



# Bon appétit

## La vision dans l'agroalimentaire

La vision artificielle appliquée au marché de l'agroalimentaire se serait-elle banalisée ? C'est l'impression que l'on pourrait avoir si l'on regarde de près les efforts de recherches effectués actuellement sur le sujet.

Les thèses et autres travaux sur les applications industrielles se raréfient. Les chercheurs et étudiants se déplacent sur le terrain, à savoir les champs de production, les cultures en tout genre en utilisant leurs compétences acquises dans les ateliers de production. Pour leurs parts, les usines ont compris ce que la vision industrielle pouvait leur apporter, et aujourd'hui en sont plus à l'étape de duplication des applications qu'à celle de tests de validation des concepts.

La vision est devenue mature. Il y a une dizaine d'années, le slogan d'une vision sachant tout faire a causé beaucoup de torts, les premières applications tentaient de tout régler. Aujourd'hui, les professionnels savent ce que l'on peut faire et ne pas faire avec un système de vision, que ce soit avec les technologies classiques 2D ou plus complexes faisant appel au 3D ou à l'infrarouge.

### Des applications exemplaires

Comme le rappelait Michel Ollivier, Directeur Général d'Edixia et Président du Club Vision, lors de la journée Vision du Club Automation

*« dans les applications de découpe à poids constant de pièces en vrac, il est obligatoire de connaître le volume 3D avant le pilotage des outils de coupe ».*

Un exemple parmi d'autres que développe Christophe Guizard du Cémagref dans un article « Performances et limites de la vision » publié par l'Institut de Recherche. *« Le guidage, le positionnement d'outil ou d'objet font appel souvent aux techniques de robotisation. Le capteur ou les capteurs servent au positionnement spatial de l'outil ou de l'objet, ainsi qu'à l'identification ou au contrôle. Combiné avec des techniques d'identification sophistiquées, on peut, par exemple, aboutir à des machines capables de localiser des arêtes de poisson et d'opérer une découpe autour de cette arête ou bien calculer le poids d'une pièce de viande par vision tridimensionnelle et d'en opérer la découpe suivant un critère de poids constant. En agroalimentaire, les applications sont souvent exemplaires. »*

Plus classiquement, les applications dans l'agroalimentaire font souvent intervenir différents moyens techniques pour obtenir une image la plus représentative. Ainsi, si l'on cherche des rayures sur des surfaces métalliques on utilisera un éclairage rasant afin de faire ressortir les dites rayures, si l'on cherche certaines moisissures, il est fort probable qu'un éclairage dans l'UV permettra de mettre en évidence ces champignons par fluorescence, enfin si l'on cherche une coquille de noix dans des débris de noix, l'utilisation du

proche infrarouge sera peut-être la solution la plus adaptée pour discriminer des produits difficilement séparables à l'œil.

Pour le contrôle d'aspect, il faut apporter un soin tout particulier à la lumière, il est caractérisé par un état de surface (lisse, granuleux ...), par une ou plusieurs couleurs, par des défauts plus ou moins importants pouvant eux aussi être caractérisés par leur aspect... La réussite d'une application dans ce domaine tient beaucoup à la relation entre la lumière et le produit.

Et la liste des possibles est presque aussi longue que l'imagination du lecteur surtout lorsque l'on sait que la vision industrielle est non invasive et non contaminante. Elle peut être effectuée à des distances raisonnables, et le contrôle peut être fait sur 100 % de la production. Autant d'atouts qui ont permis, selon Don Braggins qui a réalisé une étude pour le compte de l'association européenne de vision l'EMVA, de préciser que sur un chiffre d'affaires de 420 Millions de dollars, 4,4 % serait réalisé dans le marché agroalimentaire. Sur les 40.861 systèmes installés, ils seraient 4,1 % à l'avoir été dans ce même secteur industriel.

### Plusieurs tonnes par heure

Ce marché de l'agroalimentaire, il est possible de le scinder en plusieurs parties distinctes faisant appel à des technologies différentes.

La vision a sa place dans les applications de petits produits défilant à grande vitesse. Dans cette catégorie figurent tout aussi bien les grains de café, les haricots ou les lentilles. Dans ces cas là, la vision reste accessible à un nombre restreint d'utilisateurs. Inutile de vouloir mettre une caméra intelligente.

