

Vision industrielle : un capteur pour la qualité

Christophe Guizard, Pascale Marty-Mahé

Les industries agro-alimentaires (IAA) françaises représentaient, en 1994, un véritable secteur industriel composé de 3 038 entreprises privées ou coopératives agricoles de plus de 20 salariés, employant près de 370 000 salariés et réalisant plus de 653 milliards de chiffre d'affaires dont 16 % à l'exportation (tableau 1). Elles ont investi près de 19 milliards de francs en 1993, malgré une forte diminution ces dernières années.

Ce secteur a aujourd'hui sa propre dynamique et sa propre logique ; son évolution est variable en fonction des filières par produit [1].

Il est important de préciser que leur évolution ne s'est pas opérée de la même manière dans tous les pays européens : certains pays dotés d'une économie forte ont une industrie agro-alimentaire puissante alors que d'autres sont encore en pleine évolution. Les besoins agro-industriels sont variables suivant les pays et les IAA doivent pouvoir répondre aux contraintes croissantes des réglementations européennes [2] dans un contexte de compétition internationale et sous la pression des consommateurs. Dans ce contexte, leurs principaux objectifs sont un gain de productivité, ainsi qu'une maîtrise des procédés et des propriétés organoleptiques des produits. Les industries agro-alimentaires

demandent aujourd'hui des produits de haute qualité, uniformes, standards et constants. La variabilité biologique des produits rend complexe la réalisation de ces objectifs. L'utilisation récente de méthodes et techniques modernes permet de répondre à ces attentes. C'est le cas de la vision industrielle qui autorise le contrôle de la qualité des produits, de manière non destructive et objective, en analysant leur aspect physique comme la forme, la taille, la texture, la couleur, les défauts, la détection de corps étrangers...

Si la vision est bien intégrée pour l'inspection et le contrôle des matières non biologiques (emballage conditionne-

ment...), son utilisation pour le contrôle de la qualité des produits alimentaires est moins avancée et nécessite une démarche, des développements et des produits spécifiques à ce secteur industriel.

Le marché agro-alimentaire

On constate, depuis quelques années, une mutation progressive des habitudes des consommateurs. La vie dans des villes sur-urbanisées, le travail des femmes, le

Tableau 1

Le secteur industriel de l'agro-alimentaire en 1994

	Habitants (en millions)	Entreprises (1)	Effectifs	CA en MF (2)	Part du CA total dans l'UE (3)
France	57,50	3 038	367 159	653 743	21,3
Belgique	10,00	713	64 760	117 165	3,8
Allemagne	81,00	3 270	460 348	679 957	22,2
Pays-Bas	15,10	884	120 473	231 875	7,6
Danemark	5,18	277	63 152	103 556	3,4
Grande-Bretagne	58,00	2 325	508 510	484 320	15,8
Irlande	3,54	340	42 052	86 363	2,8
Espagne	38,50	?	343 167	278 113	9,1
Portugal	9,80	946	74 078	48 115	1,6
Italie	57,50	2 215	191 209	343 369	11,2

(1) De plus de 20 salariés.

(2) Converti en milliards de francs.

(3) Union européenne hors Suède, Autriche, Finlande.

Source : RIA n° 541 3/07/95.

C. Guizard : Cemagref, rue J.-F.-Breton, BP 5095, 34033 Montpellier cedex 1, France.

P. Marty-Mahé : Cemagref, 17, avenue de Cucillé, 35044 Rennes cedex, France.

The food industry in 1994

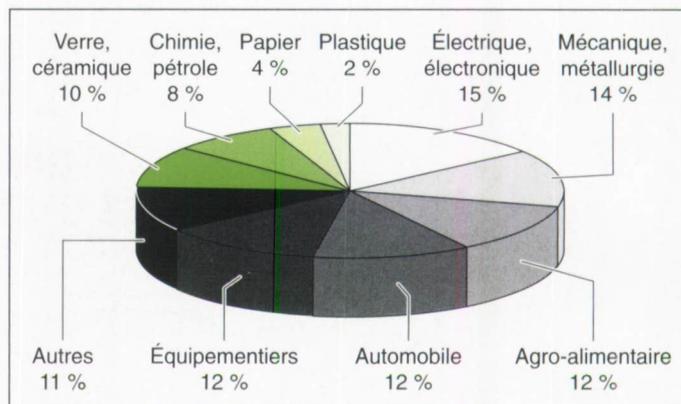
nombre important de personnes seules, le fait que les individus sont de plus en plus pressés ont entraîné une déstructuration des repas et un changement dans les besoins alimentaires. La croissance en volume de la consommation alimentaire en France reste régulière mais assez lente (+ 1,4 % par an). Cette consommation ne représente aujourd'hui que 17 % des dépenses des ménages contre 24,5 % en 1970 [1].

Cette évolution du marché pousse la demande vers des produits à forte valeur ajoutée comme les plats préparés, les surgelés ou les légumes de quatrième gamme. Depuis quelques années, le consommateur est de plus en plus attentif à l'hygiène des produits et sa santé reste un souci majeur. Les nouvelles habitudes de consommation, comme les plats tout prêts ou les produits congelés, influencent de manière profonde le secteur des IAA. On constate aujourd'hui, en Europe, une forte diminution de la consommation des produits de base (farine, pâtes) au profit de produits plus complexes. La demande globale de produits agro-industriels continue de progresser, mais tous les secteurs ne sont pas traités de la même manière. Par exemple, en France, les secteurs comme les surgelés, les glaces, les produits laitiers frais ou les boissons non alcoolisées sont en pleine expansion alors que les secteurs du poisson et de la viande de boucherie stagnent ou diminuent. Cette mutation du comportement des individus est en train de bouleverser le monde agro-alimentaire. Mais ces bouleversements sont d'amplitude variable et sont fortement liés aux habitudes de consommation de chaque pays. Ainsi, les ménages du nord de l'Europe consomment trois à quatre fois plus de chocolat que ceux du sud, alors que les Espagnols consomment beaucoup plus de viande de volaille que les Allemands. L'analyse des tendances est donc à nuancer en fonction du pays concerné.

