

Systeme de classification des pommes de terre à peau jaune par analyse d'image couleur

Christophe Guizard, Jean-Michel Gravouille et Michel Crochon

La pomme de terre reste, en France, un produit représentant en moyenne 15 % de la marge financière d'un rayon fruits et légumes en grande surface. Les produits demandés par les consommateurs doivent être, de plus en plus, d'un aspect irréprochable. Que ce soit pour des raisons commerciales ou purement sanitaires, il est aujourd'hui nécessaire d'évaluer la qualité de présentation de la pomme de terre une fois lavée. Pour le moment, cette opération de classification ou d'agrèage est effectuée sur échantillons de façon manuelle avec, il faut bien en convenir, une certaine part de subjectivité.

Les potentialités de la Vision Artificielle (Guizard et Marty-Mahé, 1996) ont conduit le Cemagref et l'ITPT à joindre leurs efforts pour mettre au point une méthode d'analyse objective de classification automatique des pommes de terre par Vision artificielle (encadré 1). Ces travaux ont porté uniquement sur l'identification de la clarté de l'épiderme et la quantification des surfaces altérées dans le domaine du visible (Tao *et al.*, 1990) et aucune recherche particulière n'a été menée sur la forme des tubercules (Jelinek *et al.*, 1990 ; De Koning *et al.*, 1994), ce dernier aspect étant directement accessible au travers de l'outil d'analyse d'images.

Cette méthode automatique d'agrèage (figure 1) permet de classer les pommes de terre suivant leur indice de clarté tout en appréciant leur pourcentage d'altération en utilisant l'analyse d'image couleur.

Matériels et méthodes

Le travail a porté sur un ensemble de pommes de terre de plusieurs variétés : Ostara, Record, Agria, Nicola, Monalisa, Mondial, Nicola primeur. Ces

lots de pommes de terre, fournis par l'ITPT, ont permis la constitution d'une importante banque d'images expertisées : tubercules sains de différentes clartés et tubercules porteurs par altérations superficielles.

Conjointement aux travaux de prise de vue, le CTIFL¹ partenaire du projet mené par ITPT sur la qualité de présentation des pommes de terre, a élaboré une palette de référence de code de couleurs représentant les teintes de base des différentes variétés de pommes de terre. Cette palette de couleur nous a servi lors des tests de calibration du système d'analyse d'images.

Pour mener à bien les travaux, nous avons utilisé un système de traitement d'image couleur (caméra CCD et micro-ordinateur PC) couplé à un éclairage fluorescent haute fréquence.

Le projet a été découpé en 5 étapes :

- conception du système de prise de vue,
- constitution de banque d'images,
- essai de classification par la clarté des pommes de terre,
- détermination des niveaux d'altération,
- validation expérimentale du modèle de classification sur un lot représentatif classé par des experts.

■ Conception du système de prise de vue

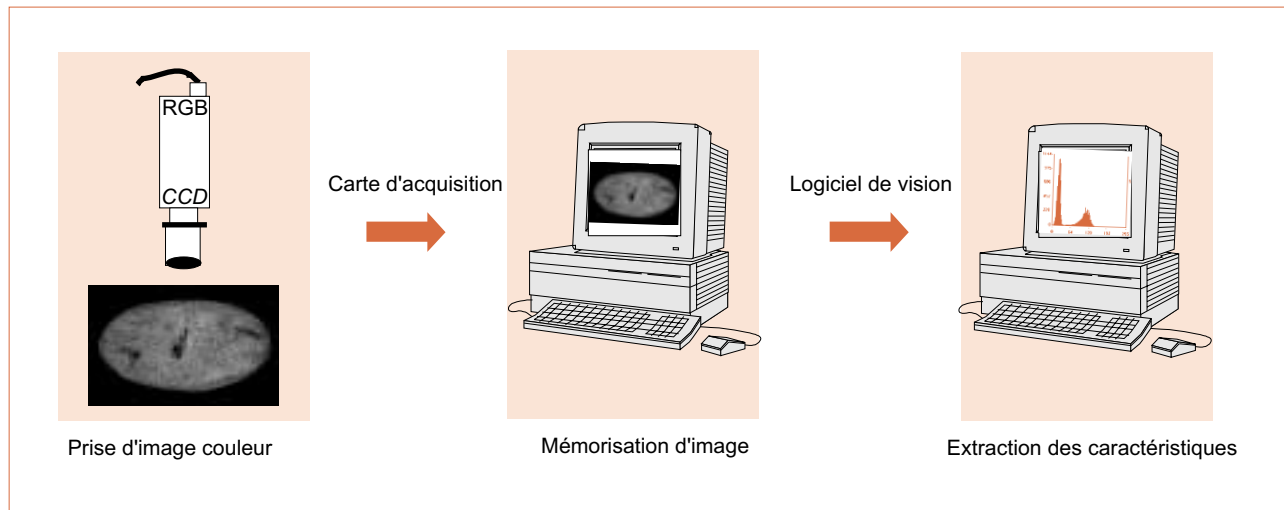
Cette étude nous a amenés à concevoir un système devant permettre un éclairage d'intensité uniforme sur toute la surface de la pomme de terre. Afin d'éclairer le mieux possible le volume extérieur du tubercule, nous avons utilisé un éclairage fortement indirect constitué d'une cloche réfléchissante (figure 2) et d'un ensemble de tu-

