

Etat des lieux de l'utilisation de l'imagerie en Agriculture

Christophe Guizard - CEMAGREF - Montpellier

* Résumé

L'application des techniques de vision artificielle dans l'industrie est aujourd'hui une réalité, son application dans l'agriculture ne fait que démarrer. L'image est une source d'information fabuleuse que l'on n'a pas encore totalement exploitée, l'interprétation des images par un ordinateur laisse présager une multitude d'applications. Elle permet d'aller parfois au-delà de la performance humaine, mais les limites demeurent et on n'est pas encore arrivé à reproduire le schéma cognitif de l'être humain. Après une présentation de la vision humaine et des grands principes de la vision par ordinateur, les exemples d'applications seront présentés pour appréhender les futures applications du nouveau millénaire.

* Introduction

La vue est l'un des cinq sens avec l'ouïe, l'odorat, le goût et le toucher. À la place de «vue», il est préférable de parler de «perception visuelle». La perception est «la fonction par laquelle un organisme prend connaissance de son environnement au moyen de ses sens (...). Elle est le résultat d'activités très complexes de traitement d'informations, réalisées soit en parallèle, soit en étapes successives» (1). Ce terme porte en lui toute la complexité de la vision artificielle qui, ne l'oublions pas, est issue du domaine de l'intelligence artificielle.

Nous utilisons tous les jours notre vue pour décider, découvrir et appréhender le monde. Mais notre système de perception n'est

pas aussi parfait qu'on le croit, nous sommes tous sujets à des interprétations erronées de notre environnement et ces erreurs sont amplifiées par ce que l'on appelle les « illusions d'optiques ».

Ces illusions dépendent de notre système de perception mais elles illustrent aussi notre culture et l'apprentissage de notre monde environnant. Dans l'illusion Figure 1 il est difficile d'admettre que les lignes sont toutes parallèles, de même dans la figure suivante (Figure 2) il faut une bonne dose d'imagination pour se convaincre que les teintes des carrés A et B sont les mêmes. L'a priori est tellement fort que la vérification ne peut se faire qu'en comparant les teintes à l'aide d'un outil de dessin.



Figure 1 : Les lignes sont parallèles

Cette dernière illusion montre à quel point notre système de perception est piégé par ce qu'il souhaite voir, ou par ce qu'il a appris.

C'est en partie pour supprimer cette subjectivité dans le jugement que les systèmes de vision artificielle trouvent leur justification en industrie.

En effet la subjectivité et la non constance dans notre jugement associé aux grandes cadences de production nécessite l'utilisation de nouvelle technique pour

garantir la qualité de la production industrielle.



Figure 2 : Le carré B est de la même « couleur » que le carré A (E.H. Adelson)

L'IMAGE NUMERIQUE

L'image numérique date des années 60 où des scientifiques découvrent les possibilités photoélectriques des CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductors) utilisés dans la fabrication des mémoires d'ordinateurs. Le CCD (Charge Coupled Device ou DTC dispositif à transfert de charges) viendra plus tard, vers la fin des années 1960 lorsque des chercheurs du Laboratoire Bell aux USA montreront la supériorité technologique de ces systèmes devant les CMOS, et ce n'est que depuis peu que le CMOS revient en force en raison de coûts de fabrication extrêmement bas et de constantes améliorations technologiques le rendant suffisamment performant pour un usage grand public et voire industriel.

* L'image et son interprétation

La vision numérique exploite le comportement de la matière en présence d'un spectre électromagnétique, le plus fréquemment de l'Ultra Violet à l'Infra-rouge (200nm à 1100nm).

Deux phénomènes sont alors exploités : l'effet photo voltaïque qui va donner naissance au capteur (caméra) et le phénomène d'absorption de la matière qui permettra à la lumière d'être renvoyée vers le capteur et qui servira à caractériser la matière en analysant la partie du spectre qui a été absorbée.

La compréhension de ces éléments fondamentaux permet

de comprendre pourquoi la maîtrise de la lumière est si importante lorsqu'on travaille en imagerie numérique.

L'analyse de ce qui est renvoyé par la matière permettra non seulement de trouver, par exemple, la dimension d'un objet mais elle permettra par la même occasion de connaître sa constitution.

Ainsi un objet sera rouge parce

que sa matière absorbera toutes les autres « couleurs » sauf le rouge ou un choc sera détecté sur un pomme parce qu'il libèrera plus d'eau et que l'eau absorbe plus une certaine longueur d'onde (Figure 3 de 930nm à 1300nm). On voit donc dans ce dernier exemple qu'on ne détecte pas le choc lui-même mais la conséquence du choc.

