

Un exemple de projet d'évaluation de l'aspect de produits agro-alimentaires par analyse d'images couleur

Pascale Marty-Mahé, Philippe Loisel et Didier Brossard

La vision artificielle est de plus en plus utilisée par les industries agro-alimentaires pour les contrôles qualité des produits. Ce document décrit un procédé développé pour la détection des défauts des carcasses de dindes sur les lignes d'abattage. Les traitements et les mesures effectués sur les images ont été validés sur des lots industriels pour évaluer la pertinence du système dans un cadre industriel. Cet exemple montre l'apport de l'utilisation de la vision numérique couleur dans un cas d'objets complexes, avec des défauts très peu nuancés en couleur, et dans des conditions industrielles hostiles avec des cadences importantes.

La vision industrielle s'avère bien adaptée au contrôle qualité des produits agro-alimentaires car elle permet un tri rapide, répétable, objectif et surtout une évaluation non destructive de leur qualité et de leur composition. L'utilisation de cette technique poursuit un double objectif :

- remplacer les opérateurs dans les tâches à cadence élevée pour le repérage de défauts, de corps étrangers ou de produits non conformes ;
- évaluer l'aspect du produit en quantifiant des critères de qualité dans les conditions de cadence et d'environnement des chaînes industrielles.

Cette technologie offre de nouvelles possibilités de mesure de la qualité avec l'apparition des systèmes de vision couleur, car la couleur apporte des informations sur l'aspect et la différenciation des tissus de nombreux produits biologiques. Aussi, les industries agro-alimentaires font de plus en plus appel à des technologies comme la vision numérique couleur.

Dans ce cadre, ont été développés au Cemagref plusieurs projets de recherche sur l'évaluation de la qualité de produits agro-alimentaires d'origine animale (Legéard, 1999 ; Legéard *et al.*, 1999 ; Marty *et al.*, 2000 ; Marty *et al.*, 2001 et Marty *et al.*, 2002), dont un projet sur l'évaluation de la qualité des carcasses de dindes sur chaîne d'abattage mené en partenariat avec la société de vision industrielle Edixia et le Comité interprofessionnel de la dinde en France.

Ce projet est un exemple de détection de défauts dans le cadre d'un contrôle de qualité sur chaîne

de façon à rémunérer les éleveurs en fonction de la qualité des dindes livrées à l'abattoir. De plus, sur la base d'informations précises sur la qualité des lots livrés à l'abattoir, les éleveurs pourront prendre des mesures pour faire progresser les conditions d'élevage et de ramassage des animaux et pour optimiser la transformation du produit. Par ailleurs, les abatteurs pourront améliorer la gestion de l'abattoir et planifier la transformation des lots selon leur qualité. Dans le cadre de cette application, une analyse préalable des problèmes devant être résolus par vision numérique a débouché sur l'élaboration d'un cahier des charges du système à développer. Un poste d'acquisition d'images a été conçu, des traitements d'images couleur ont été développés pour étudier ces produits, les traitements et les mesures effectuées sur les images ont été validés sur des lots industriels.

Phase d'analyse du problème

Dans le cadre de cette application, l'analyse de la problématique a été menée en collaboration avec des industriels de la filière, de façon à cerner les besoins à satisfaire par le système de vision couleur temps-réel. Ce système doit permettre une caractérisation rapide de la qualité des carcasses de dinde, dans les conditions industrielles.

