



HAL
open science

Vision artificielle dans les industries agro-alimentaires

C. Guizard, V. Bellon, Francis Sevila

► **To cite this version:**

C. Guizard, V. Bellon, Francis Sevila. Vision artificielle dans les industries agro-alimentaires. Cemagref Editions, pp.292, 1992, 2-85362-305-X. hal-02581892

HAL Id: hal-02581892

<https://hal.inrae.fr/hal-02581892v1>

Submitted on 21 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vision artificielle dans les Industries Agro-Alimentaires

Méthodes / Techniques / Choix

PUB 00012290

**Christophe GUIZARD
Véronique BELLON
Francis SEVILA**



CEMAGREF

tpellier

CEMA GEA 2

Vision artificielle dans les industries agro-alimentaires

ERRATA

le 11 Janvier 1993

Quelques erreurs se sont glissées fortuitement dans le livre:

- page 61: Figure 30 veuillez lire *documentation SONY* au lieu de *documentation EG&G RETICON*
- page 65: Figure 34 veuillez lire *Vue éclatée de la caméra SONY XC-77* au lieu de *Exploded view XC-77/77CE*
- page 108: Veuillez lire *voir figure 73* au lieu de *voir figure 72*
- page 115: Veuillez lire \sqrt{n} au lieu de $n/2$
- page 119: Veuillez lire *orientation θ* au lieu de *orientation O*
- page 119: la figure 87 a été supprimée de l'encart photo
- page 126: Veuillez lire *voir figure 95* au lieu de *voir figure 87*
- page 119: Veuillez lire *orientation θ* au lieu de *orientation O*
- page 119: Veuillez lire *orientation θ* au lieu de *orientation O*
- page 128: Veuillez lire $H = (90 - \text{Arctan}(F/\sqrt{3}) + x)/360$ au lieu de $H = (90 - \text{Arctan}(F/V3) + x)/360$
- page 217: Veuillez lire *voir figure 141* au lieu de *voir figure 95*
- page 133: Veuillez lire $5\pi/4$ au lieu de $5\pi i/4$
- page 135: La première formule correspond à G1
- page 135: Supprimer *voir (3)*
- page 165: Pour la valeur de l'écart type veuillez lire $1/n$ au lieu de $x0,5$
- page 166: Veuillez corriger la formule $P(A/I) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{A-\mu}{s}\right)^2\right]$

Merci pour votre indulgence.

**Christophe GUIZARD
Véronique BELLON
Francis SEVILA**

Vision artificielle dans les Industries Agro-Alimentaires

Méthodes / Techniques / Choix



**CENTRE NATIONAL
DU MACHINISME AGRICOLE
DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS**

GRUPEMENT DE MONTPELLIER
361, rue J.-F. Breton - B.P. 5095
34033 Montpellier Cedex 1
Tél. : 67 04 63 00 • Téléc. : 490 990 F
Télécopie : 67 63 57 95

VISION ARTIFICIELLE DANS LES INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES.
Méthodes-Techniques-Choix - 1992 - 1^{re} édition - Christophe GUIZARD, Véronique BELLON, Francis SEVILA - ISBN 2 - 85362-305-X - Copyright CEMAGREF EDITIONS - Directeur de la publication : Robert HENAFF - Coordination d'édition : Martine BOUDOT-LAMOTTE et Valérie GOULETTE (CEMAGREF-DICOVA), Edition : CEMAGREF-DICOVA, Diffusion : CEMAGREF-DICOVA, BP 22, 92162 Antony Cedex, tél. (1) 40 96 61 32 et CEMAGREF Montpellier, BP 5095, 34033 Montpellier Cedex 1, tél. 67 04 63 00 - Vente aux libraires TEC et DOC, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan cedex, tél. : (1) 47 40 67 00 - Prix : 300 F TTC.

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou des ayants droit ou ayants cause, est illicite" (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

ISBN 2-85362-305-X

Le CEMAGREF est un organisme de recherches dans les domaines de l'eau, de l'équipement pour l'agriculture et l'agro-alimentaire, de l'aménagement et de la mise en valeur du milieu rural et des ressources naturelles.

En contact permanent avec les agents économiques et les collectivités, il cherche à constituer des outils mieux adaptés dans différents secteurs d'activités :

- eau, hydrologie, hydraulique agricole, qualité des eaux
- risques naturels et technologiques
- montagne et zones défavorisées
- forêts
- machinisme et équipement agricoles
- équipement des industries agro-alimentaires
- production et économie agricoles.

Le CEMAGREF est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique sous la tutelle des ministères de la Recherche et de l'Espace, de l'Agriculture et de la Forêt.

Il emploie 970 agents dont 420 scientifiques répartis en 10 groupements : Aix-en-Provence, Antony, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, La Martinique, Montpellier, Nogent-sur-Vernisson, Rennes.



PREFACE

Je suis particulièrement heureux de préfacer l'ouvrage entrepris par Christophe GUIZARD, Véronique BELLON et Francis SEVILA. D'une part parce Christophe GUIZARD a été un de mes proches collaborateurs et qu'il a fait preuve de qualités pédagogiques, d'esprit de synthèse dans des conditions parfois difficiles, d'autre part parce que le sujet de la vision assistée par Ordinateur me tient particulièrement à coeur.

Pendant que les systèmes de traitement de l'information se perfectionnent en puissance et en fiabilité, que les logiciels deviennent de plus en plus performants, une science nouvelle apparaît : la visionique.

Je ne tomberai pas dans le travers qui consisterait à parler de moi, de mon expérience ou de succès acquis dans le monde de la vision assistée par ordinateur, mais je dois à la vérité de dire que je partage tout à fait les points de vue dégagés dans cet ouvrage et je veux apporter le témoignage que les méthodes d'analyse de traitement de l'image appliquées au monde agro-alimentaire sont décrites dans un langage clair, concret.

La visionique est non seulement une industrie en soi, mais un facteur essentiel dans toutes les industries qui veulent se moderniser, se restructurer, améliorer leur compétitivité.

Elle est d'une importance vitale dans les industries les plus modernes comme les plus traditionnelles. Une grande partie des actions de recherche nouvelles fait appel aux techniques modernes de la visionique.

Les exemples sont nombreux : contrôle d'aspect et reconnaissance de forme pour le calibrage des fruits, sélection et collecte automatisée de fruits grâce à un robot intégrant un système de vision, contrôle de pollution de l'eau en interprétant des caractéristiques comportementales des truites dans un bassin de décantation...

Cet ouvrage n'est pas un traité de plus sur une méthodologie de mise en oeuvre en traitement d'images. Il représente à mes yeux un fascinant outil pédagogique, mais aussi le récapitulatif non exhaustif des écueils à éviter pour réaliser une machine de vision.

La place me fait défaut pour parler d'autres questions dont le livre traite avec discernement dans son ouvrage, telle que la "vision dans le domaine agro-alimentaire" ou les "architectures différentes" et même de mentionner les parallèles nombreux qui établissent la manière dont les choses sont traitées dans divers centres de recherche dans le monde et qui conduisent presque toujours à de fructueuses conclusions.

Je conclurai par dire toute l'importance d'un tel ouvrage qui en même temps que le récit de la chronologie de l'évolution des systèmes de vision est une réflexion intelligente et approfondie sur un grand nombre de problèmes qui se posent dans le monde de l'imagerie électronique.

Robert BERIBOS
P.D.G BYTECH-GEOMELEC



PREMIERE PARTIE :

**LES SYSTEMES DE VISION
DANS L'AGRO INDUSTRIE**

I. SYSTEMES DE VISION ET INDUSTRIE

Cela fait plusieurs années que la vision industrielle fait l'objet de recherches et développement dans le monde. Le CEMAGREF s'y est intéressé dès 1985, date à laquelle on a pu voir apparaître les premières caméras pouvant être placées dans des sites industriels.

Malgré l'évolution rapide de la technologie l'intégration de la vision industrielle dans les industries a pendant longtemps été l'affaire de véritables pionniers, qui à grand recours d'astuces arrivaient tant bien que mal à faire fonctionner une application. Pourtant les techniques de vision sont connues des grands laboratoires depuis plus de trente ans ; mais si leurs utilisations étaient possibles dans de vastes projets comme la conquête spatiale ou les projets militaires, sur les chaînes industrielles les coûts restaient totalement rébiditoires.

Depuis dix ans de nombreuses sociétés se sont lancées dans l'aventure, mais toutes ont subi le contre coup d'un marché qui tardait à démarrer et cela malgré les études de marchés optimistes publiées dans les revues spécialisées entre 1985 et 1989. Comme cela est souvent le cas pour les produits nouveaux, ce marché avait un taux de croissance exemplaire. Le problème essentiel résidait dans le mauvais fonctionnement des applications, ou pire, dans la déception des utilisateurs qui fixaient des objectifs impossibles à atteindre et parfois même complètement farfelus.

Aujourd'hui les choses ont évolué, la technologie offre maintenant de quoi satisfaire la plupart des besoins, fussent-ils raisonnables. L'intégrateur dispose d'outils accessibles, performants et à un coût abordable. A ce sujet on doit se féliciter de l'arrivée des micro-ordinateurs et de la vidéo grand public, car sans les développements qu'ils ont engendrés la vision industrielle serait probablement restée dans les laboratoires.

Fort de quelques années d'expérience en recherche et en intégration, il nous a paru opportun d'apporter notre témoignage, ainsi que notre savoir faire dans un document original, ce livre.

L'objectif de ce livre est de permettre au lecteur d'appréhender les différents problèmes de vision industrielle. Pour arriver à ce but il fallait connaître l'offre sur le marché, les applications fonctionnant réellement et donnant satisfaction. Pour cela nous avons mené une enquête au niveau national en 1990 et 1991 auprès des sociétés intégrant ou commercialisant des solutions industrielles de vision par ordinateur. Le livre fait état de cette enquête dans sa dernière partie, on trouvera un tableau de synthèse permettant de sélectionner le ou les sociétés ayant déjà travaillé sur un thème particulier. En annexe, le livre fournit les adresses des sociétés contactées, mais il est important de préciser que le marché de la vision industrielle est extrêmement fugitif, la mortalité des sociétés est très élevée, mais par chance, la natalité aussi.

Ce livre est destiné aux décideurs, intégrateurs, et aux personnes s'intéressant à l'utilisation de la vision industrielle, le thème étant celui de l'industrie Agro-Alimentaire, mais ce qui y est décrit, est généralement valable pour les autres industries. Nous avons souhaité donner des éléments de base technique en vision artificielle, que se soit sur les capteurs ou sur les algorithmes, mais on ne trouvera pas un cours fondamental sur le traitement d'images. Quelques éléments sont seulement

présentés. D'excellents ouvrages existent sur le sujet et sont référencés dans la bibliographie.

Le lecteur trouvera dans ce livre des éléments difficiles à trouver ailleurs qui lui permettront de comprendre, négocier, intégrer au mieux un système de vision artificielle.

A. Qu'est ce qu'une machine de vision

Il s'agit avant tout d'un système informatique auquel on a couplé une caméra vidéo. L'objectif est d'analyser la scène acquise pour en retirer des informations utiles.

BREF HISTORIQUE :

Années 50 : démarrage du concept, recherches en représentation (Graphique)

Années 60 : démarrage des recherches sur des images binaires (deux niveaux de gris)

Années 70 : Traitement en niveaux de gris, images satellites, établissement des algorithmes fondamentaux.

Années 80 : Développement technologique permettant l'accès de la vision au monde industriel.

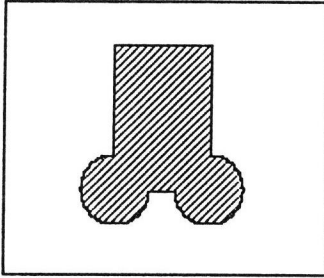
Année 89/92 : Fiabilité des systèmes de vision accrue, simplification de l'accès au système.

Le système de vision numérique peut être aujourd'hui considéré comme un capteur à part entière, un capteur sophistiqué certes, mais un capteur dont une des vocations principales est le contrôle non destructif. Comme tous les capteurs, il a essentiellement pour objet le contrôle, l'analyse et le pilotage du processus, en ce sens il n'a rien d'original. En fait son originalité provient de sa puissance et de son antropomorphisme. Cette puissance permet dans certains cas de dépasser l'analyse humaine. Pour le moment, on est limité à la partie concernant la compréhension de l'image (figure 1), partie qui fait l'objet actuellement, d'intenses recherches dans les laboratoires publics et privés.

Pour ce capteur il s'agira de reproduire l'analyse visuelle de l'opérateur. Il est utilisé pour réaliser des opérations du type :

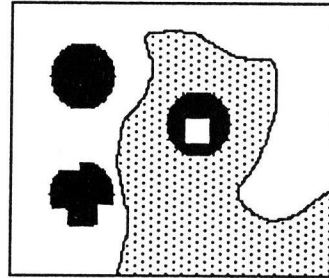
- reconnaissance de formes
- classification multi-critères
- tris (défauts, qualité, couleurs...)
- localisation d'objets
- conduite d'outils ou d'engins

Première génération



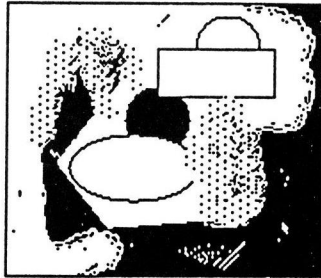
Fond uniforme
Haut contraste
Objet simple

Deuxième génération



Objets multiples
Formes diverses
Fond non homogène

Troisième génération



Chevauchement d'objets
Mauvais contrastes
Fond hétérogène

Fig 1 : Générations de systèmes de vision industrielle.

Ce capteur d'un genre nouveau possède des caractéristiques propres, comme

Senseur multidimensionnel

Extraction automatisée des paramètres

Non limité au visible (ex : infra-rouge, rayons X, U.V...)

Résultats obtenus objectifs et répétitifs.

Pour réaliser un aussi grand nombre d'opérations, la machine de vision peut être très complexe (voir figure 2), et dotée d'un calculateur très puissant, mais quelque soit le type de machines on retrouvera les composants suivants :

Un système d'éclairage

Un ou plusieurs capteurs (caméras)

Un système de numérisation de l'information

Un système de restitution de l'image (éventuelle)

Une chaîne de traitement (Ordinateur + Logiciel)

Une chaîne d'actionneurs

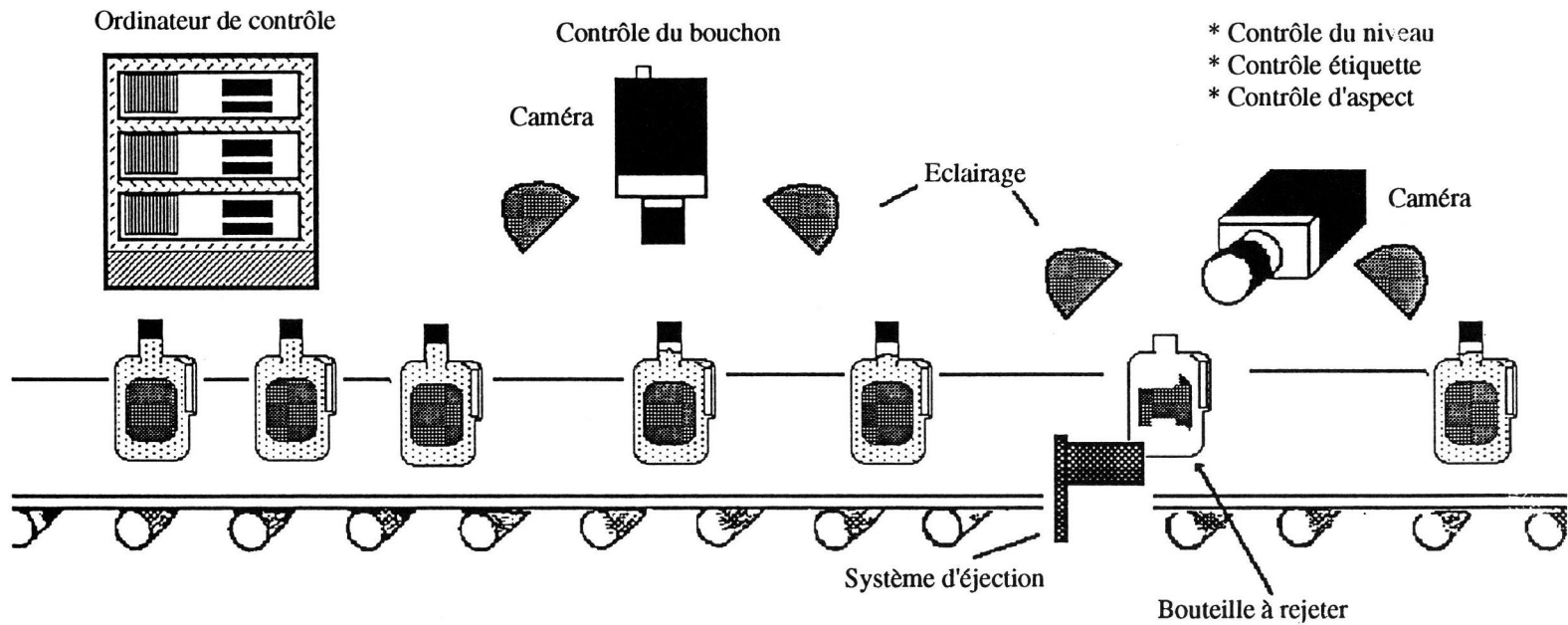


fig 2 : Chaine d'inspection industrielle robotisée.

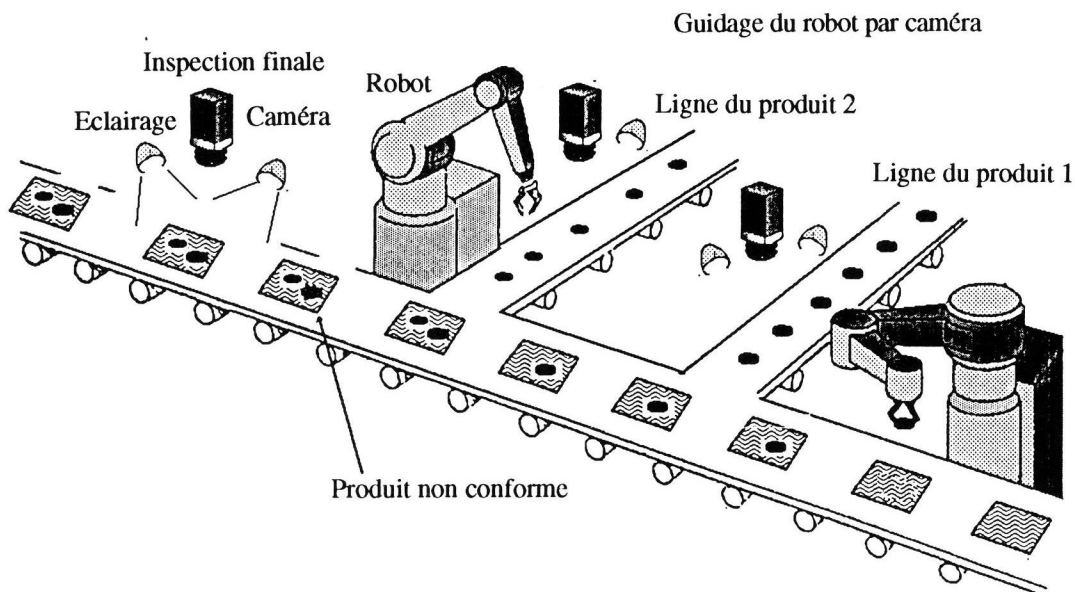


Fig 3 : Exemple de chaîne industrielle.

B. Le marché aujourd'hui

Si les besoins en vision industrielle sont bien connus, il faut aussi qu'ils puissent être résolus par les produits existants sur le marché. L'industriel voulant acquérir ou intégrer un système de vision devra donc faire appel à des sociétés françaises ou étrangères pour répondre à son problème.

A ce stade plusieurs possibilités existent :

- Faire appel à un distributeur qui possède déjà le système répondant au besoin : c'est pour le moment assez rare, mais cela existe.
- Faire appel à un prestataire de service qui maîtrise l'intégration de la vision.
- Développer soit même sa solution : tentant mais demandant un très bonne maîtrise des problèmes de vision et de leurs intégrations.

Pour aider la réflexion nous allons faire le point sur le marché d'aujourd'hui.

1. Structure du marché & Etude socio-économique

Actuellement, le marché s'articule autour de constructeurs, qui sont aussi distributeurs de leur technologie.

La vente s'établit comme suit :

- * soit vers les intégrateurs (liés ou non directement au fabricant), qui revendront sous le nom du fabricant une solution complète de vision industrielle ;

- * soit vers le marché captif des OEM (Original End Manufacturer) qui incorporent des outils de vision dans des machines génériques, qui seront ensuite revendues sous leur propre nom.

Les SSII (Sociétés de Services en Informatique), et les sociétés spécialisées dans les automatismes industriels ne représentent pas actuellement une grosse part de marché. Mais cette tendance est en train de s'inverser, il suffit de voir les associations entre certaines sociétés de services et les spécialistes en vision industrielle.

2. Les raisons de cette évolution

Jusqu'en 1984 les constructeurs étaient en relation directe avec leurs clients, durant la période 1985-1988 les intégrateurs se sont vus plus nombreux, et en 1989 les clients OEM sont apparus.

Le marché est un marché d'offres, il reste perfectible et fragile.

Pour les gros industriels, le marché de la vision est en général lié à un besoin interne, ou à une stratégie d'attente de croissance des marchés ; pour les petits, il s'agit avant tout d'acquérir une compétence sur un secteur de pointe encore vierge, ainsi que de répondre à un besoin de diversification.

LE CAS FRANCAIS :

En FRANCE le marché est assez étroit, et nous disposons peu de vrais constructeurs, l'offre y est par contre très complète avec un risque de diversification exagérée.

Les constructeurs sont à la recherche de niches spécifiques, car rares sont les fabricants qui rentabilisent cette activité sans un soutien financier extérieur via des sociétés plus importantes ou par une entrée au second marché.

LE CAS EUROPEEN :

Dans le reste de l'Europe on trouve moins d'intégrateurs, par contre on trouve quelques grosses sociétés d'automatique (SIEMENS, ABB...) et un certain nombre de petites sociétés dépendant souvent de laboratoires.

Le marché OEM semble être le catalyseur essentiel de cette activité.

LE CAS AMERICAIN :

Aux USA on note une très forte augmentation d'associations entre fabricants, intégrateurs, et des sociétés d'informatique (ex : Pyramid Integrator de ALLEN BRADLEY-DEC).

La stratégie est avant tout axée sur le marché OEM, avec une mutation sectorielle importante compte tenu des résultats décevants du marché automobile (beaucoup de systèmes achetés, mais peu en fonctionnement réel!).

Les marchés européen et japonais sont pour les entreprises américaines des marchés sensibles, et prometteurs.

La tendance économique actuelle est d'accroître les niches verticales sur le marché OEM, une disparition presque certaine des petites SSII, et des regroupements d'industriels (ex : CAP SESA/ITMI/AUTOMATIX/DIGITAL DESIGN).

On notera aussi l'apparition d'un marché tri-dimensionnelles (3D).

La tendance technologique actuelle est fondée sur une standardisation massive des produits, donc des coûts mieux maîtrisés (voir figure 4) et vers une tendance à l'accroissement de la puissance. Les systèmes sont aujourd'hui plus conviviaux et plus fiables.

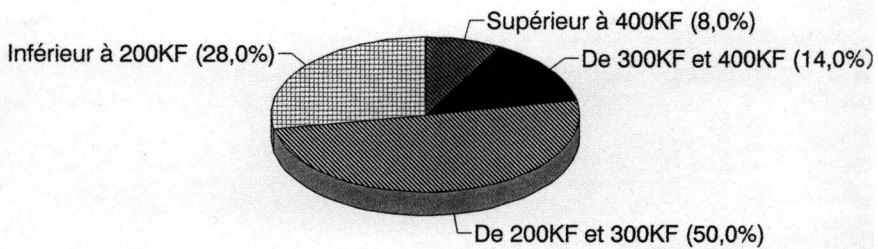


Fig 4 : Tendance des investissements en vision industrielle.

3. Perspectives du marché

Il peut se traduire par le tableau ci-après :

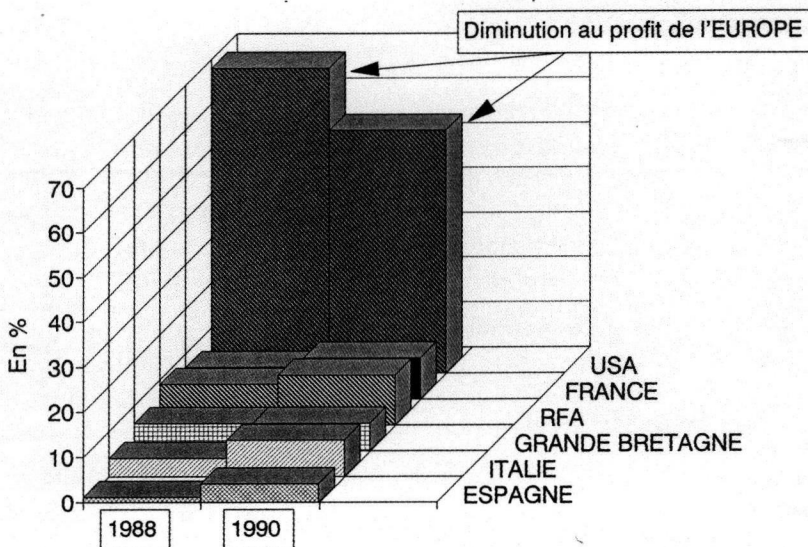


Fig 5 : Comparaison de l'évolution des marchés (source enquête BIPE 1989).

En ce qui concerne la France et les Etats Unis on pourra comparer les parts de marchés dans la figure 6.

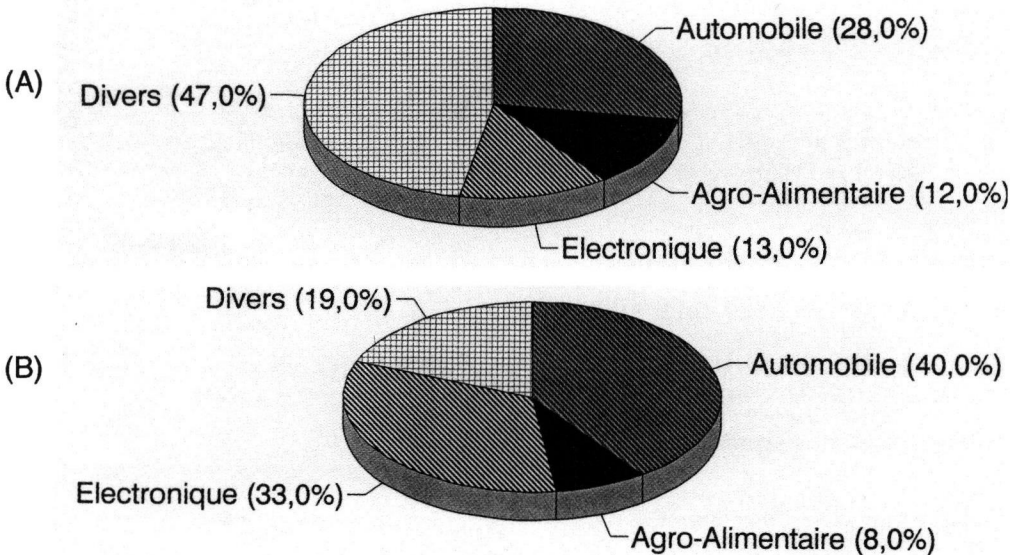


Fig 6 : Répartition du marché en FRANCE (A) et aux USA (B) en 1991.

Ces chiffres sont à analyser avec grandes précautions, le marché est en pleine évolution et un grand nombre d'experts se trompent régulièrement sur l'évolution de ce marché. Il est toutefois certain qu'il s'agit d'un marché potentiel dont l'importance risque de croître d'année en année. L'avènement des programmes MULTI-MEDIA permettra de donner de manière indirecte un coup de fouet au marché dit industriel, grâce à un effet de levier procuré par les nouveautés technologiques.

4. La croissance

Ce marché est en pleine croissance, après avoir été appuré fin 1989. Les solutions proposées aujourd'hui sont raisonnables et dans leur grande majorité fiables. Mais on rencontre encore actuellement des problèmes qui ne sont pas toujours technologiques. Les plus importants restent les freins sociaux. Une bonne illustration de ces problèmes est donnée en figure 7.

Il est certain que le marché ne décollera (voir figure 8) que dans la mesure où l'offre se sera assainie, engendrant alors un taux important de satisfaction de la part de la clientèle.

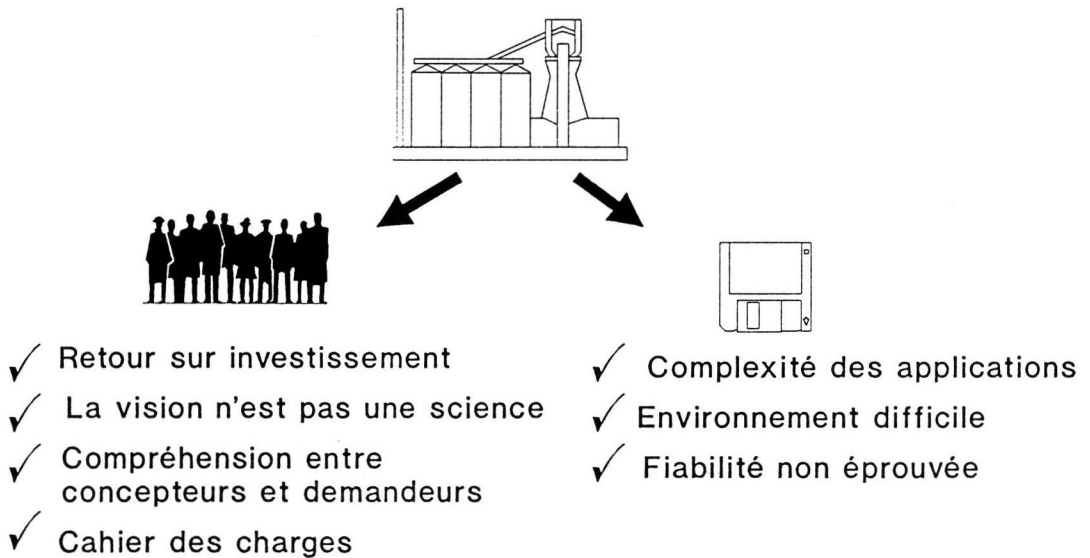


Fig 7 : Les problèmes d'implantation d'un système de vision industrielle.

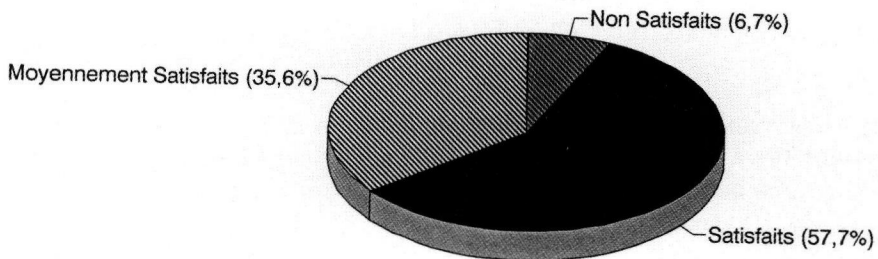


Fig 8 : Indice de satisfaction aux USA en 1990 (source : *Advanced Imaginy*).

On peut citer quelques postulats que les fabricants et intégrateurs devraient toujours avoir à l'esprit :

- * simplifier l'offre
- * installer des systèmes dont la fiabilité ne peut pas être mise en cause
- * accélérer la formation des utilisateurs
- * informer les clients potentiels
- * s'adapter et adapter l'environnement industriel

C. La vision industrielle dans le monde agro-industriel

Depuis quelques années et malgré des aides ponctuelles le nombre d'exploitations agricoles ne cesse de diminuer ; d'ici l'an 2000 on ne devrait plus compter que 700 000 exploitations contre 1,86 million en 1980. Ce sont surtout les petites exploitations qui auront tendance à disparaître au profit des grosses plus rentables et exploitables de manière industrielle.