Ceci explique, en partie, pourquoi

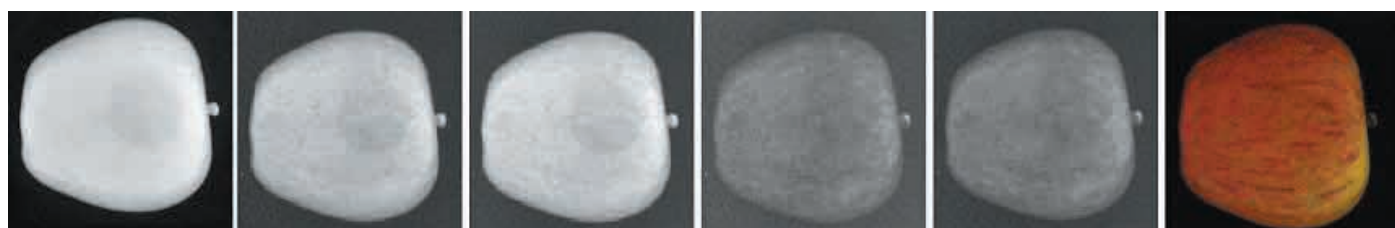


Figure 3 : pomme vue sous différentes longueurs d'onde (de gauche vers la droite 930nm, 1200nm, 1300nm, 1400 nm, 1600 nm, Couleur)

une photo argentique «type 24x36» ne donnera pas le même résultat spectral que la prise de l'information directe via un capteur numérique. Par contre, il n'y aura pas de différence si l'on souhaite

mesurer la dimension d'un objet sur l'image.

Pour obtenir une image sur l'ordinateur il faut donc recueillir la lumière renvoyée par l'objet, la

transformer en signal électrique puis quantifier ce signal soit forme de données informatiques pour pouvoir être exploité par un ordinateur (Figure 4).

Le capteur sera constitué d'une

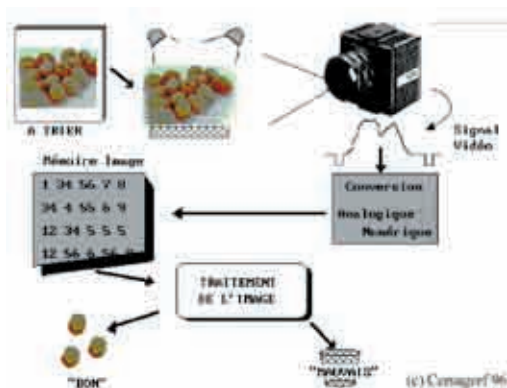


Figure 4 : principe général

matrice de cellules sensibles à la lumière, appelés « pixels » (contraction de picture element) et capables de créer un courant électrique en présence d'un photon. Chaque cellule délivrera séquentiellement un signal électrique proportionnel à l'énergie photonique reçue qui sera numériser et stocker pour un traitement ultérieur. Toute cette séquence se déroule

en une fraction de seconde, généralement autour de 20ms par image (ce temps dépend du standard utilisé).

L'image numérique, bi-dimensionnelle, peut être considérée comme un immense tableau de données, de quelques centaines de milliers de cellules à plusieurs millions. Ce tableau sera ensuite analysé, cellule par cellule, par un

logiciel afin d'en comprendre son contenu.

On dira qu'on procède : au traitement des images lorsqu'on lui applique des opérateurs pour améliorer ses contrastes ou réduire le bruit de fond, et à l'analyse d'image lorsqu'on cherche à interpréter son contenu.

Les algorithmes de calcul mis

en œuvre sont de complexité très variable, ils vont du simple comptage, en passant par les histogrammes, par les extractions des contours, de formes ou d'objets. Tous ses algorithmes sont de gros consommateurs de ressources systèmes qui dépend fortement de la résolution de l'image.

Ces algorithmes permettent l'extraction d'une quantité impressionnante d'informations, qu'il faudra ensuite trier et sélectionner en fonction de l'objectif recherché. Pour opérer ce traitement, on fait généralement appel à des techniques de traitement de l'information plus ou moins sophistiquées. Cette richesse est aussi une pénalité, car il n'existe malheureusement pas de méthodes génériques permettant de reproduire le schéma cognitif humain, aussi a-t-on tendance à dire qu'en vision artificielle : **chaque cas est un cas particulier.**

* Les verrous actuels

Il existe un ensemble de verrous techniques et scientifiques qui touchent essentiellement deux aspects, si l'on exclut les applications elles-mêmes :

* le capteur (camera)

* les algorithmes de calcul

* Le capteur

Le capteur ou plus précisément la caméra, est un ensemble électronique d'une certaine complexité. Comme tout capteur, il doit répondre à des caractéristiques précises, en termes de résolution, de sensibilité, de stabilité et de rapport signal sur bruit. Ces caractéristiques sont dictées par le marché, or, le marché industriel ou professionnel est beaucoup trop faible en comparaison à des marchés de masse rendant le premier dépendant du second. Malheureusement il est difficile d'utiliser les produits « grand

public » dans des applications professionnelles essentiellement pour des raisons de soutien technique qui est plus proche de la « hot line » des téléphones mobiles que du support au développement des produits industriels...

Les capteurs suivent donc la technologie grand public avec un retard généralement de 1 à 2 ans. Par contre conjointement à l'offre « classique » se développe une offre spécialisée utilisant de nouvelles surfaces sensibles constituées de matériau autre que le silicium (limité au visible et au proche-infrarouge). Ces matériaux comme l'InGaAs, HgCdTe ou InSb permettent de travailler dans des bandes spectrales très intéressantes notamment pour l'agriculture.