Les cadences dépassent la tonne à trier toutes les heures. Et si la vision est employée, elle n'est pas seule à intervenir. Pour trouver les cailloux dans les lentilles ce sont des analyses spectrales qui sont faites. Les dernières évolutions dans le domaine sont l'intégration de ces différentes technologies dans une seule et même machine, là où auparavant il y avait plusieurs machines différentes en ligne.

De même, l'offre s'est structurée. Ce sont des machines similaires qui trient le café ou les lentilles. Seul le logiciel a changé. Et ne pensez pas que cette partie logicielle est d'une simplicité enfantine, il n'en est rien. Dans l'agroalimentaire, on retrouve une problématique récurrente, à savoir la caractérisation.

Comment savoir si la pomme est mûre ou pas, quel est le modèle idéal ? Taille, couleur ... autant de critères à prendre en compte et qui vont sans cesse varier.

Comme le rappelle Christophe Guizard, la nécessité de trier les produits dans l'usine est née de la mécanisation des récoltes : autrefois ramassés à la main, les produits étaient naturellement exempts de corps étrangers. Aujourd'hui, les systèmes mécaniques pratiquent une récolte aveugle ramassant tout ce qui se trouve sur leur passage (rongeurs, cailloux, feuilles, terre...) rendant ainsi le tri en usine obligatoire. Les systèmes doivent travailler indifféremment sur les produits frais ou surgelés. Certains de ces systèmes sont même capables d'apprécier certains défauts d'aspects comme les taches sur les fraises ou autres petit fruits, des restes de peau sur des pommes de terres pelées...

Pour y parvenir l'utilisation et la maîtrise de l'éclairage est un atout dans la combinaison de plans d'images couleur ou d'images acquises à des longueurs d'onde du domaine visible ou hors visible (UV et IR) pour mettre en évidence certains contrastes et des zones de composition différentes (front de migration de l'eau, humidité des poudres, gras et muscles des jambons...).

La vision a la faculté de travailler dans des domaines spectraux inaccessibles à un individu, comme l'infrarouge, les rayons X ou l'ultra-violet. L'intérêt de cette dernière possibilité compense, quelque peu, les grandes difficultés que l'on a à mimer la perception visuelle humaine. Issus des travaux menés en spectroscopie dans les années 1950, l'analyse du comportement de la matière en présence d'ondes électromagnétiques permet de caractériser sa composition. Il est ainsi possible, en appliquant ces connaissances à la vision industrielle, de déduire la teneur en humidité des produits, leur teneur en matières grasses, en protéines, la présence de moisissures, de chocs, de tâches, de couleur, de forme, d'aspect, etc. Les tâches complexes d'inspection nécessitent souvent l'acquisition d'une séquence d'images, voire une focalisation sur une zone particulière de l'image. Des recherches sont entreprises, par exemple, sur les techniques de vision dynamique active.

Pour les applications de petits produits, parmi les évolutions à venir on retrouve la capacité

de segmentation des résultats. Actuellement, dans la majorité des cas, la machine fait du binaire, le produit est bon ou non. Ensuite, l'ensemble des produits non conformes doit être trié pour séparer les vraiment cassés des acceptables pour une autre production, il faut alors utiliser une deuxième machine et ainsi de suite.

Cette demande est en partie réglée dans des cas de contrôle plus lents, comme pour les asperges ou en bout de ligne on peut retrouver six ou sept lignes séparées possibles, une seule machine de vision réalisant le travail.

## La vision pour le biologique

Avec le contrôle des asperges on se rapproche dans la deuxième catégorie d'applications de la vision dans l'agroalimentaire, à savoir les produits biologiques. On y retrouve les produits biologiques transformés et les non-transformés.

### Ducros se décarcasse

Comme tous les utilisateurs finaux, Ducros répercute auprès de ses fabricants de machines spécialisées ses propres contraintes. Dans le cas présent, l'objectif était de n'avoir aucun retour sur ses poivriers. Pour ce faire le fabricant du produit fini s'est tourné vers le Groupe Procap spécialisé dans le bouchage plastique que ce soit dans le domaine de l'alimentaire sec et liquide, des boissons, de la chimie ou des produits pharmaceutiques.

De son côté Procap a reçu un cahier des charges qui stipulait que le contrôle devait se faire à la cadence de 192.000 pièces par jour, soit un temps de contrôle de l'ordre de 250 ms par produit.