1. CTIFL : Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Route de Molleges, 13210 Saint-Rémy-de-Provence.

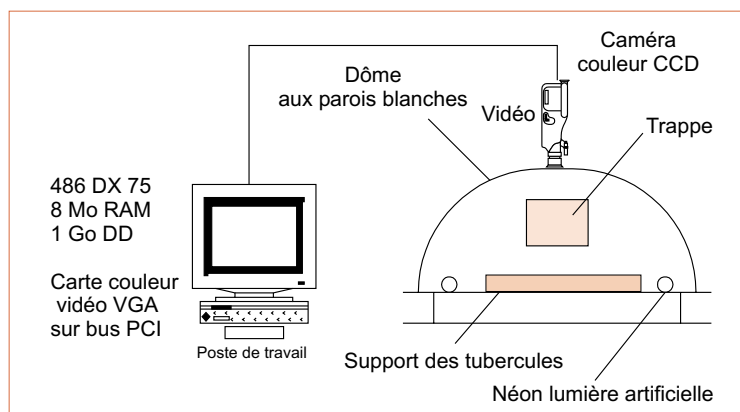
Christophe Guizard, Michel Crochon

Cemagref
GIQUAL
361, rue Jean-François Breton
BP 5095
34033 Montpellier
Cedex 1

Jean-Michel Gravouille
ITPT/ITCF
Service qualité
agro-industrielle
Hall Technologique
91720 Boigneville



▲ Figure 1. – Principe d'agrégage automatique.



▲ Figure 2. – Système d'acquisition

2. Lors des essais nous avons sélectionné les faces les plus altérées.

3. Pixel : picture element ou point image.

4. Luminance exprime l'intensité lumineuse rapportée en unité de surface (cd/cm^2), elle correspond à la luminosité en perception humaine.

bes fluorescents haute fréquence placé à un niveau légèrement inférieur à celui de la pomme de terre.

■ Constitution de la banque d'image

Chaque pomme de terre a été numérisée en couleur sur une seule face², avec une résolution de 712×548 pixels³ sur 24 bits. Chacune des composantes 8 bits rouge, verte et bleu de l'image a été mémorisée séparément, constituant ainsi une banque d'images de près de 300 fichiers, relative à 7 variétés.