Dans cette application, différents types de défauts d'aspect altèrent la qualité du produit : déchirure, hématomes de différentes teintes, ampoule du bréchet... Ces défauts peuvent survenir au niveau de l'élevage, du ramassage, du transport et de l'abattage. Par ailleurs, les défauts d'aspect sur les car-

Les contacts

Cemagref
UR Technologie
des Équipements
Agro-alimentaires
17, Avenue de Cucillé,
CS 64427
35044 Rennes Cedex

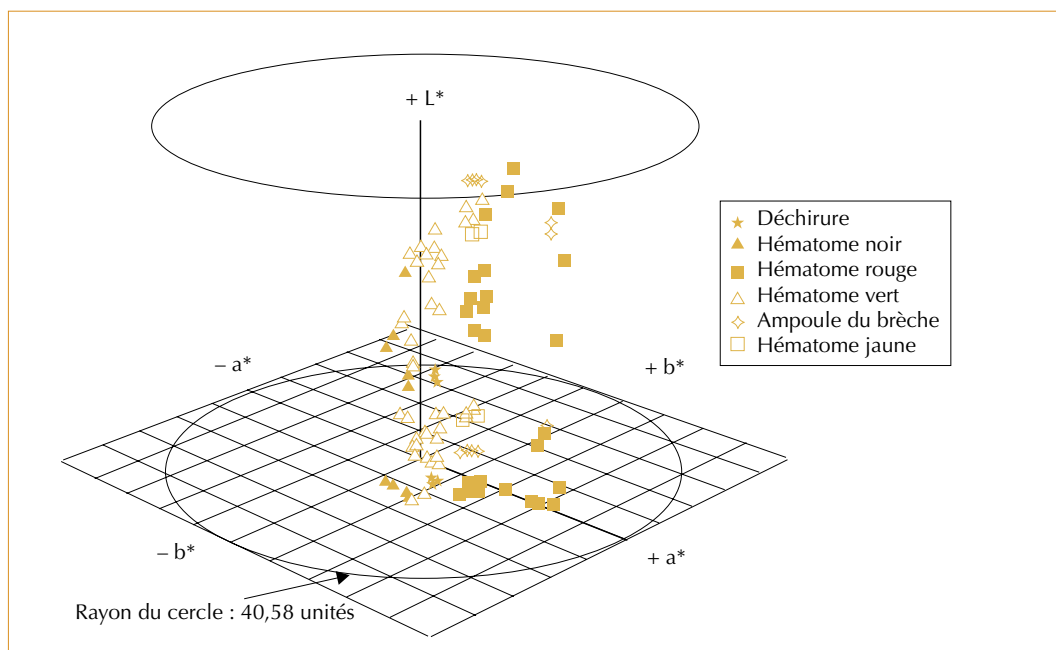
casses sont visibles sur les dindes seulement après la plumaison et avant l'éviscération, cela détermine l'emplacement du système de vision sur la chaîne industrielle et les contraintes d'encombrement, de cadence et d'environnement humain et industriel à respecter. Aussi, un poste d'acquisition d'images couleur spécifique doit être prévu pour la détection des défauts sur la vue de face des carcasses suspendues à la chaîne d'abattage. Pour suivre les cadences de 3 000 à 4 000 carcasses par heure, les algorithmes de traitement d'images couleur doivent être élaborés en conséquence pour détecter et identifier les défauts. À la sortie du bac d'échaudage et de la plumeuse, les carcasses sont humides et il peut se produire, sur leur peau, un phénomène de réflexion spéculaire si des précautions particulières ne sont prises concernant l'éclairage. De plus, les défauts sont très hétérogènes et il est difficile de cerner de façon exhaustive leurs caractéristiques colorimétriques ce qui nécessite une méthode de détection adaptée. Des défauts ont été recensés et caractérisés par une étude spectro-colorimétrique donnant, pour des portions de chaque type de défauts recherchés, le spectre de réflectance dans le domaine du visible à partir duquel sont calculées les caractéristiques colorimétriques CIELAB. L'espace colorimétrique CIELAB est un espace uniforme qui permet de mesurer la luminance L^* , et le chroma qui s'exprime par deux coordonnées a^* et b^* . Il est dit uniforme et permet de mesurer et de comparer des différences de cou-

leur contrairement à l'espace Rouge, Vert, Bleu (RVB). Les défauts occupent une partie restreinte de l'espace colorimétrique $L^*a^*b^*$ (Illuminant C, observateur deux degrés) et sont très proches les uns des autres comme le montre la figure 1 (l'axe vertical représentant la valeur L^* dans l'intervalle [24.63, 81.75]).