La première analyse montrait que les défauts provenaient le plus souvent de l'absence de sous-système ou d'un manque de matière. Mais il est inutile de penser pouvoir régler le problème directement en sortie de la machine d'injection, bien qu'elle produise quelques pièces mauvaises (estimé à 0,5 %). C'est la suite du processus de production, et notamment la phase d'assemblage, qui fait le plus de dégâts (80 % des défauts constatés). Aussi, c'est en fin de cycle que le contrôle par vision a été implanté.

Et Ducros ne se décarcasse pas pour les retours de pièces mauvaises. En cas de problème sur une pièce c'est le carton de 4.000 pièces qui retourne chez le fournisseur, voire la palette. Ce dernier n'a plus qu'à vérifier manuellement les pièces une par une.

Devant de telles contraintes que Procap retrouve chez bien d'autres clients de ses machines, la firme a choisi d'associer un intégrateur dans la chaîne de décision. Et c'est Delta Automation qui a, en quelque sorte, récupéré le bébé.

Chaque pièce comprend entre trois et quatre sous-ensembles, au total ce sont neuf séries de pièces différentes qui circulent sur le tapis roulant. Le système de vision retenu provient de chez Siemens et l'éclairage Dôme Led a été préféré à l'annulaire direct pour des raisons de brillance du plastique, qui varie de manière importante dans le temps. Au final, le système de vision a permis d'augmenter les cadences de 40 % et d'éviter le retour de cartons entiers.

## Vision et proche infrarouge

Le développement de systèmes de vision artificielle capables d'enregistrer des séquences d'images dans le proche ou le moyen infrarouge est un thème de recherche en pleine croissance. La vision artificielle multispectrale devrait permettre d'analyser les échantillons en chaque point de la surface visible. Il serait alors possible de caractériser l'hétérogénéité des produits et de détecter des défauts locaux à la surface des échantillons.

Comme le souligne Dominique Bertrand de l'Inra-Phytec, les premiers travaux dans le domaine de la vision artificielle dans le proche infrarouge (PIR) ont été effectués en 1989. Des échantillons étaient éclairés par des lampes à filament de tungstène et des filtres interférentiels placés devant la caméra pour sélectionner les longueurs de la lumière réfléchie. Il était ainsi possible d'acquérir des séquences d'images du même échantillon, correspondant à différentes conditions spectrales. Une application de ce système a été la robotisation de la mise en germination de graines dans des serres. Le taux de germination des graines varie entre 70 et 95 pour cent, l'objectif était de remplir les places libres correspondant à des grains qui n'ont pas germé.

Dans les premières étapes du projet, les plants ont été identifiés par une caméra travaillant dans le visible. Ils apparaissaient comme des taches blanches sur le sol. Le taux d'erreurs d'identification était élevé, et compris entre 7 et 18 pour cent.

Dans une autre série d'essais, ces auteurs ont exploité deux conditions spectrales, de manière à identifier la présence de chlorophylle, qui donne un pic d'absorption dans le visible à 670 nm. L'absorption à 800 nm sert de référence. La différence des images prises à ces deux longueurs d'onde a permis d'atteindre un taux d'erreurs d'identification de 2 pour cent.

Dans une autre application, en 1991, la source lumineuse est une lampe à filament de tungstène dont le spectre s'étend de 340 à 2000 nm. Le système est réglé de manière à enregistrer des séquences d'images entre 900 et 1900 nm, avec un pas de 50 nm. Pour tester le système, les auteurs ont tenté de discriminer des constituants isolés du blé. L'essai porte sur du son, du gluten et de l'amidon de blé mis sous la forme de granulés et placés séparément sous la caméra. Le fond de la coupelle est formé de céramique en poudre, non-absorbante dans le PIR. Chaque échantillon est ainsi caractérisé par 21 images numériques, comprenant 256 lignes et 256 colonnes.

Un pixel de l'image est lui-même représenté par un vecteur de 21 niveaux de gris. Sur un petit nombre de pixels qui servent de collection d'apprentissage, on applique une analyse discriminante pas à pas, avec comme objectif de classer ces pixels en fonction de leurs 4 natures qualitatives (son, gluten, amidon, céramique). Cinq pour cent des pixels associés à la céramique, et 10 pour cent de ceux correspondant au gluten sont incorrectement identifiés.