Résultats expérimentaux

■ Classification par la clarté des pommes de terre

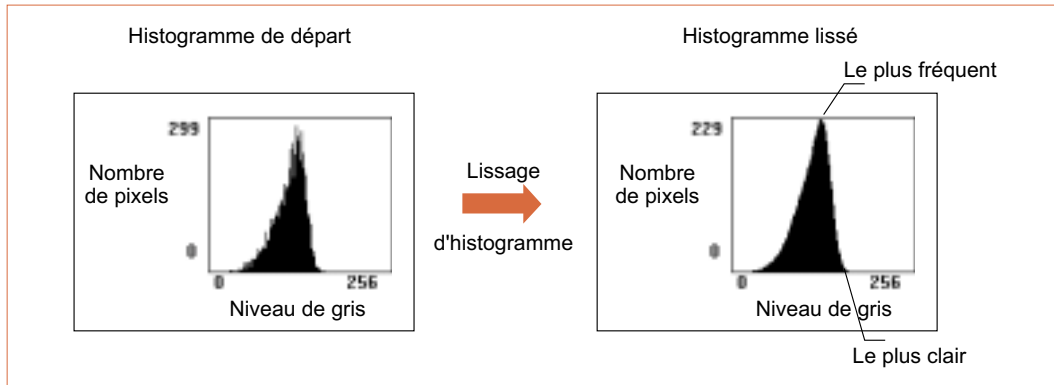
Les premiers travaux ont porté sur la mesure des caractéristiques colorimétriques des pommes de terre. Un spectrophotomètre Minolta a permis de mesurer les valeurs Lab sur un échantillon de 10 pommes de terre, par variété et à trois endroits successifs considérés comme sains.

Les expérimentations ont montré que la valeur de la luminance⁴, mesurée avec le colorimètre, correspondait bien à la notion de clarté du tubercule.

Ce constat nous a amené à travailler sur la composante verte de la caméra qui est assimilable à la luminance. Chaque image acquise comporte trois zones d'intérêt : le fond, la surface non altérée et les défauts d'aspects.

Le fond est facilement discriminable en utilisant un support de teinte radicalement différente de la pomme de terre, par exemple un fond bleu foncé.

La partie saine doit servir à apprécier l'indice de clarté. Sa discrimination de la partie altérée du tubercule est d'autant plus difficile que le niveau d'altération de la pomme de terre est important. Dans ce cas précis on ne perçoit plus clairement la teinte qui est intimement mélangée à la partie altérée.



◀ Figure 3. – Histogramme des niveaux de gris.

Encadré 1

Vision numérique ou artificielle

Qu'est ce que c'est ?

On peut donner comme définition : l'interprétation d'une image issue d'un capteur (caméra vidéo, scanner...) à l'aide d'un outil informatique.

Comment marche l'acquisition ?

Le principe de fonctionnement est assez simple. Un capteur est constitué d'une multitude de petites cellules sensibles à la lumière, ce capteur sera appelé « caméra ». Ces éléments sensibles (points images ou pixels) sont disposés sur le capteur de manière à constituer un rectangle (caméra matricielle) ou une ligne (caméra linéaire). Chaque cellule convertit l'énergie lumineuse en un potentiel électrique proportionnel à l'énergie lumineuse reçue. Cette série de potentiel électrique constitue le signal vidéo. Le signal est ensuite envoyé à un ordinateur au travers d'une carte d'acquisition (numérisation) d'image. Cette carte effectue une conversion analogique/numérique du signal. Généralement, on utilise pour le noir et blanc, un convertisseur 8 bits (256 niveaux possibles pour chaque pixel, on parle de niveaux de gris) et pour la couleur un triple convertisseur 8 bits (256 niveaux pour le rouge, le vert et le bleu).

L'organisation de la mémoire reflète généralement la structure spatiale de la scène d'origine, ce qui permet, par une simple relecture ultérieure de la mémoire, d'afficher sur son écran d'ordinateur l'image de la scène telle qu'elle a été prise.

En quoi consiste le traitement d'images ?

Une fois l'image archivée sous forme de chiffres dans l'ordinateur, elle va être analysée à l'aide d'un logiciel de traitement d'images. À ce stade, l'image est considérée comme un immense tableau de données, entre 256 000 et plus d'1 million de cellules, suivant les cas. Le logiciel de traitement d'images va donc analyser ce tableau, cellule par cellule, afin d'en comprendre son contenu.

Généralement, on cherche dans un premier temps à séparer les zones intéressantes (segmentation de l'image), comme séparer le fond du produit et dans un deuxième temps, on extrait sur l'objet un ensemble de caractéristiques morphologiques et colorimétriques nécessaires à sa caractérisation.

Les travaux effectués sur les histogrammes lissés (figure 3) ont montré que le niveau de gris⁵ le plus fréquent (la teinte la plus présente en surface) et le niveau de gris le plus clair (la teinte la plus claire) sont des caractéristiques fortement liées à la notion de clarté.

