

# Vision artificielle et quantification de la forme de pommes

Vincent Leemans, Hugo Magein, Marie-France Destain

Les consommateurs sont de plus en plus sensibles à la qualité des produits. Des normes, notamment édictées par l'Union européenne et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), précisent les critères auxquels doivent satisfaire les fruits frais. En particulier, la classification légale des pommes en catégories « Extra », « I » ou « II » se fait essentiellement en fonction de critères externes (forme, coloration et défauts d'origines diverses).

La vision artificielle, largement utilisée pour le contrôle de qualité dans le monde industriel, est encore peu appliquée à l'étude des caractéristiques de produits biologiques car elle se heurte souvent à des difficultés liées à leur grande variabilité. Cependant, cette technique non destructive, rapide et objective est bien appropriée pour effectuer un tri en ligne. La présente étude concerne la mesure de la forme des pommes Golden delicious par vision artificielle, *via* un algorithme de calcul établi sur une « analyse harmonique » (ou « analyse de

Fourier») permettant à la fois de quantifier la forme de pommes et de les classer en différentes catégories.

## Matériel et méthodes

### Forme des pommes Golden

La « norme de qualité » publiée par le Journal officiel des Communautés européennes [1] indique que les pommes de catégorie « Extra » doivent présenter la forme et le développement typiques de la variété. En catégorie I peuvent être admis une légère déformation ou un léger défaut de développement. En catégorie II, des défauts de forme et de développement sont tolérés, à condition que les fruits gardent leurs caractéristiques générales. On voit que les spécifications de la norme ne se réfèrent à aucun critère de forme mais font référence aux caractéristiques variétales des fruits.

La forme caractéristique des pommes « delicious » est « conique avec cinq côtes plus ou moins marquées au niveau de la bouche » [2]. Divers chercheurs s'intéressant aux relations existant entre la physiologie des fruits et leur forme ont tenté de quantifier cette dernière soit manuellement (utilisation d'un pied à coulisse), soit à partir d'appréciations émises par des observateurs ou encore de manière automatique. La longueur du fruit, le rapport longueur/diamètre (L/D) et la symétrie caractérisent la dynamique de croissance des pommes [3]. Le rap-

port L/D est plus élevé en début de saison [4]. Il varie de 0,93 à 0,96 pour des pommes non traitées et augmente substantiellement pour des pommes traitées à l'acide gibbéréllique [5]. Le rapport L/D est un bon indicateur de la forme générale du fruit mais ne rend cependant pas compte de défauts tels que les asymétries. Le rapport longueur maximum/longueur minimum constituerait le meilleur indicateur de défaut de forme (*figure 1*) [2]. L'automatisation par vision artificielle permet de classer les fruits selon la forme. Les paramètres les plus significatifs sont la circularité et les moments d'ordre trois, calculés sur la vue pédonculaire et des vues des joues (*figure 2*) [6].

La forme caractéristique de la variété Golden delicious correspond à un rapport L/D de 1, ce qui signifie que la

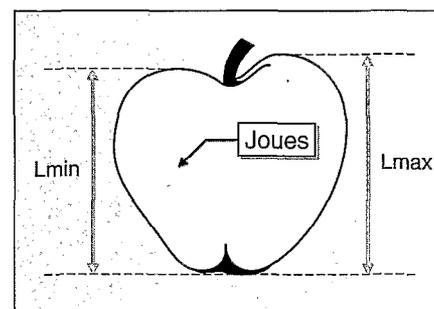


Figure 1. Mesure des longueurs maximum et minimum (d'après Kuhn *et al.* [2]).

Figure 1. Diagram of apple showing how maximum and minimum fruit lengths were measured.

V. Leemans, M.-F. Destain : Département ingénierie des biosystèmes.

H. Magein : Département agronomie, économie et développement.

Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, 2, passage des Déportés, 5030 Gembloux, Belgique.

Tirés à part : V. Leemans

pomme doit pouvoir s'inscrire dans un carré ; la symétrie par rapport à l'axe pédoncule-mouche doit être respectée et la vue pédonculaire doit apparaître circulaire.

### Acquisition des images

La chaîne d'acquisition d'images est constituée d'une caméra couleur 3-CCD Sony XC-003P, d'une carte d'acquisition Imascan Chroma numérisant l'image en  $720 \times 540$  pixels sur 256 niveaux selon les trois couleurs RVB (rouge, vert, bleu) et d'un PC Compaq équipé d'un processeur 80586 à 133 MHz avec mémoire vive de 32 Mbytes. Ce dernier est équipé du logiciel d'analyse d'images Image-Pro Plus (Media Cybernetics) qui possède ses propres fonctions et peut être couplé à des programmes de calcul écrits en langage Visual Basic ou C++.