L'analyse d'images mutispectrales est également utilisée dans l'inspection des carcasses de volailles dans les abattoirs. La caméra CCD est équipée de 6 filtres interférentiels à 542, 571, 641, 700, 720 et 847 nm. Les images comprennent 752 lignes et 480 colonnes, et les niveaux de gris sont codés sur 8 bits. Les essais de validation portent sur 28 carcasses de poulets jugées normales, 24 cadavériques et 24 septicémiques. Parallèlement à une caractérisation par vision artificielle, une mesure spectrale entre 500 et 1000 nm est effectuée sur chaque carcasse. La finalité est de prédire la qualité des carcasses, soit en n'utilisant qu'un seul de leur dispositif de mesure (spectromètre ou vision artificielle) soit en combinant ces deux méthodes. De plus, les tentatives de classification portent soit sur 3 classes de qualité des carcasses (normal, cadavérique et septicémique), soit seulement sur 2 classes (normal ou anormal). Seules les carcasses jugées anormales par le système doivent être examinées par des inspecteurs qualifiés.

Dans le premier cas, le système de vision regarde et compte le nombre d'olives sur une pizza et valide le résultat, il fait pratiquement la même tâche pour le chorizo.

Tout se complique avec les applications de produits biologiques non-transformés. Parmi les exemples dans cette catégorie le triage des pommes ou le travail sur les dindes, les huîtres, le porc... Autant d'applications où la caractérisation est difficile, voire impossible. Il ne s'agit plus de mesurer une dimension, mais bel et bien de déterminer en plus des aspects dimensionnels la qualité du produit, de trouver les taches sur la pomme, mais égale-



ment analyser automatiquement le biscuit qui sort du four non pas pour savoir s'il est cassé, ce que fera un autre système de vision, mais pour analyser sa cuisson et interagir en temps réel sur les paramètres du four.

Le tri des frites en sortie de production afin de savoir si elles doivent être commercialisées sous le nom « X », marque de référence chez le client ou « Lambda » marque générique ou tout simplement rejetées. Une classification qui ne fait pas appel uniquement à des critères de longueur de la frite, mais également à son aspect, à la forme de la coupe, à l'absence de points noirs...

Ce contrôle de la qualité des produits alimentaires est sous les feux de l'actualité avec une sensibilité accrue des consommateurs à ce problème, qu'il s'agisse de qualité nutritionnelle, de qualité gustative ou encore de qualité au sens de risque sanitaire.

Pour répondre à cette demande, les industriels ont d'abord fait appel à des analyses physico-chimiques ou rhéologiques, mais il s'agit dans la plupart des cas de méthodes destructives et statistiques. Le plus souvent la seule méthode appliquée reste le contrôle visuel par des opérateurs.

Sur des produits vivants, il faut éviter les contacts et garantir l'absence de contamina-

tion croisée sur la chaîne de production ou de transformation. Une contrainte qui restreint au maximum la manipulation du produit par un opérateur ou une machine. Pour pallier ce problème, c'est le plus souvent le capteur qui se déplace et non le produit. On parle alors de vision dynamique qui comprend un asservissement pour contrôler le mouvement du capteur grâce à des informations qu'il acquiert. Avec le mouvement de la caméra il devient possible d'exhiber des informations tridimensionnelles de l'objet,

Hors du domaine visible, la course s'oriente vers la maîtrise de nouvelles surfaces sensibles constituées de matériau autre que le silicium. Ces matériaux comme l'InGaAs, HgCdTe ou InSb permettent de travailler dans des bandes spectrales intéressantes pour l'agroalimentaire. Le proche infrarouge est particulièrement intéressant puisque cette bande permet de caractériser la teneur en eau, en sucre, certaines protéines et matières grasses, par exemple la bande de 910nm et 960nm peut être utilisée pour la détection de la teneur en eau d'un produit biologique. Au-delà, on s'intéresse aussi à des constituants, mais aussi et surtout au rayonnement thermique. Celui-ci peut indirectement fournir des informations relatives au comportement d'un objet agricole ou d'un processus de fabrication, par exemple la bande 8-12µm peut être utilisée comme indicateur pour le stress hydrique des plantes.

## Le packaging

Ces applications dans le biologique permettent de vérifier la conformité du produit avec pour objectif qu'il ne présente pas d'écart par rapport aux exigences de qualité, ce contrôle aide également à trier et à classer les produits en vue de les orienter avant leur emballage.