La population des agriculteurs vieillit très vite, les jeunes étant peu attirés par cette profession qui a des côtés astreignants et pénibles.

L'industrie agro-alimentaire, qui est une industrie de transformation, ne cesse de progresser en chiffre d'affaires, malgré quelques aléas conjoncturels.

L'agro-alimentaire ne peut toutefois pas être considéré comme un secteur développant une R&D agressive. Quelques grands groupes mondiaux se partagent la plus grosse part du marché laissant une part très étroite aux multiples PME et PMI qui complètent l'activité.

La tendance actuelle est à l'automatisation. Malheureusement les produits manipulés sont en général de faible valeur ajoutée et les machines doivent évoluer dans un environnement hostile.

La vision, bien que sortant à peine de son environnement de recherche, semble être une voie très prometteuse.

Trois grands secteurs existent :

La reconnaissance,
L'inspection
Le guidage

Ces secteurs peuvent être divisés en 2 domaines :

La vision en milieu contrôlé
La vision en milieu naturel.

Les rapides progrès de la technologie laissent espérer une évolution de plus de 50% du marché par an et cela sur 5 ans. Mais il s'agit là d'une projection assez facile compte tenu du faible taux d'équipements.

Les besoins sont énormes, tant au niveau aide à la décision, qu'au niveau du contrôle qualité.

Actuellement, pour des raisons économiques ou de fiabilité, les équipementiers se tournent vers les techniques de pointe, la concurrence obligeant de faire toujours mieux que son voisin.

L'évolution rapide des composants, tant au niveau des coûts que de la technologie, laisse espérer une intégration de systèmes sophistiqués.

L'attrait de la vision est évident, car elle semble être la voie nécessaire pour inclure l'intelligence artificielle dans les machines. Quel industriel n'a pas rêvé de pouvoir utiliser sa chaîne de conditionnement pour des produits différents? Quel agriculteur n'a pas rêvé voir son tracteur se déplacer tout seul dans son champ, ou gérer son bétail sans qu'il n'intervienne? Beaucoup de ces rêves ont une chance de devenir une réalité dans les

dix prochaines années, déjà des prototypes sortent des laboratoires (robot de traite, robot de labour, robot cueilleur d'agrumes...) et certains sont en cours de commercialisation (robot de tonte...).

Dans tous ces projets, la vision est un élément essentiel.

Dans les années 80 le coût des machines était prohibitif, variant entre plusieurs centaines de KF à plusieurs MF. Cela était essentiellement dû à une segmentation très étroite du marché et à un besoin de retour sur investissement rapide de la part des fabricants.

Aujourd'hui les coûts, peuvent être divisés par dix et on peut espérer des systèmes de traitement d'images installés, d'un coût inférieur à 100KF.

a) Machinisme Agricole

Le marché du machinisme agricole est en pleine évolution, les besoins existent au niveau de l'automatisation des machines, tracteurs, opérations de récolte.

La vision a un grand rôle à jouer, malheureusement ces machines évoluent en grande majorité en milieu naturel compliquant de manière très significative les problèmes. Le domaine agricole semble plutôt s'apparenter au domaine militaire compte tenu de l'environnement dans lequel il aura à évoluer (températures extrêmes, humidité, chocs...).

b) Industries Agro-Alimentaires

Le marché des IAA est quant à lui des plus prometteurs.

La motivation générale est commune à d'autres secteurs, comme on pourra en juger sur la figure 9.

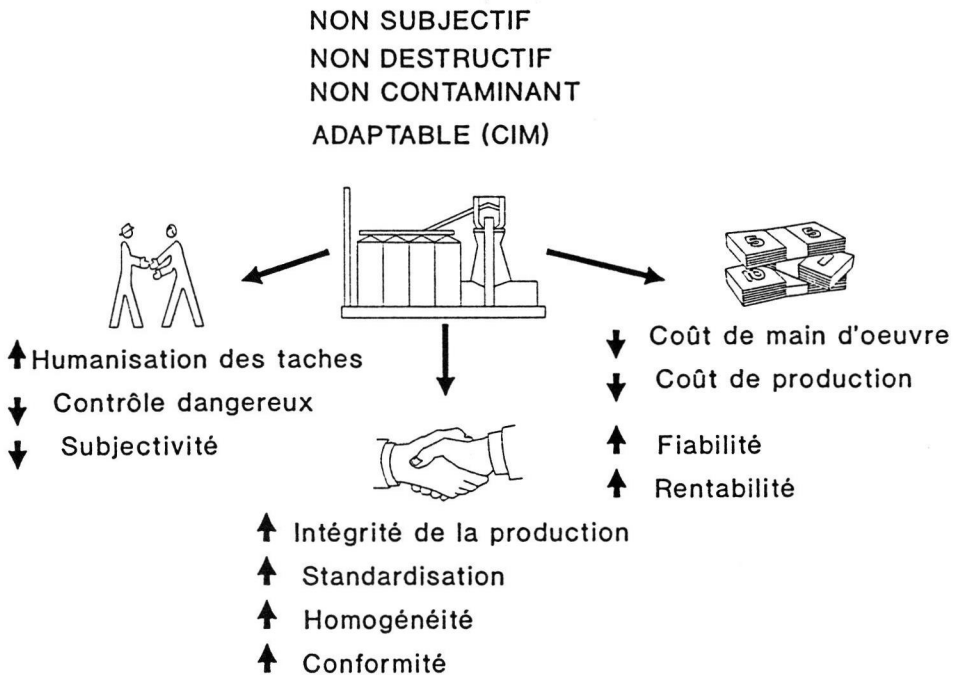


Fig 9 : Le potentiel bénéfique pour les IAA.

L'enjeu économique est considérable tant au niveau de l'industriel lui-même qu'au niveau du pays.

Le secteur le plus prometteur semble être celui du tri (qualité, calibrage...). Actuellement les tâches de tri ou de manutention, utilisant les facultés visuelles de l'individu, sont des opérations encore manuelles ; il s'agit d'emplois pénibles et, en général, peu qualifiés, soumis à des cadences importantes.

Cela entraîne plusieurs conséquences :

* Un mauvais rendement dans le tri : Il est courant de voir 20 % à 50 % des produits à éliminer oubliés dans un tri par un opérateur. Les jugements humains sont très subjectifs et dénués de certitude absolue, la qualité et le rendement des tris risquent d'être de qualité inégale, par suite d'une fatigue excessive de l'individu.

* Une fatigue et un désintéressement du personnel.

* Des produits qui risquent de ne pas être conformes au marché.

II. LES APPLICATIONS DANS LES INDUSTRIES AGRICOLES ET ALIMENTAIRES

Introduction

Malgré ces problèmes, les applications industrielles commencent à voir le jour. La technologie aidant le savoir faire des intégrateurs, les solutions viables apparaissent sur le marché, nous avons voulu savoir ce qui existait en France, c'est l'objet de ce chapitre.

La vision dans les I.A.A.¹ a un double objectif :

1- il s'agit dans un premier temps : de remplacer l'oeil humain dans les tâches de repérage de défauts, de corps étrangers, ou de produits non conformes. C'est actuellement l'aspect le plus développé, car il permet d'une part de diminuer la main d'œuvre à des postes généralement très consommateurs, et d'autre part, il permet d'augmenter la qualité globale du produit en instituant un système de contrôle objectif et infatigable.

2- dans un deuxième temps : d'aller au delà de la vision humaine.

C'est tout d'abord au niveau de la qualité de la réponse que se traduira cette performance : par exemple un dimensionnement visuel ne sera jamais aussi précis que le même calibrage effectué par un système de vision.

Et c'est ensuite par la vitesse qu'un système de vision surpassera l'homme : les débits industriels sont aujourd'hui inaccessibles au contrôle humain. Mais c'est aussi par l'adéquation - système de vision et produits à contrôler - que la vision trouvera sa justification. Comme l'usage de radiations auxquelles l'oeil n'est pas sensible ; par exemple les rayons X, ou l'infra-rouge.

On distingue cependant deux "métiers" très différents dans la vision destinée à l'agro-alimentaire.

En effet, les postes nécessitant des interventions en vision, dans une IAA, sont multiples et concernent aussi bien les produits que le conditionnement. Ainsi, les systèmes de vision devront inspecter, soit des produits biologiques relativement variables et hétérogènes (ils le seront d'autant plus qu'on se trouvera en amont de la chaîne c'est-à-dire proche de la matière première), soit des produits non biologiques que sont les modes

1- I.A.A Industrie Agro-Alimentaire.

de conditionnement, emballages divers allant de la bouteille au carton cellophané et dont la caractéristique sera justement qu'ils devront présenter la plus grande homogénéité possible, afin de répondre à un standard.

Dans ces deux cas, l'approche ne sera pas la même. En général, les quantités à traiter sont plus importantes sur les produits que sur les emballages, notamment lorsqu'il s'agit de petits produits tels que, petits fruits et légumes, ou fruits et légumes coupés. Ceci suppose que les systèmes de traitement soient très rapides. D'autre part, la difficulté est plus grande dans le cas des produits biologiques, notamment s'ils sont peu transformés car le traitement doit inclure la variabilité naturelle. Ainsi, les sociétés qui développent des systèmes pour le tri des produits biologiques sont en général spécialisées, et ne conçoivent pas de systèmes pour le conditionnement. L'inverse se produit quelquefois, les sociétés qui ont développé un savoir-faire en vision agro-alimentaire pour le conditionnement, s'engagent dans la mise au point de systèmes pour le tri des produits biologiques, notamment pour les applications les plus simples.

Enfin, il faut aussi distinguer les applications complètement différentes que sont la vision en ligne et la vision en laboratoire. Celles-ci exigent d'ailleurs des compétences tout-à-fait particulières et des savoir-faire différents. Les opérations en ligne sont caractérisées par une grande vitesse de traitement ainsi qu'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. En revanche, les systèmes de laboratoire sont conçus de manière à obtenir des informations très fines sur le produit analysé (par exemple caractérisation de coupes histologiques), mais ici la vitesse de traitement est tout-à-fait secondaire.

Les systèmes destinés à la ligne apparaissent dans deux types d'application : le tri et le guidage de robot. C'est actuellement le tri qui est le plus développé car c'est le plus facile. Les systèmes robotisés concernent le rangement de petits objets dans des boîtes ou au contraire à une échelle différente, la dépalettisation.

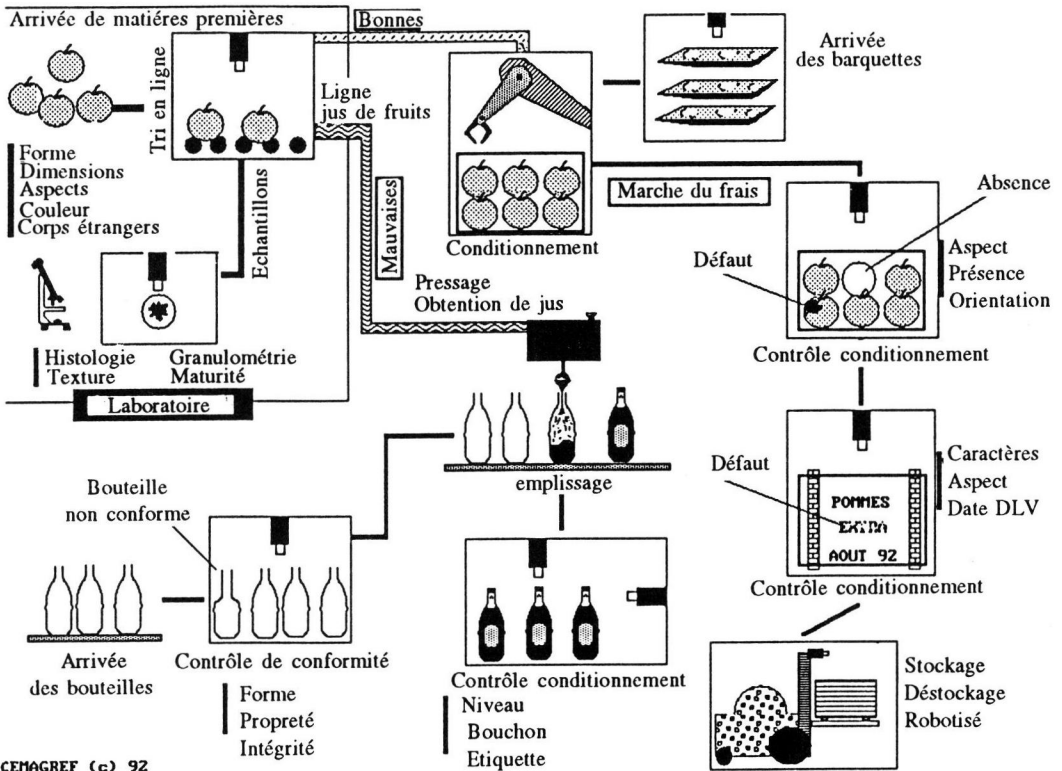
Note :

Dans ce chapitre, nous n'évoquerons que les systèmes commerciaux.

Les systèmes disponibles sur le marché

Nous avons tenté d'étudier tous les sites qui peuvent être équipés de vision (hormis la télésurveillance) dans une industrie agro-alimentaire. Ces sites correspondent aussi bien à du contrôle de conditionnement qu'à l'inspection des produits ou encore au guidage de robot par des systèmes de vision. La figure 10 représente une I.A.A schématique de transformation de pommes dans laquelle tous les postes pouvant classiquement bénéficier de vision dans les I.A.A. ont été mis en évidence.

On séparera dans ce chapitre les applications en deux grands groupes émanant de la remarque précédente au sujet des deux "spécialités" que regroupe la vision pour les I.A.A. : applications concernant le conditionnement (sur produits non-biologiques) c'est-à-dire proches des autres secteurs industriels et applications sur produits biologiques.



CEMAGREF (c) 92

Fig 10 : Schéma d'une I.A.A. de transformation de pommes avec mise en évidence des postes occupés par la vision.

A. Objets non biologiques

1. Contrôle de la conformité des emballages

Le contrôle de conformité des emballages, notamment de type flacons, bocaux ou bouteilles est l'étape n°1 de l'assurance qualité en conditionnement. Elle touche à la fois les contenants qui sont fabriqués dans l'usine agro-alimentaire, les contenants recyclés (retour bouteilles utilisateur) ou les intrants de la production.

a) Contrôle des bouteilles en verre

En ce qui concerne les bouteilles et emballages en verre, il faut absolument contrôler l'intégrité du contenant ainsi que sa propreté surtout si ceux-ci proviennent de recyclages. Les contrôles effectués à ce niveau sont divers :

- Contrôle de la forme de la bouteille suivi par un tri au niveau des "retours consignés utilisateur".

Si en France, la "consigne" a pratiquement disparu, ou est réservée à un certain marché comme les restaurants, il n'en est pas de même dans de nombreux pays étrangers. Les sociétés françaises de production de boissons qui exportent à l'étranger collectent les bouteilles consignées et les "rapatrient" en France afin de les réutiliser. Il faut donc contrôler que des bouteilles d'une autre marque ne se sont pas glissées dans les bouteilles consignées.

Le contrôle consiste à comparer la forme du goulot, la hauteur et le diamètre des bouteilles aux paramètres de conformité préalablement enregistrés. (Intégrateurs : ETNI pour CONTREX, groupe PERRIER, cadence : 45 000 bouteilles/heure. EDIXIA).

De la même manière, à l'aide de matériel DIGITAL VISION, la société d'intégrateurs italienne R.T.E. a mis au point la VETRO B qui effectue un contrôle dimensionnel de bouteilles en défilement continu. Cinq caméras servent à l'acquisition successive des images nécessaires aux différents contrôles de conformité. Après numérisation et traitement de ces images, une analyse de luminance est faite dans des zones adéquates. Cette analyse permet de contrôler par comparaison avec les valeurs de référence d'une bouteille-type :

- hauteur de la bouteille et verticalité,
- présence du col et sa largeur,
- diamètres intérieurs et extérieurs de la collerette.

En cas d'anomalie, la bouteille est écartée par éjection pneumatique.

Ce système contrôle tout type de bouteilles à condition qu'elles soient symétriques et à chaque type de bouteille correspond un fichier de référence. Le convoyage des bouteilles est continu à une vitesse de 3 bouteilles par seconde et la tolérance est de 1,5% par rapport à la norme.

- Détection des corps étrangers dans la bouteille avant remplissage.

Les corps étrangers peuvent être des liquides résiduels provenant du lavage (détectés par rayonnement infrarouge) mais aussi des morceaux de verre dûs à des bris sur la chaîne.

La difficulté consiste à caler la caméra pour pouvoir filmer, par l'ouverture du goulot, le fond de la bouteille. Ceci demande l'utilisation d'un système d'éclairage particulier ou l'utilisation d'une caméra spéciale fonctionnant un peu comme un appareil photographique.

Pour MARTINI, ETNI a développé une application qui consiste à détecter en temps réel, sur des bouteilles vertes, des corps étrangers de n'importe quelle couleur et dont la taille est supérieure à un diamètre de 5 mm (cadence : 18 000 bouteilles à l'heure).

- Contrôle de la conformité des parois.

Ce contrôle est particulièrement important lorsque la société d'embouteillage fabrique ses bouteilles elle-même. Les points à contrôler sont :

* l'épaisseur des parois : réalisé par exemple par SYSTRONIC avec une précision de 1% sur des parois de 1 mm. La fréquence de mesure est de 10 par seconde. Une application similaire a été développée pour des films transparents soufflés (type bouteille PVC). La précision est toujours de 1% pour des parois de 0,3 mm environ.

* l'intégrité du goulot (rejet des goulots ébréchés).

Globalement, ces applications sont décrites à la Fig 11.

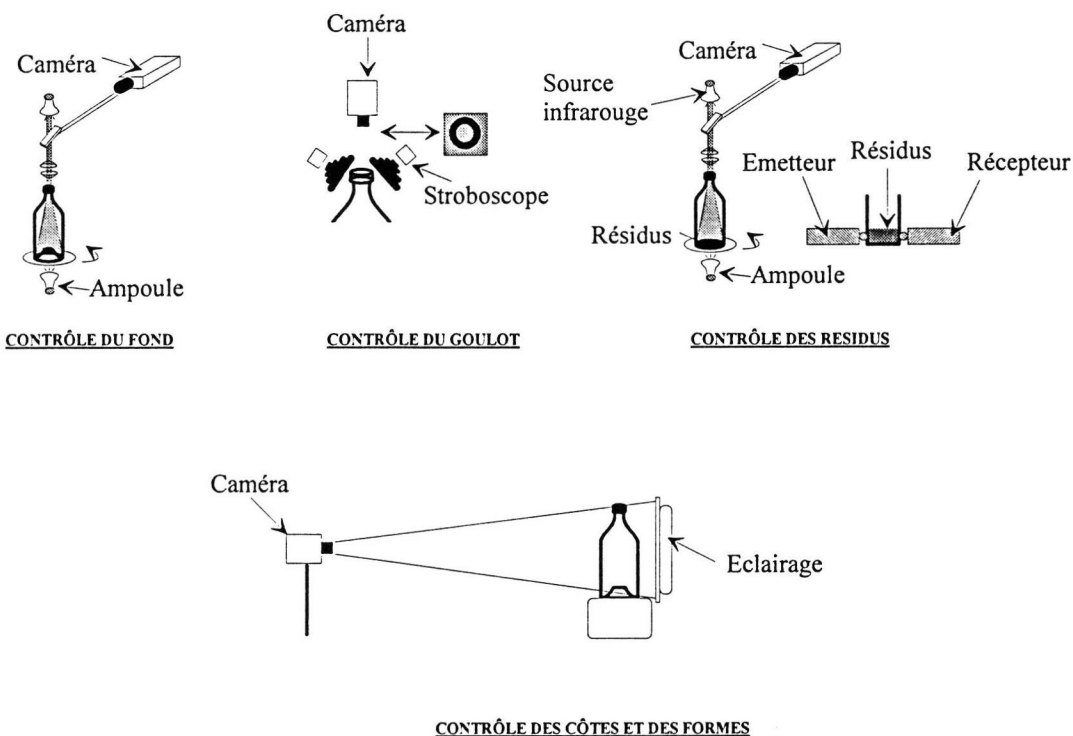


Fig 11 : Les différents contrôles de conformité effectués sur des bouteilles avant remplissage.

b) Contrôle des contenants plastiques

Dans les emballages plastiques, l'intégrité n'est pas aussi "cruciale" que pour le verre car la notion de danger affiliée à un verre ébréché n'existe plus. Cependant, il convient de contrôler la conformité de l'emballage, notamment s'il est constitué de pièces assemblées. Les divers types de contrôle que l'on peut trouver sont (liste non exhaustive) :

- Contrôle de la conformité des pièces moulées ou injectées.

Si ces pièces sont mal formées, elles peuvent entraîner des fuites ou un rejet de la part du consommateur qui ne "reconnait" pas l'emballage.

Par exemple, MESTROLE contrôle la conformité des poussoirs (embouts plastiques de type inhalateur ou gicleur), c'est-à-dire d'objets de tailles différentes, mais de même forme, même couleur, et même opacité. Le système permet de détecter les fissures, les manques de matière, et l'absence éventuelle de gicleur sur l'extrémité des embouts à l'aide d'un montage utilisant un éclairage par fibres optiques. Les fibres optiques injectent la lumière dans l'inhalateur et l'image est enregistrée (Fig 12).

Normalement, on doit voir apparaître un disque lumineux de la taille de l'orifice. Les fissures feront apparaître des lignes lumineuses, les manques de matière des tâches parasites et l'absence d'orifice se traduira par l'absence de disque lumineux.

La cadence est de 10 poussoirs/seconde et le système de vision comprend un VIM d'Allen Bradey et un système d'éclairage à fibres optiques.

SCHEMA DE PRINCIPE

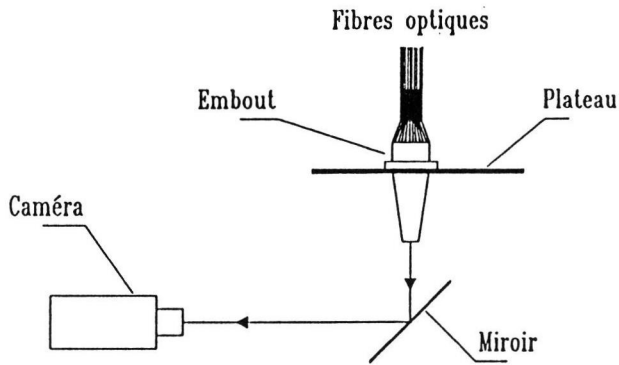


Fig 12 : Principe de la prise d'image lors du contrôle des inhalateurs ; l'éclairage est fait par un faisceau de fibres optiques. (*Documentation MESTROLE*).

- Contrôle des pièces assemblées.

Dans ce cas, on contrôle que toutes les pièces sont présentes et qu'elles sont bien positionnées.

Par exemple, à partir de composants OMRON, un intégrateur a développé un système de vision permettant de vérifier la présence de joints d'étanchéité à l'intérieur de bouchons (Fig 13).

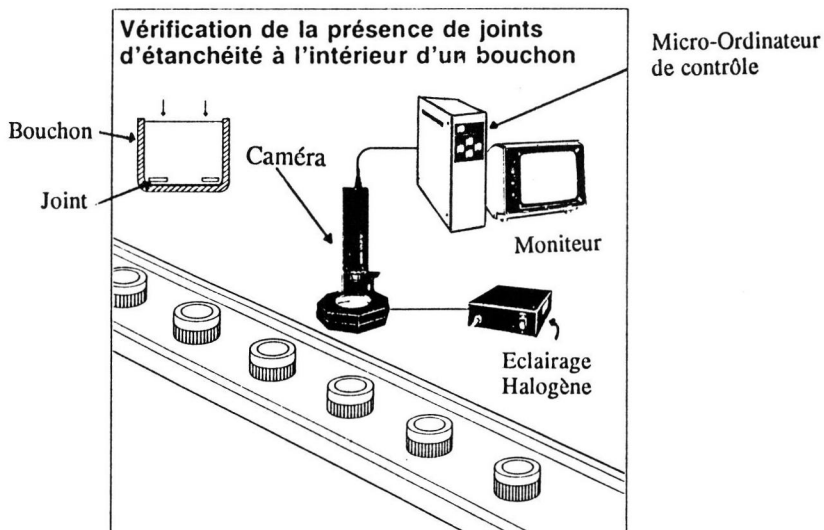


Fig 13 : Description d'un système de vision permettant de détecter les joints d'étanchéité à l'intérieur de bouchons. (*Documentation OMRON*).

- Contrôle du bon positionnement des pièces de conditionnement.

Le conditionnement automatique exige parfois que les emballages soient dans une certaine position afin de pouvoir les manipuler.

Allen-Bradley contrôle les empilements de barquettes avant remplissage pour l'industrie du fast food. Si ces barquettes sont mal empilées, elles peuvent être écrasées dans la machine de conditionnement ce qui cause l'arrêt de la chaîne.

c) Contrôle des fonds métalliques

Les emballages métalliques dédiés 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.

C'est pourquoi, à la demande des principaux fabricants européens de fonds et d'emballages métalliques, EDIXIA a conçu une machine de contrôle des fonds utilisant la vision assistée par ordinateur.

Ces fonds sont fabriqués sur des presses bi-voies à une cadence de 350 fonds/voie/mn.

Ce sont des pièces de forme complexe formées de composants divers (métal, joint, vernis) comme l'indique la Fig 14 :

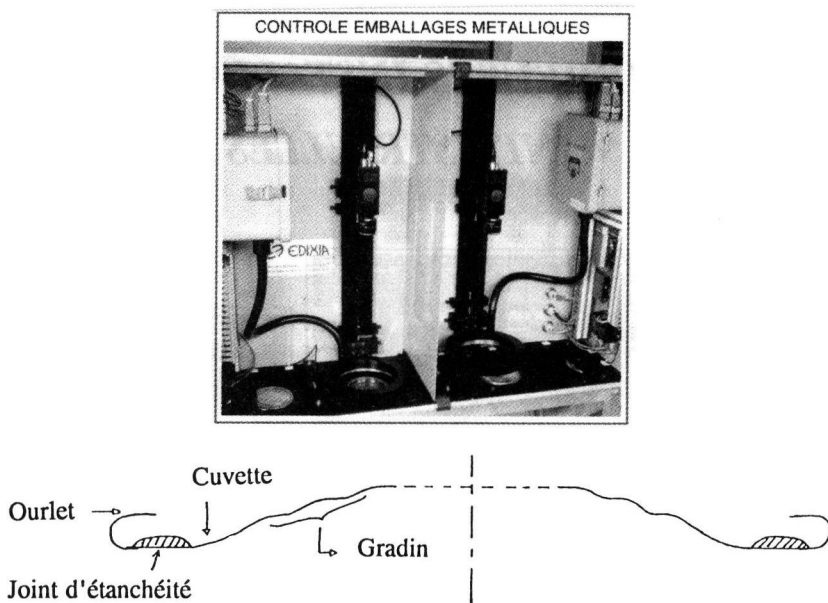


Fig 14 : Vue en coupe d'un fond métallique.

En sortie de presse, les fonds sont transférés à une vitesse de 1,5 m/s vers le poste de contrôle.

Là sont analysés les éléments suivants :

- la circularité (mesure du diamètre, recherche de choc, manque de métal),

- le joint déposé dans la cuvette (absence, rupture, manque de matière),
- l'état de surface de la zone centrale (défauts de vernis, rayures, salissures, renflements).

La résolution du système est de 0,2 mm. Le temps de traitement d'un fond est compris entre 100 et 120 millisecondes.

La machine est composée de deux sous ensembles :

L'armoire de contrôle : elle contient toute l'électronique et le pupitre opérateur ;

- deux systèmes de vision
- l'électrotechnique de protection
- l'ensemble des dispositifs d'interface

Le tunnel d'inspection : il protège les deux dispositifs de prises de vue ;

- deux caméras haute résolution (800 x 512)
- cellules détectant l'arrivée des fonds
- stroboscopes permettant la prise de vue à la vitesse de 1,5 m/s : durée de l'éclair 30 μ s
- couronnes spécifiques à fibres optiques contrôlant le flux lumineux, adaptés à la géométrie des pièces et au contrôle à effectuer.

Cet équipement installé en 1990 va progressivement équiper toutes les lignes de fabrication des fonds métalliques et favoriser ainsi la qualité des produits dans les circuits de distribution agro alimentaires.

2. Contrôle de la conformité du conditionnement pour liquides

Le contrôle de conditionnement pour produits liquides est un des champs les plus développés de la vision agro-alimentaire. Les raisons sont les suivantes :

- les cadences sont très élevées et il est donc difficile de faire contrôler par un opérateur ;
- le support "bouteille" est relativement facile à travailler car il est transparent alors que les objets (étiquettes, bouchons...) dont on doit contrôler la présence et la position sont opaques.
- les systèmes sont facilement reproductibles d'une application à une autre ce qui a favorisé leur expansion.

Les points contrôlés sont :

- le niveau de remplissage,
- la conformité de l'habillage,
- la présence de bouchons,
- la présence de codages.

Les cadences varient environ entre 5 000 et 40 000 bouteilles à l'heure en fonction du nombre de facteurs contrôlés et de la précision que l'on recherche.

Le contrôle du remplissage est important pour les raisons suivantes :

- * marketing : le client peut s'estimer floué si le niveau est trop bas,
- * législation : compatibilité avec la norme "verrier" pour se garantir envers les consommateurs lors de l'emploi du petit "e" sur l'étiquette ; il faut savoir qu'à ce jour le contrôle se fait par sondage et contrôle de poids,

- * économiques : perte financière si le niveau est trop haut,
- * techniques : bouchage de la bouteille difficile si le niveau est trop haut.

Le contrôle est généralement fait sans positionnement exact de la bouteille. Le logiciel détermine généralement une fenêtre autour de la zone où le niveau est supposé se trouver et traite l'information dans cette petite fenêtre.

Plus le produit mis en bouteille est coûteux, plus la précision demandée sera grande et donc la complexité du logiciel en sera accrue (cadences 10 000 bouteilles environ). Ainsi c'est pour les champagnes que l'on rencontre les logiciels les plus sophistiqués. On prend alors en compte les éléments qui peuvent modifier le niveau de liquide : l'effet de vague créé par le déplacement (ETNI pour VEUVE CLIQUOT PONSARDIN) ou la température qui amène une dilatation du liquide (ITMI pour MARNE ET CHAMPAGNE, MOET ET CHANDON, LANSON).

Le contrôle de niveau peut se faire avant ou après l'étiqueteuse en fonction de la position des étiquettes par rapport au niveau.

De très nombreuses sociétés proposent ce type de contrôle, généralement associé au contrôle d'habillage : ALLEN BRADLEY, ETNI, ITMI, SYSLOG, METHODES ET SERVICES, EDIXIA, ADEPT, MATSUSHITA AUTOMATION CONTROL, MUTEC...

Le contrôle de l'habillage est plus délicat et souvent plus long car les points traités sont multiples :

* Les étiquettes, contre-étiquettes et collerettes.

On contrôle non seulement si elles sont présentes mais aussi si les coins sont bien collés et si elles sont correctement positionnées. On compare l'image captée avec une norme pré-enregistrée.

Les variations proviennent du fait que le nombre, la forme et la précision demandée changent en fonction de l'application. Par exemple, des tolérances au niveau du positionnement allant de 3 à 15° de rotation par rapport à la norme ont été recensées.

Généralement, les caméras sont placées de manière à saisir simultanément l'image de différentes étiquettes à vérifier (Fig. 15).

Le système de vision est relié à un éjecteur qui élimine la bouteille défectueuse. Dans certains systèmes, si plusieurs erreurs se produisent successivement, la chaîne est arrêtée afin de déterminer la cause du dysfonctionnement (ETNI).

Le contrôle d'habillage peut éventuellement être effectué à la volée (METHODES ET SERVICES, ALLEN BRADLEY, ETNI...). Mais quelquefois, pour le contrôle de la verticalité des étiquettes, un bon positionnement de la bouteille est exigé (OMRON).

* Présence des capsules, bouchons, cachets, manchons de sécurité, muselage...