Mais une analyse de ces deux composantes (figure 4) montre que l'on peut éventuellement se

passer de l'une d'entre elles. Nous avons donc choisi l'analyse du niveau de gris le plus clair car elle présente l'avantage d'être pratiquement indépendante du degré d'altération de la pomme de terre. Seule la « gale argentée » sur épiderme sombre fera exception à cette règle et devra être traitée de manière différente.

Ces premiers résultats montrent que :

5. Niveau de gris : chaque point image est quantifié en 256 niveaux, on parle de niveaux de gris pour une image monochrome.

– la couleur verte, qui peut être assimilée à la luminance, est fortement discriminante ;

– la surface altérée de la pomme de terre n’influe pratiquement pas les résultats obtenus en analysant « le niveau de gris le plus clair ».

Pour obtenir une classification en 6 classes de clarté conforme à la demande de l’ITPT, il a été nécessaire d’y adjoindre l’étude de la composante rouge, comme on peut le voir sur la figure 5. D’autres combinaisons ont été testées sans succès.

À chacun des 6 codes de couleur définis par l’ITPT correspond une classe de clarté : le code de couleur n° 3 correspond à la classe de clarté n° 3.

Pour déterminer cette classe, on calcule pour chaque surface colorée, la moyenne des « niveaux de gris les plus clairs » dans le plan de luminance, par exemple : pour le code de couleur 1, le niveau de gris le plus clair moyen mesuré est 152.

On réalise un calcul similaire pour les classes 3 et 4, mais dans le plan Rouge.

Pour déterminer les limites entre classes, on détermine ensuite la distance séparant les niveaux de gris moyens de ces deux classes.

Par exemple, la frontière entre la classe 1 et 2 est :

$$\frac{126+152}{2} = 139$$

Ces limites permettent de définir des plages de niveau de gris propre à chaque classe.

L’appartenance à une classe est calculée à partir de la moyenne des « niveaux de gris les plus clairs » :

Par exemple, si la moyenne des « niveaux de gris les plus clairs » d’une pomme de terre référencée A2 est de 135,5, sa classe d’appartenance est donc la classe n° 2 car la valeur trouvée $\in [116;139]$.

On trouvera dans le tableau 1 la variabilité du seuil pour lequel il n’y a pas de variation notable du résultat, cette valeur est appelée « Sensibilité ».

Figure 4. – Analyses des composantes « niveau de gris le plus fréquent » et « niveau de gris le plus clair ».

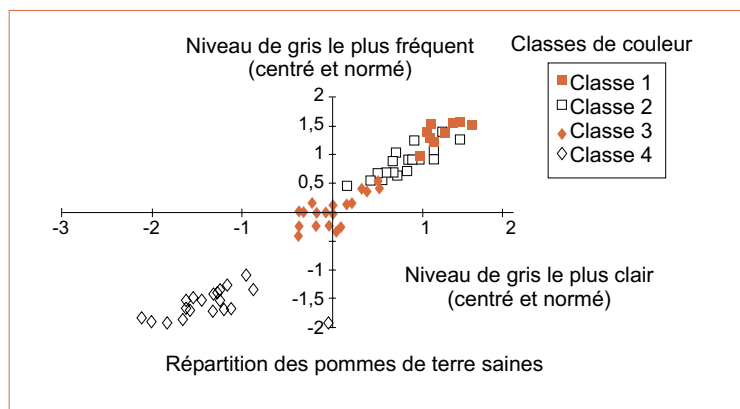
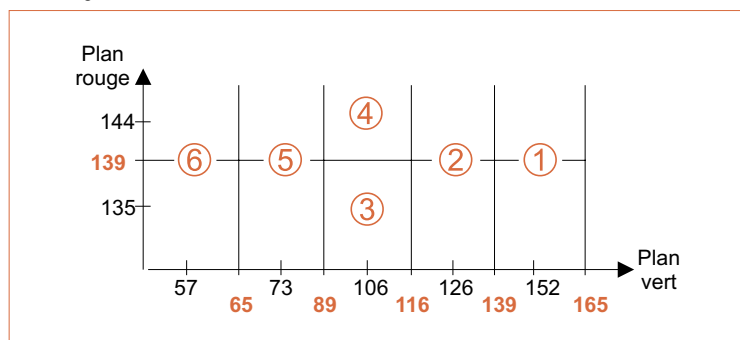


Figure 5. – Représentation des répartitions de classes dans les plans Vert et Rouge en utilisant la mire du CTIFL.