Les fruits sont placés dans un tunnel d'éclairage qui les éclaire de manière diffuse avec un niveau de radiance suffisant pour impressionner les capteurs de la caméra (figure 3). Le tunnel est constitué d'un réflecteur cylindrique (diamètre 50 cm, longueur 1,25 m) permettant d'isoler les fruits et de diffuser par réflexion la lumière émise par les sources lumineuses. Ses parois intérieures sont peintes en blanc mat et des diffuseurs semi-circulaires et horizontaux (non représentés sur la figure) uniformisent la lumière incidente sur le fruit. La lumière diffuse, dans le domaine du visible, provient de tubes fluorescents linéaires produisant peu de chaleur, dont la géométrie est compatible avec l'utilisation d'un dispositif assurant la translation des fruits (bande transpor-

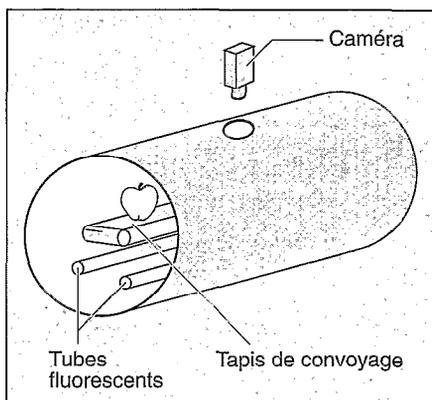


Figure 3. Vue extérieure du tunnel d'éclairage.

Figure 3. Configuration of the vision system.

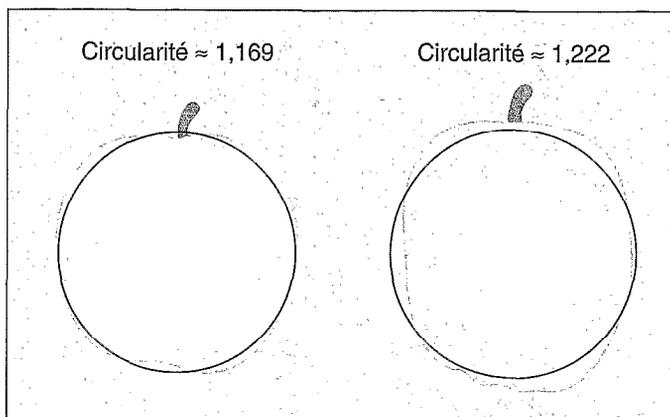


Figure 2. Circularity : pomme de catégorie I ou II à gauche et pomme de rebut à droite (d'après Leemans *et al.* [6]).

Figure 2. Circularity : apple belonging to category I or II (left) and rejected apple (right).

teuse passant à l'intérieur du tunnel). Un bon contraste est ainsi créé entre les fruits et l'arrière-plan. La caméra est placée hors du tunnel, au droit d'un

orifice percé dans ce dernier. Un parasoleil noir est placé entre le tunnel et la caméra, dans le but d'éviter les influences extérieures.

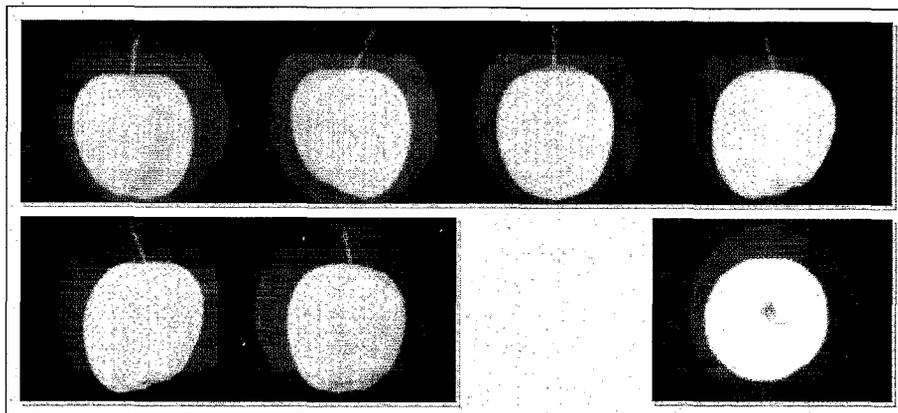


Figure 4. Vues des fruits prises par la caméra.