Description du poste d'acquisition des images

L'objectif de ce système est d'acquérir des images couleur des carcasses après plumaison sur la chaîne d'abattage au rythme de 3 000 carcasses à l'heure (photo 1). Le dispositif comprend :

- un éclairage continu et homogène, indirect et diffus évitant les problèmes de réflexion spéculaire sur les carcasses humides ;
- une caméra couleur Sony tri CCD XC 003 P, sur laquelle est utilisé le « shutter » pour éviter le problème de flou dû au rythme et aux vibrations de la chaîne ;
- un système de calibration couleur comportant un fond blanc uniforme et une mire Macbeth® de 24 plaquettes de couleur, pour transformer les composantes Rouge, Vert, Bleu issues des images de la caméra en $L^*a^*b^*$;
- un fond de couleur noire permettant de bien séparer la carcasse du fond, et de ne pas avoir



► Figure 1 – Caractéristiques colorimétriques des différents défauts dans l'espace $L^*a^*b^*$ (Illuminant C, observateur deux degrés).

d'influence de sa couleur sur la couleur de la peau et des défauts ;

- une carte de numérisation d'image EDX 512 C de la société Edixia. Cette carte a une résolution de 512 x 512 pixels avec 7 bits par pixel pour chaque composante couleur.

Traitements des images

Prétraitements

Afin de compenser les défauts d'uniformité de l'éclairage et de « shading » de la caméra et de l'objectif, d'assurer la répétabilité de la méthode de segmentation et des mesures et d'effectuer des mesures dans un espace colorimétrique connu, des prétraitements ont été réalisés sur les images. Ils consistent, dans un premier temps, à effectuer une opération de division des images des carcasses par une image d'un fond blanc uniforme acquise dans les mêmes conditions que les carcasses. Dans un deuxième temps, les images RVB ont subi une première transformation linéaire RVB – XYZ (à partir d'un modèle de régression linéaire multiple entre les coordonnées XYZ connues et une image RGB des plaquettes de la mire Macbeth®) et une deuxième transformation non linéaire XYZ en $L^*a^*b^*$.

Méthode de segmentation couleur

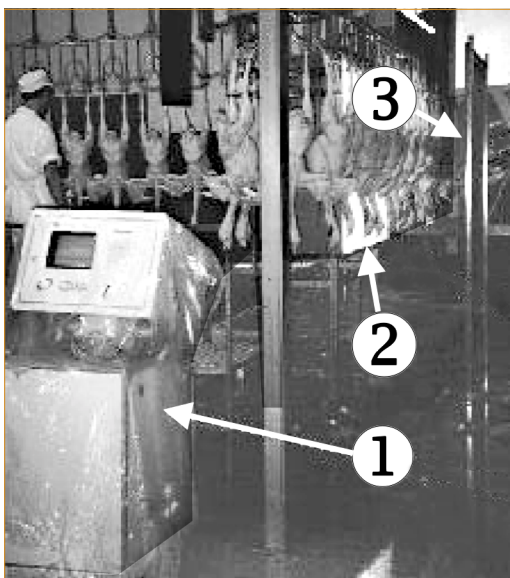
La méthode est fondée sur une analyse de l'histogramme multidimensionnel dans l'espace $L^*a^*b^*$. L'histogramme multidimensionnel couleur est un tableau de voxels¹ dans lesquels est stockée la densité de pixels de l'image couleur atteignant les valeurs $L^*a^*b^*$ correspondant aux dits voxels. Il est utilisé dans deux objectifs : la détection et l'identification des défauts.