Accompagnant cette évolution, de nouvelles structures de commercialisation sont apparues, comme les grandes surfaces (particulièrement en France). La force de vente qu'elles représentent a imposé de nouvelles règles du jeu ayant une incidence sur les prix mais, aussi, sur la qualité (ce que l'on ignore généralement). Ces exigences de qualité exprimées par la grande distribution ont un effet sur l'ensemble de la chaîne de production agro-industrielle, jusqu'au pro-

Figure 1. Investissements en vision industrielle par secteur d'activité (d'après Robaut [8]).

Figure 1. Machine vision investment per business sector.



ducteur qui se verra imposer des règles strictes de qualité de production : traitement phytosanitaire contrôlé, conditionnement imposé, etc.

Le secteur des équipementiers*

Les industries agro-alimentaires font généralement appel à des prestataires extérieurs pour concevoir, mettre au point ou, tout simplement, acheter les équipements nécessaires à leur production. Toutefois, certains de ces industriels de l'agro-alimentaire conçoivent et réalisent eux-mêmes leur propre matériel, ce qui complique l'analyse statistique de ce marché, d'autant plus que la classification française (INSEE) manque de précision. On exclut du secteur des équipementiers, par exemple, les fournisseurs de matériel informatique, de matériel de laboratoire et de petit matériel qui représentent près de 3 à 5 % des investissements des IAA françaises.

La France compte aujourd'hui environ 250 entreprises fabriquant des équipements pour l'agro-industrie [3-5]. Elles sont souvent de petite taille et recouvrent de nombreux secteurs dont le plus important est celui du conditionnement. Ces entreprises ont généralement une activité spécialisée : on trouvera ainsi des spécialistes de la cuisson, du convoyage, de l'extrusion, de la séparation, de la surgélation... Leur diversification se fait de

manière horizontale, touchant de la sorte d'autres secteurs comme la chimie ou la pharmacie. Il y a peu d'équipementiers capables de fournir une prestation globale (ligne complète) : ils se contentent d'offrir des modules s'intégrant dans des lignes existantes.

D'après de récentes statistiques [3], les équipementiers français de l'agro-industrie sont, en moyenne, des entreprises de moins de 100 personnes qui réalisent un chiffre d'affaires d'environ 60 milliards de francs. Près de 45 % d'entre elles font partie d'un groupe industriel ou financier souvent étranger au secteur des IAA. La restructuration de ce secteur n'est pas encore achevée, même si elle apparaît comme fortement engagée [6, 7].

Ce secteur est fortement novateur, certaines de ses entreprises ayant même été créées à la suite d'une innovation. On constate, en effet, que près de 20 % des entreprises qui le composent réalisent plus de 50 % de leur chiffre d'affaires sur du matériel novateur. L'innovation se fait souvent par paliers ; elle vise à améliorer un produit ou un procédé existant, les sauts technologiques étant généralement beaucoup plus rares.

Ce souci de l'innovation est à rapprocher de celui des industriels de l'agro-alimentaire qui, dans leur volonté de conquérir de nouveaux marchés, n'ont guère le choix et doivent innover, soit le conditionnement, soit directement les produits. On retrouve ce dynamisme chez tous les équipementiers d'Europe, notamment chez les Allemands, les Italiens et les Hollandais, pour ne citer que les plus importants.

L'innovation est donc un moteur important pour ce secteur, pour lequel la vision industrielle est un moyen d'être plus performant.

* Équipementiers : entreprises fabriquant des équipements.

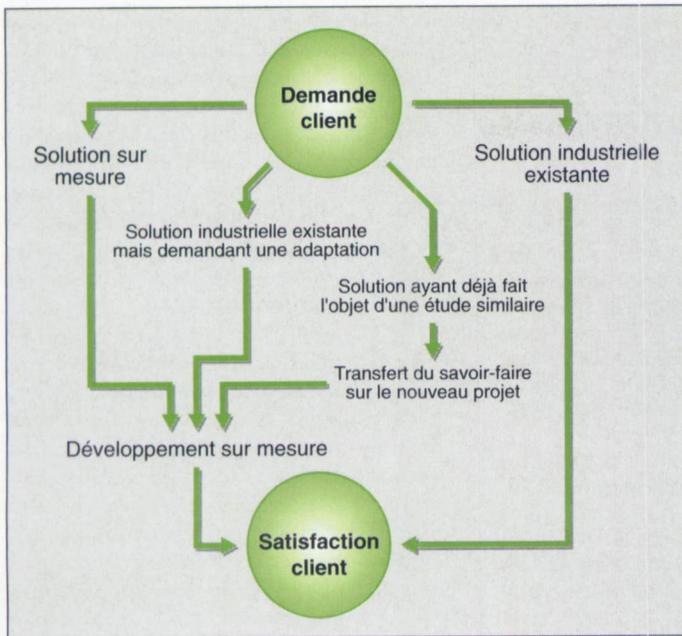


Figure 2. Diagramme de l'offre présente sur le marché.

Figure 2. How the market is supplied.

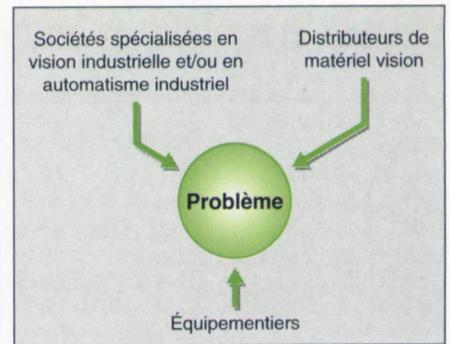


Figure 3. Les fournisseurs.

Figure 3. The suppliers.

La vision industrielle au service des IAA

Aujourd'hui, le secteur des IAA représente, en France, près de 12 % du marché de la vision industrielle (figure 1) : il est le troisième secteur industriel investisseur en vision [8]. Si l'on y inclut une partie des équipementiers et du secteur du verre et de l'emballage, on se trouve face à un secteur particulièrement fort.

Le champ d'application de la vision industrielle est relativement vaste [9], mais il reste conditionné essentiellement par les exigences réglementaires de production (date limite de vente, emballage...) et par le souci de qualité qu'ont, aujourd'hui, les entreprises de ce secteur. Toutefois, la qualité reste un concept très complexe qui ne se limite pas au strict contrôle des produits, ni même à la certification des systèmes d'assurance-qualité. La qualité constitue un véritable outil de direction [10], conçu autour d'une recherche permanente de la satisfaction du client. La qualité d'un produit ou d'un service est son aptitude à satisfaire les besoins des utilisateurs. Le consommateur des années 90 recherche une fiabilité et un bon rapport qualité/prix [11]. La concurrence accrue sur les marchés nationaux et internationaux impose l'amélioration de la qualité et la réduction des coûts. La répartition par

secteur d'activité révèle que l'agro-alimentaire représente 8 % des certificats délivrés par l'AFAQ [12].