■ Détermination de l’altération

L’analyse visuelle des lots de pommes de terre altérées est plus difficile. Elle consiste essentiellement à donner le pourcentage de surface altérée.

L’être humain est très sensible à la répartition spatiale des tâches : les petits défauts répartis uniformément sur la surface du tubercule ne donnent pas la même sensation lorsqu’ils sont agrégés, ce phénomène est connu des neurophysiologues mais n’est pas toujours facile à caractériser. Nous avons constaté que les surfaces d’altération données par les experts sont, dans certains cas, surestimées rendant ainsi difficile la comparaison stricte avec le système.

L’ITPT utilise une classification en 5 catégories (tableau 2), mais la frontière interclasse est particulièrement difficile à apprécier à l’œil, d’où l’intérêt du système par analyse d’image.

Pour pouvoir identifier les tâches sur la surface de la pomme de terre, il est nécessaire de segmenter l’image de manière automatique. L’observation des histogrammes des différentes mires fournies par le CTIFL montre que chacune des 6 classes de clarté a une allure de courbe de Gauss (figure 6).

| Composante Verte | | | |
|------------------|------|------|-------------|
| Optimum | min. | max. | sensibilité |
| <i>ostara</i> | 78 | 88 | 10 |
| <i>record</i> | 78 | 87 | 9 |
| <i>agria</i> | 104 | 114 | 10 |
| <i>nicola</i> | 107 | 122 | 15 |
| <i>monalisa</i> | 121 | 138 | 17 |
| <i>mondial</i> | 122 | 139 | 17 |
| <i>n_primeur</i> | 134 | 149 | 15 |

| Composante Rouge | | | |
|------------------|------|------|-------------|
| Optimum | min. | max. | sensibilité |
| <i>ostara</i> | 111 | 127 | 16 |
| <i>record</i> | 112 | 125 | 13 |
| <i>agria</i> | 151 | 155 | 4 |
| <i>nicola</i> | 153 | 170 | 17 |
| <i>monalisa</i> | 168 | 182 | 14 |
| <i>mondial</i> | 169 | 179 | 10 |
| <i>n_primeur</i> | 179 | 194 | 15 |

Tableau 1. – Plage des valeurs de niveaux de gris par variété.

Ces gaussiennes peuvent être modélisées par l'équation ci-dessous :

$$G = y_0 + \frac{A}{w * \sqrt{\frac{\pi}{2}}} * \frac{1}{e^{-\frac{2*(X-X_c)^2}{w^2}}}$$

A, aire de la gaussienne,

y0, valeur limite de la gaussienne,

w, largeur de la gaussienne prise à mi-hauteur de la hauteur,

Xc, centre de la gaussienne,

Les mires représentant des cas théoriques, les facteurs des gaussiennes ont été calculés pour chaque variété sur un tubercule représentatif et exempt de défauts. On trouve ainsi, pour la variété Nicola, les coefficients suivants : A = 8277,70 y0 = 0 w = 26,40 Xc = 96,10

Les différents essais effectués sur les échantillons ont montré que les pixels qui appartenaient à la couleur d'origine sont ceux qui se trouvent dans un intervalle centré sur le pic de la gaussienne. Les zones exclues de cet intervalle seront assimilées à des parties altérées de la pomme de terre.

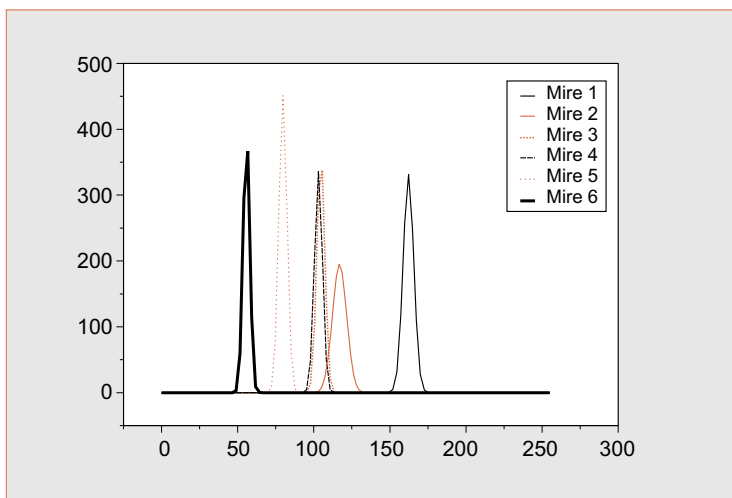
Cette dernière expérimentation nous permet de mettre en évidence les altérations par une simple labellisation des surfaces sombres une fois que l'indice de clarté a été préalablement calculé. Le cas de la gale argentée sur des pommes de terre sombre est un cas particulier qui est traité séparément.

