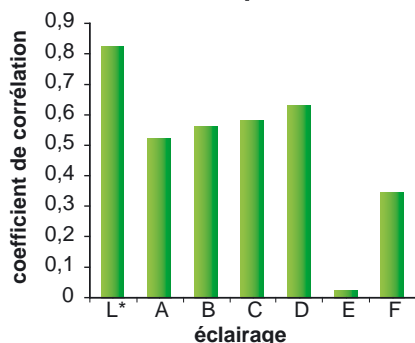
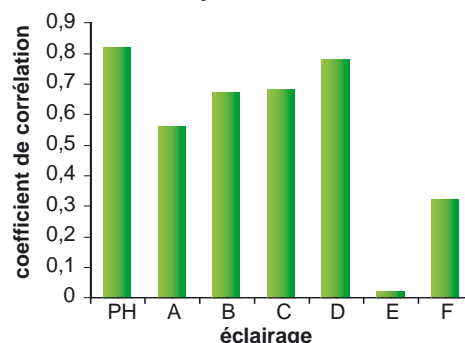


Figure 2 : Evolution du coefficient de corrélation entre L* et la composante verte évaluée par une caméra



la composante verte vis à vis du pHu. Seul l'intersection avec l'axe des abscisses et le coefficient de la composante verte est significative dans les trois types de régression. Les coefficients de corrélation des régressions 1 et 2 sont comparables, celui de la régression 3 est nettement inférieur.

La régression 2, utilisant les variables rouge, vert, bleu, L a été retenue pour le calcul du pHcaméra. L'équation de la régression multiple est :

$$\text{pHcaméra} = 12,183 - 0,165 * \text{rouge} - 0,018 * \text{vert} - 0,15 * \text{bleu} + 0,292 * L$$

L'analyse des résidus, différence entre valeur calculée et valeur mesurée, montre une légère augmentation (non significative) de ces résidus au dessus d'un pHcaméra de 5,8. Ce modèle simple peu donc être retenu pour une

évaluation du pHu, les valeurs de pHu intéressantes étant inférieures à 5,8.

La relation entre l'indice caméra et le pHu mesuré sur du jambon 4D à réception en salaison est repré-

Figure 3 : Relation entre pHcaméra et pHu évalué sur 1 500 jambons 4D

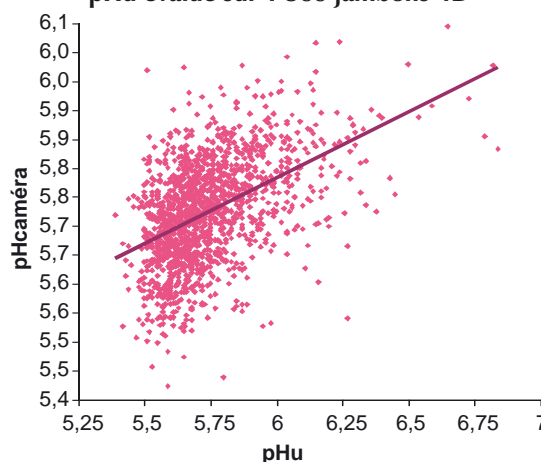


Figure 4 : Relation entre le pHu et le pHcaméra par allotement de 10 jambons 4D sur une population de 1 500 jambons

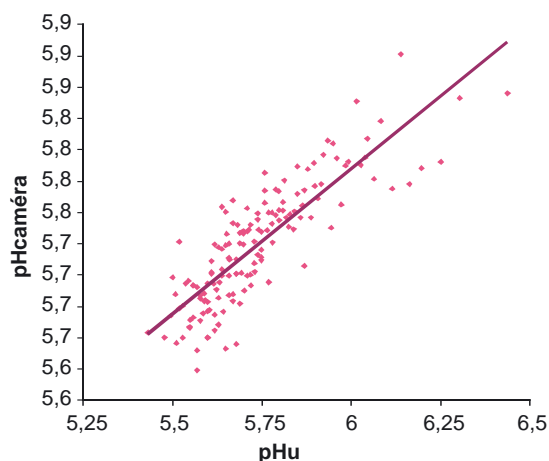


Tableau 1 : Significativité des coefficients de régression associés aux différentes variables en fonction des variables retenues dans la régression