Figure 4. Apple views taken by the camera.

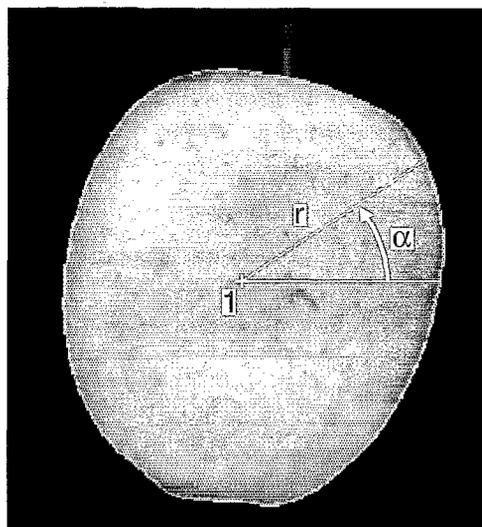


Figure 5. Rayon vecteur  $r$  servant de base à l'analyse de Fourier. 1 : centre de gravité.

Figure 5. Radius drawn from the centroid to a point on the boundary used in the Fourier analysis.

Encadré 1

## Analyse de Fourier

Lorsqu'on étudie la forme d'un objet à l'aide d'une représentation bidimensionnelle, les informations relatives à la forme sont entièrement contenues dans le contour. Celui-ci peut être paramétré en traçant un rayon vecteur  $r(k)$  à partir du centre de gravité de l'image du fruit et en le faisant tourner d'angles égaux, de façon à obtenir  $N$  points sur le contour (figure 5). La séquence obtenue peut alors être transformée en utilisant l'analyse harmonique, ou analyse de Fourier, de façon à obtenir des signaux élémentaires beaucoup plus facilement manipulables et interprétables [7]. La transformée discrète de Fourier de  $r(k)$  s'écrit :

$$R(h) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} r(k) \exp\left(\frac{-j2phk}{N}\right)$$

où les  $R(h)$  sont les coefficients de Fourier avec  $h = 0, 1, 2 \dots N-1$ . Utilisant la notation d'Euler ( $e^{-j\theta} = \cos\theta - j\sin\theta$ ), on peut transformer l'exponentiel complexe en fonctions trigonométriques et écrire :

$$R(h) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[ r(k) \cos\left(\frac{-j2phk}{N}\right) - jr(k) \sin\left(\frac{-j2phk}{N}\right) \right]$$

Cette expression montre clairement que l'on peut séparer les coefficients en une partie réelle  $Re(h)$  et une partie imaginaire  $Im(h)$ , à partir desquelles on définit l'amplitude  $F(h)$  :

$$F(h) = \sqrt{Re(h)^2 + Im(h)^2}$$

et le déphasage  $\varphi(h)$  :

$$\varphi(h) = \arctg \frac{Im(h)}{Re(h)}$$

Le coefficient  $R(0)$  a une signification particulière puisqu'il est égal à :

$$R(0) = F(0) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} r(k)$$

ce qui, par définition, correspond au rayon moyen de l'objet, de la pomme en l'occurrence. On peut montrer [7, 8] que les premières harmoniques, avec  $2 \leq h < 10$ , sont relatives à la forme globale de l'objet étudié. Ainsi, un coefficient  $F(2)$  grand par rapport aux autres indique une forme allongée, alors qu'un  $F(3)$  relativement important reflète une forme triangulaire et qu'un  $F(4)$  élevé correspond à une forme carrée ou rectangulaire.  $F(1)$  ne représente pas la forme de l'objet mais correspond plutôt à une erreur de circularité. Les harmoniques telles que  $h \geq 10$  ne sont plus affectées par la forme générale de l'objet mais par de petites protubérances et de petits creux qu'il pourrait présenter.

**Fourier - based analysis**

## Matériel végétal et technique d'analyse

Les pommes proviennent de la criée « Belgische Fruit Veiling », Tienen, Belgique, où elles ont été réparties manuellement en classes I et II, ou mises au rebut par des opérateurs bien entraînés à

cette tâche. Deux échantillons contenant chacun 20 pommes Golden delicious sont prélevés de manière aléatoire dans des caisses de 8 kilos de fruits appartenant aux catégories I et II, avec un calibre compris entre 70 et 75 millimètres ; 14 pommes de rebut (en raison

de défauts de forme) ont également été analysées.