* Les algorithmes

Une fois l'image acquise, les limites des systèmes proviennent essentiellement des difficultés qu'ont les algorithmes à extraire des informations pertinentes dans des scènes complexes.

De très nombreux algorithmes existent, ils sont classés souvent par famille : on trouve des algorithmes chargés d'améliorer globalement l'image, c'est l'apanage des filtres, des algorithmes chargés de segmenter les images, terme barbare qui signifie trouver des zones intéressantes – l'objet par exemple -, d'autres algorithmes se chargent d'extraire certaines caractéristiques propres à ces zones, comme la description du contour des formes, les textures, etc.

A cet ensemble vient se greffer les algorithmes permettant d'identifier, de classer et de prendre des décisions. Ces algorithmes sont, pour la plupart, issus du domaine du traitement des données (statistiques, intelligence artificielle...).

Comme on le voit, les algorithmes

sont la clé de l'interprétation du contenu de l'image, sans cette clé, il n'est pas possible d'appliquer les techniques de vision à un procédé industriel. Malheureusement « cette clé » n'est pas un sésame et un grand nombre de limites sont encore présentes. En général, les systèmes exploitent souvent un compromis entre la qualité de l'image initiale d'une part, la complexité des algorithmes d'autre part, et leur reproductibilité.

Plus l'image sera « parfaite » plus le traitement sera performant, notamment en termes de rapidité, ce qui est primordial lorsqu'on cherche à contrôler des milliers de produits à l'heure. Ce compromis est souvent atteint grâce au savoir-faire et à l'expérience de celui qui met en œuvre l'application. La mise en œuvre consiste, dans la plupart des cas, à trouver le meilleur éclairage possible, la meilleure manière de l'implanter et la meilleure manière de positionner le ou les produits devant le système de prise de vue, etc. Cette optimisation, souvent empirique, permet de simplifier les algorithmes utilisés en mettant en évidence le défaut recherché, la zone à analyser, en évitant les problèmes de non-invariance en rotation ou translation, etc. Ce savoir-faire permet de résoudre certains problèmes complexes à moindre coût, mais leurs résolutions sont presque toujours liées à une expérience individuelle, donc éphémère.

L'IMAGE EN AGRICULTURE

Les conditions « agricoles » ne sont pas des conditions très favorables à l'installation de systèmes de vision numérique, on a tendance à comparer les applications agricoles à des applications qui suivent des contraintes militaires sans en avoir leurs budgets. En effet les systèmes doivent pouvoir fonctionner dans des conditions difficiles et surtout dans un environnement d'éclairage

généralement non maîtrisé.

* Au Champ

L'utilisation des systèmes de vision dans les champs se heurte essentiellement à des problèmes d'éclairage de la scène. Pour le moment les systèmes utilisés ont besoin d'un éclairage stable, il est donc nécessaire de trouver des solutions qui permettent de s'affranchir de la lumière du soleil.

Sachant que l'énergie du soleil peut dépasser le kilowatt sur un mètre carré il faut des systèmes puissants.

Généralement il s'agit de lumière impulsionnelle de forte énergie, car l'éclairage en continu demanderait beaucoup trop d'énergie

* A pied

Le système le plus simple que l'on peut imaginer est le dessin qu'on a aujourd'hui remplacé par photo, qu'elle soit numérique ou argentique. Ce type d'image est utilisé depuis très longtemps et sert bien souvent à la constitution de banque de référence pour les scientifiques ou les techniciens, on pourra citer ici l'ampélographie. On se sert de l'image pour établir une référence visuelle et ensuite comparer l'échantillon à la référence.

Ce sont, par exemple, les chartes photographiques établies par les centres techniques. Malheureusement la comparaison étant visuelle elle est entachée d'erreurs et comporte une grande part subjectivité.

Au-delà de l'outil de comparaison

visuelle on peut aussi exploiter l'image pour quelle donne des informations plus quantitatives, comme la taille, le nombre ou le poids de certains produits. Ainsi mesurer le diamètre d'un arbre ou d'un cep de vigne est possible par simple photographie.

On peut aussi utiliser « l'image » pour comptabiliser les fruits dans les arbres. Des expérimentations ont été menées dans ce sens par le Cemagref de Montpellier en collaboration avec le CEHM de Marsillargues. Elles sont prometteuses et pourraient intéresser les assurances agricoles comme c'est déjà le cas au Canada avec l'évaluation prévisionnelle des récoltes pour calculer la prime de l'assurance en cas de calamité. Le système actuel (Figure 5) est encore au stade prototype.

En viticulture, le projet REV



Figure 5 : système de comptabilisation automatique des pommes sur un arbre

engagé avec l'ITV Midi-Pyrénées, les Vignerons de Rabastens et la société Ondalys (ex Agromérix),

est aussi une illustration intéressante de ce type d'outil. Ici l'objectif est d'apprécier le

poids des grappes par une simple photographie.