Variable	Régression 1	Régression 2	Régression 3
intersection	7 * 10-6	2 * 10-16	2 * 10-16
rouge	0,15	0,06	
vert	10-3	2 * 10-16	2 * 10-16
bleue	0,16	0,09	
H	0,88		
L	0,14	0,1	
S	0,90		
Y	0,91		
Corrélation	0,48	0,48	0,29



Ce sont les variables L et vert mesurées par la caméra qui évoluent de façon la plus similaire à la variable pHu.

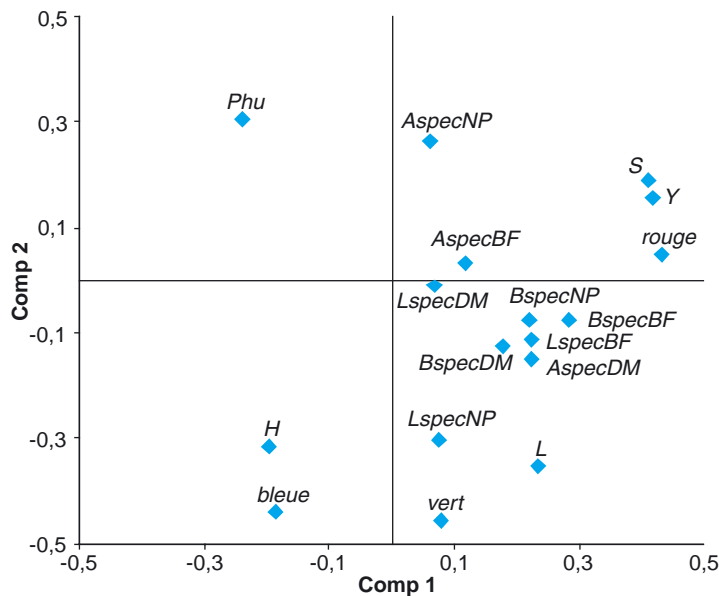
sentée en Figure 3. 1 500 jambons 4D sont utilisés pour cette étude, la corrélation est très significative ($p < 0,01\%$). La Figure 4 montre la même relation mais réalisée par allotement en fonction du pHu en lots de 10 jambons et ceci avec 1 500 autres jambons. La relation entre pHu et pHcaméra est traduite par un coefficient de relation de 0,85. Elle est significative avec un p inférieur à 0,01%.

Analyse des relations entre pHu, mesure de la couleur par une caméra et un spectrorimètre

Une mesure de pH du demi membraneux, à réception en salaison a été réalisée sur 240 jambons 4D. Sur les mêmes jambons, une mesure de couleur par une caméra a été réalisée ainsi qu'une

mesure de couleur avec un spectrorimètre CM2002 sur la partie interne du demi membraneux, du *biceps femoris* et de la noix pâtissière (sur le muscle vastus intermedius, le mouvant). Pour les mesures caméras, les variables rouge, vert, bleu, H, L, S, Y ont été analysées. Pour les mesures de spectrorimètre, ce sont les variables L^* , a, b qui ont été analysées. Les relations des variabilités de ces différentes mesures ont été analysées par une ACP (Figure 5).

Figure 5 : Représentation de l'analyse en composante principale des différentes variables couleurs mesurées avec une caméra et un spectrorimètre, et le pHu