Deux orientations privilégiées sont choisies :

- les fruits présentés avec l'axe mouche-pédoncule parallèle à l'axe optique de la caméra, pour la prise d'image du pédoncule du fruit ;
- les fruits présentés avec l'axe mouche-pédoncule perpendiculaire simultanément à l'axe optique de la caméra et à la direction d'avancement des bandes transporteuses, afin de prendre des vues des joues des fruits. Un fruit est caractérisé par sept images (figure 4), dont six correspondent aux joues (obtenues en tournant le fruit manuellement d'angles de  $60^\circ$  autour de l'axe pédoncule-mouche) et une est relative au pédoncule. Cette méthode découle de résultats antérieurs [6] montrant que la précision obtenue est liée au nombre de vues des joues (elle décroît fortement si on ne considère que trois ou quatre vues) et requiert de prendre en compte simultanément les informations provenant des vues des joues et du pôle pédonculaire.

Les données obtenues sont soumises à l'analyse de Fourier (encadré 1) sur base d'algorithmes de calcul (encadré 2).

## Résultats

Les coefficients de Fourier sont d'abord calculés en prenant  $N = 256$  (le contour est décrit à l'aide de 256 points correspondant à des angles au centre égaux). L'amplitude des harmoniques  $F(h)$  est normalisée et rendue adimensionnelle en divisant chacune d'entre elles par  $F(0)$ , qui représente le rayon moyen de la pomme. La figure 8 montre que l'amplitude des harmoniques devient négligeable quand  $h$  augmente. Par conséquent, on limite le nombre d'harmoniques à 15, ce qui revient à choisir un nombre  $N$  égal à 32 (en vertu du théorème de Nyquist). La durée des opérations mathématiques et informatiques est ainsi nettement réduite, sans pour autant perdre d'informations utiles à la description de la forme.

## Invariance en translation, rotation, échelle

L'analyse harmonique présente un certain nombre d'avantages pour la quantification de la forme des images puisqu'elle fournit une description du

Encadré 2

## Algorithmes de calcul

L'information fournie par les trois capteurs RVB (rouge, vert et bleu) de la caméra est surabondante pour étudier la forme d'un fruit et seul le canal R est extrait pour analyser les images. Ceci est justifié par le fait que le support du fruit est choisi de couleur foncée et que le canal R est aisément discernable par rapport à celui-ci. Les images sont seuillées à un niveau égal à 30, ce qui permet d'éliminer l'arrière-plan et de ne tenir compte que du fruit (figure 6).

Pour les vues des joues, une succession d'érosion, dilatation et érosion sont appliquées de façon à enlever le pédoncule de l'image sans toutefois altérer la forme générale du fruit. Ces opérations classiques en analyse d'images consistent en fait en une ouverture suivie d'une fermeture [7]. Elles sont directement accessibles dans le logiciel Image-Pro Plus via la commande « Filtres ». La succession des opérations réalisées est indiquée à la figure 7. On voit que, hormis la suppression (voulue) du pédoncule, la différence entre l'image d'origine et l'image finale est négligeable. Utilisant la commande « Count/Size » du logiciel Image-Pro Plus, on calcule le centre de gravité de l'image et on délimite son contour. Les calculs de la fonction  $r(k)$ , de la transformée de Fourier, des amplitudes et déphasages sont programmés en langage C++. La même technique est appliquée aux vues des pôles pédonculaires sans ouverture, ni fermeture.

### Image processing

contour qui peut être amenée invariante en translation, rotation et échelle, car l'origine des coordonnées est fixée au centre de gravité de chaque fruit, de sorte que les coefficients sont rendus indépendants de la position en translation du fruit. Si le fruit tourne d'un angle  $\gamma$ , l'amplitude des coefficients  $F(h)$  reste inchangée : seul varie le déphasage, propriété qui est particulièrement intéressante dans le cas qui nous occupe. En

## Summary

### Shape extraction of apples using machine vision

Leemans V., Magein H., Destain M.-F.