* Sur l'engin de récolte



Figure 6 : maquette REV ITV Midi-Pyrénées - Vignerons de Rabastens - Ondalys - Cemagref

Un certain nombre de travaux ont été engagés fin des années 1980, l'idée étant d'installer des systèmes intelligents dans les machines, soit pour contrôler la récolte soit pour optimiser en continu les paramètres de réglages des machines. C'est durant ces années que sont nées les premiers robots agricoles.

*** Magali/Citrus**

Ces travaux financés au travers de projets européens ont permis dans les années 1989 le développement du concept de la robotique agricole. Magali

le robot cueilleur de pomme et Citrus son homologue pour les orangeries devaient permettre la récolte automatique des fruits sur l'arbre. Le robot était constitué d'une palte-forme automotrice qui se guidait seule en suivant le palissage des arbres. Sur cette plate-forme était montée un ou deux bras robotisés couplés à un système de vision couleur. Une des difficultés majeures était d'identifier les fruits sur l'arbre, sachant que ces derniers étaient d'une couleur proche de la couleur de feuilles dont difficile à localiser. Il fallait aussi aller les chercher en évitant le plus possible les branches qui se trouvaient sur le

passage du bras. Paradoxalement le système Magali a donné de meilleurs résultats que celui pour les oranges même si la couleur des fruits dans ce dernier cas rendait la détection plus facile. Le problème venait essentiellement du système de récolte qui ne pouvait pas se glisser dans le branchage des orangers, contrairement aux pommiers qui étaient palissés donc de faible épaisseur. Il y a eu d'autres expériences aux USA et au Japon mais aucune n'a vraiment donné de solution commerciale.

*** Machine à vendanger**



Figure 7 : prototype de récolte des oranges (Citrus)

Sur la machine à vendanger, la société New Holland est titulaire d'un brevet (US006009186A 1998) qui consiste à monter un système de vision embarquée au-dessus de la benne pour caractériser la propreté de la vendange. Le système utilise la vision proche-infrarouge car elle permet de bien discriminer les feuilles et autres résidus, en travaillant sur la teneur en eau. Bien que datant des années 1996 ce système ne semble toujours pas être utilisé aujourd'hui. D'autres constructeurs ont fait des expérimentations notamment pour régler le système de battage mais

la plupart du temps ces essais ont été sans lendemain.

* **Guidage d'engin**

Le guidage d'engin permet de soulager l'opérateur lors de certains travaux, il peut ainsi être plus attentif au travail de l'outil et laisser le tracteur avancé suivant une trajectoire prédéfinie. Ce problème de guidage automatique intéresse depuis longtemps les militaires qui voient, dans le futur, des engins pouvant se déplacer sur le champ de bataille de manière autonome. Une illustration de cet intérêt est donnée par le concours que la DARPA (Defense Advanced

Research Projects Agency) aux USA qui organise depuis quelque temps un concours destiné à montrer qu'il est possible à un véhicule d'aller d'un point à un autre de manière complètement autonome dans un environnement réel, semé d'embûches.

Le concours, doté de 2 Millions de dollars a été finalement remporté en 2005 par le prototype de l'université de Standford . Le ministère de l'armée américaine c'est fixé 2015 comme date pour avoir un véhicule militaire autonome.

Sur les tracteurs on utilise aujourd'hui des systèmes de



Figure 8 : vainqueur du Grand Challenge 2005 (photo Université de Standford)

guidage basé sur la navigation satellite ou par faisceau laser. De tels systèmes sont couramment utilisés en grande culture notamment lorsque les espaces sont vastes (GPS) ou lorsqu'on a besoin de très grande précision guidage (plantation assistée par laser) .

* **Guidage de tracteur en utilisant le sillon de labour**

Plus modeste, l'idée de guider le tracteur en suivant le premier sillon de labour, bien qu'ancienne, a trouvé une seconde jeunesse par l'utilisation de la vision, qui présente l'avantage d'être une solution compacte, sans contact

et plus flexible que les solutions mécaniques.

Le dispositif est installé à bord d'un tracteur standard. Il est composé d'une caméra embarquée et d'un ordinateur qui étudie la différence de contraste entre la terre retournée de celle qui ne l'était pas : la frontière étant alors la ligne à suivre. La trajectoire calculée est ensuite envoyée au système d'asservissement de direction du tracteur. Des expérimentations ont été faites au Cemagref d'Antony fin des années 80. Le guidage sur la ligne de fauche a, quant à lui, été testé le Cemagref de Clermont-ferrand quelques années plus tard. Actuellement

il ne semble pas exister de tels systèmes sur le marché.

* **Dans les airs**

L'utilisation de l'imagerie aérienne a, pendant longtemps, été réservée aux gouvernements, aux militaires. Ces images étaient le plus souvent interprétées par un opérateur dont la mission était d'identifier visuellement les différents éléments constituant l'images : les routes, les rivières, les habitations, les champs, la forêt, les cultures... L'utilisation se bornait généralement à suivre l'évolution des paysages et de quantifier les surfaces. Aujourd'hui les images sont accessibles à tous

pour des coûts très faibles.