La politique de qualité constitue pour les agriculteurs et pour les entreprises agro-alimentaires, en particulier les PME, un instrument de diversification et de valorisation des productions agro-alimentaires. Il est un atout majeur pour le futur [13].

Les produits agro-alimentaires se distinguent des autres produits industriels par des caractéristiques spécifiques :

- leur origine agricole génère une variabilité des spécifications de la matière première, à la fois dans le temps et dans l'espace ;
 - leur altération rapide sous l'action de divers agents en fait des produits à courte durée de vie ;
 - ils peuvent présenter un risque pour la santé du consommateur ;
 - leurs propriétés organoleptiques (couleur, odeur, saveur, texture) sont des critères de choix pour les consommateurs.
- De par ces spécificités, le concept de qualité appliqué aux produits alimentaires va couvrir plusieurs composantes :
- la qualité hygiénique ;
 - la qualité nutritionnelle ;
 - les qualités d'usage ou de service ;
 - les qualités technologiques [14].

Dans ce cadre, les objectifs des IAA sont les suivants :

- amélioration globale de la qualité,

notamment l'homogénéité de production ;

- standardisation des produits ;
- respect des normes de qualité ;
- normalisation de la qualité des produits ;
- réduction des coûts ;
- gain en flexibilité.

La vision industrielle appliquée à l'agro-industrie reste un secteur difficile, compte tenu de la nature des produits à traiter. Il paraît important de séparer les applications touchant les produits frais et les produits transformés. Les centres d'intérêt sont aussi sensiblement différents suivant les pays, car ils dépendent très fortement des productions agricoles majeures de chacun : poissons pour les Scandinaves, fruits et légumes dans les pays du Sud, lait et viande dans les pays du Nord...

Quel que soit le pays, c'est le tri (qualité, calibrage...) qui est encore le plus développé car il représente, pour l'instant, le secteur le moins automatisé. Les tâches de tri ou de manutention utilisant les facultés visuelles de l'individu sont maintenant considérées comme des tâches pénibles nécessitant, en général, une forte main-d'œuvre souvent peu qualifiée ; il existe aujourd'hui des opératrices qui passent près de huit heures devant des tapis chargés de haricots verts. On comprend le gain économique et humain que pourraient tirer les entreprises en automatisant les contrôles visuels...

Vision artificielle ou industrielle

Qu'est-ce que la vision industrielle ?

On peut essayer de définir la vision artificielle comme l'interprétation d'une image issue d'un capteur (caméra vidéo, scanner...) à l'aide d'un outil informatique.

Comment fonctionne-t-elle ?

Le principe de fonctionnement est assez simple. Tout d'abord, il faut disposer d'une caméra. Cette caméra comporte un capteur constitué d'une multitude de petites cellules sensibles à la lumière. Ces cellules sont généralement disposées sur le capteur de manière à constituer une ligne (caméra linéaire) ou un rectangle (caméra matricielle). Chaque cellule convertit l'énergie lumineuse en un potentiel électrique proportionnel à l'énergie lumineuse reçue. Cette série de potentiels électriques constitue le signal vidéo. Il sera codé afin de garantir l'intégrité de l'information entre la caméra (l'émetteur) et l'ordinateur (le récepteur).

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. Elle échantillonne le signal vidéo et quantifie numériquement chacun des échantillons qui sont ensuite mémorisés dans l'ordinateur.

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

Une fois archivée sous forme de chiffres dans l'ordinateur, l'image va être analysée. C'est-à-dire que chacune des cases mémoire représentant un point de l'image va être lue et analysée dans l'objectif de comprendre les constituants de la scène : c'est le traitement de l'image.

Machine or computer vision

L'offre

Il existe, en France et en Europe, plusieurs types d'offres (figure 2), suivant que l'application a fait ou non l'objet d'une étude préalable ou que le marché potentiel a été suffisamment important pour qu'un industriel se penche sur le problème. Parmi les offres les plus courantes, on peut citer le contrôle dimensionnel, le contrôle de caractères et la gestion de l'absence/présence.

Dans toutes les applications, le contrôle de qualité par vision artificielle présente des atouts certains :

- capteur sans contact, non destructif, non contaminant ;
- adaptation aux hautes cadences ;
- répétitivité du système ;
- sensibilité spectrale du capteur ;
- prise en compte d'opérations de plus en plus complexes ;
- mémorisation des images rendant possible le traitement ultérieur des images (traçabilité).

Le marché étant neuf, il attire diverses catégories de fournisseurs (figure 3). Ces prestataires peuvent intervenir à tous les stades du projet.

• Le spécialiste en vision industrielle

Il s'agit d'une prestation horizontale et d'une spécialisation en fonction des occasions qui se présentent. Les applications sont généralement réalisées sur mesure. Les prestataires opèrent rarement seuls, ils s'associent à un équipementier qui connaît mieux le secteur d'applications. Les entreprises sont de tailles très variables, beaucoup sont de petites PME, mais il existe souvent des sociétés rattachées à de gros groupes industriels en automatisme, des sociétés services ou des groupes financiers.

• L'équipementier

Il travaille généralement dans un secteur donné, comme le conditionnement ou le tri dimensionnel. Peu d'équipementiers sont de vrais ensembliers capables de fournir une ligne complète. Les deux tiers des entreprises sont spécialisés dans un type d'opération de transformation (conditionnement, traitement par le froid...). Les systèmes de vision sont ici perçus comme un « plus » à l'outil existant. Ils intégreront donc la vision comme un capteur au sens strict du terme. Dans la majorité des cas, l'équipementier

intègre une solution proposée par une société spécialisée en vision industrielle. On se retrouve ainsi dans le cas de figure précédent. Les sociétés développant leurs propres solutions de vision sont rares, mais elles maîtrisent souvent mieux l'intégration de ce nouvel outil. On peut toutefois constater que la taille critique de leurs équipes de recherche et développement en vision est trop souvent insuffisante.