*For inspection of apples, standards have been defined by the European Union and are related to colour, shape and the presence of defects. Among these inspection criteria, shape is one of the major concerns and is generally evaluated using geometric parameters (Figures 1, 2). Machine vision applications for automated inspection and sorting of fruit and vegetables are promising for improving grading efficiency. Automated inspection of produce using machine vision not only results in labour saving, but also improves inspection objectiveness. In this study, "Golden Delicious" apple shape was analysed by machine vision. The image processing system consisted of a 3-CCD camera, a colour frame grabber, a computer and a lighting chamber. Images were acquired under diffuse illumination provided by two fluorescent tubes positioned in the lower part of the horizontal reflector cylinder (500 mm in diameter). A dark conveyor belt travelling through the reflector and supporting the fruit provided high contrast between fruit and background (Figure 3).*

*One stem view and six cheek views of the fruit were presented to the camera (Figure 4). Binary images were derived from the red channel by thresholding at level 30. Opening and closing operations were performed to remove the apple stem without modifying the apple shape (Figure 6). The shape analysis was then performed using Fourier analysis. The angle between the radius drawn from the centroid to a point on the apple boundary and the x axis was used. The radius of the apple was described as a function of this angle. The Fourier coefficients of the obtained sequence were computed and normalized according to the average radius (Boxes 1, 2, Figures 5, 7, 8, 9). The conclusions may be summarized as follows: (1) Fourier descriptors give a complete description of apple shape, which can be made translation, rotation and scale invariant; (2) the first 15 harmonics contain most of the information about the shape of a "Golden Delicious" apple; (3) the classification of apples into categories, as defined by European standards, is possible: using the harmonics  $F(2)$ ,  $F(3)$ ,  $F(4)$  to characterize the cheek views and  $F(1)$ ,  $F(3)$ ,  $F(9)$  to describe the stem views, the accuracy in classification reaches 96%; (4) since the Fourier coefficients use only the boundary of the apple images, very little computational effort is required. Fourier analysis is thus an effective method for solving "Golden Delicious" shape sorting problems.*

Cahiers Agricultures 1997; 6 : 597-603.

effet, si le fruit présente un défaut d'orientation par rapport à la position qui lui est assignée (par exemple, l'axe pédoncule-mouche n'est pas rigoureusement perpendiculaire à la direction d'avancement), il n'en résulte aucune erreur dans le calcul des  $F(h)$ . Pour rendre les coefficients de Fourier indépendants de la taille des fruits, on divise les amplitudes  $F(h)$  par  $F(0)$ . Ces considérations montrent la supériorité de l'analyse harmonique sur les propriétés de surface, en particulier les moments utilisés dans une étude précédente [6]. En effet, ceux-ci sont définis à partir d'un système fixe d'axes par rapport aux fruits qui défilent et la moindre imprécision dans le positionnement de ceux-ci entraîne de fortes variations de résultats.

## Forme des pommes et grandeur relative des harmoniques

Les pommes *A* et *B* représentées à la figure 9 appartiennent à la catégorie I. Les spectres d'amplitudes normalisées correspondent à la joue visualisée et font apparaître des pics correspondant respectivement à  $F(3)$ ,  $F(4)$  et  $F(2)$ ,  $F(4)$ . La forme des deux fruits représentés est telle qu'ils s'inscrivent relativement bien dans un « carré », la pomme *A* étant plus « triangulaire » que la pomme *B*. Ceci explique donc les valeurs élevées de  $F(4)$  pour les deux fruits, de  $F(3)$  pour la pomme *A*, de  $F(2)$  pour la pomme *B*. Les pommes *C* et *D* ont été mises au

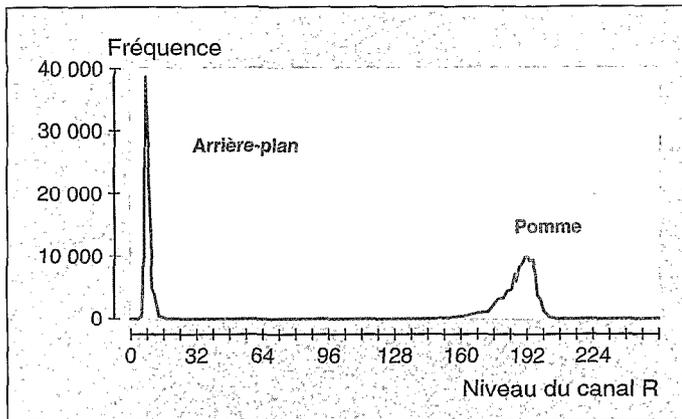


Figure 6. Histogramme montrant une pomme Golden Delicious et l'arrière-plan.

Figure 6. Histogram of a Golden Delicious apple and the background.

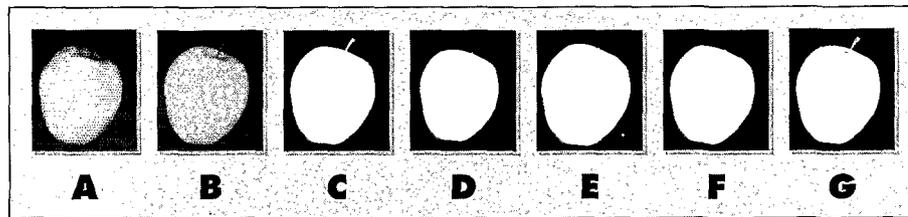


Figure 7. Traitement de l'image.