On peut aujourd'hui se procurer la photographie aérienne (résolution 50cm) d'un ½ département français pour moins de 70€, logiciel de visualisation inclus. Seul soucis, les images ne sont pas toujours d'une première fraîcheur.

On trouve même sur internet l'intégralité du globe terrestre vu de l'espace (<http://maps.google.com/> ou <http://worldwind.arc.nasa.gov/>) avec de tels niveaux de détails que certains gouvernement se sont inquiétés de leurs possibles utilisations terroristes.

Ces images trouvent aujourd'hui une application lorsqu'on cherche à optimiser les pratiques agricoles en tenant compte de la variabilité des sols au sein d'une parcelle, tout en couplant les intérêts économiques et environnementaux (agriculture de précision).

Ainsi, il est possible de cartographier (4) des parcelles en tenant compte de la teneur en chlorophylle des végétaux, du stress hydrique des plantes, de l'humidité du sol...

*** Vue d'un satellite**

Les images en provenance des satellites permettent d'établir des cartes de rendement, d'effectuer des inventaires agricoles, de cartographier les calamités (incendie de forêt et inondation), de surveiller l'état phytosanitaire des cultures et de leurs stress hydriques sur des grandes surfaces notamment d'un département, d'une région, ou

d'un pays.

L'image satellite est par définition une image prise à très haute altitude, sa précision est « assez faible » et limite son usage à des grandes surfaces : par exemple les images SPOT couvrent des surfaces allant de 3600 km² à 4800 km² avec une résolution ne dépassant pas 2.5m au mieux, pour un prix d'environ 8000€ par scène récente.

Le matériel de prise de vue est spécifique et on exploite généralement trois bandes spectrales précises : la bande « rouge », la bande « verte » et la bande proche-infrarouge, permettant ainsi de travailler directement sur un indice calculé à partir des ses plages spectrales : le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

La vision par satellite demande aussi que le satellite passe au-dessus de la zone à photographier à un moment où cela est utile en fonction des objectifs visés.

Il est évident qu'il n'est pas très intéressant d'avoir une image prise au mois de décembre pour analyser des parcelles de blé au mois de juillet !

Et comme toute vue aérienne, il faut aussi que le ciel soit dégagé car il n'est pas possible de « voir » au travers des nuages, cela est réservé au système radar.

L'image, ici, n'est pas une fin en soit. Elle est généralement associée à un outil de gestion de type SIG (Système de Gestion Géographique) qui sert de support à sa gestion en rajoutant d'autres

informations (cadastre, nature du sol...).

*** Vue d'un avion**

De même nature que l'image satellite : l'imagerie aérienne est, elle, beaucoup plus précise : les 50cm voire moins sont souvent accessibles rendant l'outil potentiellement plus utile à l'agriculteur. Pour l'instant, les applications les plus utilisées sont des applications de contrôle. On peut ainsi calculer avec un certain réalisme les surfaces au sol, vérifier que le champ est en jachère ou que l'arrachage à bien été effectué comme prévu et cela sans qu'on ait à se déplacer sur la parcelle.

Les producteurs de céréales connaissent très bien ces images car leurs déclarations à l'ONIC se font aujourd'hui par ce biais. Le dispositif s'appuie sur des photos aériennes au 1:10 000 (1 cm sur la photo = 100 mètres sur le terrain) et bientôt au 1 :5000.

Le producteur de céréale dessine lui-même le contour de sa parcelle sur la photo aérienne au stylo rouge, ce qui est sensé simplifier sa déclaration car « il voit ce qu'il déclare ».

Toutefois l'utilisation de l'avion a des contraintes notamment en raison de la réglementation : altitude, plan de vol sont imposés rendant l'action de prise de vue parfois compliquée et dans certains inutilisable car trop tardive.

Ces problèmes laissent le champ libre à des outils beaucoup plus

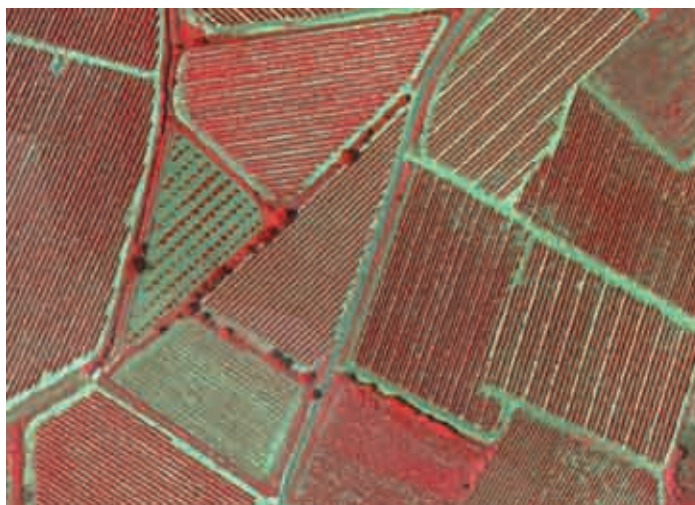


Figure 9 : exemple de photo aérienne en Couleur + Proche Infrarouge

légers et réactifs que sont les drones.