• Le distributeur de matériel de vision

À la demande de sa clientèle, il intègre tout ou partie de la solution. Ce dernier type de fournisseur ne présente un intérêt que lorsque les applications sont simples et ne nécessitent qu'une faible part d'ingénierie, car le distributeur n'a généralement pas l'équipe nécessaire pour développer de lourdes applications.

Les applications industrielles

Il est difficile de faire un point exhaustif sur les applications de vision industrielle dans le secteur de l'agro-alimentaire. Elles ont souvent un caractère confidentiel et les entreprises du secteur de la transformation gardent les informations sur leur outil de production.

On trouve à peu près le même type d'application partout. Des différences peuvent être notées lorsqu'un secteur de production ou de transformation est prépondérant dans un pays. Par exemple, au Portugal, on trouvera des applications concernant les bouchons en liège, en Angleterre des applications de tri sur les fèves de cacao ou sur le café.

Les applications sont, encore aujourd'hui, très variables en complexité ; la majorité d'entre elles ont été développées pour remplacer les systèmes permettant d'opérer un rejet de production. On les retrouve donc en fin de ligne ou à un stade particulier de la transformation. Le marché le plus important reste le contrôle du conditionnement, car le produit est manufacturé, donc plus simple à analyser qu'un produit agricole qui est, par sa nature, unique dans sa forme, sa couleur et son aspect. Par ailleurs, la réglementation étant assez sévère sur l'information donnée au consommateur, les industriels ont fait porter leurs efforts en priorité sur le contrôle des dates, des marquages et des étiquettes... Aujourd'hui, il existe

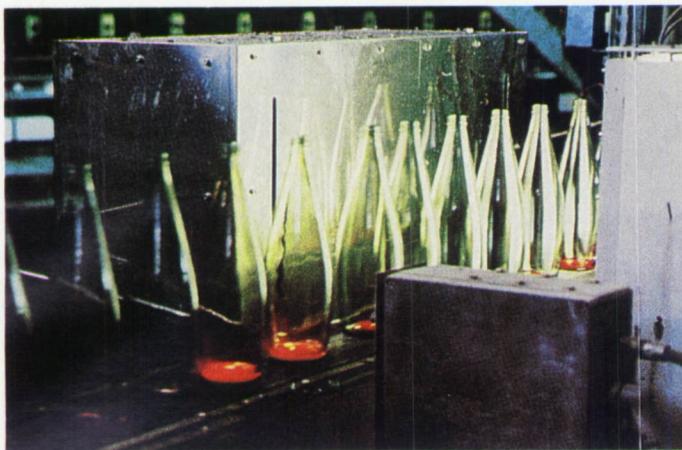


Photo 1. Contrôle des bouteilles au bout chaud (autorisation source Perrier).

Photo 1. Bottle inspection.

pratiquement toujours une solution à ces problèmes. En revanche, le contrôle du produit en cours de fabrication reste un secteur prometteur mais, malheureusement, encore complexe. On ne trouve que très rarement des outils de vision ayant une interaction sur le processus de fabrication.

Il faut distinguer deux familles d'applications complètement différentes : la vision en ligne et la vision hors ligne. Elles exigent d'ailleurs des compétences particulières et des savoir-faire différents.

Les opérations en ligne sont caractérisées par une grande vitesse de traitement et demandent un soin particulier dans l'éclairage afin de faciliter ces traitements. Avec de tels systèmes, on ne parvient généralement pas à un très grand degré de précision. Les applications hors ligne sont conçues de manière à obtenir des informations précises sur le produit analysé (par exemple, caractérisation de coupes histologiques) mais, ici, la vitesse de traitement est secondaire.

Le secteur particulier de l'agro-alimentaire peut être analysé sous deux aspects : celui des produits non biologiques et celui des produits biologiques.

Cas des produits non biologiques

Les produits non biologiques sont caractérisés par leur faible variabilité et des caractéristiques bien précises, ce qui rend plus facile une intégration sur ligne.

Le secteur le plus important reste sans nul doute celui de l'emballage, avec tous les contrôles de conformité qui s'y ratta-

chent. On touche à la fois aux contenants qui sont fabriqués dans l'usine agro-alimentaire, aux contenants recyclés (bouteilles consignées) et aux intrants de la production.

Le secteur des boissons représente une industrie à très forte valeur ajoutée qui a, très tôt, utilisé l'analyse d'image pour garantir la qualité de production de ses produits. Les débits sont extrêmement importants, ce qui justifie pleinement l'utilisation d'automatismes de contrôle. On retrouve l'analyse d'image à tous les stades de la production, depuis la fabrication de la bouteille jusqu'à son expédition chez le client. On contrôle, par exemple, la fabrication des récipients en verre depuis la chute de la pâte de verre dans le moule jusqu'à la sortie de la bouteille. On vérifie l'absence de bulles d'air, de dissymétries, de rayures ou autres défauts qui risqueraient de fragiliser la bouteille ou dont les tolérances de taille et de forme sont incompatibles avec les chaînes d'embouteillage (photo 1).

On retrouve les systèmes de vision sur la ligne d'embouteillage, tout d'abord pour vérifier si la bouteille ou le récipient est conforme à ce qui est prévu. On vérifie, par exemple, que le verre reconditionné appartient bien à la marque parce que la bouteille pourrait ne pas être acceptée par la laveuse automatique. On vérifie également que l'on a bien lavé cette bouteille, qu'elle n'est pas ébréchée ou qu'il ne reste rien à l'intérieur. Plus loin sur la ligne, on trouvera des systèmes permettant de contrôler le remplissage et la bonne pose des divers attributs (étiquettes, contre-marque, DLV, numéro de lot...) (photo 2). Ce souci de la qualité

parfaite est d'autant plus marqué que le produit est issu d'une grande marque. On trouvera plus facilement de tels systèmes chez les fabricants de champagne que chez les fabricants de boissons aromatisées, encore que, dans ce dernier cas, l'essentiel sera de garantir une qualité minimale afin d'éviter les retours de clientèle.

Tous ces tris sont opérés à des cadences compatibles avec les chaînes industrielles : 15 000 à 25 000 bouteilles par heure, voire plus (70 000 bouteilles par heure chez un fabricant d'eau minérale). On retrouve des applications similaires dans le secteur du lait lors de la fabrication et du conditionnement des produits lactés dans des récipients en verre. Les cadences y sont parfois supérieures à 36 000 pots à l'heure.