Le conditionnement, c'est le dernier cas d'utilisation de la vision dans le milieu agroalimentaire. Les produits sont triés, mais il reste à valider la présence du bouchon sur la bouteille ou le positionnement de l'étiquette. Il en va de même pour le marquage des boîtes de conserve, autant d'applications qui, techniquement, utilisent les mêmes outils que ceux employés dans la pharmacie ou la mécanique.

Durant cette étape, la prise de vue du système de vision permet de vérifier la conformité de l'emballage, qu'il soit film transparent, carton ou autres, les défauts

## Des exemples pleins les poches

Voici en vrac quelques applications mises en œuvre avec des systèmes de vision Edixia, Appi, Cognex...

### Sur produits

**Biscuit** : détection de biscuits cassés sur la périphérie, fissurés, biscuit supérieur absent, le tout à la cadence de 32 biscuits par seconde.

**Gaufrettes** : détection de trous ou de zones vitreuses, de brûlures ou de taches brunes, mesure d'indice de cuisson.

**Jambon** : localisation du gras dans la tranche et isolement du gras sous-cutané, mesure d'épaisseur du gras.

**Volaille** : conformité de panés avant ensachage, surplus de matière ou écrasement, manque de matière, décalage des produits sur bande transporteuse, mauvaises orientations des panés à raison de 5 produits par seconde sur deux lignes de production.

**Dindes** : contrôle d'aspect, détection des hématomes verts, noirs, bleus, rouge, des déchirures, des ampoules de bréchet à une vitesse de défilement de 1m/sec et des cadences de 3.600 carcasses par heure.

**Surimi** : contrôle de la position et de la taille des bâtonnets quelle que soit leur orientation sur le tapis, recherche de miettes dans les soudures du flowpack à la cadence de 5 produits par seconde.

### Sur le conditionnement

**Biscuit** : bon scellage du paquet, positionnement du logo, présence du code de fabrication, de la date limite de consommation à la cadence de 10.000 paquets par heure.

**Biscuit** : conformité de la longueur, surface et contour de sachet individuel, détection de miettes dans les soudures de l'emballage, présence du logo avec une vitesse de défilement de 1m/sec.

**Biscuit** : lecture d'un code à 6 chiffres au défilé à la vitesse de 1m/sec, 2400 cartons par heure avec un temps d'identification de 0,3 sec parmi 260 références différentes.

**Biscuit** : Contrôle en sortie de four à la cadence de 2.000 biscuits/minute, éjection automatique par 20 soufflettes en ligne, 12 critères de forme et de cuisson, contrôle du scellage avec une cadence de 300 emballages par minute.

**Bouteilles** : présence et position de bouchon, de bague d'inviolabilité, d'étiquette, contrôle de niveau de liquide à la cadence de 50.000 bouteilles par heure.

**PET** : détection d'intrus dans les préformes PET, cadence de 70.000 préformes par heure avec inspection au défilé jusqu'à 4 m/sec avec adaptation automatique des variations de cadence de la souffleuse.

**Bouteilles** : positionnement de l'étiquette, vérification des paramètres d'impression comme le contenu d'alcool avec une vitesse de 10 bouteilles par seconde.

**Conserves** : inspection du panneautage, inspection du bordage (déformation de la surface) et vérification du cachetage, vérification de non débordement de la colle à la cadence de 20.000 boîtes de conserve à l'heure en production.

**Pizza** : détection des pizzas endommagées pendant la phase d'emballage, vérification des boîtes restées ouvertes.

**Vin pétillant** : contrôle de la position des trois étiquettes en absolu et en relatif avec une tolérance de 1 à 2 mm, conformité de l'étiquette (logo, texte). Quatre caméras pour une production de 12.500 bouteilles par heure

**Champagne** : contrôle du niveau de remplissage, de la position du bouchon, de la clarté du champagne, de la présence d'éclats de verre et autres matières flottantes à un rythme de 8.000 bouteilles par heure.

**Liquide** : Mesure de niveau, présence bouchage, contrôle qualité de l'habillage des bouteilles à raison de 72.000 bouteilles par heure.

**Lait** : Contrôle qualité de l'opercule des produits laitiers, à raison de 7 bouteilles par seconde et une précision de détection de 300 micromètres.

**Yaourt** : Analyse du fond des pots en verres, contrôle de corps étrangers, inclusions, analyse de la bague, intégrité du plan de bague. Défaut verrier détecté de 1 mm<sup>2</sup> et jusqu'à 360 coups par minute.



de fermeture, la présence/absence de logos, les variations dimensionnelles, le nombre de produits... La vision détecte également les intrus, que ce soit par comparaison de matières, de couleur ou de grandeur. Dans le même esprit, ce sont les étiquettes qui sont l'objet des bons soins de la vision soit pour valider les inscriptions ou vérifier la concordance de l'étiquette avec le produit.