Ces applications sont développées parallèlement au contrôle des étiquettes en fonction du produit traité. Quelquefois, une caméra supplémentaire est utilisée. Elle est positionnée verticalement au-dessus des bouteilles à contrôler.

Une application située entre le contrôle des bouteilles et celui des conditionnements solides consiste à contrôler les flacons souples. Par rapport au contrôle de bouteille, on rajoute un contrôle de forme du flacon.

Par exemple, ALLEN BRADLEY a mis au point pour AMORA un système de contrôle des pots de moutarde souples à la cadence de 3 000 à 25 000 flacons/ heure : présence et positionnement d'étiquettes, contrôle de forme extérieure, niveau de remplissage, présence d'opercules, pollution du flacon, présence de bavures (Fig 16).

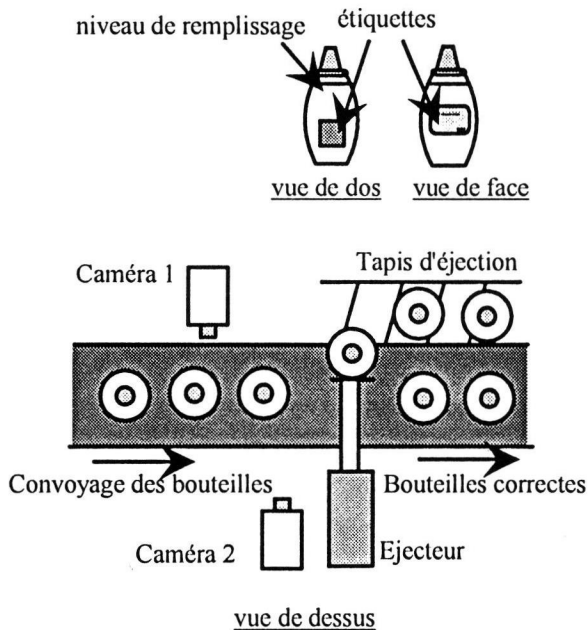


Fig 15 : Représentation d'un système de contrôle de l'habillage sur des bouteilles : a) les points à contrôler, b) le mécanisme de contrôle et d'éjection. (Documentation ALLEN-BRADLEY).

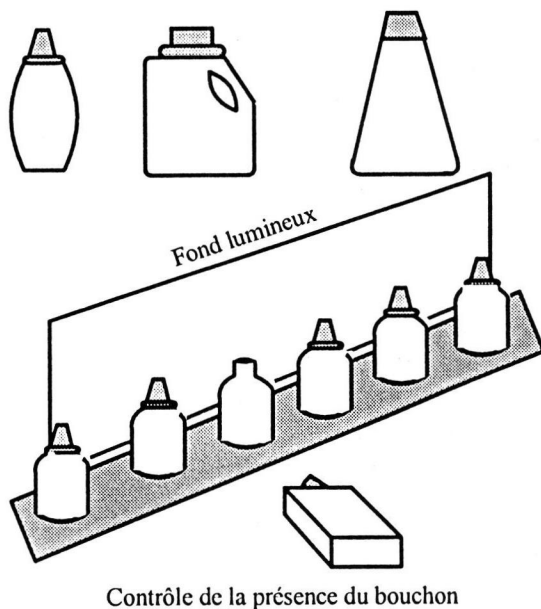


Fig 16 : Représentation du système de contrôle d'habillage de flacons souples. a) Types d'emballage à contrôler, b) Contrôles de forme et présence de bouchon. (Documentation ALLEN-BRADLEY).

3. Contrôle de la conformité du conditionnement des solides

En ce qui concerne les aliments solides, le contrôle de conditionnement peut être effectué à différents niveaux :

- avant la fermeture de l'emballage, il faut vérifier que le produit est bien présent et bien positionné de manière à ce qu'il ne gêne pas le scellage et qu'il ne soit pas considéré comme défectueux par les utilisateurs,
- après fermeture, c'est l'aspect global du paquet qui doit être considéré : bonne fermeture, présence et position des étiquettes, pas de déport d'emballage, présence des codes de lots et de la date limite de vente...

a) Avant fermeture : contrôle de la présence et de la position des produits.

Les cas les plus simples correspondent au remplissage d'alvéoles que l'on doit contrôler, en général en donnant une décision "présence/ absence" (ADEPT, COURBON, ALLEN BRADLEY...). C'est un cas très connu pour les produits pharmaceutiques qui se résout par un éclairage en "ombres chinoises" et qui consiste en un traitement très simple de type binaire, d'autant que l'emplacement théorique des produits est connu. Ces opérations très rapides autorisent des cadences élevées (> 5 plaquettes par seconde).

Quelquefois le système doit répondre à une question plus complexe et analyser en temps réel non seulement le remplissage des alvéoles mais aussi l'orientation des objets dans ces alvéoles ou la nature des objets (gélules de couleur différentes). Pour l'orientation, on utilise une reconnaissance de forme. C'est le cas, par exemple, des boîtes de chocolat (ADEPT). Pour l'identification des produits, c'est la forme ou la couleur qui peut jouer.

Lorsque les emballages ne sont pas translucides, la détection de présence et de positionnement se fait en réflectance. C'est le cas d'un système de contrôle de conditionnement des viandes mis au point par ALLEN-BRADLEY : les portions de viande doivent être correctement positionnées dans les barquettes sinon d'une part, le scellage étanche est compromis, d'autre part, les grossistes estiment que l'emballage est défectueux et ils ne manqueront pas de retourner le produit. Avec des inspecteurs, la vitesse de contrôle est de 120 paquets/minute, avec le système de vision, elle passe à 400-600 paquets/minute.

La présence des produits est plus difficile à détecter si ceux-ci sont ajoutés dans des conditionnements. Actuellement, avec l'essor des plats préparés, notamment surgelés, ce type de présentation se développe : un petit sachet de condiments, de sauce ou de croûtons est associé au plat principal (pâtes, pizzas...). Il est disposé à l'intérieur du conditionnement pour donner au plat une fois préparé, une allure plus "artisanale".

Le problème de la vision est alors double : la binarisation n'est plus aussi directe car le fond est complexifié par la présence du produit principal et la position, la forme et la couleur de l'élément ajoutée sont variables... L'utilisation d'une simple cellule photo-électrique est donc proscrite. Pour ce genre d'application (ex : sachet de sauce sur un "lit" de pâtes) un système à caméras est donc nécessaire (ALLEN BRADLEY).

Le système de vision se sophistique d'autant si on ne désire non plus seulement contrôler la présence et la position grossière, mais aussi des détails plus fouillés. Notons par exemple une application permettant de contrôler les sachets de thé avant conditionnement : présence et bonne orientation des sachets, bon enroulement de la ficelle autour du sachet, placement correct de l'étiquette sous la ficelle (ALLEN BRADLEY).

Si les containers sont opaques à la lumière et si le contrôle des produits ne peut être fait avant fermeture, il faut utiliser des systèmes de détection à rayons pénétrants. C'est une des applications (voir détection corps étrangers) des barrettes sensibles aux Rayons X de THOMPSON (niveau de remplissage).

La Fig 17 présente quelques problèmes rencontrés lors du contrôle des produits avant fermeture.

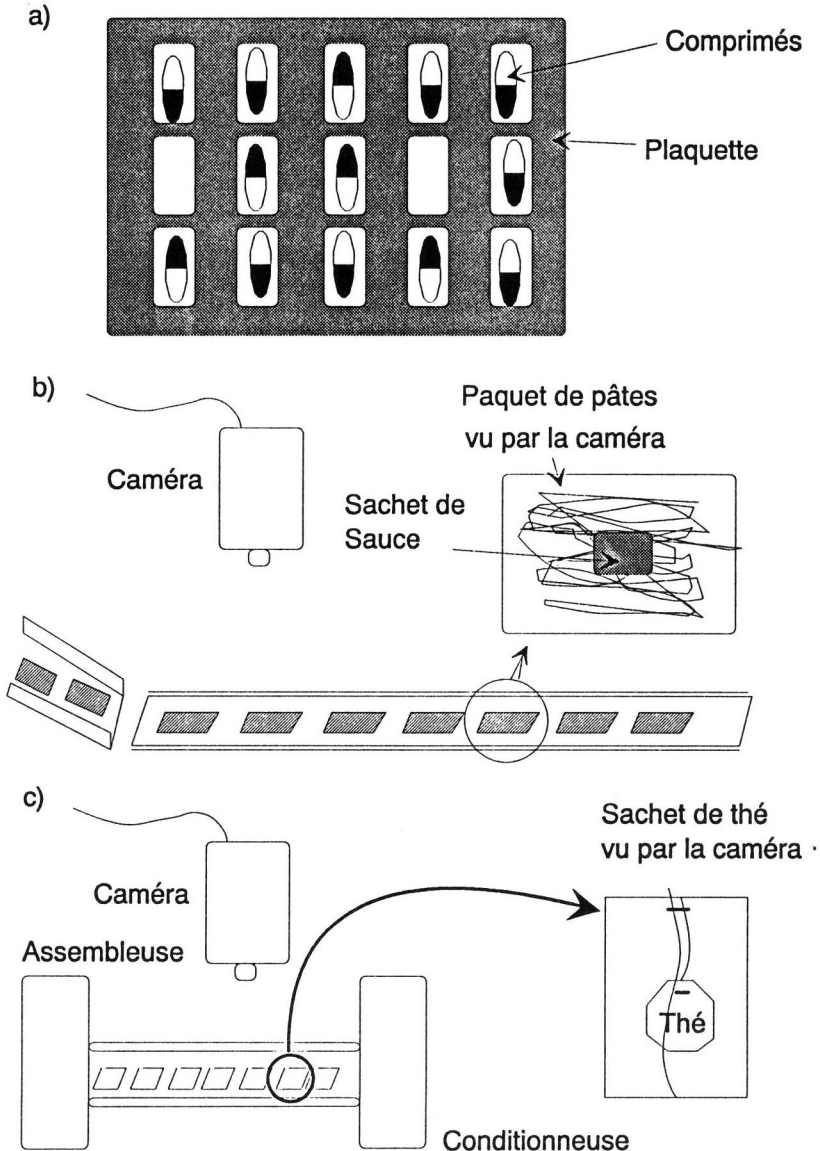


Fig 17 : Quelques problèmes rencontrés en contrôle de conditionnement avant fermeture. a) Contrôle de comprimés en blisters. (*Documentation ADEPT*). b) contrôle de la présence de sachets de sauces dans un paquet de pâtes, c) contrôle de la présentation de sachets de thé. (*Documentation Allen Bradley*).

b) Contrôle après fermeture

Après fermeture, les défauts qui peuvent survenir sont :

- déports d'emballage : décalage entre les deux parties superposées d'un emballage,
- non scellement,
- non conformité d'aspect,
- absence d'étiquette,
- défauts dimensionnels,
- absence de date limite de vente.

* Fermeture correcte.

La difficulté dans ce genre de contrôle consiste à voir tout le paquet. En général, le non scellement est mis en évidence par la recherche des dimensions de l'objet en défilement. Si ces dimensions sont supérieures aux dimensions vraies de l'objet, c'est qu'un des cotés de l'emballage a été mal replié et dépasse du paquet (ALLEN BRADLEY, SYSLOG, ADEPT...).. Par ce moyen, on arrive également à contrôler les défauts de cellophanage, malgré le fait que la cellophane soit transparente.

Pour illustrer le propos précédent on peut citer le cas de ce fabricant de pizzas, qui souhaitait passer d'une inspection humaine à une inspection automatique pour ses boîtes de pizzas. Si celles-ci étaient mal fermées et mal collées, le consommateur refusait le produit. L'emploi de cellules photo-électriques pour le contrôle était inadapté, car la position de la boîte variait dans le temps. La machine mise au point par ALLEN-BRADLEY effectue aujourd'hui cette inspection à la vitesse de deux boîtes par seconde. Les cadences varient en fonction de la taille des objets, du nombre de contrôles effectués et de leur complexité.

Donnons quelques exemples de cadences :

- vérification de dates ou de code de lots : 300 pièces /min,
- inspection dimensionnelle et test de fermeture : 100 à 600 pièces/min.

Le contrôle de conformité des emballages solides permet d'éliminer avant conditionnement les pièces défectueuses (CENTRALP AUTOMATISME, contrôle de sacs pour l'alimentation du bétail).

* Impressions alphanumériques ou graphiques.

L'autre aspect important du contrôle après emballage concerne les impressions, de date limite de vente, de codage du numéro de lot ou encore de graphismes divers. On peut citer comme sociétés réalisant ce genre d'application, celles qui effectuent le contrôle de fermeture, et par exemple MESTROLE, TECHNICOME...

Les logiciels utilisés peuvent aller du logiciel de lecture de système code à barre aux logiciels de reconnaissance de caractères (COURBON, ADEPT, ALLEN BRADLEY, ELSAG FRANCE, COMPUTER RECOGNITION SYSTEM...).

Dans certains cas (ELSAG FRANCE), de nouvelles fontes peuvent être intégrées par apprentissage chez l'utilisateur.

L'apprentissage de nouvelles pièces à reconnaître et le tri à cadence élevée peuvent aussi être faits par réseaux de neurones (COURBON : reconnaissance graphisme et couleurs).

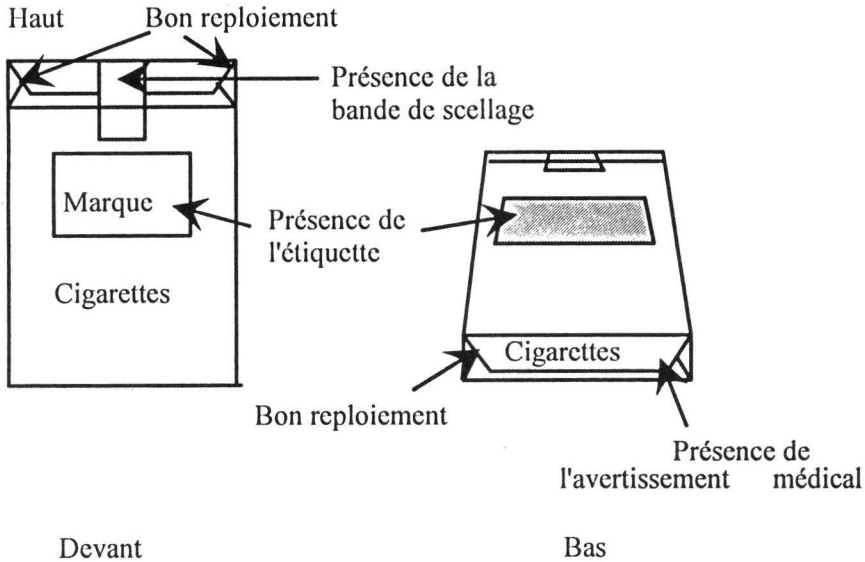


Fig 18 : Différents points à contrôler Après fermeture (ex : paquet de cigarettes).
(Documentation ADEPT).

4. Robot de conditionnement

Ces robots de conditionnement sont utilisés pour des produits généralement petits et qui craignent un contact humain, car ils sont soit malléables, soit fondants ou tout simplement fragiles. On peut citer le chocolat qui représente le cas le plus répandu.

Les applications sont les suivantes :

- 1 - Prise à la volée (en mouvement et en vrac) des produits à conditionner (un ou plusieurs produits simultanément) comme les chocolats de différentes formes dans des boîtes d'assortiment.
- 2 - Orientation de chaque produit pendant le déplacement du robot (éventuellement contrôle visuel en temps masqué)
- 3 - Dépose des produits selon une disposition donnée ; l'organe de réception (boîte, etc...) peut lui-même se déplacer.

Citons plus spécialement le conditionnement de chocolats dans des boîtes d'assortiment (figure 19) : localisation du chocolat de forme adéquate sur un tapis comprenant des chocolats de formes diverses, orientation de chaque chocolat et mise en place dans la boîte. Plusieurs sociétés se partagent la palme (ARIA SWITZERLAND, ALLEN BRADLEY, ADEPT).

En général la vitesse est supérieure ou égale à un chocolat par seconde. Les opérations de vision consistent en : contrôle de présence et du type de chocolat, guidage de la saisie, orientation, dépose dans des barquettes elles-mêmes en mouvement.

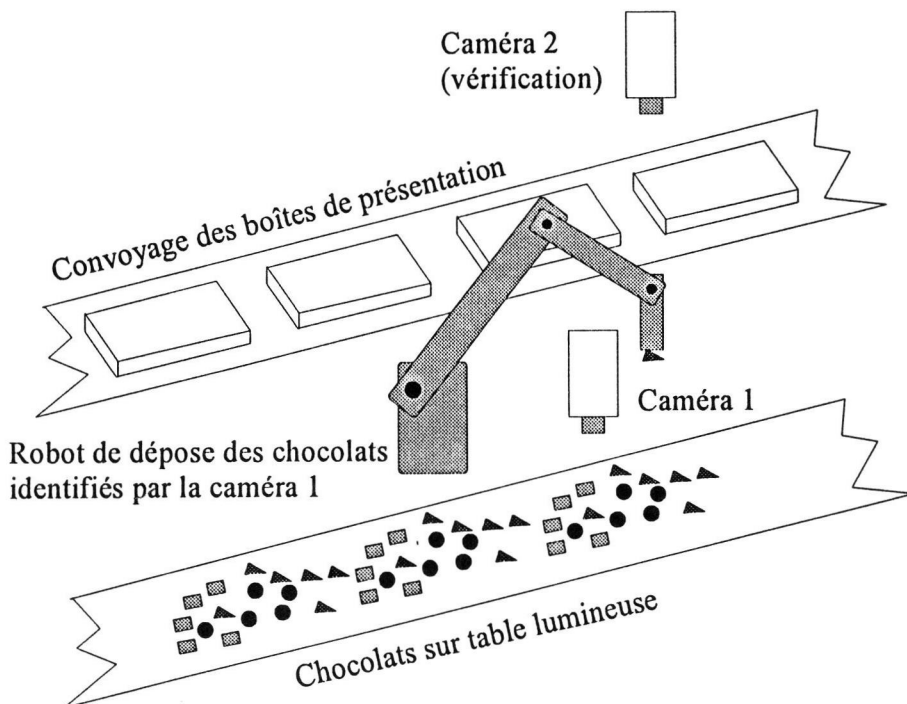


Fig 19 : Mise en boîte robotisée des chocolats. (Documentation Allen-Bradley).

Les robots utilisés pour ces applications sont des petits robots 3 ou 4 axes, voués à la manipulation de petits objets (charge utile autour de 100 g).

D'autres applications concernent le positionnement de paquets ou de produits non biologiques, à l'aide de petits robots équivalents.

Chez Lancôme, la vision permet aussi de guider un robot qui réalise l'assemblage des coffrets de cosmétiques à la cadence de 60 coffrets par heure (7 contrôles en 1 seconde en interactif avec un robot).

Une application développée par MISIS dans le domaine manufacturier peut facilement être adaptée à l'agro-alimentaire, notamment dans le domaine du conditionnement. Il s'agit de réorienter des balles de tennis pour présenter une face précise à l'impression de la marque. Ce système comporte la prise et l'analyse de l'image de balle, et à partir des résultats de l'analyse, la commande d'un robot de repositionnement.

5. Dépalettisation/Déstockage

La dépalettisation et le déstockage exigent généralement la manipulation d'objets lourds et placés dans des sites relativement inaccessibles. La manipulation humaine est donc très peu aisée et n'est pas absolument requise, car la reconnaissance des paquets est faite soit par des codes barres, soit éventuellement par leur localisation (sauf si celle-ci a été modifiée). Une application robotique est donc tout-à-fait adaptée.

Pour dépalettiser ou alimenter sélectivement des lignes de conditionnement, il est indispensable de disposer un robot capable de prélever un colis, quelle que soit sa position. Il est possible de mémoriser des positions théoriques de colis palettisés, mais celles-ci sont loin d'être exactes surtout si les palettes ont été manipulées. C'est pourquoi le robot doit être équipé d'un système de repérage "in situ". Le système VISIPAL conçu par AMPAL est composé d'une caméra et d'un logiciel qui détermine la position des colis palettisés.

Le fonctionnement est le suivant :

Une palette est présentée au poste de dépalettisation sur un convoyeur. La référence du produit est communiquée au microordinateur (lecteur code barres) ainsi que la hauteur de la palette. Le fichier produit du microordinateur permet de connaître les dimensions des produits de la palette. A partir de ceux-ci, VISIPAL détermine la position et le nombre de produits.

La Biscuiterie Nantaise a construit des ateliers de palettisation automatique pour les usines de Vertou (44) et Compiègne (60) (Figure 20).

ATELIER DE PALETTISATION

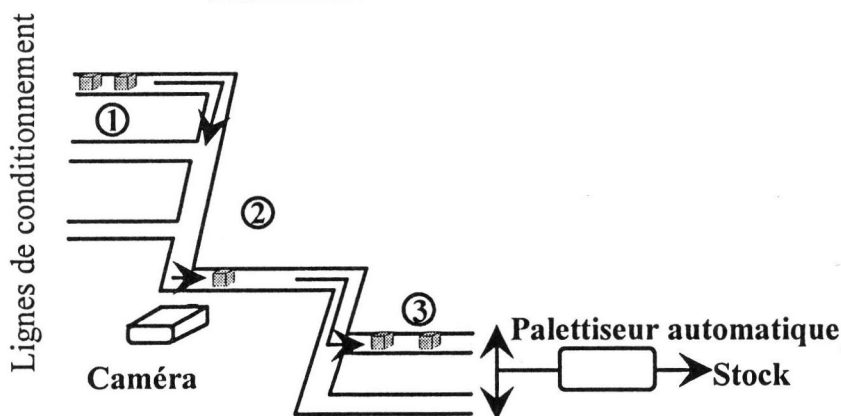


Fig 20 : Atelier de palettisation automatique. (Documentation EDIXIA).

A la sortie des lignes de conditionnement (1), les cartons de biscuits sont regroupés sur un même convoyeur (2) à destination du magasin.

A l'entrée de l'atelier de palettisation, les cartons sont identifiés et séparés en files homogènes.

Le critère d'identification est un code numérique de 6 chiffres imprimés sur le carton. La Biscuiterie Nantaise a fait appel à la société EDIXIA qui a développé et installé un système de lecture de caractères à base de vision.

Une cellule détecte le passage des cartons sur la ligne. Deux caméras observent de façon permanente les zones où doivent se situer le code. Les emplacements de ces zones varient avec la hauteur des cartons.

Après localisation, lecture et certification du code, le système de vision l'envoie à l'automate qui se charge d'aiguiller le carton vers une des 7 voies prédéfinies par l'utilisateur (3). Les cartons y sont stockés, en attente du palettiseur.

La machine de vision traite ainsi 2 400 cartons/heure défilant à 1 m/s, le temps d'identification vision étant de 0,3 s/carton. Cette machine mémorise jusqu'à 300 codes produits.

Installée depuis Novembre 1990, et fonctionnant en 2 x 8, cette application est assurée d'un rapide amortissement. La Biscuiterie Nantaise réalise une économie sur le nombre de palettiseurs et acquiert un outil de gestion de production plus souple (utilisation indifférente des lignes de conditionnement au type de biscuit fabriqué).

D'autres sociétés proposent des services équivalents : ITMI s'est associé au projet national PACRET soutenu par le Ministère de l'Industrie et de la Recherche qui vise à mettre au point un prototype de déstockage robotisé de la production. ITMI participe pour la partie vision et robot. ADEPT a aussi mis au point des robots de manipulation de gros objets, par exemple pour le chargement de feuilles de carton dans une machine de découpe.

B. Objets biologiques

Les objets biologiques sont caractérisés par leur grande variabilité. Les objectifs du système d'analyse d'images, ainsi que les moyens d'enregistrer et de traiter l'image, seront tout-à-fait différents, selon que l'on se place dans une optique "en ligne" ou dans une optique "laboratoire".

1. En laboratoire

Les applications de laboratoire concernent généralement des échelles microscopiques, car le mode de prise d'images n'est pas une contrainte (par rapport à la ligne où il doit être obligatoirement rapide et de préférence sans contact). Une grande partie des applications concernera donc le comptage, il s'agira alors de remplacer l'opération visuelle sous microscope. On citera aussi la granulométrie, c'est à dire la comptabilisation des surfaces, diamètres et autres paramètres de forme qui étaient très difficiles d'obtenir auparavant.

Très souvent, pour ces applications de laboratoire, les ingénieurs spécialistes du produit se procurent des "boîtes à outils" de traitements d'images, et par une association de commandes disponibles dans le système ils développent leur propre application. Mais, pour certaines applications de type "génériques", c'est le fournisseur de systèmes d'analyses d'images lui-même qui propose des logiciels spécifiques (Ex : Comptage et analyse de la taille sur des objets bien contrastés et bien séparés).

a) Histologie

Ces mesures sont traditionnellement faites par les histologistes avec des méthodes "manuelles". Les mesures les plus fréquentes sont celles qui sont liées à la dimension de l'objet, mais on notera l'apparition d'applications plus complexes comme l'identification des objets. Les "sorties" sont plus ou moins élaborées suivant les logiciels et on peut par exemple avoir des reconstitutions 3D (Historag Micro de BIOCUM).

* Cellules végétales

- mesures d'alvéoles : mesure des caractéristiques d'alvéoles microscopiques à la surface des plantes (périmètres, surfaces, diagonales, verticales et horizontales, profondeur, volume).
- CONTROL IMAGE,

- mesures sur des fibres végétales : diamètres de fibres, orientation, concentricité du coeur par rapport à l'écorce (CONTROL IMAGE, MICROCONTROLE),
- comptage et mesures géométriques sur des prélèvements de graines (CONTROL IMAGE).

* Cellules animales (logiciels BIOCOM, spécifiques...)

- mesure des surfaces tissulaires (mesure des adipocytes de porc).

Les images proviennent soit de photographies Noir et Blanc prises sous microscope, soit d'une caméra CCD fixée à un microscope. Après ajustement du niveau de seuillage, le logiciel mesure automatiquement les cellules par des opérations morphologiques. On réalise ensuite un codage de Frieman, une évaluation de la surface et on calcule un indice de forme (application développée par l'INRA MAGNERAUD).

b) Caractérisation macroscopique objective de la qualité des produits :

La granulométrie des produits alimentaires de type "poudre" est fréquemment reliée à leur qualité. D'autre part, dans les produits structurés de type mousses, émulsion ou produits extrudés, la caractérisation microscopique donne des indications sur la stabilité ou la conformité du produit.

* Texture des mousses, des produits extrudés,

+ Emulsions (sont mesurées la taille et la distribution de tailles des globules gras) :

La caractérisation de la stabilité de l'émulsion vis-à-vis de la démixtion des phases ou de la coalescence des globules gras permet le contrôle de l'efficacité des stabilisants d'émulsion employés en formulation ou l'identification des meilleurs réglages de l'émulsionneur (PROCELL).

+ Mousses :

- détermination de la structure des mousses : "sèche" ou "humide" en fonction de la distribution de la taille des bulles (PROCELL),
- cartographie des bulles, collerette de mousse des boissons champagnisées (PROCELL) ; mesure de la hauteur de la mousse (provenant d'une émulsion) dans une éprouvette (pour l'INRA par la société AUTOMATISME et CONTROLE).

+ Structure des produits extrudés :

Les produits extrudés sont caractérisés par la forme, l'orientation et l'importance de leur porosité ; ces caractéristiques sont liées à la formulation, au réglage de l'extrudeur et à l'analyse sensorielle (PROCELL, CONTROLE INDUSTRIEL...).

* Granulométrie des poudres : couscous, farine...

La granulométrie suppose une étude de la distribution de la taille des particules (PROCELL, MICROCONTROLE, MISIS IMAGE, ALCATEL...) et éventuellement la caractérisation de la forme et de l'état de surface des particules (PROCELL).

* Autres : contrôle qualité :

Macroscopiquement, les systèmes de vision peuvent être utilisés pour faire des contrôles qualité, au niveau des produits comme à celui des emballages.

+ Produits

Par exemple, un système couleur est utilisé par MISIS IMAGE pour quantifier le pelliculage des graines : les graines sont enrobées dans des produits colorés. A partir d'une image couleur on calcule un coefficient de couverture du pelliculage.

Les systèmes BIOCOM ont été adaptés au contrôle de qualité d'aliments

calcul du % de matière grasse - Société UNISABI

Dénombrement de téguments dans les échantillons de moutarde - Société AMORA.

En laboratoire, le CONTROLE INDUSTRIEL effectue aussi un contrôle dimensionnel de barquettes pour produits surgelés.

c) Comptage et caractérisation de cellules.

+ Epifluorescence (BIOCOM, IRTN Toulouse, ALCATEL)

Après préparation par la méthode DEFT (Direct Epifluorescence Filter Technique), les bactéries émettent une fluorescence orange qui les rend détectables par microscopie épifluorescente. L'image du champ observé sous le microscope est captée par une caméra CCD, numérisée et visualisée en pseudo-couleurs. Une fois cette opération réalisée, le système peut opérer de manière autonome : il détermine le nombre de champs à observer, commande les déplacements de la platine et effectue les mises au point des images à analyser.

Il effectue ensuite les différents calculs et statistiques permettant de déterminer le taux de bactéries présentes dans le prélèvement. Il peut également classer celles-ci selon leur taille, leur degré de luminescence...

Dans certains cas, il faut procéder à une concentration préalable sur membrane microporeuse. Ces systèmes peuvent être très sensibles (seuil à environ 104 germes/ml dans le lait cru, 102 germes/ml dans certaines boissons), rapides (24 résultats obtenus en moins de 30 minutes), précis (COBRA MULTI de BIOCOM).

Les applications de ces systèmes sont :

- flore totale du lait cru
- comptage des cellules somatiques du lait cru
- discrimination levures-bactéries dans les boissons
- flore totale de l'eau
- contrôle de la flore totale sur des aliments préparés.
- contrôle de croissance des levures (GESPAC).

+ Morphologie des microorganismes

La caractérisation de la morphologie des microorganismes peut être un problème complexe. Si les différences entre les populations à analyser peuvent être tranchées par des paramètres faciles à calculer, tels que la circularité ou l'élongation, le problème peut être rapidement résolu.

En revanche, lorsque les formes à séparer sont plus proches, il faut faire appel à des traitements plus puissants (voir chapitre sur la connaissance des formes et intelligence artificielle) ou utiliser des méthodes non paramétriques (réseaux de neurones) pour imiter le raisonnement humain.

Les différentes applications recensées sont les suivantes :

- identification de populations mixtes (PROCELL),
- caractérisation de la morphologie de cellules : étude de la morphologie de champignons filamenteux, et corrélation avec les données cinétiques, pour la mise au point d'un capteur pour l'optimisation des procédés (PROCELL). Reconnaissance de cellules cancéreuses (MISIS IMAGE pour le CHU de St Etienne), reconnaissance de formes sur micro-organismes par apprentissage lors de la méthode DEFT décrite plus haut (l'opérateur peut indiquer au système les différentes formes bactériennes qu'il désire comptabiliser afin que celui-ci en fasse l'apprentissage ; logiciel mis au point par IRTN), reconnaissance automatique de neurones cérébraux en culture (Université Paul Sabatier, TOULOUSE).

Cette dernière application est un exemple de l'utilisation de réseaux de neuromimétiques. Les images de neurones cérébraux, provenant d'un microscope (grossissement x 100) associé à une caméra matricielle, sont numérisées et traitées de manière à se présenter comme un fichier de formes représentant des contours cellulaires. La surface et le centre de gravité de ces contours sont calculés. La reconnaissance des corps cellulaires est faite alors par association de ces données avec les emplacements des extrémités de formes considérées. Des tests de dimensionnement permettent d'éliminer les formes correspondant aux cellules mortes.

- évaluation de la viabilité cellulaire : les mesures concernent un comptage, l'évaluation de facteurs de formes ; la viabilité est évaluée par différence de coloration entre les cellules mortes et vivantes ; l'état physiologique (dépendant des conditions de l'environnement) (PROCELL).

- étude des noyaux et mesure de la quantité d'A.D.N. (ALCATEL) : un logiciel spécifique a été développé pour calculer sur chaque noyau les paramètres relatifs à sa morphologie, sa densitométrie et sa texture.