Les drones sont des « objets volants » sans pilotes volant généralement à basse altitude et dont la réglementation est souvent

celle qui régit l'aéromodélisme. Les drones ne sont pas une idée récente et on trouve dans le passé de nombreux exemples, mais c'est les nouveautés technologiques qui permettent aujourd'hui un usage

plus accessible aux agriculteurs.

Ces systèmes peuvent être des avions téléguidés ou des ballons



Figure 10 : USA, 1938 Righter Family Archives

stationnaires. Ils sont équipés de dispositif photographique radiocommandé. L'opérateur au sol est doté d'un retour vidéo pour vérifier qu'il prend bien la zone

concernée. Une fois la campagne de photos effectuées il y a un long travail de correction géométrique et d'assemblage des photos. En effet l'avion n'est jamais vraiment

parallèle au sol, il faut donc compenser les erreurs dues au roulis et au tangage.

Les performances des drones permettent une utilisation au



Figure 11 : exemple de drone (photo avion jaune)

niveau d'une parcelle pour un coût relativement modeste. Pour l'instant, il n'y a pas de solutions commerciales qui donnent une interprétation photographique de l'image, mais ce n'est qu'une question de temps. Ainsi, on devrait pouvoir bientôt trouver des SIG dotés de capacités d'interprétation du stress hydrique, des surfaces foliaires, etc. à partir des seules vues aériennes.

*** A la cave et dans l'industrie**

A la cave ou en industrie, les systèmes sont plus faciles à maîtriser en raison des conditions d'installation plus faciles. On peut ainsi se protéger de la lumière ambiante, des variations

de températures et installer les systèmes dans des conditions optimales. Ce n'est pas sans raison que ces systèmes sont de plus en plus courant dans l'industrie. Les premiers systèmes installés en industrie ont souvent trouvé leurs justifications dans des contrôles à grandes vitesses sur des petits produits, c'est par exemple le cas des grains de cafés ou des lentilles dont on peut facilement imaginer les difficultés en tri manuel.

*** Au laboratoire qualité**

Caractérisation des cerises

Le dispositif réalisé au début des années 2000 pour le compte du Domaine expérimental de La Tapy (Carpentras 83), permet

d'assister les techniciens de la station dans le suivi des expérimentations menées sur les variétés de cerises. Le système est relativement simple et consiste à exploiter une photo d'un échantillon de cerises placé sous une caméra (). Le logiciel donne le diamètre équivalent et la couleur dominante en utilisant la charte colorimétrique établit par le CTIFL (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes). Ce dispositif est facilement extrapolable à l'analyse des baies de raisins.

Caractérisation des grappes de raisin de table

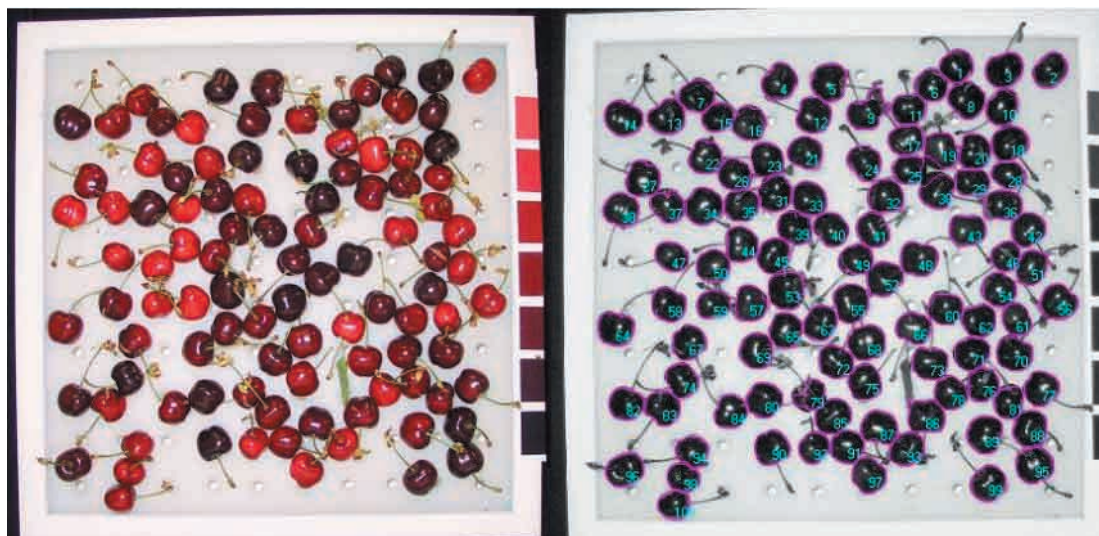


Figure 12 : photo des cerises en couleur (à gauche) - identification individuelle des cerises (à droite)

Le dispositif réalisé (Figure 13) pour le compte du Domaine expérimental de La Tapy (Carpentras 83), permet d'assister les techniciens de la station dans le suivi des expérimentations menées

sur les variétés ou sur la conduite de la vigne. Le dispositif est constitué d'un système permettant de faire une photo de grappe de raisin placée dans une enceinte à lumière constante. Le système donne ensuite les dimensions de

la grappe, sa surface projetée, la couleur moyenne et l'écart type de couleur, et la taille des baies significatives.