LA DÉTECTION DES DÉFAUTS

Cette méthode permet une segmentation des défauts par rapport à la peau saine. Elle est basée sur l'apprentissage de la peau saine des carcasses dans l'espace colorimétrique $L^*a^*b^*$. En effet, nous avons recherché le lieu des couleurs possibles de la peau saine. Nous avons utilisé pour caractériser la peau saine son histogramme multidimensionnel dans l'espace $L^*a^*b^*$.

L'histogramme correspondant à la peau saine du thorax, calculé sur des régions d'intérêt extraites

1. Tableau de cellules contenant le nombre de pixels atteignant les valeurs $L^*a^*b^*$.



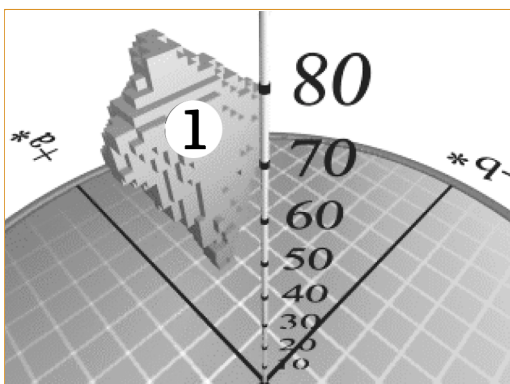
◀ Photo 1 – Poste d'acquisition d'images couleur sur chaîne d'abattage – (1) borne de vision, (2) face avant caisson d'éclairage, (3) fond noir.

d'images de carcasses saines, est présenté sur la figure 2 et apparaît comme le lieu possible de la peau saine dans l'espace $L^*a^*b^*$.

Par ailleurs, une classification des pixels p des images de carcasses est effectuée en fonction d'une distance colorimétrique au volume de la peau saine de la façon suivante :

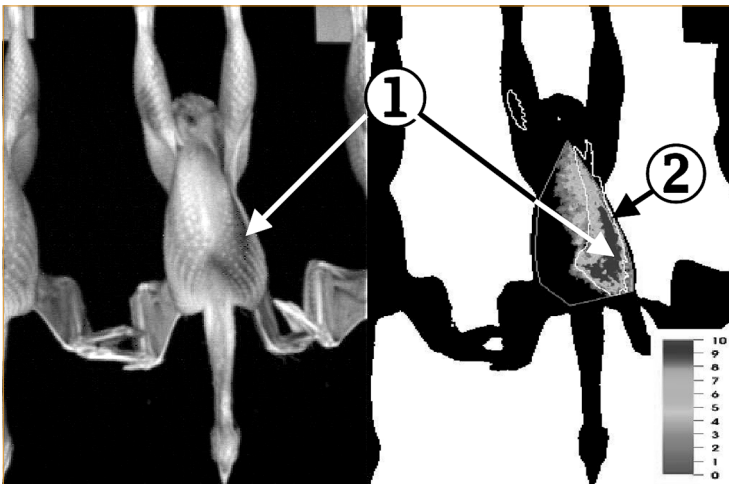
Le pixel est classé comme défaut si $d(v(p)) > d_{min}$ (sinon il appartient à la peau saine) où :

- $d(v(p))$ désigne la distance du voxel couleur du pixel p considéré à l'enveloppe de l'histogramme de la peau saine, définie comme la plus petite distance entre le voxel considéré et le volume de la peau saine dans l'espace $L^*a^*b^*$ en adoptant une distance euclidienne ;
- d_{min} est une valeur seuil que l'on peut faire varier.