Très souvent, ces systèmes ne sont pas automatisés à 100 %, mais agissent comme des assistances qui dégrossissent une partie du problème, laissant au spécialiste le soin de s'attaquer aux détails les plus complexes.

En conclusion,

Il faut rappeler que les applications de laboratoire sont caractérisées par :

- la possibilité de faire des mesures destructives donc d'accentuer les contrastes par des colorations, préparations diverses...
- des temps de traitement non limitatifs, ce qui permet de faire des analyses très complexes,
- une finesse de réponse que l'on n'attend pas dans les systèmes en ligne.

2. Sur les lignes I.A.A.

a) Secteurs des fruits et légumes :

Les problèmes posés par les fruits et légumes sont les suivants :

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

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

- les fruits et légumes entiers et de taille importante (supérieure à 5 cm 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. Le tableau suivant indique brièvement le niveau des performances actuelles.

	Fruits Homogènes	Fruits Hétérogènes
Dimension	Maîtrisé	Maîtrisée
Couleur	Maîtrisé	Non Maîtrisée
Défauts	Maîtrisé sur Fruits Convexes	Non Maîtrisé

On appellera Fruits Homogènes les fruits dont la couleur est homogène :

Oranges, Golden...et Fruits convexes, les fruits qui ne présentent pas de cavité, à l'inverse des pommes ou des pêches, agrumes par exemple.

En effet, dans les cas de fruit présentant une cavité, celle-ci peut être considérée comme un défaut lors de l'analyse d'image.

- Pour les fruits et légumes transformés (coupés ou pelés) ou de petite taille, la priorité est donnée au tri de corps étrangers et aux défauts d'aspect ; ces deux "défauts" se traduisant généralement par les mêmes critères. En effet, ces fruits de petite taille sont généralement récoltés mécaniquement, ce qui apporte de grandes quantités de produits indésirables, allant des rongeurs aux cailloux, en passant par des produits végétaux divers. Quant aux fruits présentant des défauts d'aspects, ils doivent impérativement être retirés ; car, s'il est possible de proposer au consommateur un fruit frais marqué, il est tout-à-fait exclu de lui vendre un produit agro-alimentaire préparé présentant des défauts (le consommateur ne jouit plus de la transparence du choix).

D'autre part, 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. Les premiers ne demandent pas une présentation précise, car, du fait de leur petite taille, ils sont entièrement visualisés, alors que les seconds exigent une présentation particulière devant la caméra afin que l'image couvre toute la surface.

* Tri des "gros fruits et légumes" (CIME AGRO, LOCTRONIC GRADERS, COMPUTER RECOGNITION SYSTEM, AUTOLINE, CABIN PLANT INTERNATIONAL, MAF, SYSTRONIC, ELBICON...)

Le paramètre le plus couramment étudié est la taille (Tous les fabricants le proposent). C'est ensuite la mesure de la couleur qui est le plus souvent proposé (AUTOLINE, C.R.S., ELBICON...), avec une bonne efficacité si les fruits présentent une coloration homogène, puis la détection des défauts d'aspects (LOCTRONIC, C.R.S., ELBICON...) et finalement la caractérisation de la forme (tri des carottes fourchues ou des asperges par CIME AGRO) qui sont offerts.

Lorsqu'il s'agit de mesurer les caractéristiques géométriques des produits, l'acquisition d'une seule face du produit peut être suffisante. Dans certains cas particuliers, le système de convoyage du produit servira alors, de système de présentation (AUTOLINE, MAF, CABIN PLANT INTERNATIONAL...).

En revanche, si le système doit étudier un paramètre relatif à l'état de la surface (couleur ou défauts d'aspect), il est obligatoire de présenter toute la surface du fruit devant la caméra.

Plusieurs possibilités s'offrent alors à l'intégrateur :

- Etudier un seul côté de fruit ou du légume, en espérant que statistiquement les défauts seront présents sur la face visible (CIME AGRO pour les asperges...). Cette technique présente l'avantage d'être simple et fiable mécaniquement.

- Mettre le fruit en rotation et prendre plusieurs images successives du même fruit (AUTOLINE, CIME AGRO, LOCTRONIC GRADERS...);

Cette mise en rotation est facile à réaliser à l'aide de diabolos ou de rouleaux tournant en sens inverse de l'avancement (Figure 21). Ce système présente toutefois l'inconvénient d'augmenter le temps de traitement, car il faut traiter plusieurs images par fruits.

Positions successives de la même pomme au cours de l'avancement

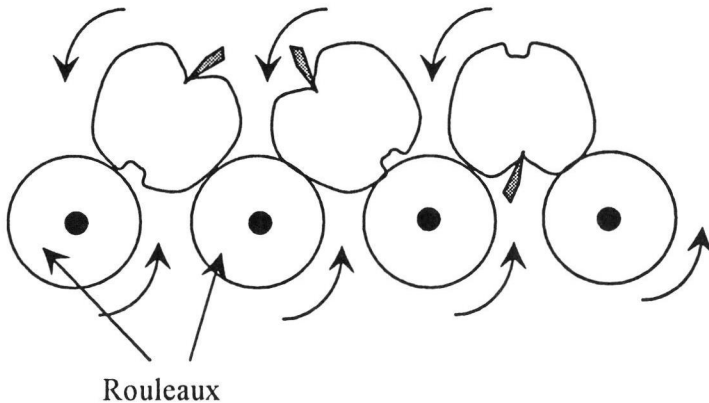


Fig 21 : Arrangement des fruits sur des rouleaux pour la visualisation complète de la surface.

- Développer la surface du fruit à l'aide de miroirs judicieusement placés de part et d'autre de la ligne (COMPUTER RECOGNITION SYSTEM).

On peut déterminer le calibre et analyser l'aspect de surface. Dans ce cas, les défauts d'aspect concernent les taches visibles sur la surface et les zones verdâtres. Si les oranges n'ont pas la taille requise ou si elles présentent trop de taches, elles sont rejetées. (Fig. 22).

Tout d'abord l'algorithme sépare l'orange du fond et les points du contour sont évalués. Ils sont utilisés pour calculer la taille et la sphéricité du fruit. Puis les défauts sont détectés ; un simple seuillage ne suffit pas et il faut utiliser un seuillage adaptatif ou dynamique. Ceci permet, par exemple, d'identifier le pédoncule du fruit en tant que tel, et non pas comme un défaut.

Ce système est capable de trier 8 oranges par seconde. Avec une récolte normale, le système permet un taux de réussite de 90 %.

- Faire une prise de vue sur le fruit en vol (SYSTRONIC, KEY TECHNOLOGY, ELBICON...).

L'objet tombe ou est projeté entre deux (voire 4) caméras qui prennent une image sur toutes les faces. Si on utilise 4 caméras, celles-ci pourront être disposées aux 4 coins d'un cube comme indiqué sur la figure 23 (système NOVASCAN de ELBICON). Cette disposition permet d'inspecter les 6 coins d'un cube.

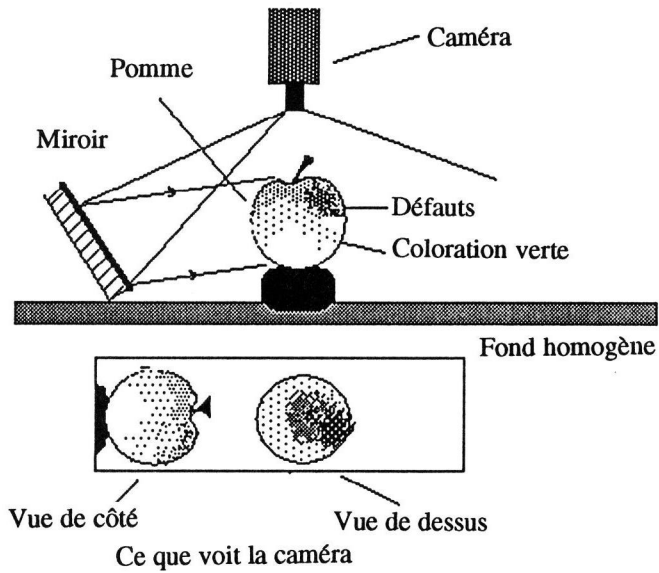


Fig 22 : Système de prise de vue avec miroir latéral.

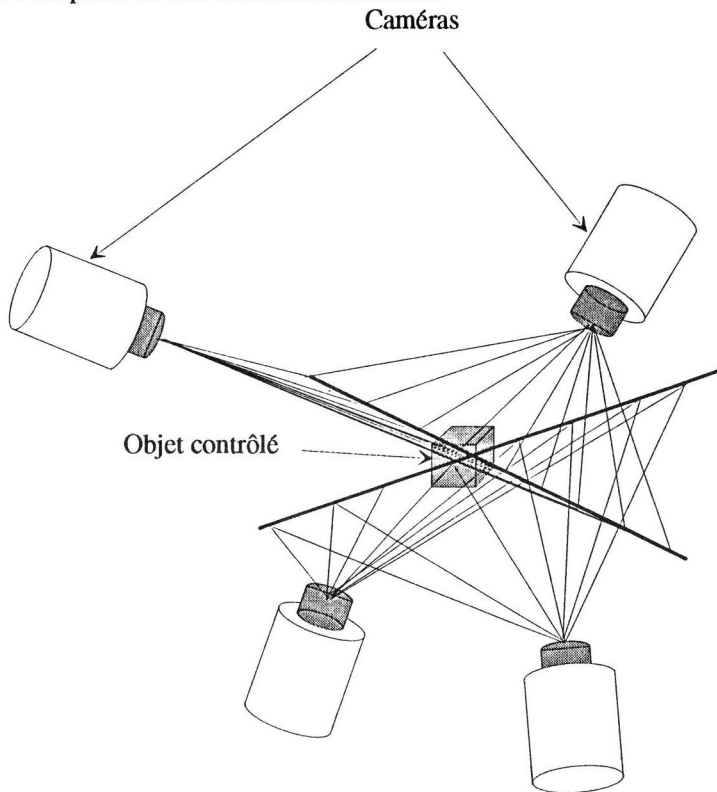


Fig 23 : Disposition optimale des caméras pour visualiser toute la surface de l'objet.
D'après documentation ELBICON.

L'intérêt de ce système est double : d'une part, tout l'objet est analysé, d'autre part, la cadence est très élevée. Par exemple, des pommes de terre tombant en chute libre (SYSTRONIC) sont triées en trois catégories à l'aide d'une caméra linéaire : ronde, ovale et allongée. Le nombre de pièces par catégorie est comptabilisé. La cadence de cette application est au maximum de 100 pièces par seconde.

Grâce aux cadences élevées, ces systèmes sont utilisés dans des domaines où les quantités à trier sont importantes. C'est le cas des fruits destinés à être incorporés à des sirops et dont on veut contrôler s'il ne reste pas de noyau (ELBICON). Ainsi les demi-pêches dénoyautées sont passées "en vrac" (non-individualisées dans des coupelles) en vol entre des caméras, ce qui évite un positionnement préalable des pêches (par exemple face interne tournée vers le haut).

Dans tous les projets de tri à la dimension, il est nécessaire d'avoir une bonne précision (au mm près). Les industriels utilisent donc des caméras ayant un grand nombre de points, généralement des caméras linéaires, car ce sont les seules qui dépassent 1024 points en ligne.

Comme dans la plupart des cas, on analyse les objets en défilement, à vitesse constante, les systèmes reconstituent l'intégralité du produit au cours du mouvement. C'est le choix de CABIN PLANT INTERNATIONAL (caméra linéaire monochrome de 2048 pixels avec 64 niveaux de gris).

Lorsqu'on recherche à mettre en évidence des critères de couleur (ou des défauts d'aspect) on essaye de faire ressortir de manière optique ce que l'on souhaite analyser. Par exemple : On peut employer une caméra monochrome avec un filtre pour mettre en évidence les différences de couleur entre les zones saines et les zones présentant des défauts. On peut obtenir parfois un résultat intéressant par une simple amélioration des contrastes entre les zones à analyser.

Par exemple, si on cherche des taches vertes sur un fruit orange, on peut mettre un filtre rouge : les taches vertes apparaîtront noires alors que le reste du fruit aura une couleur plus claire.

Si d'autre part, on veut mieux visualiser le contraste entre un fruit rouge et un fruit rose clair (exemple : tomates), on intercalera un filtre vert. Le fruit rouge comportant un pic dans la longueur d'onde du rouge, on le distinguera du fruit rose qui lui donnera une luminosité élevée dans les régions spectrales autres que le rouge.

L'association caméra-filtre est possible, si les défauts sont très contrastés. Cette solution est, par exemple, utilisée par LOCTRONIC GRADERS pour le tri de pommes de terre pelées par vapeur, déshydratées, de frites ou de chips.

En revanche, elle ne suffit plus pour le tri de produits faiblement contrastés. Dans ce cas, il faut utiliser une caméra couleur. C'est actuellement la tendance qui se développe le plus.

AUTOLINE, LOCTRONIC GRADERS ont choisi cette option pour le tri de fruits ou de pommes de terre en fonction de la couleur (dans les pommes de terre, la présence de chlorophylle est en effet hautement déconseillée). Cependant, les exemples connus actuellement ne concernent que des fruits de couleur homogène.

Dans certains cas, comme nous l'avons indiqué plus haut, c'est l'association de deux caméras captant chacune un critère spécifique qui est bénéfique.

Citons par exemple l'AUTOSELECTOR E de Loctronic Graders, appareillage capable de trier les pommes de terre pelées en ligne en fonction de leur taille et de la couleur (incluant couleur globale et défauts).

Ce système est équipé d'une caméra couleur et d'une caméra linéaire pour la mesure de la longueur. Il peut identifier 5 combinaisons de couleurs et classer les pommes de terre en 3 classes de dimension, puis calculer leur poids et reconnaître les pommes de terre ayant une mauvaise forme. Ce genre de système peut fonctionner à des vitesses allant jusqu'à 30 objets par seconde.

Notons qu'avec l'introduction de pommes de terre pelées par abrasion, les nuances de couleur entre la chair et un défaut sont si proches que les caméras monochromes ne suffisent plus ; il faut absolument employer une caméra couleur.

Le système analyse l'image de la pomme de terre alors qu'elle passe sous la caméra. Elle est mise en rotation par des rouleaux, l'image étant prise sous un angle de 360°. En même temps, on enregistre le nombre et la taille des tâches sur la surface.

Le défaut est identifié par le système (zone verte, présence de peau, blessures...) et l'opérateur fixe les seuils de tolérance qui entraîneront une action ou une autre. Par exemple :

- Zone Verte :

Vert foncé => rejeté

Vert clair => re-pelé

- Présence de peau :

Plus de 4 cm² => re-pelé

- Défauts :

Plus de 5 ou 1 gros => rejeté

Jusqu'à 5 petits => re-pelé

Les pommes de terre peuvent donc être triées en fonction d'une combinaison de ces critères.

Par exemple :

sur une chaîne de tri les pommes de terre vertes sont aiguillées vers une ligne spéciale, les pommes de terre allongées (très pratiques pour la confection de frites) sont aiguillées vers une autre, tandis que les restantes sont envoyées vers une autre ligne de tri.

Le système de vision mesure la longueur de la pomme de terre, les largeurs maximales et minimales, et calcule le poids ainsi que l'adéquation à une forme standard. Il détecte aussi les pommes de terre partiellement pelées. Un tel système peut fonctionner à des débits de 10T/h. Une trentaine d'entreprises en Europe et aux USA sont déjà équipées de systèmes similaires. Ces machines extrêmement sensibles du fait de la présence d'une caméra couleur, sont aussi utilisées pour l'industrie de l'oignon frais et pour celle des pommes de terre pelées par abrasion.

* Tri des petits fruits et légumes

Comme nous l'avons vu en introduction, les critères étudiés sur des flux de petits fruits et légumes (ou de fruits et légumes coupés) sont les corps étrangers et les défauts d'aspect (généralement discriminés à l'aide de leur couleur). On trouve aussi des tris aux dimensions et à la forme.

Les étapes suivies lors de l'analyse d'images peuvent être :

- séparation du produit par rapport au fond,
- mesure de la taille du produit,
- détection des défauts.

En général, les produits sont étalés sur des tapis défilant à grande vitesse (2,5 m/s). L'étalement est produit grâce au passage des produits d'un tapis de vitesse moindre (1,2 à

2 m/s) vers un tapis à vitesse élevée. Certaines astuces permettent d'améliorer cet étalement (KEY TECHNOLOGY) : profilage du bout du tapis, mise en place d'un rouleau "stabilisateur mécanique" qui évite une trop grande vibration des tapis (Figure 24), alimentation à gouttière par vibration pour les produits de forme allongée (KEY TECHNOLOGY, FEMIA...). La couleur du tapis est généralement choisie de manière à obtenir le meilleur contraste avec le produit (C.R.S.) et ce tapis peut être de type égoutteur si les légumes sont humides. Il faut absolument garder une vitesse constante afin que le temps entre la vision et l'éjection soit constant, et que l'on puisse éjecter des produits en fonction des données enregistrées en amont.

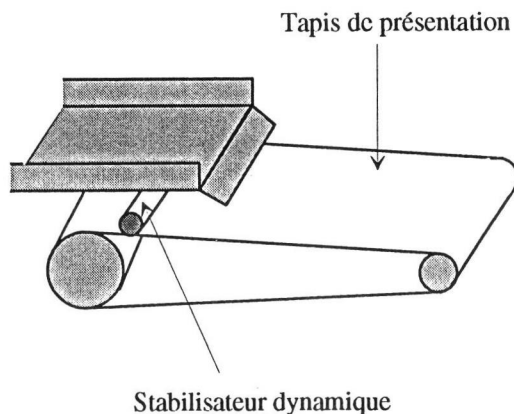


Fig 24 : Stabilisateur dynamique permettant de réduire les vibrations du tapis. (Documentation Key Technology).

Les produits peuvent aussi être présentés en vol (ELBICON, SORTEX, KEY TECHNOLOGY...) ou tombant dans une goulotte pour des produits de type graines (SORTEX).

Les caméras sont en général monochromes en association avec des filtres (SORTEX, KEY TECHNOLOGY, C.R.S., FEMIA pour le tri de haricots verts, SIMCO RAMIC pour le tri de chips...). Cependant certains utilisent aussi pour des applications plus complexes des caméras couleur (SIMCO RAMIC 480...) ou la combinaison de deux caméras monochromes équipées l'une d'un filtre rouge, l'autre d'un filtre vert (KEY TECHNOLOGY). La visualisation des produits sur toutes leurs faces est réalisée, comme précédemment, pour les gros fruits grâce à l'emploi de 4 caméras (QUADRA VIEW de SIMCO RAMIC, NOVASCAN 4 000 de ELBICON, COLORSORT de KEY TECHNOLOGY). Afin de "geler" le mouvement des produits et de ne pas enregistrer un flou, l'utilisation de caméras à shutter est quelquefois indispensable (C.R.S...). Ces caméras ont un temps d'exposition de 1/1 000 s.

La résolution obtenue à l'aide de ces systèmes est faible, car les objets à trier sont, eux aussi, de taille réduite. On obtient généralement des résolutions de l'ordre de 1 à 2 mm.

Les applications de tri en fonction de la couleur concernent :

- les corps étrangers, graines parasites, insectes, rongeurs, cailloux, oiseaux, dans des productions telles que carottes, maïs, pois, pommes de terre, haricots verts... (en somme, les légumes ramassés mécaniquement) aussi bien frais que surgelés,

- les défauts d'aspect : taches sur des produits frais, fraises, petits fruits divers, restes de peau sur des pommes de terre pelées, chips, frites...

Le dimensionnement est moins fréquent, car le calibrage de ces produits est souvent fait par des méthodes mécaniques.

Notons par exemple la société C.R.S. qui contrôle la longueur et/ou l'épaisseur de produits agro-alimentaires. La société FEMIA industrie, qui a développé en coopération avec le CRITT AGROTEC d'AGEN (initiateur du projet) conjointement avec la société PRODITEC à CESTAS (33), un système intéressant de tri des haricots verts en fonction de critères de formes, en fonction de gabarits préalablement appris (Projet ANVAR).

Le système est composé d'un ensemble mécanique qui assure l'avancement, l'orientation et l'individualisation des produits, d'un système de vision basé sur une caméra linéaire et d'un dispositif de traitement d'images à architecture parallèle (TRANSPUTER).

Le tri s'effectue suivant des critères de longueur, largeur et forme des extrémités à la cadence de 200 objets/seconde.

L'éjection des objets défectueux est effectuée de diverses manières. Elle est mécanique lorsque les produits à éjecter sont de taille ou de poids important (exemple : éjection des cailloux, rongeurs... à l'entrée des chaînes de tri des haricots verts). Elle est effectuée par jet d'air dans le reste des cas, cette éjection permettant des cadences plus élevées. Il se peut aussi que l'éjection soit remplacée par un réajustement du produit défectueux. C'est ce que propose KEY TECHNOLOGY pour les frites. Récemment, les systèmes de vision de KEY TECHNOLOGY ont été couplés avec des couteaux mécaniques pour en faire un système d'élimination automatique des parties abîmées. La caméra enregistre des informations concernant l'intensité et la position du défaut. Ces informations permettent d'actionner les couteaux situés en aval ; 99 % des défauts sont ainsi éliminés.

A l'aide de tels systèmes, les débits peuvent être très élevés, allant de 1 tonne à 10 tonnes par heure en fonction de l'application et de la machine utilisée.

* Viande et autres produits animaux :

Le secteur de la viande devrait être occupé par des machines de découpe automatique au même titre que celui du poisson (voir plus bas). Cependant, le problème est ici plus complexe, vu l'aspect tridimensionnel des carcasses et la présence des os. En effet, la découpe de la carcasse par un professionnel n'utilise pas seulement le sens visuel mais aussi le toucher, notamment pour le suivi des os. Ainsi, les systèmes en sont généralement encore au stade de la recherche (à l'INRA et au CEMAGREF notamment) et on détient très peu d'informations sur les systèmes existants.

La seule société ayant présenté l'utilisation de la vision pour le guidage de la découpe de viande est TECHMATION. CABIN PLANT INTERNATIONAL, société danoise commercialisée par COMEXAL indique aussi dans sa documentation l'utilisation de la vision pour le contrôle qualité et la découpe automatisée de la viande.

Il faudra cependant s'intéresser aux applications plus nombreuses qui ont été mises en place dans le domaine de la découpe du poisson (voir produits de la mer).

ADEPT a mis au point un système d'inspection des saucisses : les dimensions (longueur et largeur) et les défauts de surface (abrasions, coupures) sont évalués à la vitesse de 600 pièces par minute (Figure 25).

La société ECRIN VISION a réalisé un système de comptage des oeufs en ligne par vision.

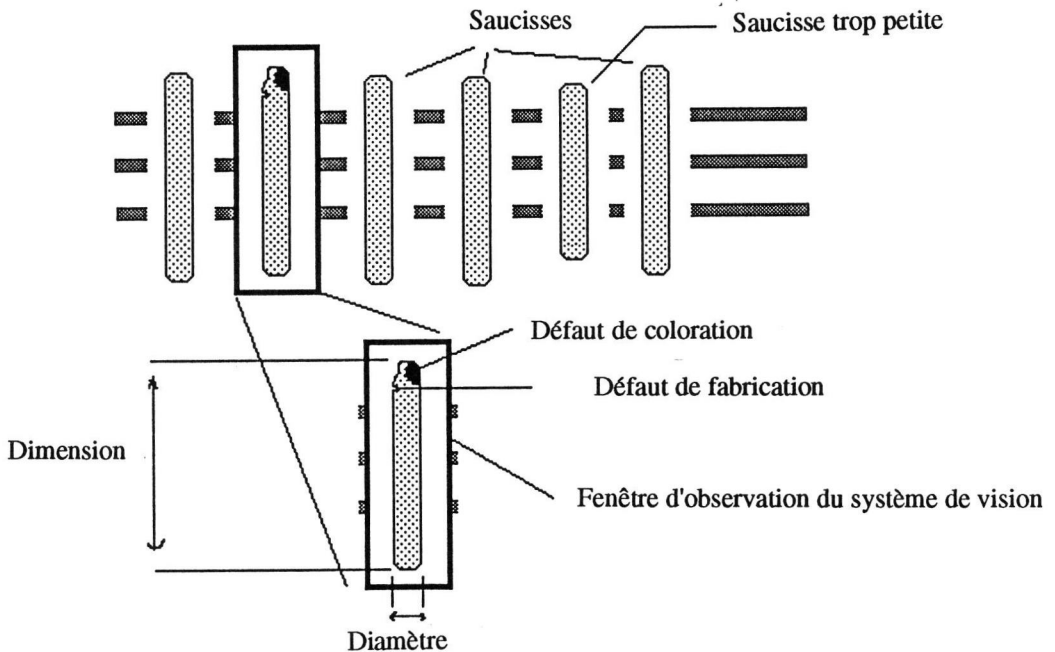


Fig 25 : Inspection des saucisses. (d'après une documentation ADEPT)

b) Secteur des produits de la mer

Le secteur "poissons" regroupe d'intéressantes applications en robotique de découpe. En effet, le produit "poisson" est relativement facile à travailler car la 3ème dimension (épaisseur) est réduite et il ne contient pas d'os. Les robots seront donc destinés à l'élimination des arêtes et au tranchage. Ces systèmes supposent la reconnaissance des formes ainsi que la détection des corps étrangers (par niveaux de gris).

Le tri des huîtres est effectué à l'aide d'un système de vision par la société ECRIN AUTOMATISMES.

LUMETECH Ltd, société issue du groupe danois CARLSBERG, fabrique un système automatique de découpe de poisson et de retrait d'arêtes à partir d'analyse d'image. COMEXAL est leur représentant exclusif en France.

Ce système permet d'effectuer en 1,5 à 2 secondes l'ensemble des opérations qui demandent habituellement 10 à 20 secondes lorsqu'elles sont réalisées par un opérateur entraîné, capable de traiter 3 à 6 filets par minute. La capacité de traitement du robot atteint 30 à 45 filets à la minute suivant la complexité de la découpe.

L'appareil comprend un système de vision dans lequel le filet de poisson est éclairé par un faisceau ultraviolet, et un robot de découpe par jet d'eau sous pression à 2 000 bars (Figure 26). Ce système permet de retirer les arêtes et les nageoires qui sont difficiles à voir par un œil humain.

Le logiciel est constitué de deux programmes standards, l'un pour retirer les arêtes et les nageoires, l'autre pour les opérations de découpe.

Ce robot doit être installé en aval d'une machine de filetage qui retire l'arête centrale et partage le poisson en deux filets.

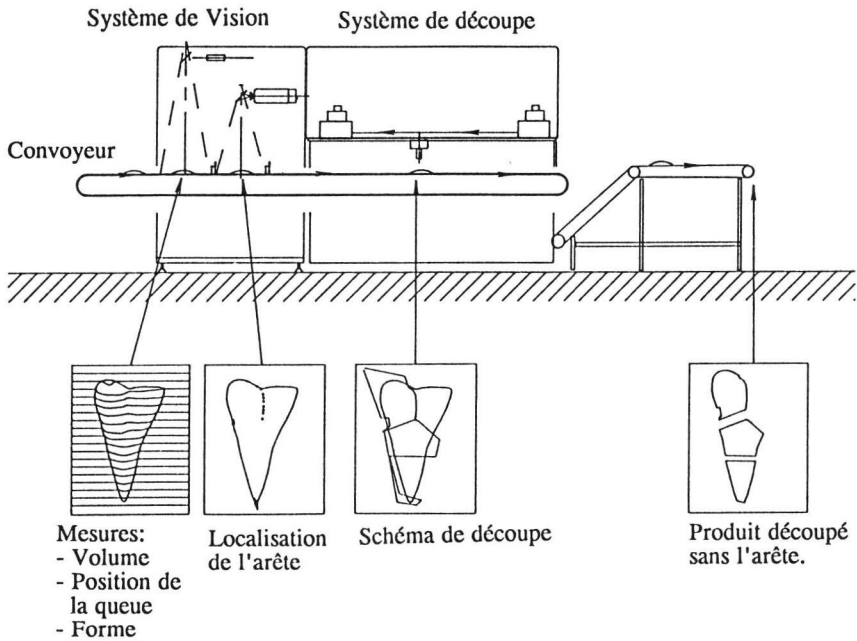


Fig 26 : Principe de la vision et du découpage des filets de poisson. (*Documentation LUMETECH*).

Le système de vision détermine ensuite si le filet amené correspond à la partie droite ou gauche. En même temps, le filet est pesé et la taille des portions est calculée. Ensuite, les filets passent sous un faisceau ultraviolet qui détecte les arêtes et les nageoires éventuelles. S'il y a trop d'arêtes pour que le parage soit possible, le filet est automatiquement rejeté. Des systèmes de vision ont été développés par BIOCROM pour une étude de pilotage d'un robot de tranchage (application : 4 tranches de saumon par seconde) - Société CERIZY. Le système de vision de CABIN PLANT INTERNATIONAL est utilisé pour le contrôle de volume et d'aspect du poisson.

d) Secteur de la boulangerie et de la biscuiterie

Le contrôle des produits de biscuiterie ou de pâtisserie comporte généralement les critères suivants :

- Le dimensionnement :

Il faut vérifier que les biscuits ne soient pas cassés avant emballage mais aussi que leur forme n'ait pas changé pendant la cuisson -ce qui pourrait éventuellement arriver si la farine utilisée n'avait pas la bonne composition (COURBON : contrôle des biscuits avant et après cuisson, EDIXIA, élimination de gaufrettes cassées doubles ou avec des manques de matière à la cadence de 30 gaufrettes / min/ ligne, ITMI, contrôle dimensionnel des biscuits après cuisson aux Biscuiteries Nantaises).

Pour les produits de boulangerie, on contrôle les 3 dimensions (C.R.S.) et, en ce qui concerne les matériaux extrudés, c'est le volume qui est important (C.R.S.).

Notons que ce sont encore généralement les dimensions suivant le plan du biscuit qui sont évaluées ; l'épaisseur est évaluée moins fréquemment.

- La couleur :

Provenant de réactions de Maillard, elle permet de caractériser le degré de cuisson du biscuit. On opérera alors, soit un retrait des biscuits de couleur non conforme, soit un réglage des fours, si la totalité de la production est non conforme (COMPUTER RECOGNITION SYSTEM : inspection de la croûte des produits de boulangerie, CABIN PLANT INTERNATIONAL).

- l'aspect de la surface (autre que la couleur) :

On appelle aspect de la surface (autre que la couleur) tout ce qui concerne les tâches, manque de matière (trous dans les biscottes), motifs de décoration (pépites de chocolat, cerises...) que l'on peut rencontrer sur les produits de boulangerie.

Citons deux exemples.

ITMI réalise pour la société italienne Barilla et en relation avec ALLEN-BRADLEY un système de contrôle qualité des biscottes. Le four de cuisson produit 50 biscottes par seconde et sur 38 files parallèles. Ce système de vision permettra d'une part de détecter les biscottes présentant des trous mais aussi de guider la prise de biscottes en sortie de four. Le guidage des manipulateurs (10 à terme) est optimisé par la société italienne SYSDATA, qui a par ailleurs, rejoint le groupe Cap Gemini Sogeti au début de l'année 1990.

A l'aide d'une caméra linéaire, SYSLOG contrôle les cookies (biscuits avec des morceaux de chocolat). Il vérifie la forme du contour de l'objet et calcule la surface totale de chocolat. Le système communique avec un mécanisme d'éjection (mauvaise forme). Un calcul statistique est effectué et les résultats sont communiqués à un PC, en ce qui concerne la gestion du chocolat. La cadence est au maximum de 100 pièces par seconde.

e) Produits continus, par exemple les Poudres :

Dans le domaine des poudres, c'est essentiellement la détection des défauts d'aspect ou des corps étrangers qui importe. Les systèmes consistent donc, en une étude des niveaux de gris.

La société EMR a mis au point un système, le Caliscope, qui permet de contrôler en ligne l'homogénéité du sucre ou de tout autre poudre.

f) Secteur de la confiserie

Lors de la fabrication des bonbons au chocolat, ceux-ci glissent de la machine à mouler vers un tapis de convoyage. A ce niveau, ils sont encore chauds et peuvent se coller. Le système de vision (ALLEN-BRADLEY, CABIN PLANT INTERNATIONAL) tend à contrôler que les bonbons ne sont pas collés.