Caractérisation de la vendange



Figure 13 : système d'aide à la caractérisation des grappes de raisins de table (Dne exp. La Tapy (83))

L'idée ici est de pouvoir caractériser le contenu d'une benne à vendange. Le dispositif de prise est situé : soit au niveau du poste avancé soit au dessus du conquêt. La photo prise permet de faire une analyse de la vendange. Le système recherche dans un premier temps tout ce qui n'est

pas du raisin comme : les feuilles, les sarments, les rafles et autres objets qui ne devraient pas se retrouver dans la benne. Une fois les objets éliminés de l'image on recherche les différentes couleurs de baies : vertes, roses et noires... Une fois les pourcentages donnés le système aide le gestionnaire

de la vendange dans l'orientation du lot, l'idée étant de vinifier de manière optimale des lots homogènes.

Contrôle du dégarni



Figure 14 : prototype Qualiris de SODIMEL installé à la cave des Vignerons de Chusclan

Le contrôle du dégarni est réalisé après la mise en place du bouchon. Sur certaines fabrications de bouteille le fabricant garantie le volume mais pas sa forme, ce qui se traduit par des hauteurs de liquide variable entraînant une certaine confusion chez le consommateur qui voit en face de lui des bouteilles ayant des hauteurs de liquide différentes. Il s'agit donc de faire de lots homogènes de bouteille aillant toutes la même hauteur de liquide par rapport au bouchon. Les systèmes utilisés travaillent par « ombroscopie », c'est à dire

analyse l'ombre de la scène. Pour ce faire on place une surface éclairée homogène entre la bouteille et la caméra, l'image ainsi obtenue permet une analyse simple de la hauteur du liquide. Ces systèmes sont adaptées à des cadences industrielles de production industrielle.

Contrôle des bouchons

La qualité des bouchons de liège a, toujours, été un souci pour les caves. L'inspection visuelle est de plus en plus remplacée par de l'inspection automatique

en raison des volumes croissant de production et du manque de régularité du tri visuel. Ces systèmes analyse toute la surface du bouchon et cherche à identifier la présence de défaut qui pourraient altérer le vin. Le bouchon est généralement analyser lors de sa rotation devant une caméra couleur, la classification s'opérant ensuite en suivant un grille de qualité pérablement apprise par le système (Figure 15).

Suivi des marquages sur les bouteilles

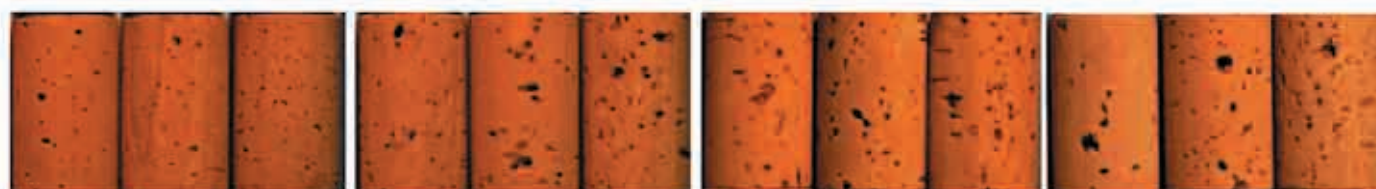


Figure 15 : exemple de gradation de qualité (source Entre de Visio per Computador - Barcelone - Petia Radeva)

Le marquage des bouteilles est une obligation réglementaire, il est donc judicieux de bien vérifier que le n° du lot est bien porté sur la bouteille. Des systèmes existent pour réaliser cette lecture dans le flux de production, couplés à un système de reconnaissance de caractères ils sont capables d'assurer une traçabilité totale lors du marquage.

Dans le même genre on peut aussi équiper les lignes d'embouteillage de système permettant de vérifier que l'étiquette est bien positionnée sur la bouteille. Ces systèmes réalisent une analyse complète de la position de l'étiquette et des traces de colle qui pourrait rester sur la bouteille. Ces systèmes sont souvent utilisés dans les

stations de conditionnement travaillant pour l'export où les contraintes commerciales peuvent être extrêmement sévères.

*** A la coopérative ou dans l'usine**

Tri fruits et légumes

Le tri des fruits et légumes est souvent complété par un système de caméra qui permet de classer les produits en fonctions de critères qualitatifs. Le secteur de la pomme est depuis longtemps utilisateur de ce type de système, combinant dimension et couleur des produits. Les pommes sont analysées au cours de leur déplacement sur des convoyeurs disposant de rouleaux coniques imprimant un mouvement de rotation à

la pomme au cours de son déplacement. Ce type de système est aussi utilisé pour les Kiwi et les pêches. Le tri automatique des raisins est beaucoup plus rare, on peut toutefois citer la machine « UVASCAN » de la société MAF (Montauban). Ce système analyse les grappes, préalablement suspendues par des opératrices, à l'aide d'un dispositif combinant une caméra travaillant dans le visible et une caméra travaillant dans le proche-infrarouge (Figure 16). Ce système permet, d'après la documentation commerciale de trier les grappes en fonction de leur poids, de leur couleur et du diamètre moyen des grains prédominants.