A : image originale. B : extraction du canal R. C : seuillage au niveau 30. D : érosion. E : dilatation. F : érosion. G : comparaison entre l'image d'origine (C) et l'image finale (F), les différences apparaissent en rouge.

Figure 7. Image processing.

A : Original image. B : Red channel extraction. C : Threshold at level 30. D : Erosion. E : Dilatation. F : Erosion. G : Comparison between original image (C) and final image (F), differences appear in red.

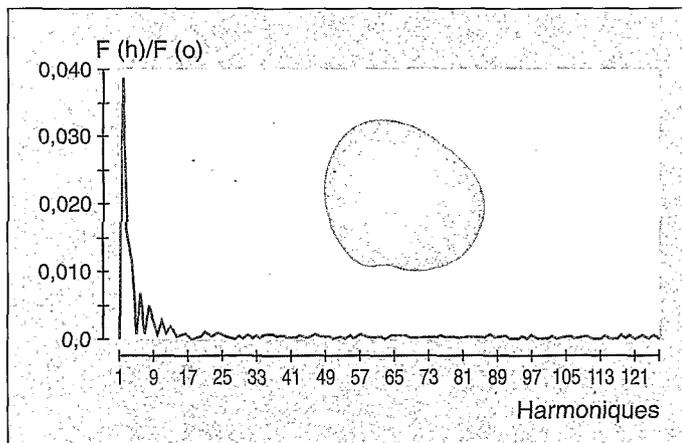


Figure 8. Transformée de Fourier du rayon  $r(k)$ .

Figure 8. Fourier transform of one-dimensional boundary signature  $r(k)$ .

Tableau

Classement des fruits avec six harmoniques

Classes prédites	Classes		
	I	II	Rebut
I	19	1	0
II	1	19	0
Rebut	0	0	14
Effectif total	20	20	14
Effectif correctement classé	19	19	14
Proportion	0,95	0,95	1

Fruit sorting with six harmonics

rebut par les inspecteurs, en raison de leur forme non typique. Les calculs indiquent que la pomme C présente une amplitude  $F(2)$  trop élevée ( $F(2) > 0,04 F(0)$ ) : allongement excessif) et une amplitude  $F(3)$  trop faible ( $F(3) \approx 0,005 F(0)$ ) : manque de conicité). La pomme D se caractérise par une valeur  $F(4)$  trop faible ( $F(4) \approx 0,007 F(0)$ ), car elle s'inscrit mal dans une forme quadrangulaire. Cela confirme que les amplitudes  $F(h)$  ont une signification physique précise qui peut être utilisée pour quantifier la forme des fruits.

Reconstruction du contour d'une pomme

L'analyse harmonique permet de reconstituer la forme d'une pomme en calculant la transformée de Fourier inverse à partir des harmoniques selon l'expression :