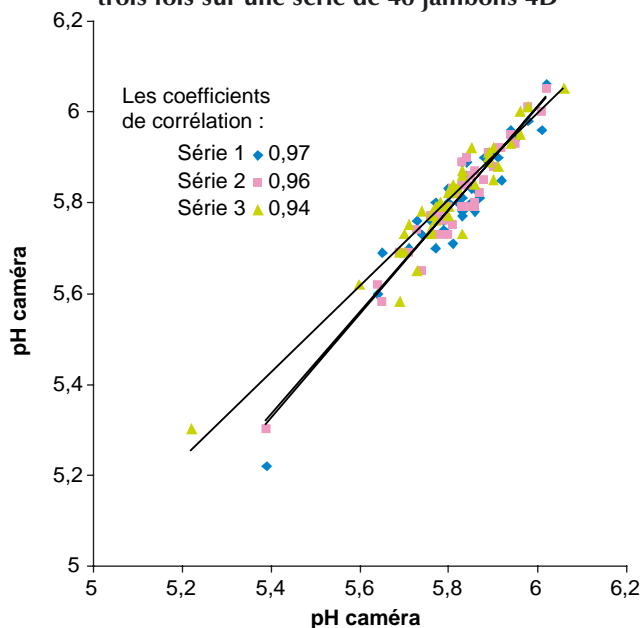


Ce sont les variables L et vert mesurées par la caméra qui évoluent de façon la plus similaire à la variable pHu. Ces variables sont en opposition au pHu par rapport au point origine. Il est à remarquer que les composantes L^* mesurées par le spectrorimètre (LspecDM, LspecBF, LspecNP) ne présentent pas une bonne relation avec la mesure du pHu. Ces mauvaises relations peuvent s'expliquer par le caractère non paré des muscle analysés, la mesure du spectrorimètre étant réalisée sur une plus petite surface (de l'ordre du cm^2), elle est plus sensible à ce problème. L'ACP nous montre que d'autres variables telles que la composante bleue ou S, sont potentiellement une source d'informations de la variabilité.

Tableau 2 : Coefficient de corrélation entre les différentes variables mesurées et le pHu

	Corrélation pH
rouge	-0,42
vert	-0,43
bleu	-0,08
H	-0,14
L	-0,47
S	-0,31
Y	-0,34
L^* spec DM	-0,14
A spec DM	-0,31
B spec DM	-0,30
L^* spec BF	-0,06
A spec BF	-0,06
B spec BF	-0,31
L^* spec NP	-0,39
A spec NP	0,31
B spec NP	-0,18

Figure 6 : Reproductibilité des mesures pHcaméra réalisées trois fois sur une série de 40 jambons 4D



Les corrélations de ces différentes variables avec le pHu sont données dans le Tableau 2 et confirment cette situation.

Reproductibilité de l'indice caméra

Des travaux antérieurs ont déjà montré la reproductibilité de la mesure (Evaluation en ligne de la qualité de la viande de poulet par vision numérique. Bruno Boutten, et al.). Pour vérifier la reproducti-



bilité de la mesure sur le jambon 4D, une série de 40 jambons a été mesurée trois fois.

Les résultats de cette manipulation sont présentés à la Figure 6. La comparaison des résultats de chaque série montre des coefficients de corrélation de 0,94 ; 0,97 ; 0,96 donc hautement significatifs ($p < 0,01$ %). Un test de Friedman a permis de comparer ces trois répétitions, aucune différence significative au risque de 5 % n'est trouvée entre ces trois groupes.

Relation entre le pHu et le pHcaméra avec le rendement Napole

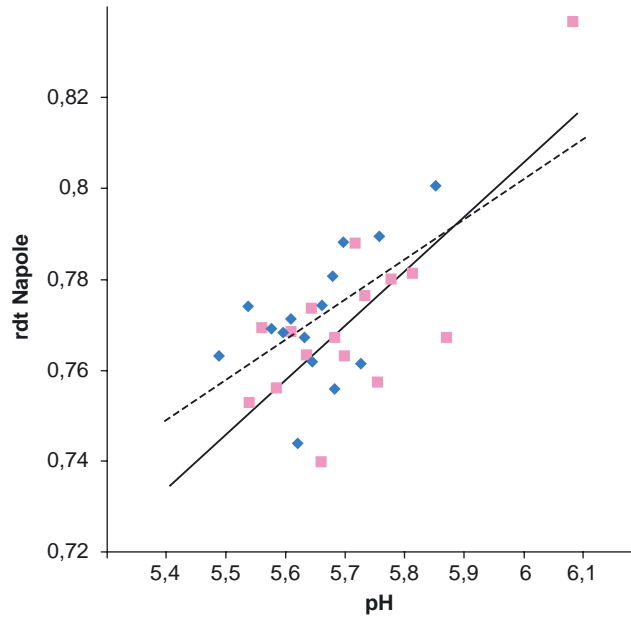
La relation entre le rendement Napole et le pHu et le pH caméra est représentée Figure 7. 80 jambons ont été utilisés. Chaque point représente les valeurs obtenues pour 5 échantillons.