Une fois les produits correctement triés et discriminés, il ne reste plus qu'à les encaisser et à les palettiser. La vision est encore présente à ce stade pour s'assurer que c'est le bon produit et qu'il est correctement orienté en vue de son conditionnement.

Dernières applications possibles, ce sont celles de reconnaissance et de vérification de caractères qui, depuis les différentes directives de traçabilité et de qualité, deviennent des domaines de prédilection de la vision indus-

trielle. Il faut savoir lire et contrôler des codes imprimés sur tous types de support, avec des codes alphanumériques, des codes barres, des codes matriciels...

## Encore du potentiel

Ces réalisations de vision dans le conditionnement au sein du processus de production agroalimentaire sont largement majoritaires, et aident les entrepreneurs à mieux saisir les avantages qu'ils peuvent tirer de la vision, et notamment regarder de plus près les étapes amonts qui touchent au produit à proprement parler, avant son emballage.

Tous les problèmes ne sont pas réglés. Comme un balancier, tous les cinq ou dix ans, des problématiques reviennent sur le devant de la scène, qu'il s'agisse du tri des betteraves ou du ramassage des pommes par des robots, même

si ces derniers sont persona non grata dans le monde agricole français. Trop pourvoyeur de chômage, même si les exploitants agricoles ne trouvent plus personne pour ramasser les fruits et que du coup ils préfèrent abandonner leurs vergers, au profit d'une délocalisation rampante qui nous fait avaler des fruits produits dans d'autres pays, sans avoir la possibilité de contrôler la qualité des engrais et autres rajouts.

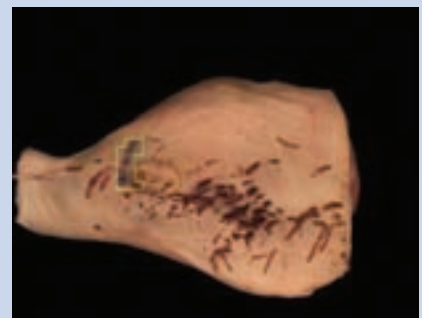
Il en va de même des applications de fins de ligne avec le tri des fruits où les solutions techniques sont difficiles à mettre en œuvre et où l'automatisation fait encore peur. Il n'y a pas si longtemps, tout le village se mobilisait. Les étudiants venaient prêter main forte, les retraités n'étaient pas en reste pour classer, trier, emballer les pêches ou les brugnons...

**Guy Fages**

## La vision au service de la traçabilité

Cette application mise en œuvre par le Cemagref de Rennes consiste en un contrôle automatique de la traçabilité des produits porcins. L'identifiant de la carcasse, formé de caractères numériques de couleur noire bleutée, est imprimé sur l'animal. Il s'agit de détecter la position de ce marquage sur la pièce de porc, puis d'accomplir une tâche de positionnement par asservissement de la caméra en face de l'identifiant, de manière à en assurer ensuite la lecture par un algorithme de reconnaissance de caractères.

La première difficulté est de différencier l'identifiant des autres marques présentes sur la couenne. Taches de graisse, hématomes, griffures, chair, occultation partielle de l'identifiant, hétérogénéité de la couleur de la couenne, présence d'un second identifiant raté, bavures du marquage, sont autant d'éléments susceptibles de compliquer la tâche de segmentation (voir les exemples ci-dessous). Les bavures de l'encre, les déformations dues à la fois à la courbure de la pièce de viande et au mode d'impression, mais aussi la présence d'autres marquages tels que le tampon vétérinaire (de forme ovale sur les images), ne permettent pas d'utiliser directement une méthode de reconnaissance de caractères ou encore l'analyse de critères de forme. Compte tenu de ces remarques, la couleur s'avère être un attribut intéressant à exploiter.