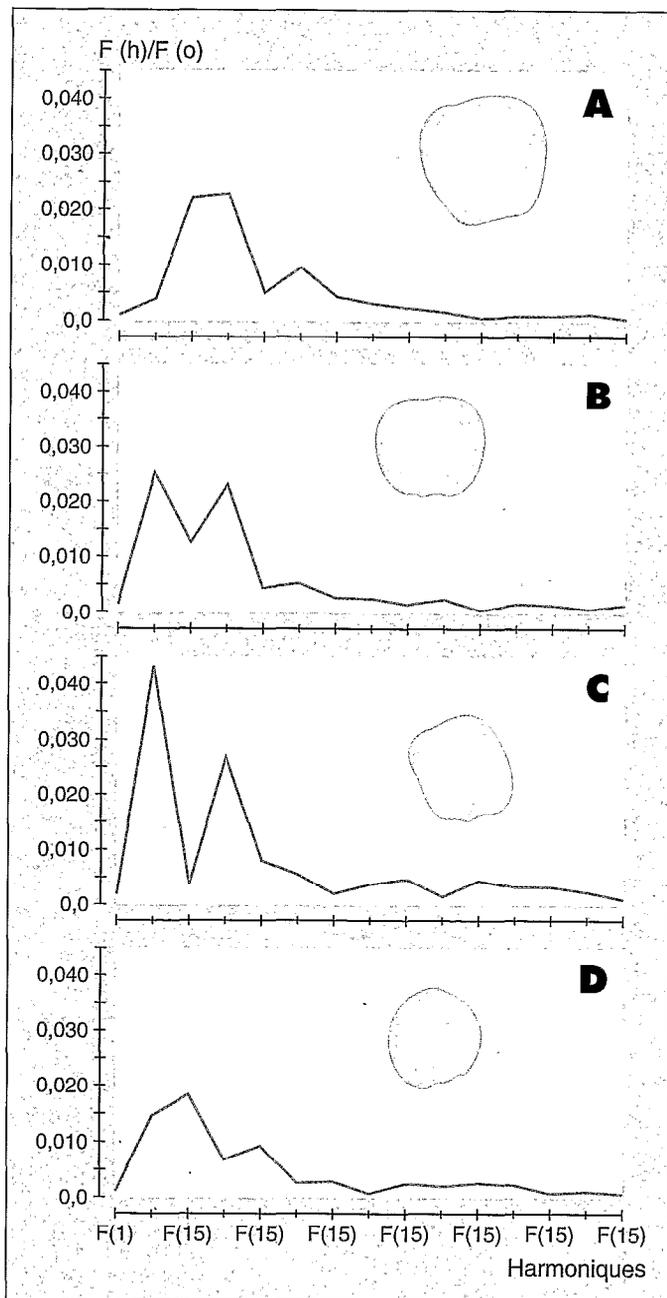
$$r(k) = \frac{1}{N} \sum_{h=0}^{N-1} R(h) \exp\left(\frac{j2\pi hk}{N}\right)$$

En comparant les résultats obtenus à partir d'un nombre variable d'harmoniques, il apparaît que la précision obtenue en prenant dix harmoniques est suffisante pour représenter le contour de la pomme, sans perdre d'informations essentielles (figure 10).

Classement des pommes

Une analyse discriminante [9] est menée pour établir s'il est possible de reproduire automatiquement le classement manuel des opérateurs de la criée, chaque fruit étant ici caractérisé par l'ensemble de ses sept images disponibles.

On sélectionne comme variables les amplitudes d'harmoniques particulières. Pour les six vues des joues, on calcule la valeur maximale de  $F(2)$  et la valeur minimale de  $F(3)$  et de  $F(4)$ . Pour la vue du pédoncule, on prend en compte  $F(1)$ ,  $F(3)$  et  $F(9)$ . En effet, pour qu'une pomme Golden delicious soit admise en catégorie I, il faut pour les joues : que  $F(2)$  ne soit pas trop élevé (fruit trop allongé), que  $F(3)$  ne soit pas trop faible (pomme insuffisamment conique), que  $F(4)$  soit relativement élevé (pomme s'inscrivant dans un carré). Pour la vue pédonculaire, il faut que :  $F(1)$  soit faible (vue circulaire), etc. En recourant à une analyse discriminante quadratique, on



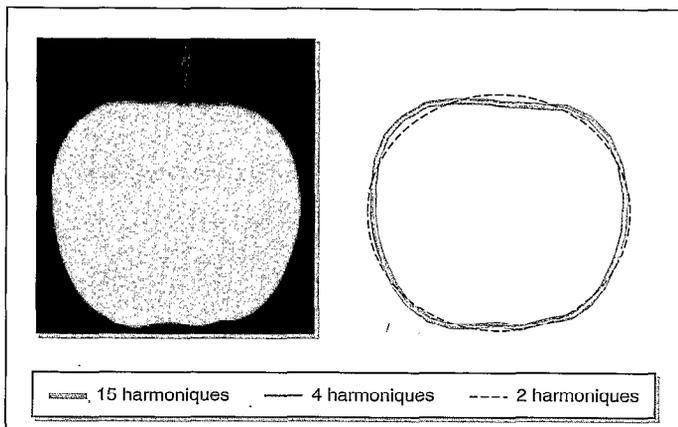
**Figure 9.** Forme de pommes et amplitude des harmoniques. Pommes A et B : catégorie I ; pommes C et D : rebut.

**Figure 9.** Apple shape and Fourier transform of  $r(k)$ . Apples A and B : category I ; apples C and D : reject.

arrive à classer correctement 52 pommes sur 54 selon les catégories I, II et rebut, c'est-à-dire une précision de classification atteignant 96 % (voir *tableau*). L'inspection visuelle réalisée par les opérateurs, considérée ici comme référence, n'est pas absolue et peut être considérée comme moins objective qu'une mesure automatique. À titre de comparaison, l'utilisation d'indices de forme, notamment des moments d'ordre trois et de la circularité, calculés sur les six vues des joues et sur la vue pédonculaire permet de classer au mieux 92 % des fruits [6].