Dans le cas des emballages en plastique, la vérification n'est pas aussi cruciale que pour le verre car la notion de danger associée à du verre ébréché n'existe pas. Cependant, s'il est notamment constitué de pièces assemblées, il convient de contrôler la conformité de l'emballage :

- la conformité des pièces moulées ou injectées ;
- le positionnement de pièces assemblées ;
- les soudures ;
- l'aspect de surface.

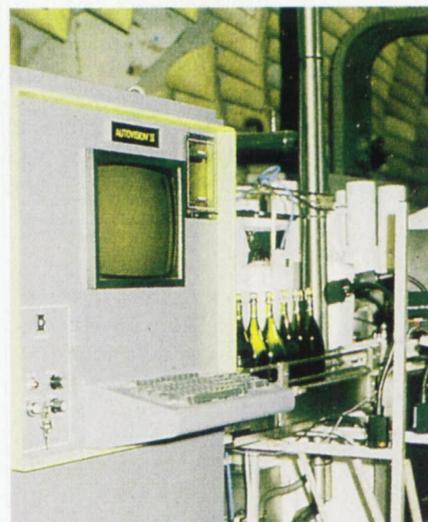


Photo 2. Tri des bouteilles de champagne (document ITMI).

Photo 2. Champagne bottle sorting.

Les emballages métalliques (boîtes de conserves) destinés à la conservation des denrées alimentaires doivent être soumis à de sévères tests de qualité. Le manque de vernis, la présence d'une rayure, un sertissage défectueux dû à un manque de joint ou un défaut de circularité sont autant de facteurs d'oxydation qui rendent les aliments impropres à la consommation. Les pièces sont, généralement, de forme complexe et formées de composants divers (métal, joint, vernis). Elles doivent être analysées en sortie de presse, à une vitesse de 1,5 m/s.

Dans ce secteur particulier, on recherchera à :

- mesurer le diamètre, rechercher les traces de choc et le manque de métal ;
- contrôler le joint déposé dans la cuvette (absence, rupture, manque de matière) ;
- contrôler l'état de surface de la zone centrale (défauts du vernis, rayures, salissures, renflements).

Enfin, on trouve aussi des applications dans le secteur du conditionnement des aliments solides, notamment pour le contrôle du scellement des paquets, de la présence des sachets de condiments ou, plus classiquement, de la position des étiquettes ou de la date limite de vente et de toutes les inscriptions rendues obligatoires par la réglementation.

Cas des produits biologiques

Les produits biologiques sont caractérisés par leur grande variabilité, le fait qu'ils sont altérables, complexes et, parfois, de morphologie et de structure variables.

Les objectifs du système d'analyse d'images ainsi que les moyens d'enregistrer et de traiter l'image seront différents selon que l'on se place dans une optique « en ligne » ou dans une optique « hors ligne ».

• Analyse hors ligne

Les applications hors ligne sont souvent associées à des opérations d'assurance-qualité s'effectuant, généralement, en laboratoire. Elles portent sur des échelles microscopiques car le mode de prise d'images n'est pas une contrainte. Une grande partie des applications concerne le comptage. Parmi celles-ci, on citera la granulométrie, c'est-à-dire le comptage, l'évaluation des surfaces, diamètres et autres paramètres de forme qui étaient très difficiles à quantifier dans le passé. Dans ce domaine, l'histologie, grâce à

ces nouveaux outils, trouve un moyen d'aller plus loin dans les analyses. On retrouvera, dans ce secteur, les analyses de cellules végétales ou animales, de graines ou de produits granulaires hétérogènes divers, comme les « poudres ».

Des systèmes originaux existent, par exemple pour caractériser la texture des mousses et des produits extrudés, l'objectif étant de mieux analyser le processus de transformation afin de régler de manière optimale les divers appareils. On trouve, par exemple, un système capable d'apprécier la qualité des bulles de gaz présentes dans le champagne.

L'outil vision se retrouve de plus en plus au niveau de l'agrégage* des produits, avant ou après transformation, comme le dénombrement de téguments dans les échantillons de moutarde, le contrôle dimensionnel de barquettes pour produits surgelés.

Ces systèmes sont, encore aujourd'hui, incomplets et rarement totalement automatisés. Ils agissent comme des assistants en dégrossissant une partie du problème, laissant au spécialiste le soin de s'attaquer aux détails les plus complexes.

• Analyse en ligne

On prendra, comme exemple, trois secteurs :

- le secteur des fruits et légumes, qui est un secteur difficile ;
- le secteur de la transformation des céréales et de la confiserie, qui traite des produits complexes à forte marge ;
- le secteur de la viande et du poisson, en pleine croissance.

Les fruits et légumes

Les problèmes posés par les fruits et légumes portent sur :

- le dimensionnement ;
- le contrôle de la couleur ;
- la détection des défauts d'aspect ;
- la détection des corps étrangers.

Les priorités données à ces analyses dépendent grandement de la nature du produit, mais on peut les classer en deux catégories.

Le marché du frais (fruits et légumes) concerne généralement des produits entiers et de taille importante (supérieure à quelques centimètres de diamètre) : ce sont les dimensions, la couleur (indice de

maturité) et les défauts d'aspect qui sont les critères les plus importants. Cependant, si la dimension est bien maîtrisée, la couleur et la détection des défauts d'aspect peuvent présenter quelques problèmes. On trouve, dans ce secteur, des applications remarquables. Par exemple, on sait aujourd'hui trier les pommes, les oranges [15] et les pommes de terre [16] en fonction de leur couleur, même si elle n'est pas uniforme, et suivant certains de leurs défauts d'aspect. Mais ce type d'appareil, n'étant relié à aucune norme officielle de qualité, peut éprouver certaines difficultés sur le marché. Certains fabricants utilisent aussi des techniques complexes pour résoudre les problèmes, comme le laser multispectral ou le traitement parallèle de l'information qui permet d'obtenir des cadences industrielles intéressantes (80 pommes de terre par seconde [16]). D'autres [15] utilisent l'intelligence artificielle pour affiner les traitements, allant même jusqu'à faire développer des composants spécifiques avec une architecture de type neuronal.