Le seuil de discrimination des taches est calculé automatiquement par la formule ci-dessous :

Seuil = moyenne des niveaux de gris des plus clairs - largeur de la gaussienne optimale.

| Catégories d'altération en fonction du pourcentage de surface atteinte | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Catégorie A | Catégorie B | Catégorie C | Catégorie D | Catégorie E |
| Sans défaut | < 5 % | 5 % à 25 % | 25 % à 75 % | > 75 % |

Tableau 2. – Classification fournie par l'ITPT.

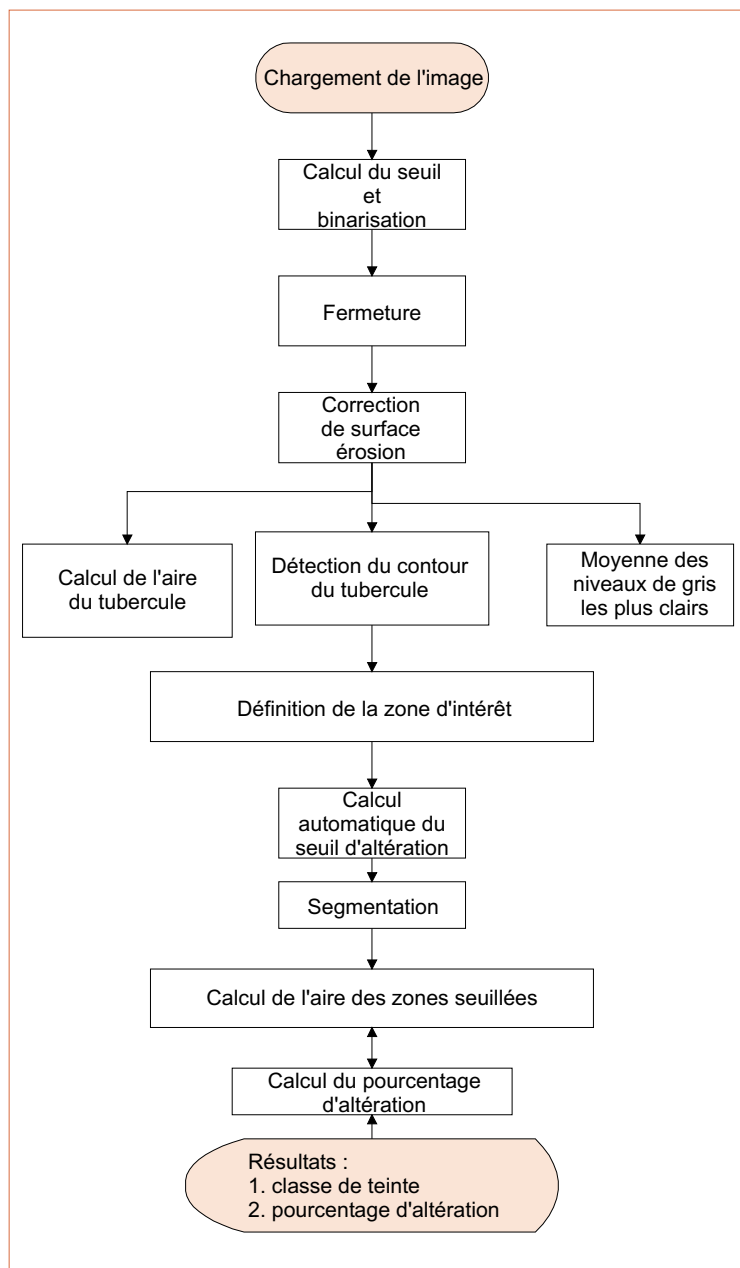


Un apprentissage est nécessaire pour la détermination de chacune des « valeurs de niveaux de gris moyen des plus clairs » de chaque classe. Cette opération est réalisée avec des tubercules « parfaits » exempts de défauts et dont la teinte est représentative de la classe.