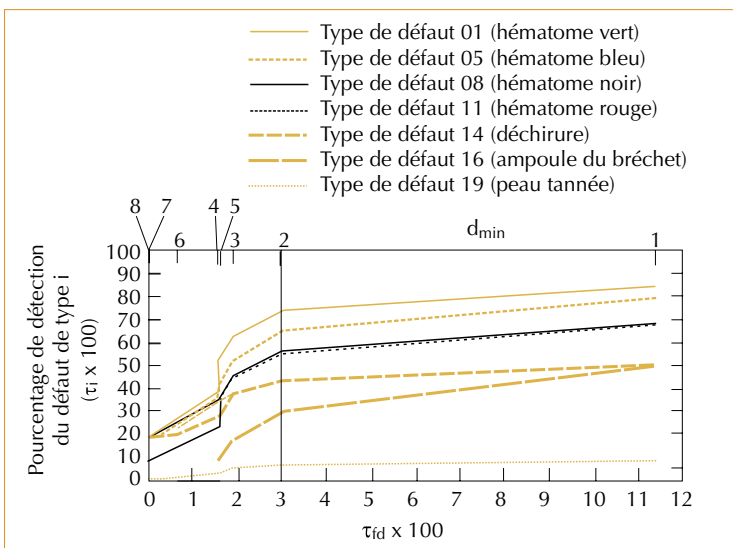


◀ Figure 2 – Lieu possible de la peau saine dans l'espace $L^*a^*b^*$ – (1) désigne le volume de voxels de la peau saine.

En modifiant la valeur seuil d_{min} , la classification se montre plus ou moins tolérante : une valeur de d_{min} élevée rendra le classifieur très peu sensible aux défauts puisque seuls les pixels dont la couleur est très éloignée de la peau saine seront détectés comme défaut. La figure 3 illustre la détection d'un défaut par calcul de distances à l'enveloppe de l'histogramme de la peau saine et présente la cartographie de ces distances (le bleu représentant la plus grande distance à la peau saine et le violet la plus faible).



▲ Figure 3 – Détection d'un hématome (1) par calcul d'une distance colorimétrique à l'enveloppe de l'histogramme de la peau saine (2). À gauche, vue réelle ; à droite, image segmentée.



▲ Figure 4 – Résultat de la détection des défauts en fonction du pourcentage de faux défauts détectés.

L'IDENTIFICATION DES DÉFAUTS

La méthode d'identification des défauts est basée sur le calcul des histogrammes multidimensionnels dans l'espace $L^*a^*b^*$ des différentes classes de défauts détectés sur un lot d'apprentissage et sur le calcul d'un pourcentage d'appartenance des défauts à identifier aux enveloppes des histogrammes des différentes classes de défauts ainsi définis.

Résultats

Le système d'acquisition d'images a permis d'acquérir 6 000 images de carcasses sur chaîne. Le calcul de l'histogramme multidimensionnel de la peau saine a été effectué sur douze images (soit environ 100 000 pixels). La méthode de segmentation des défauts par distance au volume de la peau saine dans l'espace $L^*a^*b^*$ a été validée sur 47 images comportant différents types de défauts.

Les résultats sont présentés sur la figure 4 et sont exprimés, par type i de défauts étudiés, selon deux variables : un pourcentage de détection de défauts τ_i et un taux τ_{fd} de faux défauts définis par rapport à une méthode de détection visuelle, dont la définition précise est établie dans (Raffy, 1999) en fonction de différents seuils choisis d_{min} . En effet, en se fixant un taux de faux défauts ou une distance seuil d_{min} à l'enveloppe de l'histogramme de la peau saine, on obtient pour chaque défaut un taux de détection. Les taux de détection des hématomes sont les plus importants et les taux de détection des ampoules de bréchet (abcès sur la peau) et de la peau tannée sont les plus faibles, pour un même taux de faux défauts ou une même distance colorimétrique seuil d_{min} .

Différentes variantes de la méthode de segmentation ont été développées dans (Raffy *et al.*, 1999) dont les résultats pour divers types de défauts sont synthésés dans le tableau 1. Pour un taux de faux défauts fixé, on peut comparer les taux de détection des défauts pour les différentes méthodes ; les différentes classes des hématomes sont les mieux détectés et la peau tannée la moins bien détectée.