Le tri des petits produits

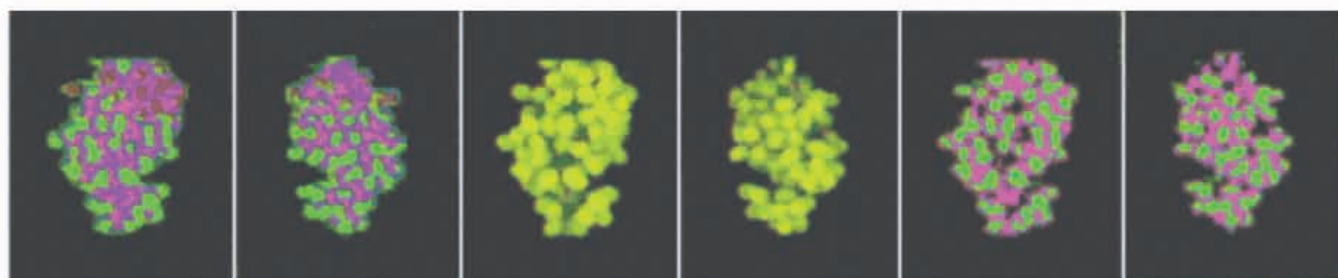


Figure 16 : Images en fausses couleurs (source Documentation commerciale MAF)

Les petits produits, disons de dimension inférieure à 2 à 3 cm de côté et de faible masse, ont fait l'objet d'attention toute particulière dans le milieu des années 1980 car les opérateurs attachés aux opérations de contrôle visuel ne pouvaient plus suivre les volumes de production. Cette nécessité a conduit les fabricants à développer des concepts de machines qui permettent de trier (ou de contrôler) des produits sur l'intégralité de leur surface lors de leur chute. Le principe est assez

simple, il s'agit d'analyser les produits en vol par des caméras situées de part et d'autre de la trajectoire des produits. Le produit non conforme est ensuite dévié de sa trajectoire par un moyen mécanique ou plus généralement par un jet d'air. Ces systèmes sont très bien adaptés aux produits comme les grains de café, les grains de riz, les chips, les frites, les petits pois, que l'on a du mal à trier à la main.

Il existe deux familles de systèmes, ceux qui fonctionnent

par simple gravité (Figure 17 – à gauche) et qui sont de fait dédiés à des productions ne dépassant pas la centaine de kilogrammes de produits à l'heure et des systèmes de plus grand débit fonctionnant par convoyage rapide sur tapis pouvant ainsi trier des produits à plusieurs tonnes à l'heure (Figure 17 – à droite).

Autre fois limités à de simple tri colorimétrique ces systèmes

- * Cave des Vignerons de Chusclan 30200 Chusclan
- * CEHM de Marsillargues Mas de Carrière - 34590 MARSILLARGUES
- * Domaine expérimental «La Tapy» Quartier La Tapy 84200 SERRES-CARPENTRAS
- * FMC FoodTech France, 106 Boulevard Heloise Les Harmoniques, BP 55 95101 Argenteuil Cedex
- * ITV – Station Régionale Midi-Pyrénées V'innopôle – BP 22 – 81310 Peyrole
- * L'Avion Jaune 361 rue JF Breton 34196 Montpellier Cedex 5
- * MAF AGROBOTIC 546 rue Gustave Jay - BP 112 - 82001 Montauban cedex
- * Ondalys (ex Agrométrie) 361 rue JF Breton 34196 Montpellier Cedex 5
- * Sodimel Technoclub BatM av de L'hippodrome 33170 GRADIGNAN
- * SORTEX Sortex Limited Pudding Mill Lane London E15 2PJ United Kingdom

Références

- (1) Ouvrage collectif, La Perception Visuelle, Bibliothèque Pour la Science, ISBN 2-9029 18-32-1, 1984, 160 p
- (2) Marr D. Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information, San Francisco: W.H. Freeman and Company. 1982, 397 p.
- (3) Guizard C., Bellon V., Sévila F., Vision Artificielle dans les Industries Agro-Alimentaires Méthodes/Techniques/Choix, Cemagref, ISBN 2-85362-305, 1992; 280p
- (4) L'enjeu français de l'agriculture de précision : Hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants, conférence-débat organisée par l'INRA, le Cemagref et l'ITCF, mars 1999, 18p
- (5) Petia Radeva, Jordi Vitrià, Final report - CorkInspect, Centre de Visió per Computador Edifici O, Campus Universitat Autònoma de Barcelona 08193 Bellaterra (Barcelona) Spain, 28 p