Ces systèmes peuvent aussi réaliser un contrôle qualitatif sur les chocolats et les bonbons.

Autres techniques de l'invisible : Rayons X, Ultra Violet...

En choisissant des radiations qui dépassent le spectre du visible, on élargit les performances de la vision à des domaines invisibles pour l'oeil humain. Les radiations les plus utilisées sont les rayons X et les rayons ultraviolets.

THOMSON développe des applications ayant trait à l'analyse d'images obtenues par transmission rayons X. Ces rayons permettent de détecter des corps étrangers dans un milieu si la densité aux RX de ce corps est différente de celle du produit à analyser. Les corps étrangers qui sont détectés sont les suivants :

- morceaux de verre dans les milieux homogènes par exemple dans les yaourts, aliments pour bébé, etc.,
- cailloux dans des myrtilles congelées ou dans des lentilles,
- corps métalliques dans des containers fermés, même si la paroi de ceux-ci est aussi métallique,
- fragments d'os dans de la viande,
- arêtes de poissons dans des préparations à base de poissons (surgelés par exemple),
- détection de noyaux dans des compositions homogènes.

L'objet à contrôler se déplace d'un mouvement linéaire devant un faisceau de RX collimatés par une fente étroite. Placé de l'autre côté de l'objet, la barrette formée de 1024 détecteurs enregistre, ligne par ligne, le rayonnement X transmis par l'objet au fur et à mesure que celui-ci défile. L'image formée peut ensuite être traitée par un programme "classique" de traitement d'images.

ICAP propose à partir de matériel THOMPSON des études de faisabilité concernant le contrôle non destructif, notamment par rayons X : détection des morceaux de verre dans des produits homogènes (yaourts, purées...), détection d'os de poulet ou d'arêtes de poisson...

Notons qu'aux Etats Unis, plus précisément en Californie, l'intérieur des citrons est contrôlé par rayons X (installations chez Sunkist Growers). En effet, le gel entraîne des phénomènes de déshydratation qui se traduisent par des dessèchements internes et un durcissement des cloisons, ce qui déplaît fortement au consommateur. L'usage des rayons X permet de mettre en évidence ces dessèchements.

Les citrons sont orientés et passent suivant leur axe longitudinal entre émetteur et détecteur X. Le point crucial de cette opération est l'orientation qui exige un mécanisme 5 fois plus encombrant et aussi coûteux que la détection seule.

* Etudes de faisabilité

Un certain nombre de sociétés n'ont pas développé de réelles applications en ligne, elles ont souvent fait des études de faisabilité.

C'est généralement le cas de sociétés de développement de logiciels standards de traitement d'images. C'est le cas de la société NOESIS qui par exemple a développé des applications de détection de dépôt graisseux dans des boîtes de conserves, de détection et mesure de la quantité de graisse dans un saucisson, de comptage et mesure de grains de riz ou de haricots, ou d'étude morphologique de cerneaux de noix.

Ce cas n'est pas isolé et il faut savoir que la plupart des sociétés travaillant dans le monde de la vision industrielle offrent toutes un service d'études de faisabilité.

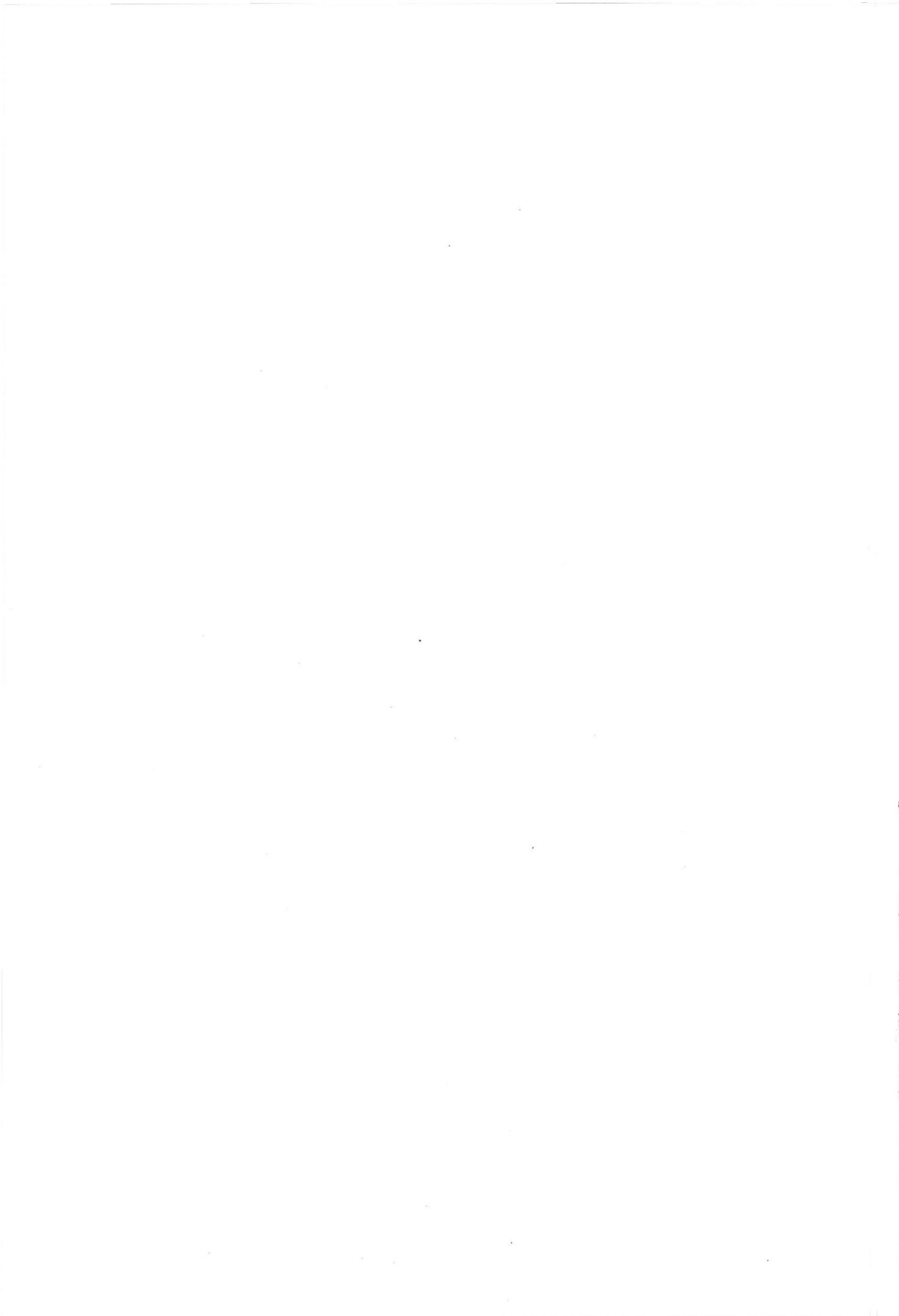
CONCLUSION

La liste non exhaustive des applications agro-alimentaires de la vision traduit bien les forces et faiblesses de cette technologie pour ce secteur.

Nul doute que les applications les mieux maîtrisées découlent d'autres secteurs puisqu'elles concernent pour la plupart des produits non biologiques, tels que le conditionnement. Ce secteur est actuellement arrivé à maturité, notamment au niveau du tri des produits que l'on pourrait qualifier "d'industriels", c'est-à-dire ayant des formes et des tailles standard, comme les chocolats. En revanche au niveau de la robotisation du conditionnement des produits agricoles bruts ou quasiment bruts tels que fruits et légumes, viande coupée... les applications en sont encore au niveau de la recherche.

Le secteur laboratoire a bénéficié des recherches faites en médecine, notamment pour l'exploration des coupes histologiques. Il devrait connaître un développement non négligeable grâce à la diminution des coûts de la vision. On peut espérer qu'à terme, il deviendra un outil d'aide dans la caractérisation des coupes, permettant de dégrossir le travail de l'histologiste. En ce qui concerne les autres applications de laboratoire, notamment la granulométrie, les services de contrôle de la qualité des I.A.A sont de plus en plus conscients de l'efficacité que pourrait leur procurer un système de vision. La pénétration de ces services par les systèmes de vision s'effectue généralement en deux étapes : dans un premier temps, l'industriel s'adresse à une société de service pour mettre au point un logiciel répondant à son application. Si cette technique offre de bons résultats et si l'investissement est justifié, l'industriel se dote d'un système de vision propre et applique le logiciel développé précédemment.

Le secteur vision en ligne sur produits biologiques est, de loin, le moins avancé car le plus difficile. C'est dans le secteur des fruits et légumes, notamment pour les petits fruits et légumes que les recherches sont allées le plus loin, plus particulièrement pour la détection des corps étrangers. La difficulté dans ce secteur provient de ce que les produits sont très hétérogènes et présentent éventuellement des formes concaves qui gênent la mesure. De gros progrès sont attendus dans ce secteur aussi bien dans le tri que dans la robotisation. Les facteurs de décision sont avant tout économiques, la main d'œuvre est de plus en plus chère alors qu'à l'inverse, le coût des matériels de vision est en baisse. Mais tout ceci n'est rendu possible que par la fantastique évolution technologique des matériels et logiciels.



DEUXIEME PARTIE :

**DE LA SCENE A L'IMAGE
LE SYSTEME DE VISION**

AVANT PROPOS

Nous allons dans ce chapitre expliciter chacun des constituants d'un système de vision industriel. Cette description, la plus exhaustive possible, a pour objet de familiariser le lecteur avec les termes employés par la profession et permettre une meilleure compréhension du fonctionnement de chacun des éléments constituant la chaîne de vision.

Nous suivrons tout au long de ce chapitre une description logique : le chemin parcouru par l'image au cours des diverses étapes de sa transformation, jusqu'à la prise de décision. Nous commencerons par la formation de l'image, viendront ensuite les descriptions du capteur et de la transformation de l'image en son équivalent numérique. Nous donnerons ensuite les notions de traitement d'image suffisantes pour comprendre les bases du traitement informatique des images.

I. PERCEVOIR LA SCENE

Le capteur est destiné à récupérer le signal lumineux provenant de la scène à analyser, pour simplifier la présentation, on le caractérisera comme une surface sensible recueillant au travers d'un organe de focalisation, l'objectif, la source lumineuse (figure 27).

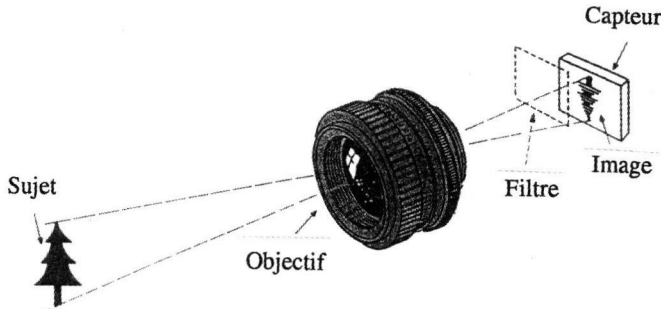


Fig 27 : Principe de la prise d'image. (D'après un article du Haut Parleur).

A. La lumière

Avant d'aborder le capteur il est important de rappeler quelques notions élémentaires sur la lumière :

La lumière est une radiation électromagnétique de même nature que les ondes radios, mais dans un domaine de fréquence beaucoup plus élevé.

Une partie seulement du spectre est visible, et c'est dans ce spectre qu'a lieu une très grosse partie des applications de vision industrielle. Certaines autres longueurs d'onde sont toutefois très intéressantes, comme les rayons X, l'ultra-violet, et l'infra-rouge proche ou lointain.

On ne peut pas parler de la lumière sans parler de la couleur, surtout quand on sait qu'elle est son importance auprès des consommateurs.

Qu'est-ce que la couleur ?

La couleur d'une lumière est définie par sa courbe de répartition spectrale où $E(\lambda)$ est l'énergie émise à la longueur d'onde λ .

La couleur d'une surface correspond à la composition de deux choses intégrant d'une part les propriétés de la surface, d'autre part le type de la lumière incidente. La surface est caractérisée par un facteur spectral de réflexion $r(\lambda)$ qui est le quotient entre le flux diffusé par la surface à λ et le flux initial sur la surface. Le spectre de réflectance d'une surface sera donc une combinaison entre le type de source et le facteur de réflectance de la surface.

A chaque longueur d'onde, la valeur enregistrée par un spectromètre est donc $E(\lambda) \cdot r(\lambda)$. Le métamérisme est l'identité parfaite entre deux couleurs. Deux couleurs métamères peuvent apparaître différentes si on change la source lumineuse.

La couleur est perçue par les êtres humains grâce à trois types de récepteurs oculaires ou cônes, sensibles au Rouge, Vert et Bleu.

La réponse de ces détecteurs n'est pas linéaire en fonction de la couleur, car on a trouvé que l'oeil était plus sensible aux variations d'intensité dans le rouge que dans le bleu.

On appelle couleurs primaires additives ces trois couleurs bleu, vert, rouge correspondant respectivement à des pics à 436, 546 et 700 nm (triangle de MAXWELL). Leur combinaison additive dans des proportions précises permet de reconstituer une couleur unique. Ce principe colorimétrique sert de base fondamentale aux caméras couleurs actuelles. On parlera alors de caméras RVB ou RGB suivant que l'on parle français ou anglais.

On appelle couleur complémentaire d'une couleur, la couleur qu'il faut lui rajouter pour retrouver le blanc.

Le modèle qui se rapproche le plus de la perception humaine des couleurs est le modèle HSI (hue-saturation-intensity). Il décrit la couleur en termes de teinte, saturation et intensité (on se refera au chapitre parlant de la segmentation couleur).

La teinte se détermine colorimétriquement par la longueur d'onde dominante, c'est l'attribut de la couleur qui décrit une couleur pure. C'est ce que nous appelons classiquement "couleur".

La saturation se caractérise par sa proximité de la couleur pure correspondante. Elle se définit par la dilution de la couleur par du blanc : une couleur est saturée si elle ne contient pas de blanc (ou un faible pourcentage) et on la désature en diluant avec du blanc.

Le facteur de pureté f_p indique le degré de saturation :

$$f_p = L(\lambda) / L_t$$

où $L(\lambda)$ est la luminance à la longueur d'onde dominante,

L_t est la luminance totale.

L'intensité est indépendante de la couleur et décrit la luminosité (la luminance) ou l'obscurité relative. Deux couleurs de même intensité auront les mêmes niveaux de gris dans une image en noir et blanc. Cela se traduit dans le langage courant par les adjectifs "intense" ou "faible".

Note :

Il est courant dans le langage de pouvoir exprimer en même temps le facteur de pureté et de luminance, par exemple une couleur sera dite vive si elle est claire et saturée.

B. La perception humaine

La définition donnée par le ROBERT de la perception est la suivante :

PERCEPTION : n.f. Fonction par laquelle l'esprit se représente les objets : acte par lequel s'exerce cette fonction.

Cette définition contient le fondement des problèmes de la vision artificielle : celui de l'interprétation de la scène par l'esprit de l'individu (voir figure 28). Comment une machine pourra-t-elle se substituer à l'humain ?

A la perception on a rajouté le terme **Visuelle**, car c'est bien ce domaine qui nous occupe. La vue fait partie des cinq sens de l'être humain avec l'ouïe, l'odorat, le goût et le toucher. La plupart des actes d'un individu sont guidés par la vue. La perception visuelle est la combinaison d'un capteur, l'œil et d'un système d'analyse, le cerveau.

L'oeil est un appareil intégrateur, il perçoit la lumière. Cette lumière est une radiation électro-magnétique dont la longueur d'onde est comprise entre 350 et 750 nm ; ailleurs le phénomène n'est pas visible par l'oeil. Il est important de noter que la visibilité de la lumière est variable, ainsi chez les animaux, elle ne sera pas identique à celle des hommes. On verra ultérieurement que dans le domaine de la vision artificielle on peut travailler dans le domaine de l'invisible.

L'oeil est un organe sophistiqué qui fonctionne d'une manière beaucoup plus complexe qu'un simple appareil photo, sa nature biologique le rend toutefois sensible aux agents chimiques ou mécaniques. On pourrait presque dire que l'oeil est un capteur multisensoriel, car on a pu mettre en évidence que certaines de ses parties étaient sensibles à la couleur, d'autres aux mouvements. Il ne faut pas oublier que les interprétations des objets sont souvent à sa propre idée que l'on se fait de l'image (voir figure 28) mais aussi à des aspects culturels. Ainsi certains peuples ne sont pas sensibles de la même manière aux illusions d'optiques, de même la perception évolue avec l'âge de l'individu. Ce sont ces derniers aspects qui posent actuellement le plus de difficultés aux chercheurs. On verra ultérieurement qu'il n'existe en fait, sur le marché, que de piètres imitations de la perception humaine, et pour tout avouer, les applications fonctionnelles se rapprochent plus de l'exploitation d'un amalgame de cellules photo-électriques, que de l'interprétation savante des scènes de la vie de tous les jours.

La perception humaine de la couleur

L'œil ne saura pas discerner la couleur pure de celle obtenue par mélange, par contre il sera capable de discerner de faibles nuances, et avec plus ou moins de précision suivant la zone spectrale.

La discrimination la plus aisée se trouve dans le violet et le rouge. Ce problème est très connu des teinturiers qui pendant longtemps appréciaient le jaune avec la quantité de bleu à apporter au mélange pour donner un vert bien précis.

En 1801 Young formula une théorie qui stipulait que la rétine était constituée de trois éléments sensibles respectivement au bleu-indigo, au vert-jaune, et au rouge. Les autres couleurs sont obtenues par synthèse.

Il est établi que la rétine est constituée de cellules de deux types différents : les cônes et les bâtonnets qui sont reliés chacun à une fibre nerveuse.

Au centre de l'oeil, la vision est excellente et sa qualité est fonction de l'éclairement, avec un maximum vers 555 nm. Elle est surtout assurée par les cônes. En périphérie la vision est médiocre, elle fonctionne surtout en lumière très faible (vision scotopique), la notion de couleur y est absente, avec un maximum vers 510 nm, elle est surtout assurée par les bâtonnets.

Très vite, on s'est aperçu de la subjectivité de l'appréciation des couleurs. L'accoutumance perturbe notre appréciation des couleurs, ainsi que la nature de l'éclairage sous lesquelles elles sont présentées (exemple : la couleur des tissus dans un magasin ou la couleur des objets sous un éclairage public à lampes sodium).

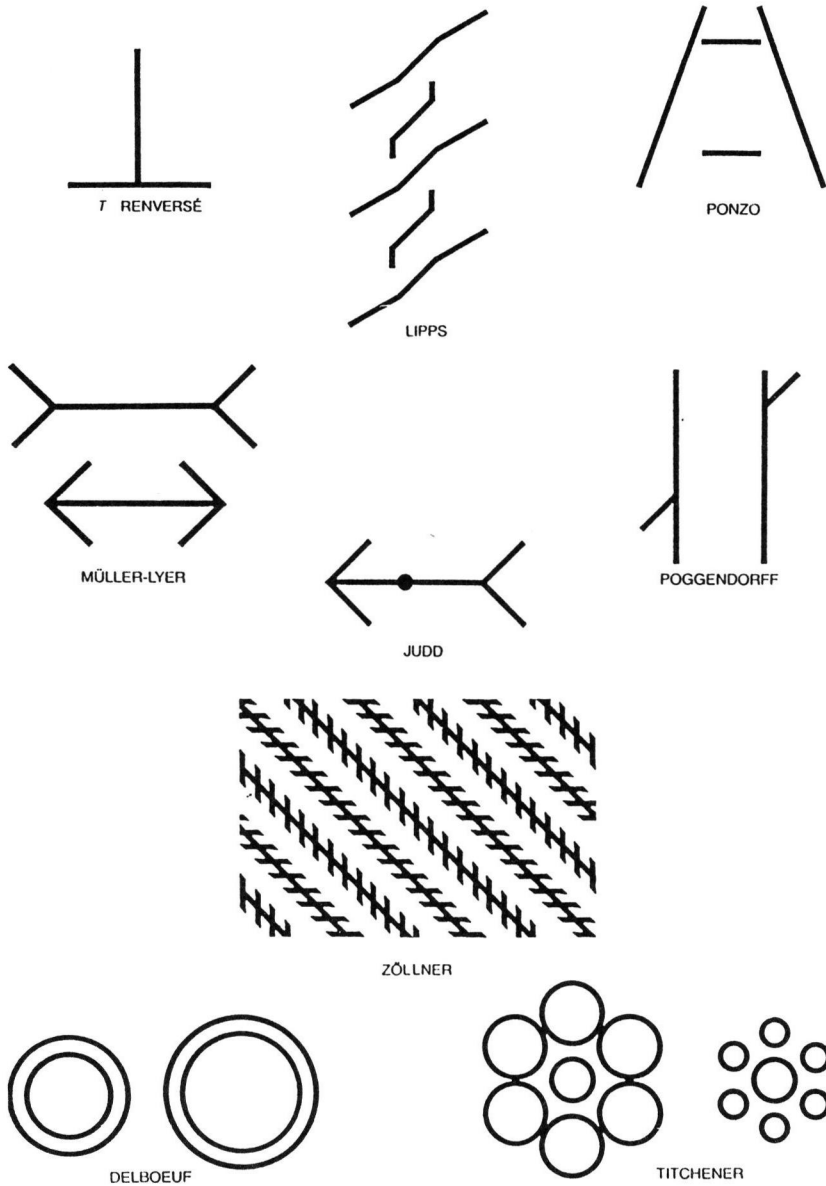


Fig 28 : Les illusions d'optique

Un éclairage trop fort peu affaiblir la saturation d'une teinte et réciproquement un éclairage trop faible agira comme un matage en noir des couleurs.

Diverses expériences ont montré que par exemple la constance de clarté dans une scène était plus proche des propriétés de l'objet que de celle perçues par la rétine. Le cerveau joue ici, un rôle capital en essayant de faciliter notre faculté de reconnaissance.

La perception des couleurs ne se définit pas comme une matière ou une fraction de lumière, mais par une sensation, elle est donc associée à la subjectivité humaine. La

difficulté sera donc la construction et l'utilisation d'un modèle de référence qui servira de base aux techniques de vision numérique.

La couleur est une sensation physiologique, liée à quatre dimensions :

- 1- Les caractéristiques spectrales de l'objet (facteurs de réflexion, d'absorption, et de transmission).
- 2- Le rayonnement lumineux incident.
- 3- Les conditions de visibilité de l'objet.
- 4- La sensibilité du capteur (l'oeil).

C. La perception par le capteur

L'image d'un objet reçue par le capteur est la représentation de l'énergie lumineuse émise ou restituée par celui-ci.

Si l'on représente cette énergie par la fonction $f(x,y)$, où x et y sont les coordonnées du point images dans le plan du capteur. On définira la fonction image $f(x,y)$, comme le produit de 2 fonctions :

$$f(x,y) = r(x,y) * s(x,y)$$

où

$r(x,y)$ représente la réflexion donc lié à l'objet.

$s(x,y)$ représente l'illumination donc liée à l'énergie ambiante.

Les détails sont des signaux hautes fréquences, ils apparaissent et disparaissent souvent. Tandis que le fond de l'écran est un signal basse fréquence (peu de variations).

Les capteurs de vision ont des propriétés qui sont liés à leur technologie (voir figure 29), ainsi suivant le matériau de fabrication le capteur pourra avoir des sensibilités spectrales différentes.

Suivant ses caractéristiques, il sera sensible :

A la lumière visible

C'est la plus familière. Elle présente des avantages car les optiques et les capteurs sont bon marché et elle n'est pas dangereuse (absence de radiations).

A l'Infrarouge Lointain (thermique)

Cette longueur d'onde se situe entre 8 et 10 micro-mètres. Elle est sensible aux effets thermiques. Elle est utilisée pour détecter les incendies de forêts masqués par la fumée, pour détecter des tumeurs près de la surface du corps, pour détecter des véhicules la nuit, etc. Les capteurs sont chers.

Au proche infra-rouge

Longueur d'onde $> 0,7$ micro-mètres.

Il n'y a pas de liaison directe avec les effets thermiques.

Elle est indiscernable pour l'œil humain.

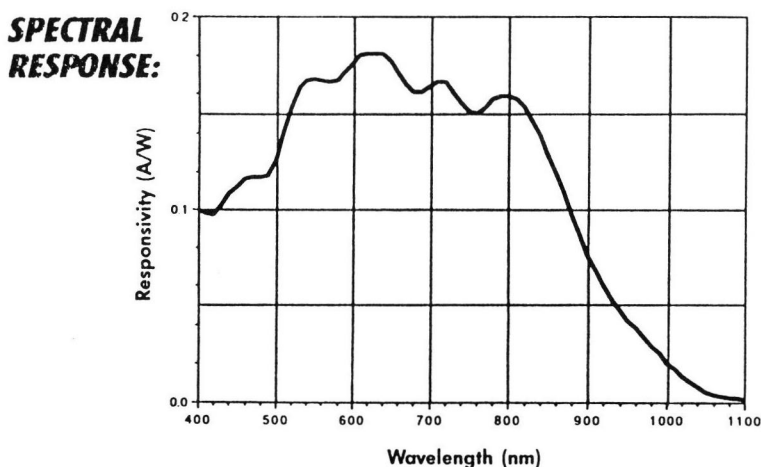
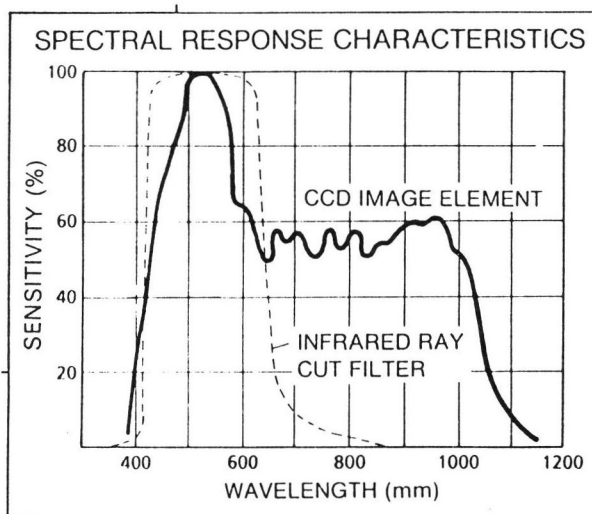


Fig 29 : Réponse spectrale d'un capteur CCD (*documentation HAMAMATSU*)

C'est une longueur d'onde intéressante car elle permet de travailler sans gêner l'HOMME et les capteurs ne sont pas chers (basé sur le silicium => CCD classique jusqu'à 1 micron).

Aux Rayons X

Les radiations sont potentiellement dangereuses (car ionisantes), mais elles peuvent être utilisés avec succès en agro-alimentaire, pour l'inspection de corps étrangers comme les morceaux de verre, les os, le métal, les arêtes de poissons...

Actuellement le défaut essentiel de ces systèmes reste leur relative lenteur (un objet en 4 secondes), ce qui les exclut de beaucoup de systèmes de convoyage agro-alimentaire.

Le capteur a donc son propre champ d'investigation.

II. CAPTEUR D'IMAGES

Le capteur d'image en l'occurrence la caméra (figure 30) est classé dans la catégorie des capteurs extéroceptifs, contrairement aux capteurs de déplacement, de vitesse qui sont classés dans la catégorie des capteurs proprioceptifs.

Ce type de capteur est la clé de voûte de la robotique avancée.



Fig 30 : exemple de caméra industrielle (*documentation EG&G RETICON*)

L'absence de normes internationales, dans le domaine des caméras industrielles, donne lieu à de multiples problèmes de comparaison sur les performances de chaque appareil. Chaque constructeur donne des spécifications différentes, et elles sont souvent incomplètes et plus grave encore, elles sont parfois contradictoires.

Une tentative de comparaison entre matériels a été réalisée par l'EXERA¹ (Association des exploitants d'équipement de mesure de régulation et d'automatisme, dont une des commissions s'occupe exclusivement de vision industrielle).

Un protocole d'expérimentation a été mis au point en collaboration avec le LNE (Laboratoire National d'Essais).

On peut définir la qualité d'un capteur, par les caractéristiques suivantes :

- Sensibilité de la caméra :

Amplitude du signal de sortie exprimé en mv/LUX.

- Rapport signal/bruit :

Le rapport signal/bruit caractérise le pouvoir de détecter les objets de faible contraste dans un éclairage ambiant faible.

- Réponse spectrale :

Courbe de réponse en fonction d'un éclairage de type monochromatique de 400 à 1 500 nm, les capteurs CCD étant sensibles dans l'infrarouge, les caméras sont dotées en général, d'un filtre amovible. On trouvera donc, la bande passante du capteur (Infrarouge, visible, rayons X, etc.).

1- EXERA Parc technologique ALATA BP N° 2 60550 VERNEUIL EN HALATE Tel : (33) 44242100
Fax : (33) 44242090.

- Résolution spatiale :

Il s'agit du pouvoir séparateur de la caméra. On opère la mesure grâce à des mirettes spécialement conçues, notamment celles qui ont été développées pour l'armée américaine.

Cela représente la capacité de la caméra à détecter les petits détails. Elle est liée à la taille du CCD et à l'optique.

- Uniformité de l'image :

C'est la capacité du capteur à donner une réponse identique pour chacun des ses points images stimulés par une énergie lumineuse identique.

Le résultat est fortement dépendant de la qualité optique.

- Comportement en fonction de la température :

L'augmentation de la température diminue fortement le rapport signal sur bruit.

Cette sensibilité dépend de la technologie du capteur et de sa mise en œuvre (refroidissement artificiel).

Pour chaque capteur on pourra utiliser des phénomènes physiques différents.

A. Généralités

Les technologies

Les technologies les plus souvent utilisées sont celles définies ci-dessous :

- effet photo-électrique : visible et proche infra-rouge,
- effet pyroélectricité : infrarouge lointain,
- scintillation : rayonnement X ou Gamma,
- effet piézoélectrique : ultra-sons.

La taille du capteur est en général exprimée en pouce. Les dimensions utilisées sont celles employées dans le monde de la télévision, soit 2/3" (environ 6,5 x 8,8 mm) ou 1/2" (environ 5 x 6,5 mm). Elles caractérisent la dimension de la diagonale du capteur (voir figure 31), la diagonale utile pouvant être inférieure.

Le capteur peut être assimilé à une surface sensible à la lumière, constitué d'une multitude de minuscules éléments photo-sensibles qui lors de la réception des photons accumulent des charges électriques et les stockent jusqu'à ce que l'on vienne les chercher (voir figure 32). Chaque élément sera appelé Pixel ou Point Image.

La quantité d'énergie reçue par chaque point image sera, ensuite, convertie en signal électrique, dont l'amplitude sera proportionnelle à l'énergie reçue, auquel on ajoutera divers signaux nécessaires à la synchronisation des divers appareillages électroniques. C'est cette énergie qui sera ensuite quantifiée par le système d'acquisition d'image en vue de son traitement numérique (voir figure 33).