Concernant l'identification des défauts, les histogrammes multidimensionnels des différentes classes de défauts ont été calculés sur 47 images d'apprentissage. La méthode d'identification des défauts a été testée sur 51 carcasses présentant des défauts de différents types et comparées à une évaluation visuelle. Les résultats mettent en évidence des confusions entre certaines classes de défauts (par exemple pour les griffures, hématomes, déchi-

Méthodes types	Taux de faux défauts	Taux de détection par type de défauts en %							Types de défauts
		01	05	08	11	14	16	19	
C	3,6 %	39	32	21	41	17	4	2	01 hématome vert
D	2,1 %	52	37	25	49	22	7	2	05 hématome bleu
E	3,9 %	75	57	66	56	44	31	6	08 hématome noir
F	5,3 %	84	71	81	65	50	48	7	11 hématome rouge
									14 déchirure
									16 ampoule du bréchet
									19 peau tannée

Méthodes de classification	
C	Détection par distance au volume de la peau saine
D	Détection par distance au volume lissé de la peau saine
E	Détection par distance au volume lissé de la peau saine du thorax
F	Détection par distance au volume lissé de la peau saine du thorax avec germe

▲ Tableau 1 – Résultat de la détection des défauts pour différentes variantes de la méthode de segmentation.

tures) (tableau 2). En effet, d'une part le lot d'apprentissage permettant le calcul des histogrammes des classes de défauts s'avère insuffisant, et d'autre part l'information de couleur ne permet pas à elle seule d'identifier correctement certains défauts. Les ambiguïtés entre certains défauts devront être levées en prenant en compte des caractéristiques complémentaires de forme, de localisation et de texture des défauts.

Conclusion

Les résultats de la méthode de segmentation par analyse de l'histogramme multidimensionnel dans l'espace $L^*a^*b^*$ montrent que, dans le cadre de l'application, les défauts importants aux yeux des abatteurs peuvent être efficacement détectés par analyse d'images par leur seule caractéristique couleur (cf. tableau 1). Sur la base de cette approche,

une méthode d'identification des défauts a été mise au point et validée (Raffy, 1999). Toutefois des améliorations devront être apportées pour la différenciation de certains défauts (hématomes rouges, déchirures, griffures) en complétant les histogrammes multidimensionnels des différentes classes de défauts et en intégrant, lors de l'identification, des critères autres que la couleur comme des caractéristiques de forme, de localisation et de texture. Ces méthodes ont été développées dans l'optique d'une implantation sur un système temps-réel opérationnel sur chaîne industrielle. Cet exemple montre l'apport de l'utilisation de la vision numérique couleur dans un cas d'objets complexes avec des défauts très peu nuancés en couleur et dans des conditions industrielles hostiles et de cadence importante. Cette méthode de détection de défauts par rapport à une référence couleur connue peut être transférée à d'autres applications industrielles. □

		Identification par algorithme								
		Défauts	Griffures	Hématomes	Ampoules du bréchet récentes	Ampoules du bréchet anciennes	Déchirure	Peau tannée	Peau jaune	Total
Identification visuelle	Griffures		3,5	4,5	0	0	2	0	0	10
	Hématomes noirs		0	4	0	0	1	0	0	5
	Hématomes bleus		0	1	3	0	0	0	0	4
	Hématomes rouges		1	3	0	0	1	0	0	5
	Hématomes verts		0	2	0	2	0	1	0	5
	Ampoules du bréchet récentes		0	2	4	0	0	0	0	6
	Ampoules du bréchet anciennes		0	2,5	0	5,5	0	0	1	9
	Déchirure		0	0	0	0	7	0	0	7
Total			4,5	19	7	7,5	11	1	1	51

▲ Tableau 2 – Résultats de l'identification des défauts.