Le pourcentage d'altération est ensuite calculé par simple segmentation de l'image en appliquant la valeur du seuil ci-dessus, soit :

% d'altération = (surface des zones malades)/(surface du tubercule).

Figure 6. – Histogramme de répartition des niveaux de luminosité (8 bits) des mires CTIFL.



▲ Figure 7. – Principe du programme.

Le principe final de traitement des images est donné par l'organigramme figure 7.

Validation

Le logiciel (figure 8) conçu suivant le principe du programme ci-dessus a permis de valider la méthode lors d'une campagne expérimentale qui s'est déroulée dans les locaux de l'ITPT.

Le système a été testé dans des conditions expéri-

mentales de terrain sur des pommes de terre préalablement identifiées par l'ITPT par deux experts. Il a été préalablement étalonné directement sur des pommes de terre de référence.

Les images ont été, dans un premier temps, archivées sur disque dur et ultérieurement traitées par le logiciel automatiquement (sans intervention humaine). Les valeurs extraites ainsi que les résultats de classification sont synthétisés dans le tableau 3.

Les résultats montrent que 76 % des pommes de terre présentent un écart absolu inférieur de 0,5 entre la valeur prédite par le système et la classe fournie par les experts lors de l'expérience. D'autre part, lors de la validation du système, aucune pomme de terre n'a été déclassée de plus d'une classe de couleur.

En ce qui concerne les altérations, les résultats sont aussi satisfaisants puisque 70 % des tubercules ont été classés avec un taux d'erreur inférieur ou égal à 10 % par rapport au classement des experts. Le système ne prend pas en compte les défauts au-dessous d'une certaine surface minimale paramétrable par logiciel.

Sur les 47 échantillons testés nous obtenons un coefficient de corrélation de 0,863 entre le système et les experts pour la classification sur la clarté et de 0,785 pour l'appréciation des surfaces. Ce dernier coefficient est à rapprocher du coefficient de corrélation entre experts qui est de 0,765 (figure 9).

On peut illustrer cette disparité en prenant par exemple le cas de la pomme de terre n° 28 (figure 10).



▲ Figure 8. – Copie d'écran du logiciel de classification.

L'un des experts a apprécié les altérations à 5 % de la surface, alors que l'autre a donné une valeur de 30 % (le système donne 14,3 %). On peut tenter d'expliquer cet écart par le fait que l'un trouve normal certaines tâches alors que l'autre non !

Conclusion et discussion

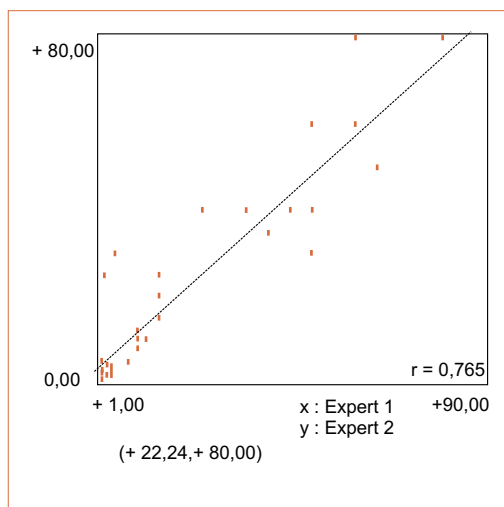
Le système mis au point a donné des résultats très proche du jugement des experts, près de 80 % des pommes de terre sont bien classées pour la clarté et 70 % pour l'altération. Ces résultats peuvent être considérés comme très corrects si on les compare à l'instabilité d'un jugement humain. De plus, l'algorithme utilisé est assez simple et a montré une bonne robustesse lors des différents tests. Bien entendu les résultats pourraient être améliorés si l'on intégrait un modèle de répartition pour les tâches.

Mais, l'appréciation humaine pose des difficultés qui ne sont pas spécifiques à ce projet, même si de nombreux travaux existent en neurophysiologie ou en psychologie, il est très rare de les voir appliqués en vision artificielle. C'est pourquoi le laboratoire a engagé une thématique de recherche dans cette voie.