La relation montre un p de 2 % entre pHcaméra et rendement Napole avec un coefficient de corrélation de 0,56, alors qu'il est inférieur à 0,1 % dans le cas de la relation entre pHu et rendement Napole avec un coefficient de corrélation de 0,77.

Identification automatique de différentes pièces anatomiques du jambon

Dans le cadre de la caractérisation des différentes pièces anatomiques composant le jambon, l'analyse de 37 noix pâtissières (NP), 44 *biceps femoris* (B), 15 demi membraneux (D), 38 semi tendineux (S) et 29 fessiers moyens (F) a été réalisée. L'analyse en composantes principales des données dimensionnelles est représentée Figure 8.

Figure 7 : Reproductibilité des mesures pHcaméra réalisées trois fois sur une série de 40 jambons 4D



Elle montre trois populations :

- la population 1 est principalement composée de **noix pâtissière**,
- la population 2 est composée de **fessier moyen et de semi tendineux**,
- la population 3 de **biceps femoris et de demi membraneux**.

La construction d'un arbre de décision a été réalisé avec la méthode CHAID d'après le logiciel Xlstat ; les résultats sont présentés sous la forme d'une matrice de confusion qui permet d'appréhender le pouvoir discriminant de la technique (Tableau 3). Ce tri devra être amélioré par la recherche de variables plus discriminantes.

Figure 8 : Représentation de l'analyse en composante principale des données dimensionnelles des principales pièces anatomiques composant le jambon

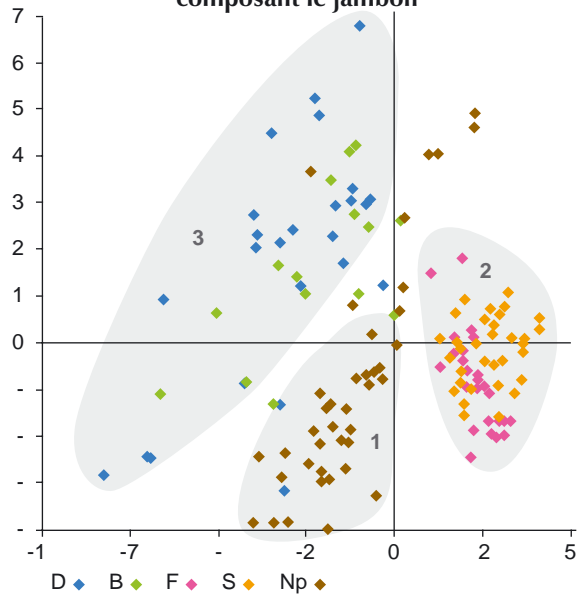


Tableau 3 : Résultat du tri par l'arbre de décision, matrice de confusion pour l'échantillon d'estimation

De/Vers	NP	B	D	S	F	Total	% correct
NP	34	0	2	0	1	37	91,89
B	0	17	2	0	0	19	89,47
D	0	8	17	0	0	25	68,00
S	0	0	0	38	1	39	97,44
F	1	0	0	4	24	29	82,79
Total	35	25	21	42	26	149	87,25



Conclusion

Le contrôle de la qualité du jambon est une nécessité pour le salaisonnier. La prédiction du comportement en transformation lui assure une maîtrise de son rendement technologique, paramètre qui peut évoluer de 10 % entre les jambons ayant un bon comportement en transformation et ceux ayant un mauvais comportement. Mais la prédiction du comportement s'exprime surtout vis à vis du rendement de tranchage ou ces écarts sont encore accentués.

L'évolution de l'approvisionnement des salaisonniers du jam-

bon brut au jambon 4D, puis 5D nécessite une autre méthode que la tri pH actuellement pratiqué en réception, celui-ci étant difficile sur jambon 4D et encore plus sur jambon 5D.