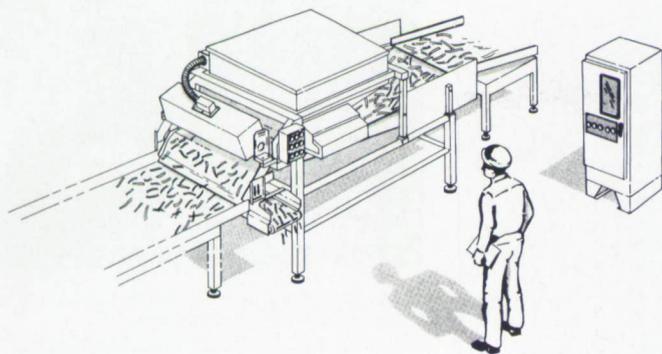
Pour le marché des fruits et légumes transformés (coupés ou pelés) ou de petite taille (figure 4), la priorité est donnée au tri de corps étrangers et aux défauts d'aspect. Aujourd'hui, les fruits de petite taille sont généralement récoltés mécaniquement, ce qui apporte de grandes quantités de produits indésirables, tels que rongeurs, cailloux, produits végétaux divers. Quant aux fruits présentant des défauts d'aspect, ils doivent impérativement être retirés car l'état sanitaire du lot peut être mis en cause.

La manière de traiter les problèmes n'est pas du tout la même pour les deux catégories : les « petits fruits » sont traités en vrac alors que les « gros fruits » sont individualisés. La plupart des applications de tri des petits fruits frais ou surgelés concernent le calibrage dimensionnel. Bien que ces opérations soient souvent faites préalablement par des moyens mécaniques classiques, on dispose aujourd'hui de systèmes permettant la détection des corps étrangers comme les graines parasites, les insectes, les rongeurs, les cailloux, etc. Certains systèmes sont capables d'apprécier les défauts d'aspect comme les taches sur des produits frais, fraises, petits fruits divers, des restes de peau sur des pommes de terre pelées, chips, frites. Récemment est apparu un système permettant le tri des cerises confites garantissant l'absence de noyaux à la vitesse de 80 cerises par seconde (société APPI).

* Agrégage : opération qui consiste à donner un agrément. Il s'agit, généralement, de définir une classe de qualité. Cette opération sert aux transactions commerciales.

Figure 4. Tri des frites (document SRC VISION).

Figure 4. Sorting french fries.



Diverses techniques sont utilisées pour mener à bien l'analyse : il s'agit, avant tout, de présenter le produit de manière optimale devant la caméra. Pour ce faire, les industriels mettent souvent le produit en rotation ou l'analyse « en vol » lorsque cela s'avère possible. Certains industriels utilisent des jeux de miroirs pour voir plusieurs faces d'un même objet avec une seule caméra. Pour certains produits, on se contente d'analyser une seule face en jouant sur l'aspect statistique de la mesure (tri des asperges). Ces systèmes sont capables de trier 4 à 10 produits par seconde, voire plusieurs centaines dans certaines applications, notamment sur de petits produits comme les grains de café, de riz, etc. Ces derniers font d'ailleurs l'objet de machines spécialisées (SORTEX, ELBICON...).

La transformation des céréales et la confiserie

Dans le cas des produits transformés comme les biscuits ou le chocolat [16, 17], on retrouve les applications concernant l'emballage, mais il existe aussi des applications portant sur le produit lui-même, notamment pour l'appréciation de la qualité de cuisson des biscuits. Dans ces applications, l'analyse s'effectue sur l'ensemble du convoyeur à la sortie du four et permet de détecter, outre les manquements, les divers défauts d'aspect induits par la cuisson. Quelques appareils sont installés en ligne et contrôlent les gaufrettes et les biscuits secs. Certains d'entre eux utilisent l'analyse colorimétrique. Bien qu'une analyse en noir et blanc donne d'excellents résultats, l'approche colorimétrique permet de les améliorer sensiblement. On trouve aussi

des applications capables d'apprécier, en ligne ou hors ligne, la dimension d'un biscuit et son aspect de surface (couleur, fissures et texture). Ainsi, on contrôle les motifs des décorations, la présence de trous, etc. Le contrôle du décor permet, en outre, d'acquérir des informations sur l'état du four et celui de la composition de la pâte même si, actuellement, ce diagnostic semble encore du domaine de la recherche. Parmi les applications industrielles, on peut citer le contrôle des biscuits (50 par seconde) en Italie, des gaufrettes et des *cookies* (100 par seconde) en France. Ces contrôles s'effectuent avant l'emballage des biscuits ou avant leur assemblage. Certains fabricants offrent des biscuits composés, généralement un sandwich de deux biscuits avec du chocolat. Lors de la fabrication, il peut se produire des débordements du fourrage lorsque certaines de ces compositions sont constituées de biscuits troués (visage, forme de cœur). Comme dans le secteur des céréales, le secteur chocolatier a une forte valeur ajoutée et les volumes de production sont suffisants pour justifier des équipements de haute technologie. On y trouve de multiples applications qui vont de la dépose des chocolats dans des boîtes d'assortiment à l'analyse des fourrages liquoreux afin d'éviter les coulures intempestives dans l'emballage. On trouve ainsi des systèmes robotisés, permettant la dépose des chocolats, dont les caractéristiques sont compatibles avec les besoins industriels :

- la prise à la volée 1 pièce par seconde (en mouvement et en vrac) ;
- l'orientation de chaque produit ;
- la dépose des produits selon une disposition donnée.

Le secteur de la viande et du poisson

Dans le secteur de la viande et autres produits animaux, on trouve trois domaines d'application :

- la traçabilité ;
- la classification ;
- la découpe.

Le premier n'est pas propre au secteur de la viande et est généralement bien maîtrisé par des systèmes d'identification (codes à barres ou traceurs électromagnétiques) mais, dans certains cas, comme pour le suivi des peaux lors de leur tannage (Cemagref de Clermont-Ferrand et société Landata), la traçabilité ne peut s'opérer par ces moyens traditionnels, d'où l'idée d'utiliser la vision artificielle pour suivre les marquages sur les peaux en utilisant un code à trous [18].

Le deuxième domaine d'application est un stade très important de la chaîne d'abattage. De nombreux industriels et laboratoires ont investi ce secteur. Du côté industriel, on trouve une machine réalisée par la société NORMACLASS qui inspecte 30 à 50 carcasses à l'heure. Ce système est fonctionnel à Rennes et à Metz. Dans le même secteur, les Danois proposent un système analogue incorporant, en plus, une mesure de gras. Du côté recherche, on a surtout travaillé sur la caractéristique des défauts, notamment pour les dindes [19].