Du côté industriel, le projet devrait trouver prochainement une suite. Les résultats ont été suffisamment convaincants pour que le CNIPT⁶ et le FEDEPOM⁷ demandent la réalisation d'un prototype d'agrégé de terrain, permettant de valider la méthode dans des conditions industrielles sur des lots de 50 pommes de terre. Ce système automatique analysera, lors de la chute des pommes de terre, l'intégralité de la surface en utilisant un système optique approprié. Les informations recueillies devraient être intégrées dans la démarche de traçabilité engagée par la filière. Si un tel système est validé par la profession, il est ensuite facile de l'intégrer dans une ligne de tri. □

| Mesures expérimentales COLORATION | | Mesures expérimentales DÉFAUTS | |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| Écarts de coloration | % Pomme de terre | Écarts en % de surface | % Pomme de terre |
| 0 | 36 | <2,5 | 26 |
| 0,25 | 22 | 2,5 à 5 | 22 |
| 0,50 | 18 | 5 à 10 | 22 |
| 0,75 | 6 | 10 à 20 | 15 |
| 1 | 18 | 20 à 30 | 11 |
| > 1 | 0 | > 30 | 4 |

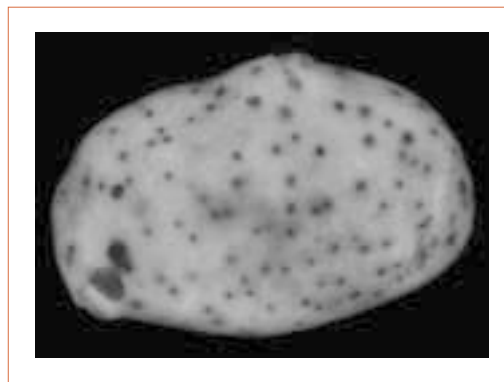
▲ Tableau 3. – Classement des pommes de terre par le logiciel par rapport aux experts.



◀ Figure 9. – Corrélation entre experts.

6. CNIPT : Comité national interprofessionnel de la pomme de terre, 21, rue de Madrid, 75008 Paris.

7. FEDEPOM, 2 rue de Viarnes, 75040 Paris Cedex 1.



◀ Figure 10. – Exemple de pomme de terre posant des difficultés d'appréciation visuelle.

Résumé

Fortement subjective, la notion de qualité de présentation des pommes de terre est aujourd'hui un point important pour leur commercialisation. Les travaux du Cemagref menés en collaboration avec l'ITPT ont permis de valider une méthodologie expérimentale de classification de la qualité d'aspect des pommes de terre. Cette méthode basée sur l'analyse de deux composantes colorimétriques permet de réaliser une classification fonction de la clarté et des altérations superficielles du tubercule. Le logiciel développé a permis de valider la méthode sur des échantillons préalablement classés par des experts de l'ITPT, avec un taux de réussite proche de 80 %.

Abstract

Potato appearance quality assessment, a highly subjective exercise, is today an important factor for the food market. Work undertaken by Cemagref in cooperation with ITPT has led to the validation of an experimental classification method based on the potatoes appearance. This method based on two colour component analyses which performs a classification function related to tuber brightness and blemishes. The software developed in this project has allowed us to validate the method against human expertise, with a 80 % success rate.

Bibliographie

- GUIZARD, C., MARTY-MAHÉ, P., 1996. Vision Industrielle : un capteur pour la qualité, *Cahiers Agricultures*, 5 : pp. 43-51.
- JELINEK, O. ; PLASEK, J. ; MASKOVA, H., 1990. *Technical possibilities for automatic sorting of healthy and damaged potato tubers*, Zemedelska Technika. 36 (7), pp. 433-441.
- DE KONING, C.T.J., SPEELMAN, L., DE VRIES, C.P., 1994. Size grading of potatoes : development of new characteristic parameter, *JAER* 57, pp. 119-128.
- TAO, Y., MORROW, C.T., HEINEMANN, P.H., SOMMER, J.H., 1990. Automated machine vision inspection of potatoes, *American Society of Agricultural Engineers*, (N° 90-3531), 23 pp.