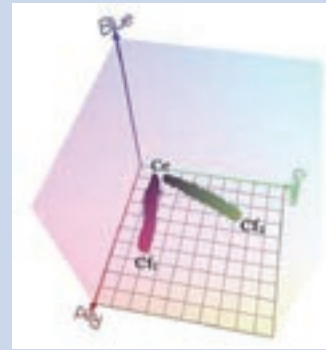


## Invariants couleur

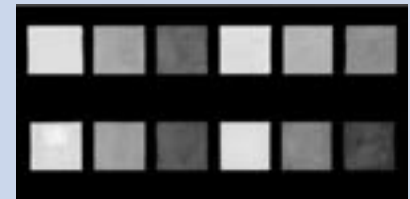
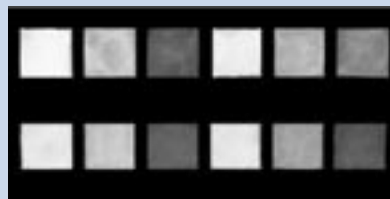
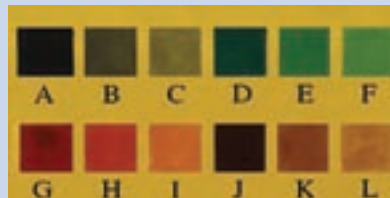
La couleur d'un marquage au jet d'encre est un paramètre difficile à contrôler. En effet, elle dépend de la qualité de l'encre, c'est-à-dire de son opacité, mais également de la quantité d'encre utilisée. Une encre au faible pouvoir couvrant ou utilisée en trop faible quantité peut apparaître translucide et, dans ce cas, la couleur du marquage est fortement liée à la couleur du support sur lequel il est effectué.

La variabilité de la réflectance de l'encre est problématique lorsqu'il s'agit de caractériser ou de segmenter cette encre, quels que soient son pouvoir couvrant, sa quantité ou la couleur du support sur lequel elle est imprimée.

Ce problème de transparence de l'encre s'apparente au problème de transparence de filtres colorés. Dans ce domaine, quelques travaux ont permis de modéliser le phénomène. Notamment, le modèle de convergence de Metelli exprime l'effet de transparence comme un changement additif de luminance. Toutes les couleurs du marquage sont situées globalement sur un segment dans le cube RGB, ce locus étant limité par les couleurs du support et de l'encre à son maximum de concentration.



À partir de cette modélisation, des attributs de constance chromatique sont déduits. Dans un premier temps, on calcule des coefficients de concentration  $Q$  de l'encre. Étant donné que la concentration est associée à l'opacité de l'encre, elle dépend de ses caractéristiques propres, et ne dépend pas du support sur lequel elle est imprimée. Ainsi, pour une encre et une concentration  $Q$  données, les coefficients de concentration sont invariants par rapport à la couleur du support. Ensuite des rapports de coefficients de concentration peuvent être calculés.



## Méthode de segmentation

L'algorithme de segmentation peut être décomposé en quatre étapes :

**Phase préliminaire** : La couleur de l'encre à son maximum de concentration est obtenue par acquisition d'un patch d'encre. La couleur de la couenne est déterminée par analyse d'histogramme (elle représente la classe de couleur majoritaire). Les différents attributs invariants sont calculés.

**Sélection des pixels candidats** : Un pixel est considéré comme candidat (c'est-à-dire susceptible d'appartenir au marquage) si sa couleur est suffisamment proche du locus des couleurs du marquage ou ses coefficients de concentration sont suffisamment élevés.

**Calcul d'un score d'appartenance par analyse de voisinage** : Pour chaque pixel candidat, un score d'appartenance au marquage est calculé, dépendant des attributs de ses pixels voisins : coefficients de concentration, rapports de coefficients de concentration. Plus un pixel candidat possède des voisins susceptibles d'appartenir au marquage, plus son score d'appartenance au marquage est élevé.

**Sélection d'une composante connexe associée au marquage** : À ce niveau des traitements, les pixels qui possèdent un score d'appartenance élevé, ne sont pas forcément connexes. Pour y remédier, un filtrage spatial est effectué. Le pixel détenant le score d'appartenance au marquage le plus élevé sert ensuite de germe pour effectuer une croissance de région. La région résultante peut alors servir de masque pour le marquage.

A partir d'une base d'images (qui contiennent toutes des défauts), un taux de réussite de 95,1 % a été obtenu. Il correspond au pourcentage de cas pour lesquels l'emplacement de l'identifiant est bien détecté.

**Références** : M. Gouiffès, C. Collewet, C. Fernandez, A. Trémeau. Invariants couleur dédiés à la transparence de l'encre. Application à la segmentation de marquages. *Traitement du signal*, 21(5-6), 2004.