En ce qui concerne le dernier secteur, celui de la découpe, les machines sont peu nombreuses ; le problème est ici complexe, vu l'aspect tridimensionnel des carcasses et la présence des os. Les systèmes en sont généralement encore au stade expérimental (projets UE) pour la découpe ou le désossage des carcasses bovines [20] et des jambons. Il semble toutefois qu'il existe actuellement un système de découpe pour les poulets. En revanche, on trouve sur le marché des systèmes de découpe des pièces de viande destinées à la vente au détail. On trouve, dans ce secteur, des systèmes de découpe au jet d'eau permettant toute une gamme d'utilisations, de la découpe à poids constant en passant par l'élimination du gras dans les steaks jusqu'aux coupes « sur mesure » optimisées pour l'utilisateur.

Il existe également des systèmes vérifiant l'intégrité des produits reconstitués. On trouve ainsi des applications sur les saucisses, avec des systèmes permettant l'inspection, à 600 objets par minute, des dimensions (longueur et largeur) et des défauts de surface (abrasions, coupures). Il existe aussi des applications sur les cro-

Summary

Machine vision: a quality sensor

C. Guizard, P. Marthy-Mahé

With fast-changing eating-habits, international competition and increasingly stringent standards, improving production quality is a constant concern for the food industry. Machine vision – the computerised analysis of video images – can help solve some of the problems. The industry itself, its equipment manufacturers and researchers are working to ensure the technique is successfully integrated. Since the sensor does not touch the foodstuff, it does not contaminate, and it can be used for a wide range of visual inspections: packaging, where it is almost a run-of-the-mill process already, high-speed small-vegetable sorting, and in sectors as varied as biscuits, TV dinners or fish portioning. Among the questions addressed in the present paper are the context, the feasibility, the main users and certain sectorial applications.

Cahiers Agricultures 1996 ; 5 : 43-51.

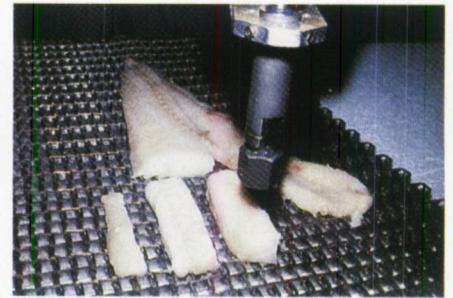


Photo 3. Découpe de poisson assistée par vision (document Lumetech).

Photo 3. Fish portioning assisted by computer vision.

quettes de poulet auxquelles on fait subir une analyse par rayons X pour vérifier que l'on n'a pas oublié un morceau d'os. Dans le secteur « poissons », on trouve d'intéressantes applications en découpe. Le poisson est plus facile à travailler que les différentes catégories de viandes, son épaisseur est réduite, il contient des arêtes que l'on arrive à localiser en utilisant un éclairage dans l'ultra-violet (société Lumetech). Les robots sont destinés ici à éliminer les arêtes et à assister le tranchage. Ces systèmes font appel à la reconnaissance des formes ainsi qu'à la détection des corps étrangers par niveaux de gris. On sait aujourd'hui découper les filets de poisson et retirer les arêtes (photo 3) dix fois plus rapidement que le personnel entraîné. Ces systèmes peuvent traiter jusqu'à 30 à 45 filets à la minute suivant la complexité de la découpe. D'autres systèmes permettent de contrôler le volume et l'aspect du poisson. Toutes ces machines trouvent leur justification par leur rapidité, leur homogénéité de coupe et leur grande sécurité d'emploi.

La recherche

Les travaux de recherche [6] dans le domaine de la vision appliquée à l'industrie agro-alimentaire sont très nombreux

et bénéficient de divers programmes de soutien européens et nationaux. Ils touchent à la fois la méthodologie de l'analyse d'image et son application.

On trouve, parmi les thèmes de recherche :
– le développement d'algorithmes spécifiques au traitement de l'image ;
– le développement de systèmes d'analyse d'image en temps réel utilisant les techniques les plus modernes comme le traitement parallèle ou l'utilisation de processeurs spécifiques.

Au niveau européen, il s'agit essentiellement du programme européen RACE où l'on trouve 116 projets, qui ne sont pas spécifiques au domaine agricole mais plutôt au domaine des télécommunications.

Si l'on s'intéresse uniquement au domaine de l'agriculture, on trouve aussi de nombreux projets UE. La vision apparaît ici comme un nouvel outil de perception et d'analyse. Ces projets conduisent au développement d'outils permettant la compréhension des processus de transformation ou de production dans les domaines de l'aquaculture, de la récolte mécanisée des fruits (CITRUS), du greffage des végétaux (ROSAL), de la « qualité » des plantes en pots, de la qualité de la viande de porc ou de poulet...

Pour ce dernier domaine, on peut citer, par exemple, ALINSPEC (*An Intelligent System for Automatic Inspection of Alimentary Products*). Ce projet est essentiellement destiné à l'inspection en ligne de

la qualité de la viande de poulet et de porc (I, UK, S, F)*. L'objectif est, ici, de piloter la production de manière flexible à l'aide de divers capteurs, dont la vision. La fusion des informations est traitée par intelligence artificielle. Toujours dans le domaine de la viande, on trouve deux autres projets concernant les carcasses de porc, un sur la découpe automatique (GR, UK, S) et l'autre sur l'éviscération (UK).

Dans le secteur du poisson, deux projets sont en cours : l'inspection en ligne des filets de poisson (NL) permettant d'apprécier la présence d'arêtes, de sang ou de maladies, d'identifier et de quantifier les espèces de poissons, afin de, pour l'instant, harmoniser les techniques de mesures utilisées par les différents laboratoires (F, GR, S, P).

On trouve aussi d'autres projets comme SHIVA** (*Integrated system for handling, inspecting and packing fruit and vegetables*), qui s'intéresse à la mise au point d'une nouvelle ligne de conditionnement intelligente pour fruits et légumes (F, S, UK, I), ou ROSAL** (F, E) qui s'intéresse au greffage automatique des rosiers en plein champ. Les projets financés par le gouvernement français sont tout aussi nombreux et, notamment, ceux lancés lors des appels d'offre Aliment 2002 et Agriculture Demain du ministère de l'Agriculture. On y trouve de nombreuses applications utilisant la vision comme capteur, par exemple le projet

* Implication nationale de : I : Italie, UK : Royaume-Uni, S : Suède, F : France, GR : Grèce, NL : Pays-Bas, P : Portugal, E : Espagne.