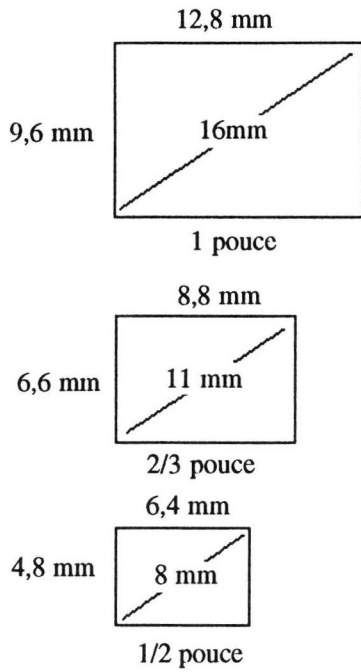


Fig 31 : Les différentes tailles de capteurs matriciels

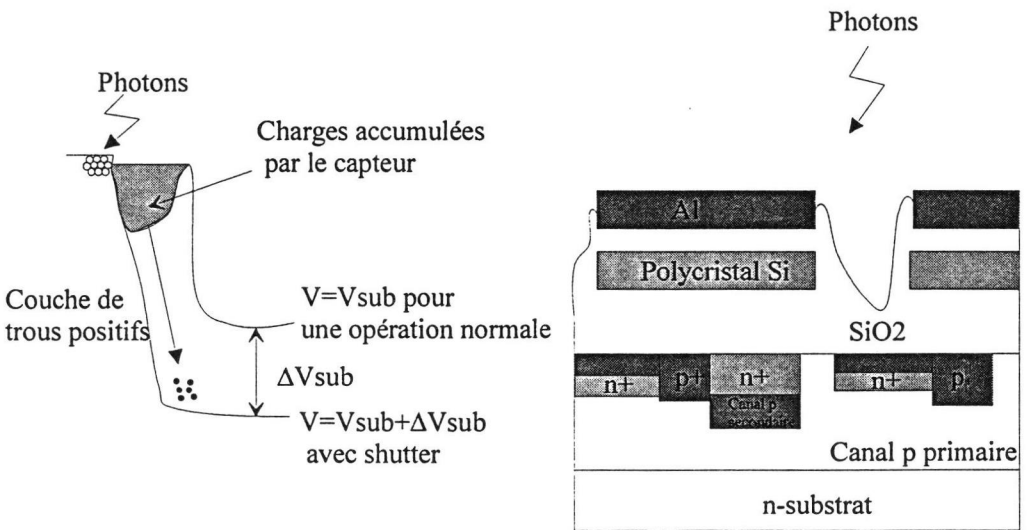


Fig 32 : La transformation lumineuse. (D'après un document SONY)

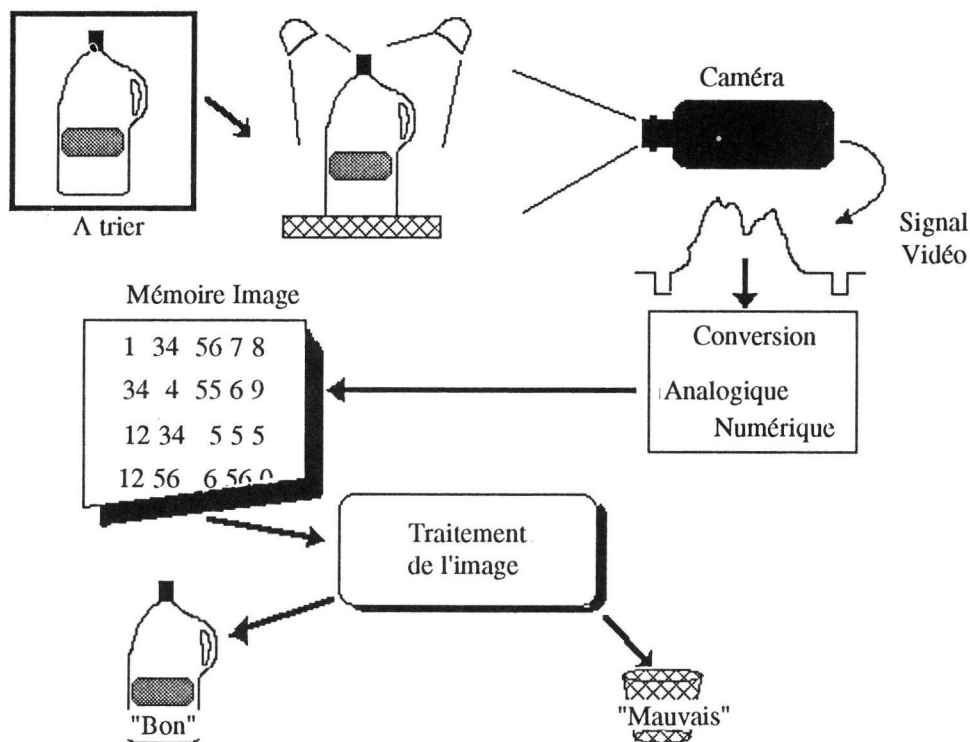


Fig 33 : Principe de l'acquisition d'image

Les imperfections

Il existe de nombreuses imperfections, liées soit au système optique, soit au système électronique d'acquisition. On les corrige à l'aide de procédés mécaniques ou par des traitements mathématiques appropriés.

Pour le système optique, on citera les plus classiques :

- la limite de la diffraction.
- la turbulence atmosphérique.
- la diffusion.
- les distorsions géométriques.
- le vignettage :

c'est un assombrissement des bords de l'image dû au passage de la lumière dans l'objectif. En effet, l'énergie recue aux bords de l'image (dans le plan focal) provient de rayons obliques. Au centre les rayons sont perpendiculaires à l'image, donnant une énergie, par unité de surface, plus importante.

- le filtrage spectral :

Tout système de prise de vue joue le rôle de filtres à certaines fréquences.

Pour la chaîne d'acquisition, on citera les plus classiques :

- Les limites de fréquence d'échantillonnage

- Le rapport signal sur bruit
- la précision de l'échantillonneur
- la stabilité de l'échantillonneur

B. Les capteurs de vision 2D

Ce sont les capteurs les plus utilisés et les moins coûteux, parce qu'issus de la télévision. Ces capteurs recueillent une information réelle, en général en 3 dimensions, et au travers d'un système optique, récupèrent une information de type plan, comme un simple appareil photo (voir figure 27).

Cette transformation peut poser certains problèmes liés à la profondeur de champ.

Il existe des capteurs constitués d'une surface rectangulaire ou carrée, ce sont les capteurs matriciels, et il existe des capteurs linéaires, qui sont eux constitués comme leur nom le laisse supposer, d'une seule ligne d'éléments sensibles. (Voir chapitre sur la géométrie des capteurs).

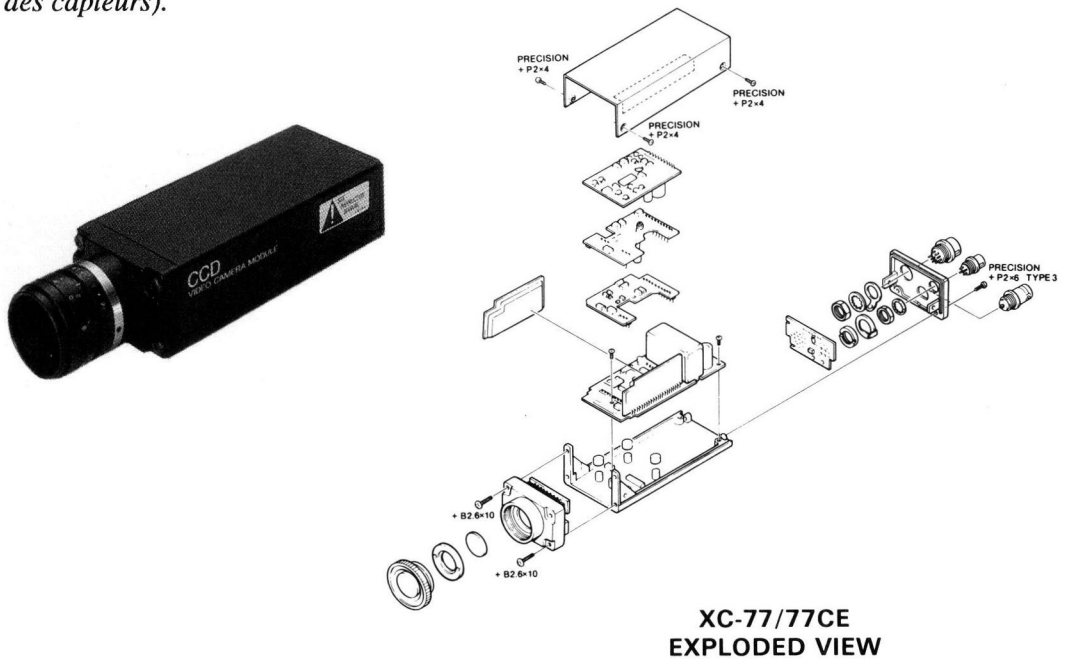


Fig 34 : Exploded view XC-77/77 CE.

Cas particulier : les capteurs couleurs

Il s'agit d'un cas particulier du précédent, son originalité provient du fait qu'il est construit pour générer trois signaux de chrominance particulier, le Rouge, le Vert et le Bleu (RVB ou RGB).

En règle générale la production des signaux de chrominance est obtenue par l'adjonction de filtres devant un capteur monochrome. Le récepteur idéal sera constitué de trois

capteurs monochromes dotés chacun d'un filtre différent, c'est le cas des caméras professionnelles Tri-Tubes ou Tri-CCD (figure 35), mais ces caméras restent actuellement très onéreuses.

Une solution économique consiste à utiliser un seul capteur doté d'un filtre en peigne (en lignes verticales) ou d'un filtre en mosaïque (figure 36).

Mais, en utilisant un seul capteur, on divise la résolution spatiale par trois.

Les filtres sont constitués soit par des lignes verticales placées en face de chaque colonne de pixel, filtres en peigne, soit par une structure de mosaïque, filtre mosaïque. Suivant le fabricant on utilisera des filtres de couleurs primaires, le Rouge, le Vert et le Bleu, dans le cas du filtre RVB (RGB en anglais), ou plus rarement, des filtres de couleurs complémentaires le Jaune, Vert et Cyan.

Dans tous les cas les signaux de sortie seront le Rouge, le Vert et le Bleu, ou une composante de luminance et une ou deux composantes de chrominance.

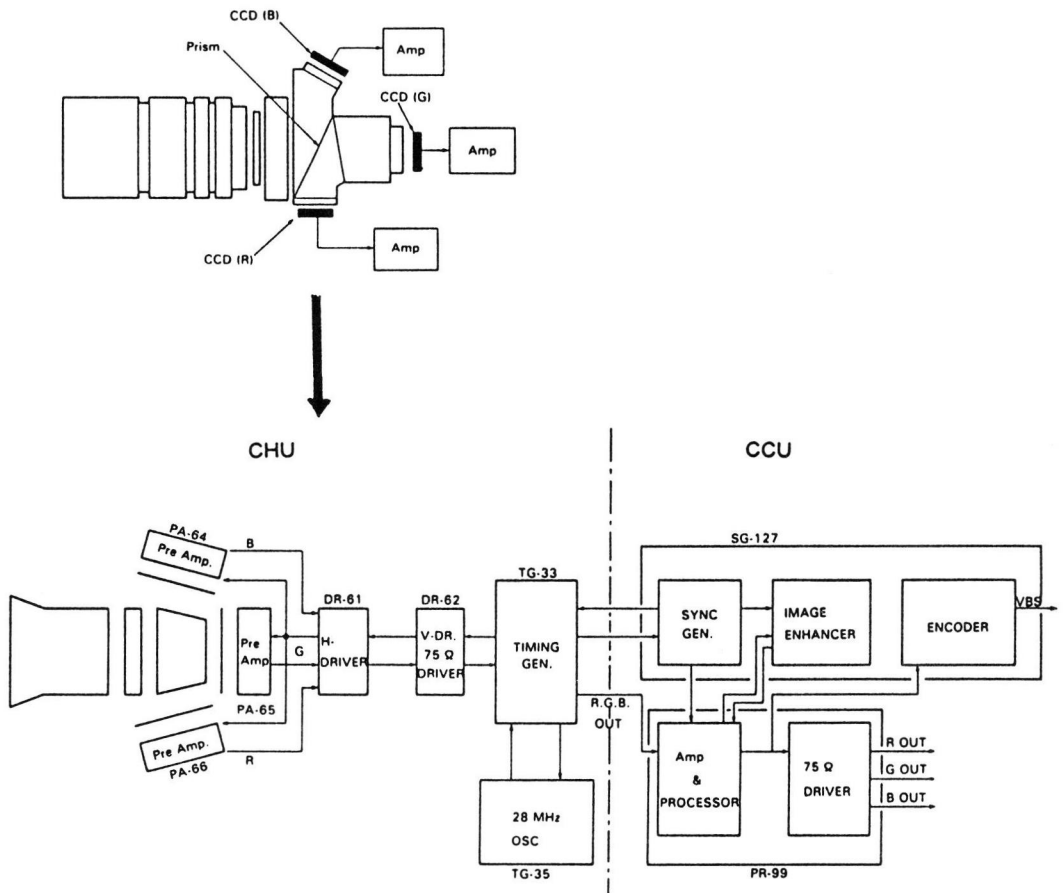
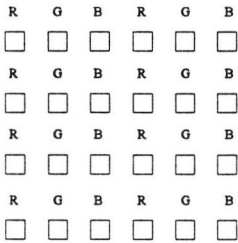


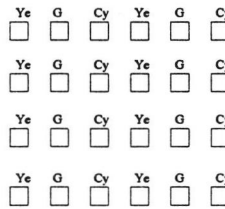
Fig 35 : Synoptique d'une caméra couleur tri-capteur (documentation SONY)

Couleur Primaire / Filtre vertical en stries



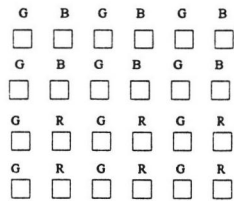
Excellente reproduction de la couleur.
 Pleine résolution verticale.
 Acquisition chaîne/trame.
 Sortie simple RGB.
 Convient aux applications industrielles.

Couleur Complémentaire / Filtre vertical en stries



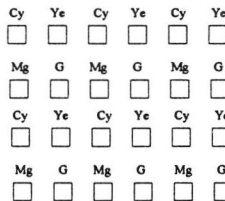
Haute sensibilité.
 Pleine résolution verticale.
 Acquisition chaîne/Trame.
 Convient pour la sécurité et le grand public.

Couleur Primaire / Filtre mosaïque



Bonne reproduction de la couleur.
 Grande résolution horizontale.
 Intégration de l'image seulement.
 Convient pour la surveillance.

Couleur Complémentaire / Filtre mosaïque



Haute sensibilité.
 Bonne résolution horizontale.
 Acquisition de la trame seulement.

R : rouge Ye : jaune
 B : bleu Cy : Cyan
 G : vert Mg : Magenta

Fig 36 : Les filtres couleurs (d'après une documentation SONY)

1. Capteurs à tubes

Ces capteurs sont directement issus du monde de la télévision. Une couche photoconductrice récupère l'énergie des photons émis par la scène, à l'aide d'un balayage séquentiel par un faisceau électronique, on récupère l'énergie de chaque point image qui est proportionnelle à la luminance de ce point.

Le capteur est balayé ligne par ligne, la durée d'une ligne est de 64 microsecondes, pour la norme CCIR.

Il existe différents tubes : en fait, il s'agit de différents revêtements sensibles, qui permettent de les classer en fonction de leur réponse spectrale (voir figure 37).

Note : Il n'existe sur le marché que des capteurs à tube de type matriciel.

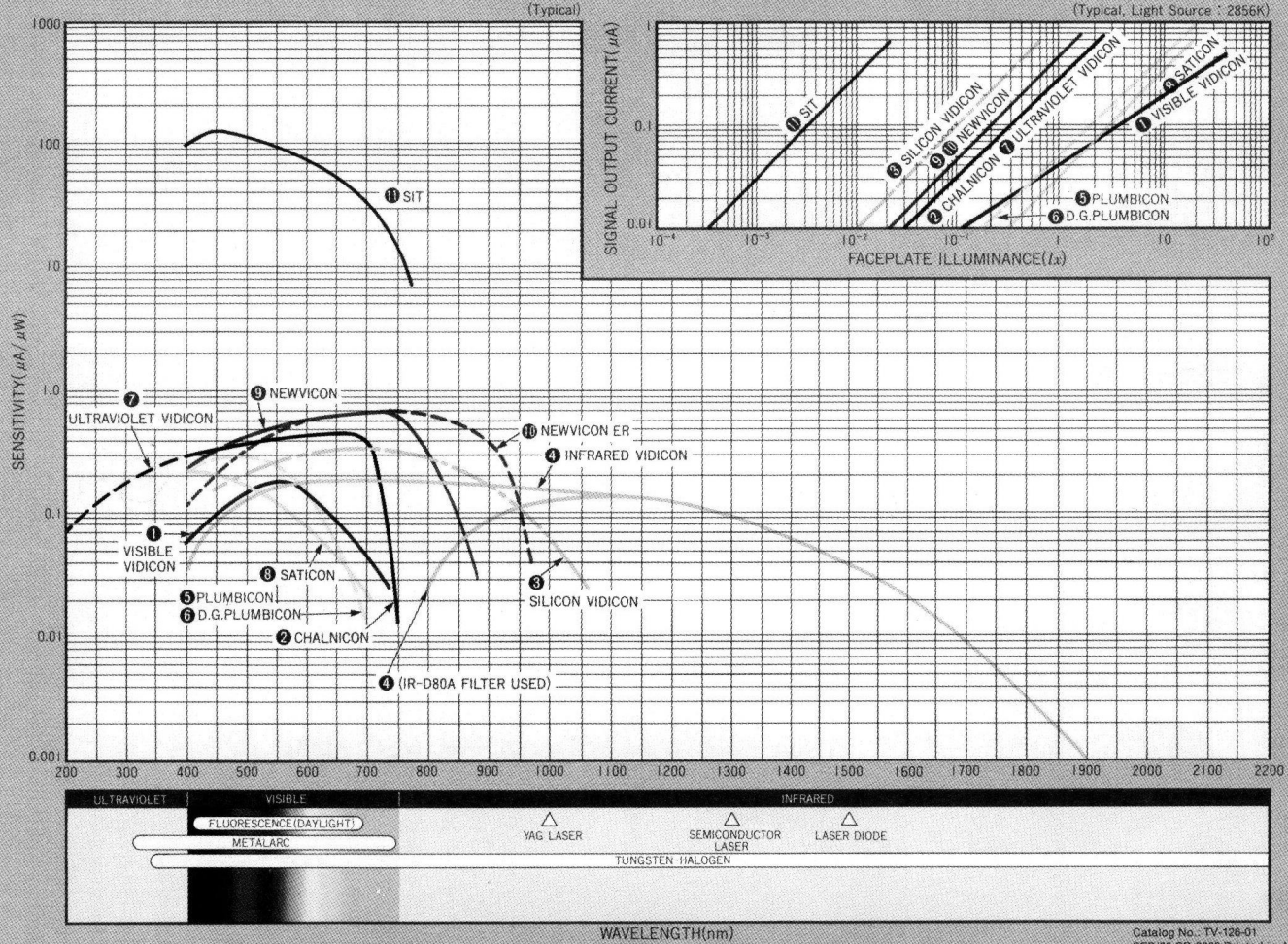
Avantages

- Grande qualité de l'image
- Discretisation infinie (haute résolution)
- Quantification infinie (analogique)
- Haute sensibilité (suivant le type de tube)

Inconvénients

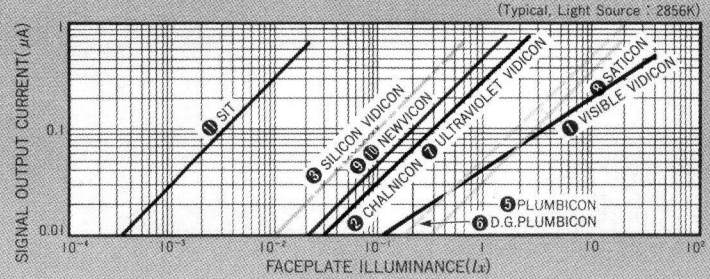
- Vieillessement
- Fragilité
- Marquage du tube
- Rémanence importante
- Sensibilité thermique
- Distorsions géométriques

Figure 1 — Image Tube Spectral Response Characteristics



(Typical)

Figure 2 — Image Tube Light Transfer Characteristics



(Typical, Light Source : 2856K)

Fig 37 : Les principaux tubes vidéo - Gamme Spectrale - (documentation HAMAMATSU)

2. Capteurs solides

Ces capteurs, en général en silicium, existent sous forme de barrettes ou de matrices. Il existe des capteurs constitués de photodiodes et des capteurs à transfert de charges ou CCD, qui en langue anglaise se veut dire Coupled Capacitive Device ou Charge Coupled Device. Les capteurs CCD sont les plus couramment utilisés (voir figure 38). Le silicium a une sensibilité naturelle à la lumière visible, de plus il est stable à température ambiante, abondant et facile à transformer. C'est pourquoi il est aujourd'hui le capteur le plus utilisé dans le domaine spectral de 200 nm à 1 100 nm.

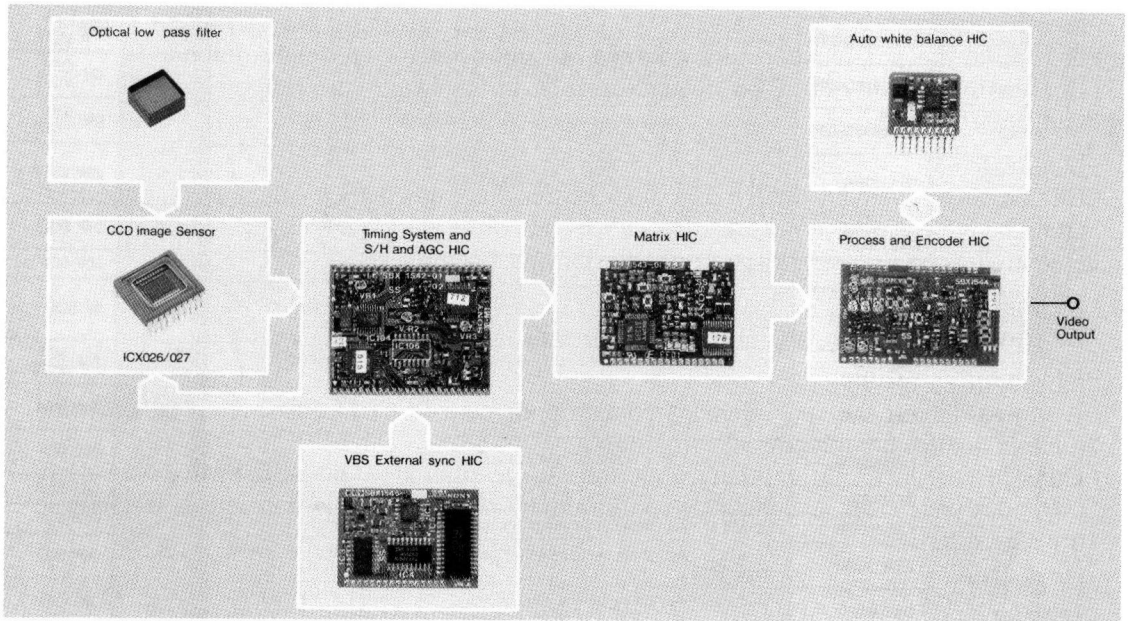


Fig 38 : Eclaté d'une caméra CCD (*Documentation SONY*)

a) Les CCD

Principe : On utilise l'effet photo-électrique du silicium, qui crée une charge électrique lorsqu'il est illuminé par des photons, dans la gamme de 300 à 1100nm, avec un pic dans les 800nm. L'absorption de la radiation incidente libère un nombre d'électrons proportionnels à l'intensité reçue.

Le transfert de charges s'effectue lors de l'accumulation de charges électriques dans des zones spécifiques dans le capteur. Chacune de ces cellules est appelée pixel ou storage element. En rangeant les cellules de manière contiguë on crée une ligne d'éléments sensibles pouvant véhiculer les charges accumulées, de proche en proche.

On réalise ainsi un registre à décalage analogique simple. Le transfert des charges s'effectue jusqu'à épuisement de celles-ci. Une fois vidé de ses charges, le capteur peut alors se mettre en état de réception de nouvelles charges. Ce système présente toutefois, l'inconvénient de véhiculer les charges successivement vers leurs voisins immédiats. Dans le cas où une cellule aurait été fortement illuminée, on risque de voir ses charges

déborder sur ses voisins immédiats. Ce phénomène, le blooming, est aujourd'hui assez bien maîtrisé. On trouve aussi sur ce type de caméra un phénomène de traînage vertical ou smearing. Il se manifeste par des bandes verticales dirigées de haut en bas, elles sont dues essentiellement au transfert des charges en cours de lecture du capteur. Ce phénomène n'est normalement visible que lors de forts éclaircissements.

Caractéristique du CCD :

Température :

Les performances liées aux propriétés du semi-conducteur, font que ce dernier peut très bien fonctionner de - 55 °C à + 70 °C. Dans ces cas extrêmes, par exemple à + 70 °C, l'agitation thermique libère des charges qui vont rentrer en concurrence avec celles libérées par les photons, on obtiendra donc un très mauvais rapport signal/bruit à température élevée.

La vitesse :

Elle est théoriquement limitée à la mobilité des électrons dans le silicium, on peut ainsi atteindre expérimentalement des fréquences de l'ordre du gigahertz. Actuellement on est essentiellement limité en vitesse pour des raisons techniques.

Le bruit :

De part sa constitution le CCD est pratiquement sans bruit.

Sensibilité aux radiations :

A moins d'avoir été spécialement conçue pour cela le CCD classique n'est pas plus tolérant que ses homologues électroniques.

Dans le cas du CCD, capteur rappelons le, le plus souvent utilisé, il existe deux méthodes pour vider le capteur de son information électrique : le transfert de trame et le transfert interligne.

Le transfert de trame :

Développé dans les années 70, par Bell Research, il est de moins en moins utilisé (voir figure 39). Son originalité provient du fait qu'il existe deux zones dans le capteur, la première sert à l'acquisition du signal lumineux proprement dit, et la deuxième sert à son stockage, pendant l'acquisition de la trame suivante. Ce qui permet de lire la trame acquise pendant qu'on en acquiert une autre.

L'inconvénient du système est la duplication de la zone active, doublant ainsi la taille du capteur et son coût. Son avantage réside dans la possibilité de contrôler le temps d'exposition donc de pouvoir acquérir un phénomène bref, ce qui évite le flou.

Le transfert interligne :

Il s'agit du principe le plus utilisé actuellement (voir figure 40), car le moins coûteux. Chaque cellule active est reliée à un registre à décalage qui fonctionne en deux phases d'horloge de trame.

Le temps de transfert des charges étant lié au standard vidéo, il constitue le facteur limitant le temps d'intégration. Actuellement le standard CCIR impose une durée de ligne de 64 microsecondes, cela veut dire que la ligne restera insolée pendant les transferts des n lignes, ce qui engendrera un bougé lors de l'acquisition d'évènements rapides.

Ce problème étant particulièrement gênant en application industrielle, le transfert interligne a fait l'objet de notables améliorations. Ainsi on associe à chaque cellule une

zone de stockage intermédiaire située dans une couche inférieure de la structure polycristalline, ce qui permet des temps d'acquisition très brefs, jusqu'au 1/30 000 de seconde.

Il s'agira de caméras à Shutter, ou en français à obturateur électronique.

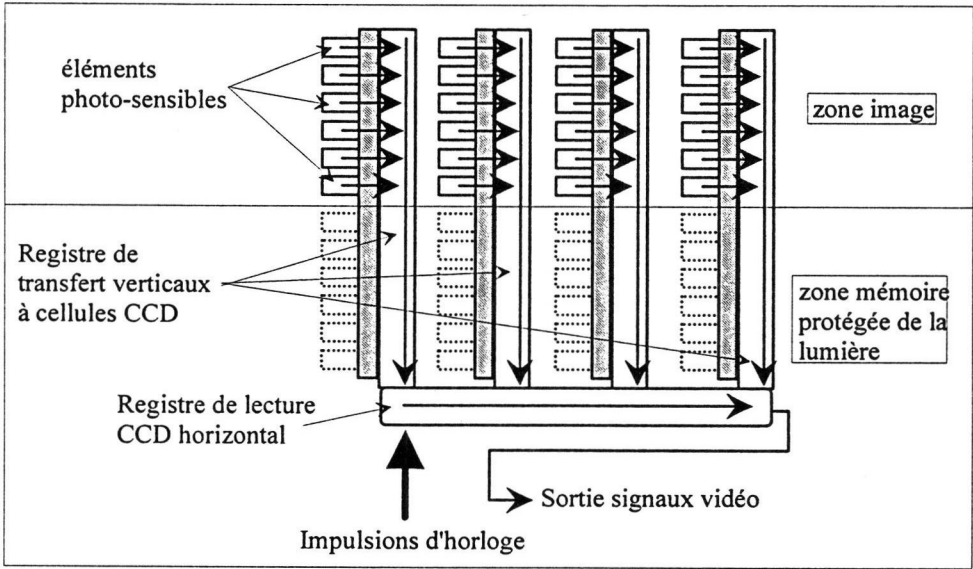


Fig 39 : Principe du transfert de trame

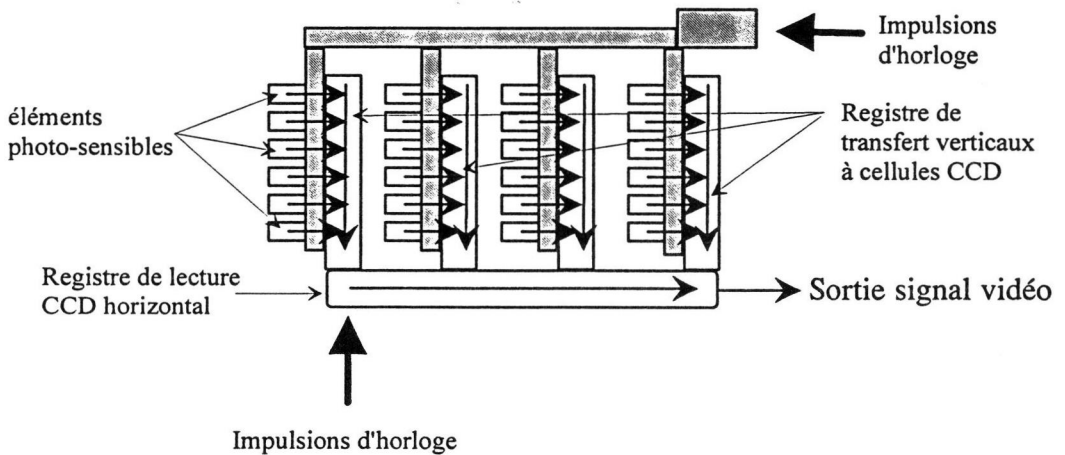


Fig 40 : Principe du transfert interligne

Cas particulier :

On peut utiliser aujourd'hui, des caméras refroidies à - 60 °c voire - 102 °c via un mélange liquide d'hydrogène. Ces caméras sont appelées HCCD (H pour high Performance).

Dans les cas les plus courants où une forte chute de température n'est pas nécessaire le capteur CCD est refroidi par un refroidisseur à effet Peltier. A l'aide d'un tel refroidissement on limite l'activité thermique propre au silicium, à moins d'un électron/pixel/seconde. Les applications sont essentiellement de type astronomique ou de type spectrophotométrique, notamment dans le domaine médical (Fluorescence, et rayons X...) ; on peut imaginer que dès leur disponibilité en haute résolution, ils pourront remplacer avantageusement certains types d'émulsion photographique.

b) LES CID

Les CID ont été développés à l'origine par General Electric aux USA dans les années 70. Au départ, il s'agissait de développer un composant photosensible capable d'être adressé de manière simple en ligne/colonne (en XY dans le jargon du spécialiste). L'originalité du CID vient de sa capacité à adresser chaque pixel individuellement par sa ligne et sa colonne.

Contrairement au CCD qui transfère les charges en bloc, en les propageant de voisin en voisin, et qui efface le contenu de l'image acquise dans le capteur après la lecture de l'image ; le CID permet d'accéder à chaque pixel sans le détruire (la destruction reste toutefois possible).

Ce principe permet d'améliorer le rapport signal sur bruit par moyennage lors d'acquisitions successives. Cela peut être très intéressant dans certains cas où l'évolution de la scène est lente, notamment les applications astronomiques, qui ont de très faibles énergies à analyser.

L'accès à des pixels isolés, ou des groupes de pixels définissant une fenêtre d'intérêt (ROI Region of interest) permet d'envisager, le traitement des zones qui présentent vraiment un intérêt. Et cela à des vitesses supérieures à celles que l'on peut obtenir avec des CCD. Le CID présente aussi l'avantage de tolérer de manière très importante les saturations lumineuses, pour cette raison on trouvera souvent ce type de capteur sur les systèmes de poursuite de fusée ou de missiles. Contrairement au CCD, les CID ont une bonne sensibilité dans l'ultraviolet (efficacité de 35 % dans la bande des 185 nm à 400 nm).