Résumé

La vision industrielle est de plus en plus utilisée en contrôle qualité des produits agro-alimentaires car elle permet un tri des produits rapide, répétable, objectif et surtout une évaluation non-destructive de leur aspect. Dans ce cadre, ont été développés au Cemagref plusieurs projets de recherche sur l'évaluation de la qualité de produits agro-alimentaires d'origine animale, en particulier un projet sur l'évaluation de la qualité des carcasses de dindes sur chaîne d'abattage. Dans cette application, une analyse préalable des problèmes devant être résolus par vision numérique a débouché sur un cahier des charges du système à développer sur chaîne industrielle, un poste d'acquisition d'image a été conçu, des traitements d'images couleur ont été développés pour détecter et identifier des défauts sur des carcasses de dindes. Ces traitements sont basés sur une méthode de segmentation d'image qui exploite l'histogramme multidimensionnel des images couleur. Les traitements et les mesures effectuées sur les images ont été validés sur des lots industriels pour évaluer la pertinence du système dans un cadre industriel. Cet exemple montre l'apport de l'utilisation de la vision numérique couleur dans un cas d'objets complexes avec des défauts très peu nuancés en couleur et dans des conditions industrielles hostiles et de cadence importante.

Abstract

The artificial vision is particularly well-adapted to product quality control in the agro-food industry, since it makes it possible to establish a quick, repeatable, objective, non-destructive measurement without contact with the product. Within this context we have worked on research project to assess aspect and quality of animal food products. This paper presents a project of the evaluation of aspect of turkey carcass sets in slaughter plants. After an analysis of industrial problems, the aims of the vision system were defined, the image acquisition system was devised and treatments were developed to detect and identify aspect defects on turkey carcass. These treatments are based on a segmentation method using multidimensional histogram of color images. The treatments and measurements were validated on industrial sets to assess the efficiency of the system in an industrial environment. This example shows the benefit of use of numerical vision in the case of complex objects with very unsaturated color defects and under hard industrial conditions and with high speed of plant.

Bibliographie

- RAFFY, G., 1999, *Vision numérique couleur appliquée à l'évaluation de la qualité de carcasses de dinde*, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal – Clermont II, Clermont-Ferrand.
- RAFFY, G., MARTY-MAHÉ, P., OLLIVIER, M., MARCHAL, P., 1999. Real-time detection of appearance defects of turkey carcasses by color histogram analysis. *SPIE Machine Vision Application in Industrial Inspection VIII, Electronic Imaging'99*, vol. 3652, San-Jose, USA.
- LEGEARD, D., *Extraction de caractéristiques pour l'évaluation automatique de la qualité de jambons frais par vision numérique*, Thèse de l'Université de Rennes 1, 8 avril 1999.
- LEGEARD, D., MARTY-MAHÉ, P., CAMILLERAPP, J., MARCHAL, P., LEREDDE, C., 1999. Real-time quality evaluation of pork hams by colour machine vision, *San Jose USA Machine vision Applications in Industrial Inspection, Proceedings of SPIE*, vol. 3652, p. 138-149.
- MARTY-MAHÉ, P., LOISEL, P., BROSSARD, D., 2000, Évaluation de la qualité de jambons frais par vision numérique couleur, *Viandes et Produits Carnés, Compte rendu des VIII^e Journées des Sciences du muscle et technologie de la viande, Paris 21-22 novembre 2000*, p. 275-280.
- MARTY-MAHÉ, P., LOISEL, P., BROSSARD, D., 2001. Color images analysis Methods to study the heterogeneities in tissues in farmed sea-trout. *QCAV2001, 15th International Conference on Quality Control by Artificial Vision, May 21-23 2001 Le Creusot, France, IEEE-Le2i*, p. 245-252.
- MARTY-MAHÉ, P., LOISEL, P., BROSSARD, D., MONIN, G., SANTÉ, V., 2002. Color image analysis method for prediction of turkey breast meat transformation yield. *CGIV 2002 Conferences of IS & T, 2-5 Avril 2002, Poitiers, France* (à paraître).