Le tri en ligne par vision du jambon 4D permet une évaluation de leur qualité. Le modèle d'équation retenu fait intervenir quatre variables (rouge, vert, bleue, L). La mesure présente une bonne reproductibilité (Figure 6) dans la configuration que nous avons utilisée pour cette étude, le tapis évoluant à 6 m/min, cette situation permet la répétition de la mesure dix fois sur le même jambon. La

relation entre la mesure caméra et le pH présente une forte corrélation comme le montre la Figure 3 mais surtout 4 où le travail par lot est réalisé. Les relations obtenues avec le rendement de type Napole sont certes significatives mais faibles ; des résultats favorables ont été obtenus avec les transformations industrielles.

Pour la qualification de la matière première 5D, la reconnaissance des pièces anatomiques doit être mise en place ; une ébauche a été ici réalisée, un approfondissement est nécessaire faisant intervenir des outils statistiques mieux adaptés. ■

Contact :

bruno.boutten@ifip.asso.fr

Références bibliographiques

- B. Boutten (2002 A) Composition chimique de la cuisse de porc : influence de l'âge, du pH ultime, et du type génétique. Bulletin de liaison du CTSCCV. 12, 3, 15-21.
- B. Boutten (2002 B) Couleur et bicolourisme du jambon cuit : influence de la couleur des muscles. Bulletin de Liaison du CTSCCV. 12, 4, 3-13.
- B. Boutten (2004 A) Caractérisation de la composition chimique des muscles de jambons. Conséquences pour la réponse en transformation. Viandes et Produits Carnés. 23, 5, 143-149.
- B. Boutten (2004 B) Approches explicative, diagnostique et préventive des viandes déstructurées. Bulletin de Liaison du CTSCCV. 14, 2, 5 - 10.
- B. Boutten (2003) L'analyse d'image dans les industries de transformation de la viande, principe et application. Bulletin de Liaison du CTSCCV. 13, 6, 7-12.
- M. Franck, G. Monin, C. Legault 2000. Observations complémentaires sur le jambon déstructuré, caractérisation du phénomène par le pH et la couleur du muscle semi-membraneux. Journées de la Recherche Porcine en France, 345-349.
- C. Guintard, E. Betti, B. Boutten, A. Nictou, S. Chatellier, G. Dumas. (2004) L'anatomie du muscle fessier superficiel chez le Porc : intérêt en charcuterie. Bulletin de Liaison du CTSCCV. 14, 1, 15-23.
- P. Marty-Mahé, D. Legeard, P. Loisel, P. Marchal 1999. Evaluation, par vision numérique, de la qualité de jambons frais. Journées de la Recherche Porcine en France, 309-313.
- B. Minvielle, B. Boutten, G. Alviset, G. Deschodt, L. Goureau, J. Boulard, P. Le Strat, Y. Houix. (2002) Composition chimique des muscles de jambons frais et des jambons cuits : influence de l'âge à l'abattage et de la classe de pH ultime. Journée Rech. Porcine en France. 34, 7-13.
- B. Minvielle, J. Boulard, A. Vautier, Y. Houix. (2003) Viandes déstructurées dans la filière porcine : effets combinés des durées de transport et d'attente sur la fréquence d'apparition. Journée Rech. Porcine en France. 35, 263-268.
- G. Monin, P. Sellier, M. Bonneau. (1998) Trente ans d'évolution de la notion de qualité de la carcasse et de la viande de porc. Journée Rech. Porcine en France. 30, 13-27.
- I. Sebastian, V. Santé, P. Marty-Mahé, P. Loisel, D. Brossard, G. Le Pottier, G. Monin (2003). Utilisation de la mesure de couleur par vision numérique pour le tri en ligne des filets de dinde destinés à la transformation par saumurage et cuisson. Journées de la Recherche Avicole en France, 465-468

Le tri en ligne par vision du jambon 4D permet une évaluation de leur qualité.

Le modèle d'équation retenu fait intervenir quatre variables (rouge, vert, bleue, L).

La mesure présente une bonne reproductibilité.

La relation entre la mesure caméra et le pH présente une forte corrélation.