** Projets auxquels participe le Cemagref.

Cemagref destiné au diagnostic de cuisson des biscuits secs à la sortie d'un four ou la conception d'un capteur de morphologie microbienne pour procédés de fermentation (Inra)... La recherche au niveau mondial est impossible à décrire de manière exhaustive, mais les soucis des chercheurs restent les mêmes et sont fortement orientés vers les problèmes de qualité, même si la notion de « qualité » n'est pas perçue de la même manière dans le monde...

Conclusion

La vision industrielle peut être une réponse aux contraintes que subissent les industriels de l'agro-alimentaire, mais elle ne peut, aujourd'hui résoudre que certains problèmes.

Le capteur de vision collecte des informations qui sont utilisées pour le contrôle des produits, le suivi des procédés ou des entrées de modèles.

Cet outil permet d'améliorer la qualité de la production. Il a les faveurs des industriels de la transformation et des équipementiers toujours à la recherche de matériels innovants, efficaces, fiables et performants. La communauté scientifique trouve, dans ce secteur d'application difficile, un domaine de recherche appréciable.

Mais tous les problèmes ne sont pas résolus, la nature des produits à analyser, l'environnement particulier de l'industrie agro-alimentaire, la structure du marché sont encore un frein à l'implantation des machines de vision. Demain, nous devrions voir apparaître un « capteur » qui sera intégré dans la chaîne de contrôle, prenant part ainsi à la conduite même du processus, et cela à un coût abordable ■

Références

1. *La statistique agricole*. Paris : ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Graph AGRI France, 1995 ; 143 p.
2. Adam M. L'agro-alimentaire en France, normalisation et certification. *Bul GREF* 1990 ; 26 : 77-82.
3. Marchandier P. *Industries agro-alimentaires : les équipements et l'environnement du secteur*.

Paris : Édition CFCE, collection Savoir-faire français, 1994 ; 403 p.

4. Ministère de l'Agriculture et du Développement rural. *Le secteur des équipementiers français pour l'agro-alimentaire : diagnostic et propositions*. Rapport de synthèse. Paris : GEM Études et stratégies pour l'agro-alimentaire, 1993 ; 51 p.

5. DGAL. *Quels atouts pour le développement des équipementiers agro-alimentaires Français ?*, GIA, Dossier de presse 1992 ; 6 p.

6. Plagnol H. L'agro-alimentaire en manque d'équipements puissants. *Usine Nouvelle*, 22 octobre 1992.

7. Feillet P. *Développer les industries alimentaires par la recherche technologique*. Rapport à M. le ministre de l'Agriculture. Commission spécialisée équipement des IAA. Antony : Cemagref-Dicova 1992 ; 36 p.

8. Fages G. Progression des ventes directes. *Rohaut* 1995 ; 9 : 19-21.

9. Guizard C, Bellon V, Sévila F. *Vision artificielle dans les industries agro-alimentaires, méthodes/techniques/choix*. Antony : Cemagref-Dicova, 1992 ; 280 p.

10. Soroste A. *Agroalimentaire : comment garantir la qualité*. Paris : La Défense AFNOR-CETIM : 8-12.

11. Gattegno I. L'usine du futur sera à l'échelle humaine. *RIA* 1994 ; 530 : 44-6.

12. Peyrat O. Achats et qualité. *Qualitique* 1995 ; 69 : 20-9.

13. Focqué F. La qualité alimentaire. *Chambres d'agricultures* 1994 ; 821 : 1-4.

14. Allache M, Trystram G, Duquenoy A. Instrumentation des fours de cuisson. *Bulletin de liaison CTUC* 1993 juin : 20-33.

15. Bernard F, Martin G-M, Plebe A. *Système temps réel de tri d'oranges*. Colloque L'application de l'analyse d'images dans l'agro-industrie, Montpellier 28/09/94. Antony : Cemagref-Dicova, 1994 : 137-41.

16. Marchant JA, Tillett RD. Software and transporter system design for high speed grading of agricultural produce, *Mechatronics* 1994 ; 3 : 281-93.

17. Danzart M, Trystram G. *Application de l'analyse quantitative d'images à la cuisson de biscuits*. Analyse d'images dans les procédés biotechnologiques et agro-alimentaires. Journée d'étude GFGP du 4 décembre 1992.

18. Le Cemagref développe un système d'identification pour améliorer la qualité du cuir. *Cemagref SPOT* 1995 ; 53 : 9.

19. Marty-Mahé P, Raffy G, Marchal P, Louveau V. *Mise au point d'un système d'évaluation de la qualité des lots de carcasses de dinde sur chaîne d'abattage par vision numérique*. Colloque L'application de l'analyse d'images dans l'agro-industrie, Montpellier 28/09/94. Antony : Cemagref-Dicova, 1994 : 75-82.

20. Tournayre P. *Exemple d'application de l'analyse d'images à la robotisation de la grosse coupe des bovins*. Colloque L'application de l'analyse d'images dans l'agro-industrie, Montpellier 28/09/94. Antony : Cemagref-Dicova, 1994 : 99-105.

Résumé

Face au bouleversement des habitudes alimentaires, aux menaces de la concurrence internationale et sous la pression des nouvelles normes, les industriels de l'agro-alimentaire doivent sans cesse améliorer la qualité de leur production. La vision industrielle, qui consiste à exploiter par ordinateur des images vidéo, peut apporter aujourd'hui une solution efficace à ces contraintes. Les industriels de la transformation, les équipementiers et les chercheurs travaillent actuellement à la réussite de l'intégration de cette technique. Ce capteur sans contact, donc non contaminant, est présent dans les opérations de contrôle visuel les plus diverses : sur les emballages où il est presque banalisé, dans le tri haute vitesse des petits légumes et dans des secteurs aussi divers que la biscuiterie, la fabrication des plats cuisinés ou la découpe des filets de poisson. Dans quel contexte, quels sont les attentes réelles, les secteurs privilégiés et dans quel secteur trouve-t-on des applications sont les quelques questions traitées.