Les CCD et les CID offrent de multiples avantages et peu d'inconvénients :

Avantages

Très faible vieillissement
Très résistant
Aucun risque de détérioration par marquage du capteur
Aucune rémanence
Très bonne stabilité thermique
Aucune distorsion géométrique
Réponse dans le proche infra rouge (800-1 100 nm).

Inconvénients

Discrétisation fixée par le capteur (ex : 490 000 points images).
Phénomène de transmission de charges entre pixels (Blooming).
Existence de points images défectueux.

C. Les capteurs de vision 3D

Il s'agit ici de capter une information tridimensionnelle d'un objet, pour cela il existe différentes méthodes que l'on peut regrouper en deux catégories :

1. les méthodes monoculaires utilisant une seule image (Vision en lumière cohérente),
2. les méthodes binoculaires utilisant deux images simultanément (stéréoscopie).

Dans le premier cas, le capteur sera un capteur 2D ordinaire. L'information 3D sera générée par un balayage laser et reconstitué par le logiciel (voir figure 41). On peut aussi utiliser des éclairages en lumière structurée, généralement constituées de trames de points ou de traits lumineux. On peut ainsi suivre les déformations des trames directement sur l'objet éclairé, et en appréhender la forme.

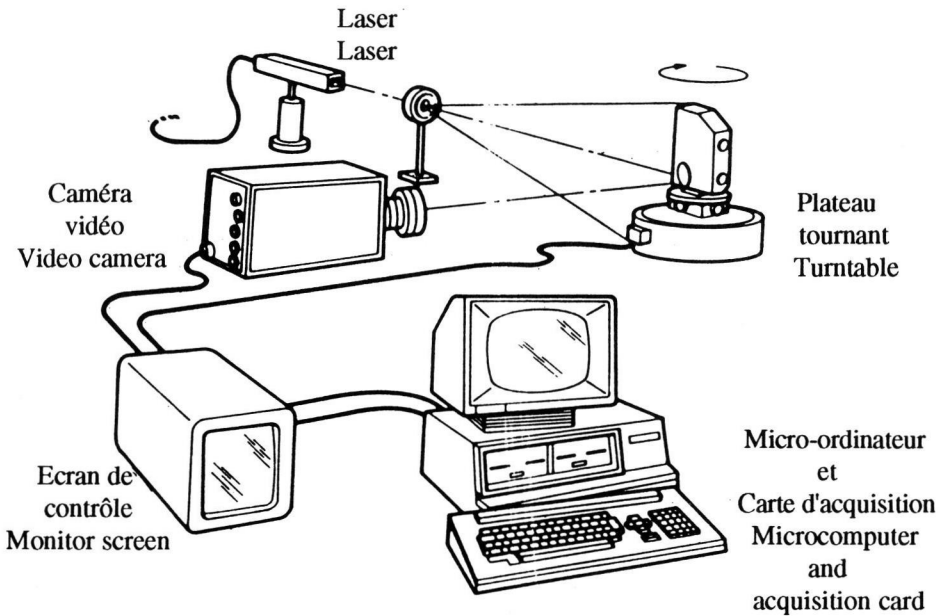
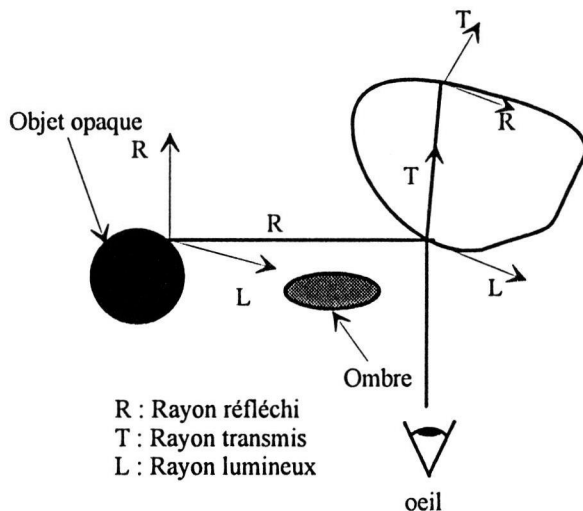


Fig 41 : Exemple de système d'acquisition tri-dimensionnel (*documentation VISION 3D*)

Très récemment, certaines techniques permettent de se dispenser de lumière cohérente, en utilisant des méthodes d'analyse de structure développées à l'origine pour le monde des images de synthèse. Il s'agit de méthodes basées sur la réflectance des surfaces (ShapeForm).

Il s'agit de suivre le faisceau lumineux issu d'une source lumineuse connue qui se réfléchira sur une surface dont on ne connaît pas, par exemple l'orientation (voir figure 42). Le faisceau ainsi réfléchi ira frapper le capteur qui lui est bien défini. Il suffira ensuite connaissant la texture d'en déterminer l'orientation de la surface réfléchissante.

Malheureusement ces techniques sont difficiles à mettre en œuvre et sont d'autant plus complexes que la scène est complexe et les surfaces hétérogènes.



Lancer de rayon

Fig 42 : Principe de lancé de rayon ou *Ray Tracing*

Pour mémoire la technique la plus originale et aussi la plus remarquable reste l'holographie.

Bien que pratiquement inutilisée en vidéo, on trouve quelques applications industrielles en mécanique. Cette technique n'a pour le moment, pas acquis ses lettres de noblesse dans le domaine qui nous occupe. Il faut toutefois savoir qu'elle existe, car sa diffusion est pour l'instant liée aux capacités technologiques d'aujourd'hui.

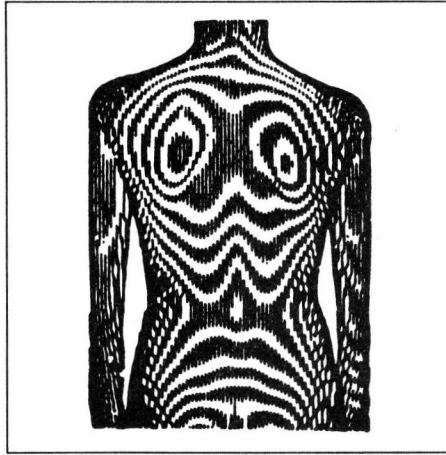
Dans la même catégorie, on commence à voir apparaître des techniques d'interférométrie traitées par analyse d'images (voir figure 43). Si ce n'est pas tout à fait de l'holographie elles utilisent à peu près les mêmes techniques. Ces techniques sont très intéressantes pour les analyses de défauts de surfaces et fonctionnent en temps réel.

D. La géométrie des capteurs

Les capteurs linéaires

Il s'agit d'un capteur mono dimensionnel (voir figure 44). Son utilisation essentielle est dans la mesure, mais ce capteur peut être aussi utilisé pour capturer des scènes en 2D. Dans ce cas la scène sera en mouvement (vitesse constante), l'image en 2D sera reconstituée.

Les capteurs couleurs sont assez rares, on trouve par exemple chez PULNIX un capteur tri-chrome de 2400 pixels et chez KODAK un capteur de 8000 pixels. Plus original on trouve chez E&G RETICON un capteur bi-chrome (Rouge/Vert) constitué de photodiodes ou Trichrome chez DALSA.



Projection sur un corps humain



Mise en évidence d'un défaut de fabrication

Fig 43 : exemples d'utilisation de l'image interférométrique (*documentation ORIEL*)

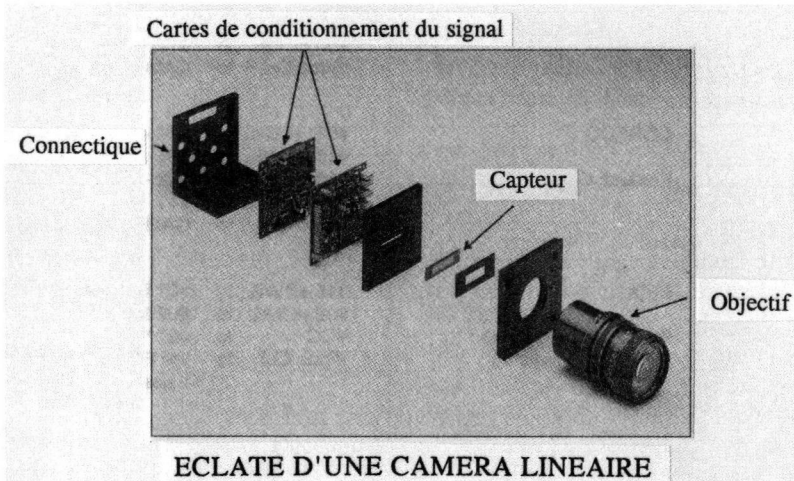


Fig 44 : Eclaté d'une caméra linéaire (*documentation DALSA*)

Les capteurs linéaires sont caractérisés par :

La résolution :

Le nombre de pixel par ligne est en général 128, 256, 512 et plus récemment 1 024, 1 728, 2 048 ou 4 096, voire 5 000 points.

Pour certain type de capteurs, notamment ceux qui travaillent dans l'infra-rouge, le nombre de points dépasse rarement 256. Ces capteurs sont en outre d'un coût assez important, de l'ordre de 100 KF, pour la caméra.

La vitesse :

Elle représente la disponibilité d'un des éléments de l'image, sur ce type de capteur on ne peut pas lire un point particulier (sauf cas très spéciaux), on est obligé de vider la ligne avant de recommencer une acquisition. On atteint des fréquences d'acquisition de l'ordre de 50 à 100 KHz, à comparer avec les caméras matricielles standards qui sont à 50 Hz. Le temps d'exposition variable, jusqu'au 1/10 000 sec est depuis très peu de temps disponible sur les barrettes linéaires, offrant ainsi les mêmes possibilités que sur les capteurs matriciels.

La vitesse de transfert n'est pas standardisée, elle est relative au nombre de pixels présents sur la ligne et à la conception de la barrette. Certains constructeurs dédoublent la circuiterie de transport de l'informations afin d'augmenter les vitesses (voir figure 45).

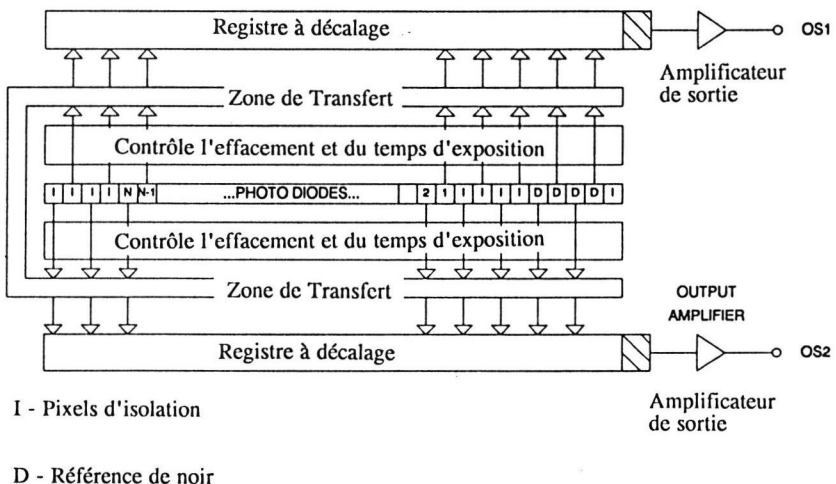
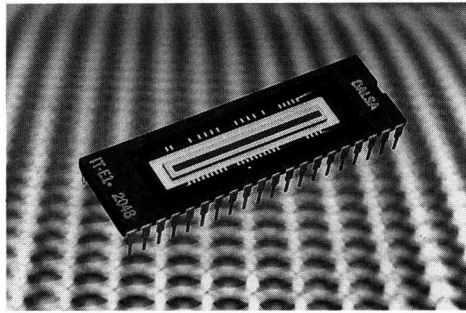


Fig 45 : Exemple de capteur linéaire (Documentation DALSA)

Note : Chaque problème devra être analysé avec soin en tenant compte des cadences de mesures imposées ainsi que des caractéristiques intrinsèques du capteur.

La précision géométrique :

Il s'agit de la caractéristique représentative de la qualité mécanique du capteur, qui est ici considéré comme un outil de mesure.

La connaissance de la position du capteur, la qualité mécanique du couple capteur/boîtier caméra ainsi que la fixation de la caméra sur le bâti sont primordiales.

L'alignement :

S'agissant d'un capteur de mesure il est essentiel que le capteur soit convenablement monté sur son support et bien au centre du foyer focal, dans le cas contraire des mesures fausses pourraient en découler.

L'ajustement du capteur demande beaucoup de soins, il est souvent obtenu à l'aide d'outils sophistiqués, comme le laser.

Actuellement beaucoup d'utilisateurs se posent la question de savoir si la partie mécanique des caméras est à la hauteur de la partie électronique. Ce problème est surtout ressenti par les gens qui font du positionnement ou de la mesure dimensionnelle.

La dimension relative du pixel (pixel aperture) :

Il s'agit du rapport entre la longueur et la largeur physique de l'élément du capteur.

Un pixel est dit carré lorsque l'on a un rapport de 1 (1/1), certains capteurs ont un rapport 2 (2/1), cette différence pose des problèmes lorsque l'on souhaite faire des mesures dimensionnelles avec un capteur linéaire.

L'usage de pixels carrés est fortement recommandé pour travailler sur une image 2D.

Il est toujours possible de corriger ces problèmes par logiciels, mais cela entraîne un temps de calcul plus important.

Les conditions de fonctionnement :

Humidité, température, poussière...

L'immunité au bruit :

Chaque capteur ou mieux, chaque caméra ne doit pas être perturbée par son environnement, magnétique ou électrique...

Le temps d'exposition :

Certaines caméras sont dotées de capteurs permettant des acquisitions avec des temps d'exposition variable.

On trouve aujourd'hui des capteurs dotés de temps d'exposition variable entièrement électronique, ce système étant beaucoup plus fiable que son homologue mécanique.

Les objectifs :

Par soucis de standardisation les caméras linéaires sont presque toutes compatibles avec la monture "C", qui est la référence en télévision.

Les capteurs matriciels

Il s'agit d'un capteur bi-dimensionnel équipé d'une matrice de points sensibles à la lumière (voir figure 46).

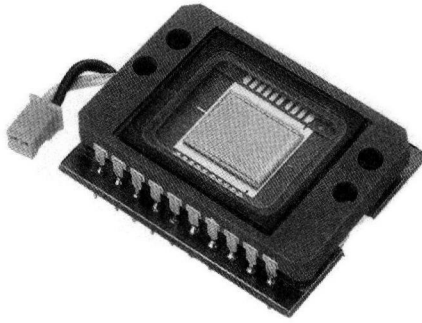


Fig 46 : Exemple de capteur matriciel (*documentation SONY*)

Ces capteurs sont caractérisés par :

La résolution :

La dimension de la matrice de points utilisés est variable, de 128 x 128, 256 x 256 pour les plus anciennes, à 512 x 512 pour les plus courantes et jusqu'à 2 048 x 2 048 pour les plus sophistiquées.

Provenant du marché de la télévision la plupart des capteurs ont en fait des résolutions rectangulaires, 604 x 588, 699 x 576, 500 x 582, 768 x 493, 756 x 582...

On trouve aujourd'hui des capteurs de très haute résolution comme celui présenté par la filiale de KODAK, VIDEK, qui présente une résolution de 1 320 x 1 035, ou celui proposé par TEKTRONIX, qui présente une résolution de 1 024 x 1 024, on trouve même actuellement des capteurs 2 048 x 2 048. Ces capteurs de haute résolution, sont disponibles généralement dans plusieurs qualités (nombre de pixels défectueux).

Pour les caméras couleurs les capteurs sont identiques, mais pour les caméras mono-CCD, la présence du filtre RGB divise la résolution horizontale par 3. Seules les caméras dotées de trois capteurs voit leur résolution annoncée rester intacte.

La vitesse :

Il s'agit de la disponibilité d'un des éléments de l'image.

Les vitesses imposées sont en général celle du standard de télévision, pour la norme CCIR cela correspond de 10 MHz à 15 MHz. Chaque nouvelle image est disponible 40ms après la précédente, pour le mode entrelacé (voir figure 47) et 20ms pour le mode non entrelacé (résolution verticale réduite de moitié). Il existe certaines caméras permettant l'acquisition d'une image non entrelacée tout en restant compatible avec les standards vidéos classiques.

La précision géométrique :

(idem caméra linéaire)

L'alignement :

(idem caméra linéaire)

La dimension relative du pixel (pixel aperture) :

Il s'agit du rapport entre la longueur et la largeur physique de l'élément du capteur.

Un pixel est dit carré lorsque son rapport est de 1 (1/1), mais peu de capteurs disposent de pixels réellement carrés, car ces capteurs sont presque tous dérivés des caméras utilisées en télévision (ex : 9,2 μm (H) x 16,8 μm (V)).

L'usage de pixels carrés est très important, lors des opérations de mesures dimensionnelles. Les constructeurs ne disposant pas toujours de capteurs adéquats, ils tournent la difficulté en effectuant un suréchantillonnage des pixels à une fréquence plus haute. Parfois il passe purement et simplement ce problème sous silence.

Note :

Le suréchantillonnage donne une représentation visuelle carrée de l'image, mais issue d'un capteur non carré, engendre une perte de résolution. Il est toujours possible de corriger ces problèmes par logiciels, mais cela entraîne un temps de calcul plus important.

Les conditions de fonctionnement :

(idem caméra linéaire)

L'immunité au bruit :

(idem caméra linéaire)

Le temps d'exposition :

Certaines caméras sont dotées de capteurs permettant des acquisitions avec des temps d'exposition variable.

On trouve aujourd'hui des capteurs dotés de temps d'exposition variable entièrement électronique, ce système étant beaucoup plus fiable que son homologue mécanique.

Les vitesses actuellement disponibles varient de 1/50 au 1/10 000 sec. On trouve certaines caméras très spéciales pouvant atteindre le 1/200 000 sec.

Il est aussi parfois nécessaire d'allonger le temps d'exposition, notamment lorsque la lumière est très faible. Certains constructeurs disposent sur leur catalogue de ce genre de caméra.

Les objectifs :

(idem caméra linéaire)

III. DU CAPTEUR A L'IMAGE

L'existence de la vision par ordinateur est fortement liée à celle de la télévision. Tous les principes, mais aussi les difficultés viennent du monde de la télévision, qui lui vient du monde du cinéma.

Ce passé historique explique les choix technologiques qui sont encore aujourd'hui en vigueur. La vision par ordinateur utilise des composants et des choix technologiques qui, après une fine analyse, ne sont pas toujours vraiment appropriés.

Quoi qu'il en soit il est nécessaire de les connaître car cela évitera de se lancer dans des voies sans solutions.

Un peu d'histoire :

Depuis l'avènement du cinéma on a très vite cherché à transmettre des images : on a commencé à transmettre des images fixes puis, pour donner une apparence réelle aux images on a transmis plusieurs images par secondes en utilisant une technique s'apparentant à celle utilisée par la cinématographie.

Il est nécessaire de présenter devant l'oeil un certain nombre d'images par seconde, le cerveau faisant l'intégration du phénomène en donnant l'illusion d'une parfaite continuité.

Quelques images par seconde sont suffisantes. Ce nombre est toujours lié à la fréquence du secteur, 60 Hz aux USA, 50 Hz en EUROPE. Cela donne respectivement 60 trames par seconde ou 30 images complètes et 50 trames par seconde ou 25 images complètes.

En télévision, on ne transmet jamais une image complète, on transmet, une demi-image constituée d'abord des lignes impaires, la trame impaire, puis une autre demi-image constituée des lignes paires, la trame paire (voir figure 47).

1ère demi-image + 2ème demi-image = Image complète
 ou trame impaire + ou trame paire = entrelacée

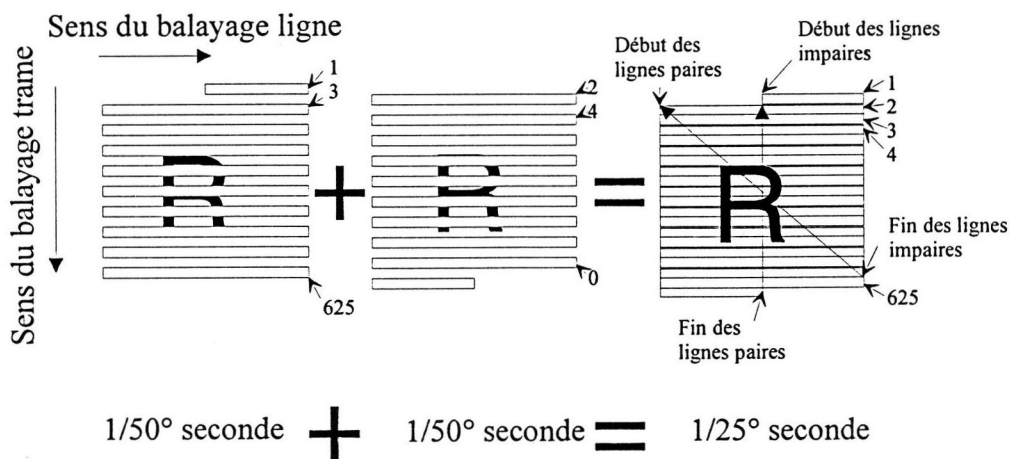


Fig 47 : Principe du balayage entrelacé.

Les professionnels parlent de balayage entrelacé, ce principe a été adopté pour transmettre à un instant donné le plus petit volume d'informations possible. L'œil intégrera ensuite les deux demi images, et le cerveau n'en verra qu'une seule.

Note :

Ce principe n'est pas utilisé ou plutôt ne devrait jamais être utilisé, pour les écrans d'ordinateur. En effet on peut voir apparaître un phénomène de scintillement dû au fait qu'une ligne sur deux est affichée.

Ce phénomène est visible quand l'on trace une seule ligne horizontale (un carré par exemple), une solution pour supprimer ce problème consiste à dessiner deux lignes au lieu d'une.

On peut constater ce défaut sur une télévision lorsque le présentateur est vêtu d'une chemise à rayures horizontales. Certains fabricants de télévision ont résolu ce problème en multipliant la fréquence de balayage par deux (100hz au lieu de 50hz) moyennant un stockage préalable de l'image.

A. Le signal issu du capteur : codage

Comme nous venons de le signaler plus haut, une image sera constituée d'une ou plusieurs trames, elles même constituées d'un ensemble de lignes contenant chacune un ensemble de points.

Il n'est pas dans l'objet de ce livre de faire un cours sur la télévision, mais une bonne compréhension de ce que l'on nomme couramment Signal de Vidéo Composite est toutefois nécessaire.

1. Le signal vidéo

Le capteur de vision artificielle n'est rien d'autre qu'une caméra de télévision, l'analyse de l'information contenue par le capteur s'effectuant par balayage, il sera nécessaire que l'émetteur (le capteur) soit synchronisé avec le récepteur (la carte d'acquisition d'images). La caméra délivre donc, un signal contenant l'information relative à l'éclairage de chaque élément sensible, auquel on rajoute divers signaux de synchronisation : ce signal est appelé signal vidéo composite (voir figure 48).

Pour la norme européenne, c'est à dire conforme aux directives CCIR (Comité Consultatif International de Radiodiffusion), le signal vidéo est constitué comme suit :

Une ligne dure 64 micro secondes, dont 52 micro secondes de vidéo utile. Chaque ligne est précédée d'un top de synchronisation. A la suite de ce top, on trouve un palier, dit de suppression. Vient ensuite le signal vidéo proprement dit. A la suite du signal vidéo, on retrouve un nouveau palier, dit palier de garde.

L'ensemble des deux paliers et le top de synchronisation, dure le temps nécessaire pour que le spot lumineux puisse se positionner sur le début de la nouvelle ligne (on raisonne en terme de télévision).

Pour mieux comprendre la constitution du signal on se reportera au dessin.

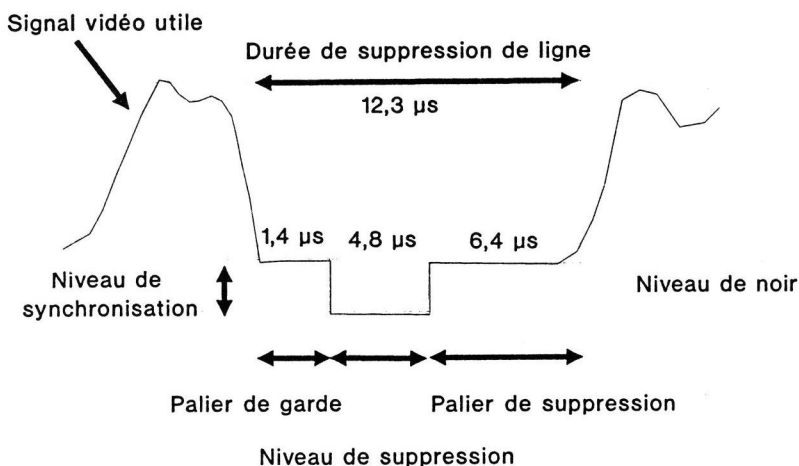


Fig 48 : Le signal vidéo composite.

L'ensemble de ces lignes constitue la trame, ou plutôt la demi-trame. Afin de permettre au système de télévision d'afficher l'autre trame, on génère un ensemble de signaux dits de synchronisation trame (voir figure 49).

Ces signaux vont permettre au récepteur de se recalibrer et de positionner le spot au début de la ligne paire ou impaire à afficher.

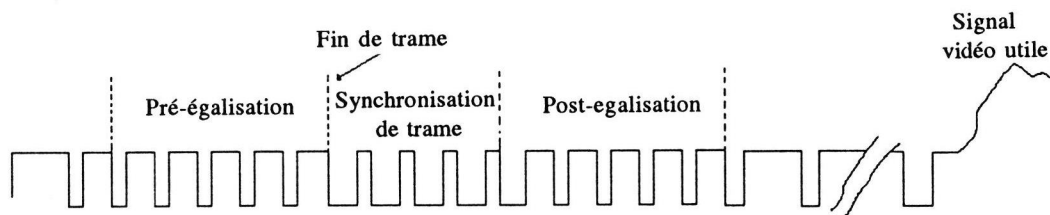


Fig 49 : Le signal de trame

Il est important de bien comprendre que ce système qui a été conçu à l'origine pour la télévision, présente parfois des contraintes en analyse d'images. Tout d'abord l'entrelacement des images est gênant lors d'analyse de phénomènes rapides. Ensuite les divers signaux de synchronisations ralentissent l'acquisition. C'est en partie pour ces raisons que les caméras linéaires fonctionnent suivant des standards qui leurs sont propres.

Ces inconvénients ne doivent pas faire oublier que le fait d'être compatible avec une norme, garantit la faculté d'utiliser n'importe quelles caméras pourvues qu'elles soient compatibles avec le standard en question.

2. Les standards

Les éléments constitutifs de l'image sont définis au sein d'une norme, norme qui pour compliquer les choses, est différente suivant les pays.

La norme définit électriquement la nature des signaux, ainsi que leurs nombres et leurs utilisations.

Chaque standard est défini par le nombre de lignes horizontales présentes sur l'image, ainsi on trouve par ordre chronologique, 525 lignes pour les USA (1941), 819 pour la FRANCE (1949), et 625 pour l'EUROPE (1962).

Lorsqu'on parle de standards de télévision, il vient à l'esprit les standards, **NTSC**, **PAL** et **SECAM**. Or ces standards sont en fait des standards **COULEUR**, qui ont été mis au point pour coder la couleur et surtout définir comment on allait transmettre cette information par voie hertzienne.

La télévision couleur est basée sur le concept suivant :

On peut considérer qu'une image couleur est une image Noir et Blanc grossièrement colorée. Ceci permet d'utiliser un signal couleur, sur un récepteur noir et blanc, en n'utilisant que la composante de luminance.

Le signal sera complété par le signal de chrominance traduisant la teinte et la pureté de la couleur. Il suffira donc de ne transmettre que DEUX signaux R-Y (Rouge - Luminance) et B-Y (Bleu - Luminance).

Le capteur fournit à la base trois composantes, le Rouge le Vert et le Bleu. Il s'agit du système RVB (en Français) ou RGB (Red, Green, Blue) pour les anglo-saxons. Chaque couleur correspond à 700 nm pour le rouge, 546 nm pour le vert et 436 nm pour le bleu. La luminance sera fabriquée par combinaison des trois premières ($0,3R + 0,59G + 0,11B$).

Diverses expériences sur l'appréciation des couleurs, ont montré que l'œil humain était plus sensible à la teinte qu'à la saturation. Ces expériences ont abouti à l'utilisation de seulement 87 % du signal R-Y et 49 % du signal B-Y.

En télévision on aura donc les combinaisons suivantes :

Valeur de luminance	$Y = 0,59 V + 0,30 R + 0,11 B$
Valeurs de Chrominance	$I = 0,60 R - 0,32 B - 0,28 V$
	$Q = 0,21 R + 0,31 B - 0,52 V$

Ce qui revient expérimentalement, pour une température de couleur de 5 500°K, de vérifier que la composante verte représente 59 % de l'énergie totale, alors que le rouge et le bleu représentent respectivement 30 % et 11 % de l'énergie totale.

Concrètement le signal de luminance représente la composante NOIR et BLANC de l'image. On utilise volontiers la lettre Y pour l'identifier, la nouvelle prise Y/C utilise donc la luminance et la chrominance séparément.

Tous les systèmes sont basés sur le même principe, développé à l'origine pour le standard NTSC. Seul diffère le codage lors de la transmission.

Il existe TROIS normes internationales définissant les standards couleur :

Le **NTSC** ou National Télévision System Committee (1953) pour les USA, le JAPON

Le **SECAM** ou Séquentiel à Mémoire a été développé dans les années 1958 en FRANCE et adopté par une grande partie de l'AFRIQUE et de l'URSS

Le **PAL** ou Phase Alternative Line (1966) a été développé pour une grande partie de l'EUROPE.

Le **NTSC** est le plus ancien des codages couleurs. Le codage de la couleur fait appel à un multiplexage des trois signaux de couleurs de base le Rouge, le Vert et le Bleu. Son gros

défaut vient de sa sensibilité aux variations de phases, ce qui a pour effet de modifier la teinte et la saturation des couleurs.

Le principe utilisé dans ce standard servira de base à tous les autres standards développés ultérieurement.

Le **PAL** issu des recherches du Dr Bruchy en RFA, est un dérivé du NTSC, il se caractérise par le déphasage synchrone de l'onde porteuse du signal vidéo. Il est moins sensible aux distorsions de transmission.

Le **SECAM** issu des travaux de Henri de France se caractérise par une transmission des signaux de chrominances par modulation de fréquence. Il est donc plus robuste lors de la transmission hertziennne, mais il donne une bande passante plus étendue. L'utilisation de la modulation de fréquence ne permet pas de transmettre, toute l'information de chrominance à chaque ligne (R-Y) ou (B-Y). On ne transmet qu'une seule information chaque fois. L'utilisation d'une ligne à retard permet d'avoir l'information totale à la ligne suivante. Ce principe qui a donné le nom de SECAM (SEquentiel A Mémoire).

Malheureusement, il existe pour un même standard des différences dans la méthode utilisée pour le transmettre. Cinq des paramètres ci-dessous peuvent être modifiés, engendrant ainsi de nombreux sous-standards :

La largeur de bande de fréquence allouée à la partie vidéo.

Le type de modulation de la porteuse Vidéo et de la porteuse Son.

Les différences de fréquences entre les porteuses Vidéo et Son.

Le sens de modulation Vidéo (Positif ou Négatif).

La valeur des porteuses Vidéo et Son après leur premier décodage au sein du récepteur de télévision.

Ces différences dans les sous-standards compliquent beaucoup les problèmes de compatibilité dans le matériel de réception.

Les remarques ci-dessus ne concernent pas, fort heureusement, les systèmes d'analyse d'images, car il s'agit de possibilités utilisées exclusivement lors de transmission hertziennne : elles ne concernent donc pas directement le signal sortant de la caméra. Par contre il subsiste bien les trois standards précités, ce qui demande quelques précautions lors de l'achat du matériel.

De toutes les façons, ces standards utilisent un grand nombre de subterfuges pour coder l'information, qui s'ils satisfont l'œil humain, risquent d'engendrer des erreurs lors du traitement numérique de la couleur.