## Conclusion

L'analyse de la forme des pommes par vision artificielle est une technique prometteuse, aussi bien pour établir un classement des fruits selon les normes en vigueur que pour rechercher des relations entre la physiologie des fruits et leur forme. En utilisant un traitement mathématique des signaux fondé sur l'analyse de Fourier, on obtient un outil précieux, qui s'avère supérieur à l'utilisation d'indices de forme fondé sur le calcul des moments, car elle est indépendante de la taille des images des fruits et de leur position par rapport à la caméra. Utilisant les amplitudes des harmoniques  $F(2)$ ,  $F(3)$ ,  $F(4)$  pour les vues des joues et  $F(1)$ ,  $F(3)$  et  $F(9)$  pour les vues du pôle pédonculaire, on arrive à classer correctement les pommes selon les catégories définies par les normes de l'Union européenne. De plus, les coefficients de Fourier permettent de reconstruire l'image du fruit en calculant une transformée de Fourier inverse, les dix premières harmoniques représentant une pomme sans perdre d'informations essentielles. Enfin, les coefficients de Fourier, calculés à partir du contour de l'image, requièrent un volume de stockage relativement limité en mémoire d'ordinateur. La méthode proposée devrait pouvoir être transposée dans d'autres applications, telles que l'analyse de la forme de poires, de pommes de terre, etc. ■



**Figure 10.** Reconstruction de l'image de la pomme, à partir de 2, 4 ou 15 harmoniques.

**Figure 10.** Shape recovered from the first 2, 4 ou 15 harmonics.

## Remerciements

Les recherches décrites sont menées dans le cadre d'un projet subventionné par le ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture - Administration de la Recherche et du Développement (Belgique).

## Références

1. Journal officiel des Communautés européennes. *Norme de qualité pour pommes et poires*, n° L97/30, 11.4.1989.
2. Kuhn ED, Ambrose JT, Unrath CR. A Measurement technique for delicious apple shape. *Hort Science* 1982 ; 17 : 785-7.
3. Unrath CR. The commercial implications of gibberellin A<sub>4</sub>A<sub>7</sub> plus benzyladenine for improving shape and yield of Delicious apples. *J Am Hort Sci* 1974 ; 99 : 381-4.
4. Westwood MN. Seasonal changes in specific gravity and shape of apple, pear and peach fruits. *J Am Soc Hort Sci* 1962 ; 80 : 90-6.
5. Eccher T, Boffeli G. Effects of dose and time of application of GA<sub>4+7</sub> on russetting, fruit set and shape of Golden Delicious apples. *Scientia Horticulturae* 1981 ; 14 : 307-14.
6. Leemans V, Magein H, Destain MF. *Apple shape inspection with computer vision*. Proceedings of the International Conference on Non-destructive Techniques for Measuring the Quality of Fresh Fruits and Vegetables. Orlando, Florida 1997 : 316-27.
7. Coster M, Chermant JL. *Précis d'analyse d'images*. Presses du CNRS, 1989 ; 560 p.
8. Jähne B. *Digital Image processing : concepts, algorithms and scientific applications*. Berlin : Springer-Verlag, 1995 ; 383 p.
9. Dagnelie P. *Théories et méthodes statistiques, T1 et TII*. Gembloux : Les Presses Agronomiques de Gembloux, 1984 ; 378 et 451 p.

## Résumé

Il est possible de caractériser la forme des pommes Golden delicious de manière automatique par vision artificielle, en prenant six vues des joues des fruits (espacées de 60°) et une vue du pôle pédonculaire. La transformée de Fourier du contour des images caractérisant le fruit est calculée et l'amplitude des coefficients de Fourier est normalisée ; toute l'information relative à la forme d'une pomme est comprise dans les quinze premières harmoniques. Par ailleurs, des harmoniques particulières mettent en évidence des caractéristiques variétales de forme des Golden delicious. En utilisant les amplitudes de ces harmoniques particulières comme variables dans une analyse discriminante, on peut classer les pommes en catégories, telles que définies par les normes de l'Union européenne, avec une précision de l'ordre de 96 %. La méthode proposée convient également pour comparer des fruits entre eux de manière objective, en vue de rechercher des relations entre la physiologie et la forme.