Les Standards Noir et Blanc :

Maintenant que nous avons vu les standards les plus connus du grand public, il faut parler de ceux que l'on va trouver dans le domaine des caméras industrielles.

Il s'agit de standards Noir et Blanc développés à l'origine pour la vidéo surveillance. Il s'agit essentiellement des standards référencés RS-170 et CCIR.

Le **standard RS-170** est un standard américain défini par l'EIA (Electronic Industries Association), il a été défini dans le cadre de l'utilisation de la télévision monochrome des studios.

Il définit les caractéristiques des signaux électriques et les caractéristiques de l'image obtenue (distorsions, ratio...), ainsi que l'ensemble de la méthodologie de test nécessaire à l'agrément.

Ce standard se caractérise par le nombre de lignes adoptées qui est de 525, l'aspect de l'image est de 4/3, la fréquence de trames de 60 Hz et la fréquence de lignes de 15 750 Hz.

Le **standard RS-343** est aussi un standard américain défini par l'EIA (Electronic Industries Association), mais il a été établi pour la vidéo surveillance monochrome.

Il définit aussi les caractéristiques des signaux électriques et les caractéristiques de l'image obtenue (distorsions, ratio...), ainsi que l'ensemble de la méthodologie de test nécessaire à l'agrément.

Sa particularité provient du fait qu'il englobe la notion de haute définition soit 1 024 lignes.

Ce standard se caractérise par le nombre de lignes adoptées qui varie de 675, 729, 875, 945 à 1 023. L'aspect de l'image est variable mais au minimum de 4:3 ou 1:1, la fréquence de trames de 60 Hz et la fréquence de lignes variables suivant le nombre de lignes.

Ce standard est rarement supporté.

Le **standard CCIR** de vidéo surveillance.

Le terme CCIR est ici utilisé un peu abusivement, puisqu'en fait, il ne définit pas un standard mais un comité, le Comité Consultatif International des Radiocommunications. Les caractéristiques électriques de ce standard sont données dans le chapitre sur le signal vidéo.

Ce standard se caractérise par le nombre de lignes adoptées qui est de 625, l'aspect de l'image qui est de 4:3, la fréquence de trames de 50 Hz et la fréquence de lignes de 15 625 Hz.

Tous ces standards ont en commun :

La charge qui est de 75 Ohms

L'entrelacement des trames 2:1

L'amplitude maximale du signal est de 1 volt,
décomposé en 0,286 volt pour le top de
synchronisation et 0,714 volt pour le signal utile.

Le choix de l'utilisateur européen se portera de préférence sur du matériel compatible CCIR, car dans le choix contraire on risque soit d'avoir des difficultés pour synchroniser les caméras soit d'avoir une perte de définition.

Note :

Une caméra délivrant un signal au standard EIA RS-170 donnera une image incomplète sur un système d'acquisition d'image au standard CCIR.

B. Du signal à l'ordinateur : La formation de l'image

Le traitement de l'image au travers d'un ordinateur nécessite la conversion de l'image en une suite de données, compréhensibles par l'unité de calcul. L'image numérique, comme son nom l'indique, sera constituée d'une suite de chiffres représentant l'énergie reçue par le capteur (voir figure 50). Ces chiffres, dont l'ordonnement est significatif de l'image, seront ensuite analysés un par un par l'unité de calcul de l'ordinateur.

Une image digitale n'est donc rien d'autre qu'une matrice de nombres.

Au départ nous avons un capteur qui transforme l'énergie reçue par chaque point de l'image (énergie photonique) en énergie électrique.

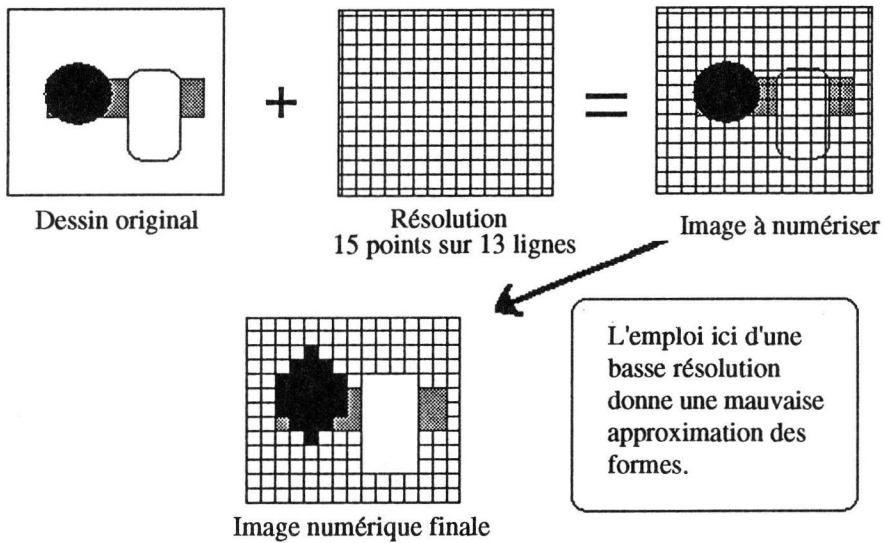


Fig 50 : L'image numérique.

1. Principe de l'image numérique

Cette énergie est transformée en un signal électrique analogique, ce signal est continu dans l'espace, c'est-à-dire qu'il y a une continuité entre les différents points de la scène, mais aussi en intensité. Aussi toutes les valeurs de réflectance seront possibles du "noir" (pas d'énergie reçue) jusqu'à la saturation du capteur ("blanc" correspondant à une trop forte énergie reçue par le capteur).

Or, un système d'analyse d'images est un système informatique qui ne peut traiter que des informations discrètes. Il faut donc numériser -ou digitaliser- ces informations analogiques.

Deux traitements sont nécessaires : l'échantillonnage spatial qui permet de discrétiser dans l'espace et la quantification qui correspond à la discrétisation des énergies électriques. Ces traitements sont regroupés sous le terme de numérisation ou digitalisation.

1. L'échantillonnage spatial

Sur une ligne, par exemple, on remplace les valeurs continues dans l'espace par une suite de valeurs discrètes (voir figure 51). On donne à chaque intervalle élémentaire la valeur moyenne de l'espace qu'il couvrirait.

Le même processus peut être effectué sur un espace à 2 dimensions : on divise l'espace en surfaces élémentaires appelées "picture element" ou pixel. Ce traitement peut être représenté par la superposition d'une grille sur l'objet, l'intensité allouée à chaque pixel correspondant à la moyenne des intensités analogiques relevées sur cette surface élémentaire.

La précision de l'échantillonnage est déterminée par la distance qui sépare les pixels ou par le nombre de pixels que l'on trouve dans une surface - ou une longueur - donnée. Elle est exprimée en pixels/ unité longueur ou pixel/cm et connue sous le nom de taux d'échantillonnage.

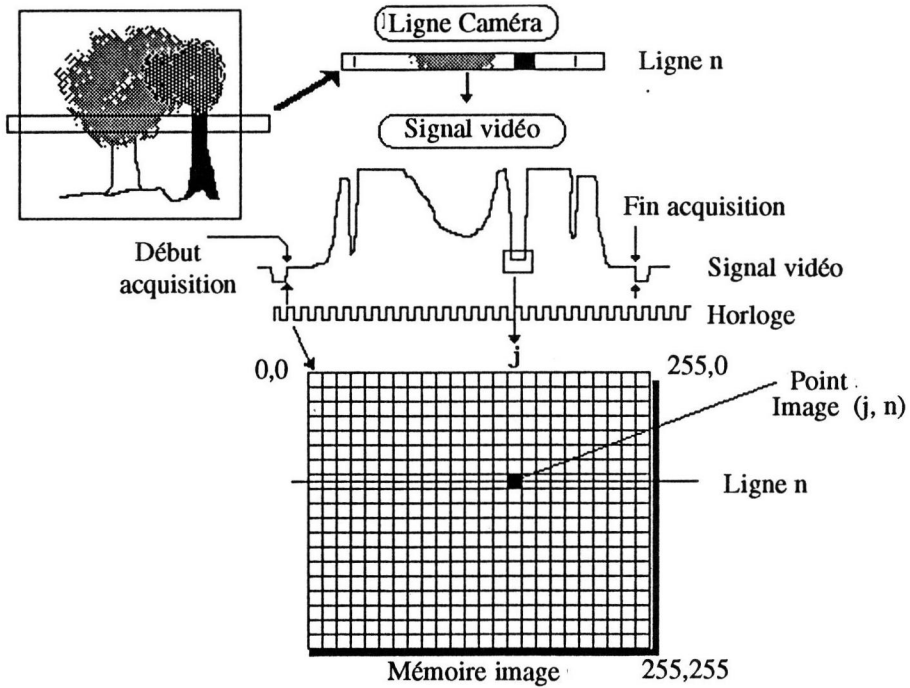


Fig 51 : Principe de la numérisation d'une ligne de l'image

On peut chercher à minimiser le nombre de pixels par objet de manière à réduire la quantité de données à traiter. Mais si le taux d'échantillonnage est trop faible, certains petits détails de l'objet seront mal représentés (voir figure 52).

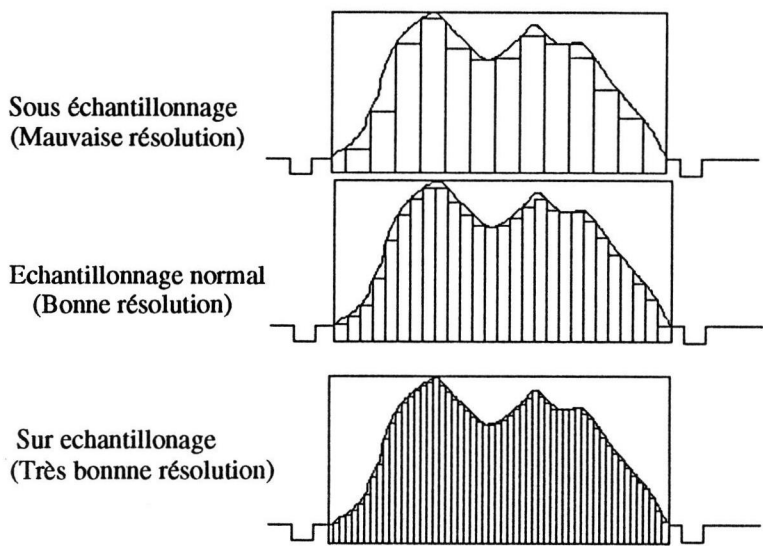


Fig 52 : Différents échantillonnages du signal.

En fait, il existe un théorème mathématique qui indique le taux d'échantillonnage minimum qui permet de conserver les détails : c'est le théorème de Niquist. Il précise que le taux d'échantillonnage doit être au minimum 2 fois plus élevé que le plus petit détail à conserver (généralement, on échantillonne à 10 fois la fréquence). Par exemple, si un objet montre des détails proches de 1 mm, on doit prendre au moins 2 pixels par mm. Si on échantillonne à une fréquence inférieure, la représentation finale de l'image sera faussée. Cette distorsion est appelée aliasing.

Le taux d'échantillonnage peut aussi être représenté par le nombre de pixels utilisés pour représenter l'image digitale (voir les figures 53 à 56 - *encart photos* -).

Généralement, le nombre de pixels est de 512 (lignes) x 512 (points par ligne) mais on peut aussi trouver des résolutions inférieures, 256 x 256, 64 x 64...

On conçoit immédiatement une conséquence importante de la digitalisation des images : le nombre de pixels pour une image en 256 * 256 est de 65 536 points et il s'élève à 262144 points pour une image 512 * 512.

Cet aspect est très important notamment au niveau du stockage.

Le maillage utilisé actuellement est rectangulaire et parfois carré, bien que certains maillages hexagonaux ou circulaires puissent être d'une grande utilité.

* Formats standards en vision numérique :

256 x 256 ou **512 x 512**, voire **1 024 x 1 024** ou plus.

* Formats standards en graphisme :

640 x 480, **800 x 600** et maintenant **1 024 x 768**

La différence provient des caractéristiques des moniteurs vidéos, qui ont un rapport d'affichage **4/3**. Dans le monde du graphisme l'important est l'aspect visuel, un cercle doit apparaître sur le moniteur comme un cercle. Par contre, en vision la mémoire de trame est généralement carré si bien qu'un cercle dessiné sur un moniteur vidéo ordinaire, apparaîtra comme une ellipse sur l'écran vidéo.

En vision numérique, chaque point de l'image est appelé *picture element* ou pixel, il s'agit du plus petit élément de l'image disponible. Ce terme est indifféremment utilisé pour caractériser le capteur (ex : CCD) ou l'image numérisée elle-même. Toutefois, il n'existe pas de correspondance directe.

Il est important de faire attention aux associations rapides entre la résolution du capteur et la résolution de l'image résultant de la numérisation du signal vidéo.

Pourquoi cette différence :

Cela provient de la transmission du signal. En effet, la caméra qu'elle soit un tube ou un CCD transmet une image suivant un mode analogique, qui est ensuite discrétisé (numérisé) par la chaîne d'acquisition. Si bien qu'un capteur de très mauvaise qualité 128 points sur 128 lignes verra son image transmise suivant la norme vidéo en vigueur, sous la forme de 625 lignes (les lignes seront simplement dupliquées). Les lignes seront à leur tour numérisées en 512 par 512 (par exemple). La réciproque (capteur 512 points sur 512 lignes numérisé en 128 x 128) est aussi possible, les points seront alors sous-échantillonnés.

2. La quantification

Après la discrétisation de l'image, chaque point se voit affecté d'une grandeur numérique représentant son équivalent analogique.

La quantification correspond à la discrétisation du signal électrique de chaque pixel, en un nombre fini de valeurs. Cette opération est nécessaire car toute l'information traitée par l'ordinateur doit être présentée sous forme de nombres discrets et finis. Si l'énergie d'un pixel ne correspond pas à une des valeurs finies, lui assigne la valeur la plus proche.

Exemple :

Supposons que l'on ait des valeurs finies comprises entre 0 et 63 (codage sur 6 bits). Si un pixel est observé avec une énergie de 37,4, le convertisseur Analogique-Numérique (A/N ou A/D) lui assignera une valeur finie de 37. Le convertisseur fait donc une erreur connue sous le nom d'erreur de quantification.

Il est important de noter que cette erreur dépend du convertisseur. Elle se manifeste généralement par une moins bonne finesse de l'image.

On obtient ainsi, un certain nombre de niveaux de quantification ou niveaux de gris. Par exemple pour une image noir et blanc, le noir a le niveau 0 et le blanc a le niveau maximal, c'est-à-dire 16 pour les convertisseurs 4 bits, 64 pour les 6 bits, ou 256 pour les 8 bits.

La qualité de la représentation des intensités de l'image dépend du nombre de valeurs finies, autrement dit, des niveaux de quantification (voir figure 57). Plus on augmente le

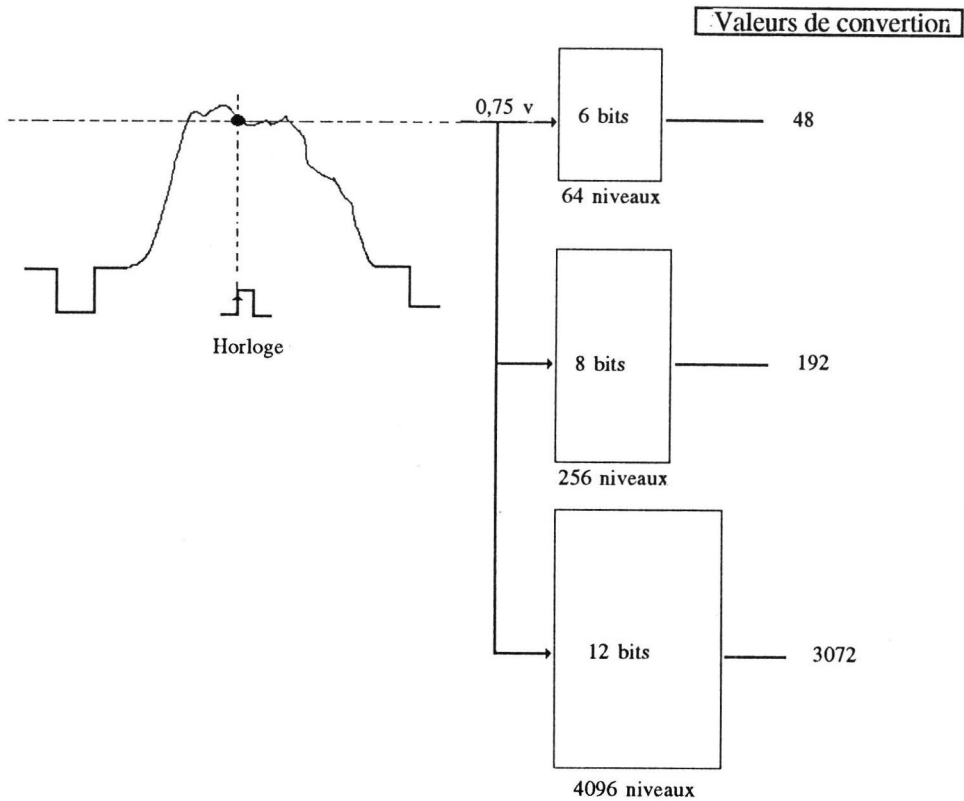


Fig 57 : Quantification du signal analogique.

nombre de niveaux, plus fidèle est la représentation. Le nombre de niveaux est donné par le nombre de bits sur lequel on veut numériser :

- Si on assigne un octet à chaque pixel, on disposera pour chaque pixel de 256 niveaux.
- Si on assigne 1/2 octet par pixel, on aura 16 niveaux par pixel.

Cette deuxième représentation divise par 2 les besoins en espace de stockage, mais l'image ainsi recueillie manquera de nuances (dégradés de gris).

On notera en outre qu'à la suite d'étude sur le comportement humain on a constaté que l'oeil humain ne distingue guère plus de 32 niveaux de gris.

On obtient suivant la quantification utilisée :

1) Une image Binaire :

Chaque point est soit allumé (1) soit éteint (0), dans ce cas 8 points images peuvent être contenus dans un élément mémoire (octet ou byte).

2) Une image multiveaux :

Chaque point se voyant affecté de 16, 64, 256 niveaux ou plus. L'image est plus volumineuse et plus difficile à traiter.

3) Une image couleur :

Chacune des couleurs fondamentales le ROUGE, le VERT et le BLEU permet de définir un seul point image, qui sera codé soit en multiveaux, soit en binaire.

En général l'image couleur occupe un espace mémoire 3 fois plus important qu'une image noir et blanc.

On pourra noter, qu'une image couleur, dont chaque composante est numérisée sur 8 bits (256 niveaux) donne plus de 16 millions de couleurs. Cela va bien au-delà de ce pourra rendre le moniteur vidéo ou même de ce que l'oeil pourra interpréter.

On trouve très souvent ce genre de configuration dans le commerce, car cela est plus simple à concevoir.

3. Le volume de l'information

Il apparait donc que l'un des problèmes importants est le nombre de données numériques nécessaires, pour représenter une image. En effet, pour avoir l'image la plus fidèle possible, il faut simultanément un grand nombre de pixels et un grand nombre de niveaux de gris. Une image classique a 512 * 512 pixels sur 256 niveaux de gris (8 bits).

Elle sera donc stockée sur un quart de million de bits! Sachant qu'un texte de 1 000 mots demande environ 56 000 bits, une image est 37 fois plus encombrante! (voir figure 58).

Cette quantité de données est l'un des problèmes majeurs des images digitales, car le stockage des données coûte cher et leur traitement est très long. La transmission des images sera aussi très longue : une transmission par téléphone à 300 bauds (300 bits/sec ou environ 30 caractères/sec) prendra plus de 2 heures pour une image 512 * 512.

Les techniques d'aujourd'hui permettent des taux de compressions assez impressionnants, en effet suivant la norme JPEG (Joint Photographic Expert Group) qui qualifie la qualité des photographies couleurs on obtient en pixels équivalents :

D'une image codée sur 24 bits, donc en couleur on peut réduire la quantité d'informations à :

Bits/Pixels	Qualité subjective
1,5	Aucune différence
0,75	Qualité excellente (32:1)
0,25	Utilisable
0,15	Reconnaissable
0,085	identifiable (293:1)

Le codage obtenu est basé sur la transformée discrète en cosinus ou DCT. Cette transformée basée sur la Transformée de Fourier permet de passer de l'espace spatial à l'espace des fréquences. En compressant les données de cet espace, l'oeil étant plus tolérant dans l'espace des hautes fréquences, les dégradations ne seront pas sensibles. On arrive à des taux de compression de 20 à 30 voire 100.

Ce type de codage n'est malheureusement pas toujours utilisable en imagerie médicale ou industrielle, car il dégrade tout de même l'information contenue dans l'image même si cela n'apparaît pas à l'oeil.

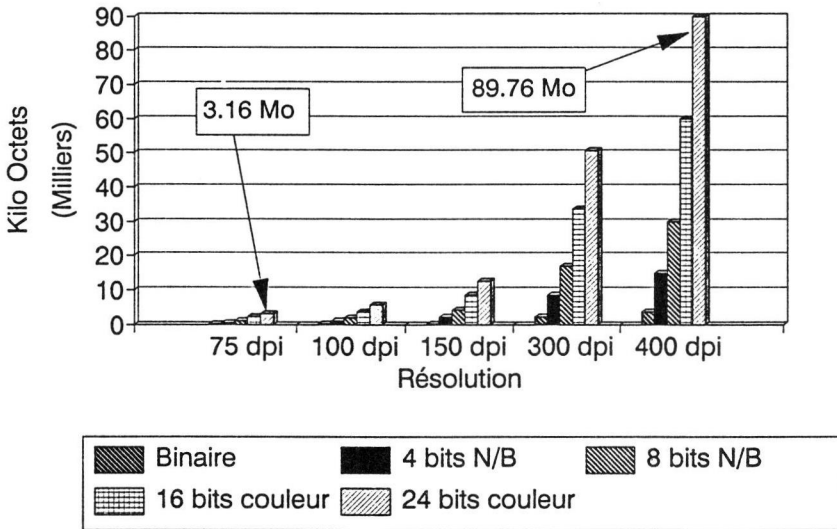


Fig 58 : Le stockage d'une image numérisée d'environ 27 cm x 43 cm

IV. QUELLE ELECTRONIQUE POUR L'IMAGE

Nous avons énoncé dans la partie précédente les principes de l'image numérique, nous allons dans cette dernière partie décrire succinctement comment on y parvient. Compte tenu de la diversité des systèmes de numérisation existant sur le marché nous allons rester dans une configuration classique (voir figure 59).

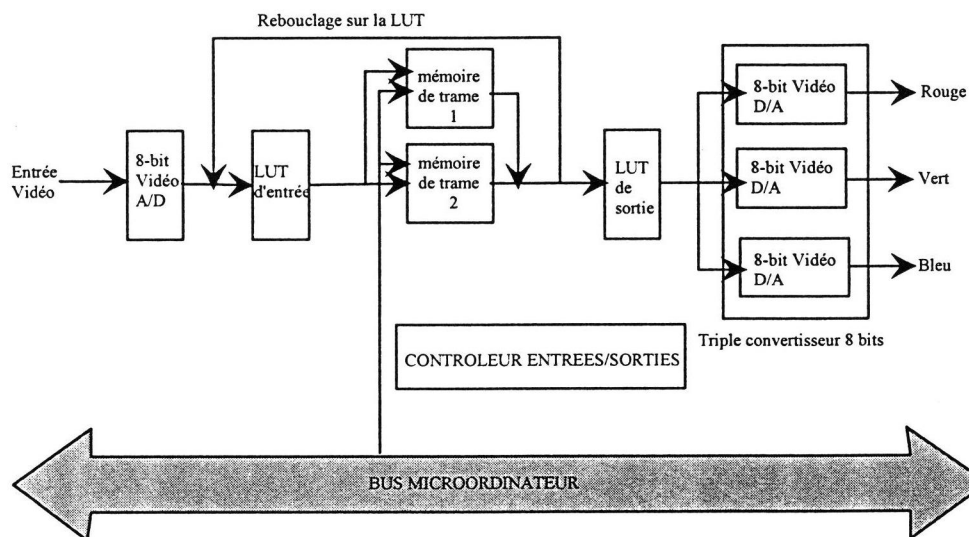


Fig 59 : Exemple de carte de numérisation disponible sur le marché.

A. Le convertisseur Analogique Numérique (CAN)

Cette partie électronique a pour vocation la numérisation du signal analogique, uniquement pendant les parties utiles du signal vidéo. Ce convertisseur est associé à divers circuits qui déclenchent et arrêtent la numérisation du signal en fonction des signaux de synchronisation contenus dans ce dernier (voir la partie sur le signal vidéo). On retrouve ici les notions fondamentales développées précédemment, c'est à dire la numérisation spatiale et la quantification. En effet, la numérisation spatiale sera liée à la fréquence d'horloge, tandis que la quantification sera elle liée au pouvoir de résolution du convertisseur.

La fréquence d'échantillonnage est donnée, soit par une horloge interne à la carte, soit - ce qui est plus élégant - par l'horloge pixel fournie par la caméra, si elle existe. Cette deuxième solution présente le gros avantage d'associer un pixel caméra à une zone mémoire image ; ce qui est indispensable dans certaines applications.

La vitesse de l'horloge conditionne le nombre de pixels en ligne, une vitesse deux fois plus faible donnera deux fois moins de points image. Cette méthode est couramment employée pour réduire physiquement la dimension de l'image, par exemple passer de 512 x 512 points à 256 x 256 points. De même on peut sur-échantillonner le signal, ce qui donne un effet de zoom.

Quand à la quantification, elle varie en fonction du pouvoir de résolution du convertisseur utilisé. Ainsi sur le marché, on trouve les convertisseurs 6 bits qui sont les moins onéreux, mais qui ne donnent que 64 valeurs possibles. On trouve aussi les convertisseurs 8 bits, plus coûteux, mais qui donnent 256 valeurs. Certains fabricants utilisent des convertisseurs jusqu'à 12 bits et voire au-delà (voir figure 57). Ces choix imposent pour la même taille d'image de doubler la capacité mémoire, ainsi 16 bits de profondeur seront nécessaires, 12 bits pour l'image et 4 bits pour d'autres usages, notamment pour le graphique ou comme zone de marquage du pixel.

Pour la couleur, les électroniciens fabriquent en fait trois cartes monochromes dans une seule carte couleur. On trouve généralement 3 convertisseurs 5 bits, soit 15 bits, qui est en fait une version spéciale du convertisseur 16 bits, et maintenant on trouve couramment 3 convertisseurs 8 bits, soit 24 bits (voir figure 60).

Il est important de noter qu'il existe différentes cartes couleur en fonction de l'espace colorimétrique dans lequel on souhaite travailler. Généralement les cartes existantes fonctionnent en RGB (RVB en français, soit Rouge Vert Bleu), mais l'on trouve de plus en plus des cartes fonctionnant en HIS (LTS en français, soit Luminance Teinte Saturation).

B. Les tables de conversions d'entrée

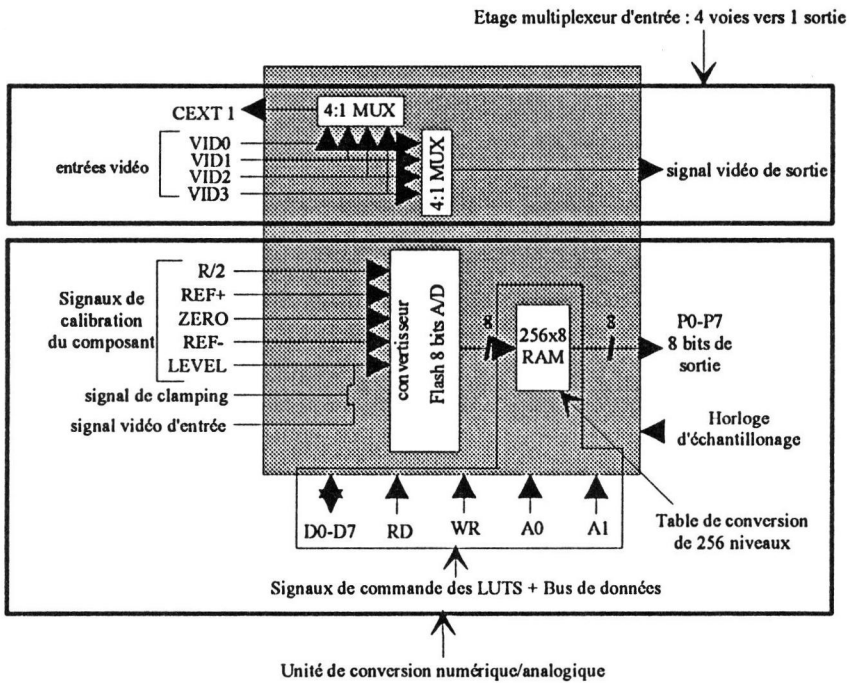
Il s'agit là de transformer en **temps réel** la valeur de chaque point image obtenu grâce au circuit de numérisation ci dessus (voir figure 60-1). L'intérêt de ces tables provient de la grande simplicité de fonctionnement et la possibilité d'effectuer à moindre coût des transformations ou corrections en temps réel. Par ce système il est possible de corriger les contrastes, passer d'un négatif à un positif, seuiller l'image etc.

Le principe de fonction est très simple :

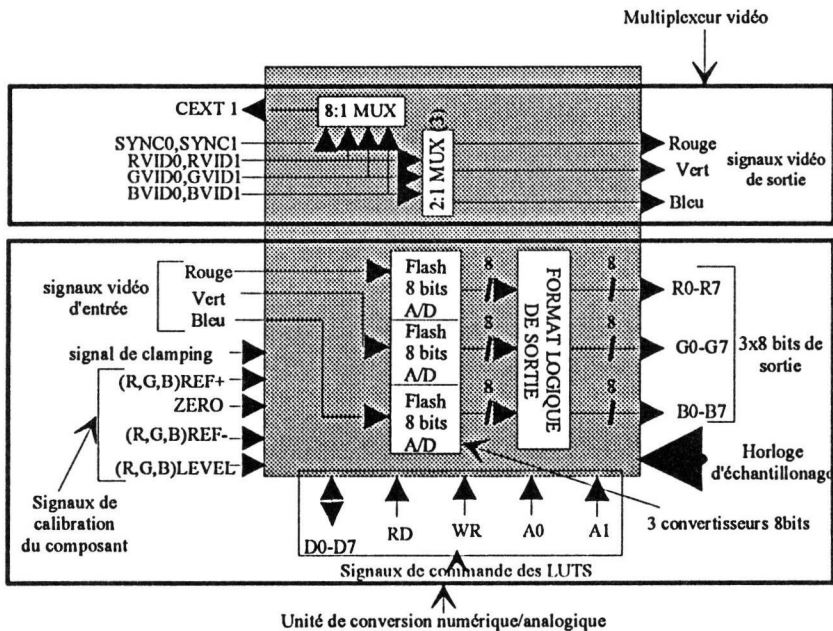
On considère que le niveau de chaque pixel provenant du convertisseur sert d'index dans un tableau linéaire. Ce tableau a la même dimension que la résolution du convertisseur, par exemple un convertisseur 8 bits pourra adresser 256 cases.

Cet index pointera sur une des cases du tableau, que l'on aura rempli au préalable avec certaines valeurs. C'est le contenu de la case effectivement pointée qui sera mémorisée à la place de la valeur sortant du convertisseur ayant servi à l'adressage.

Ce système de traitement temps réel est très utilisé. Suivant la manière que l'on a de remplir le tableau on pourra effectuer différents traitements. Par exemple : si l'on renverse l'ordre du tableau, c'est à dire que la valeur 0 se retrouve à la place de la valeur 255 et réciproquement, on pourra transformer une image négative (négatif photo par exemple) en une image normale. De même on pourra corriger de manière linéaire ou non linéaire la dynamique du convertisseur ou bien créer une image binaire.



Bi251-DIGITALISEUR EN DEGRADE DE GRIS



Bi251-DIGITALISEUR COULEUR

Fig 60 : Synoptique d'un convertisseur N/B et d'un convertisseur couleur (*documentation BOOKTREE*)

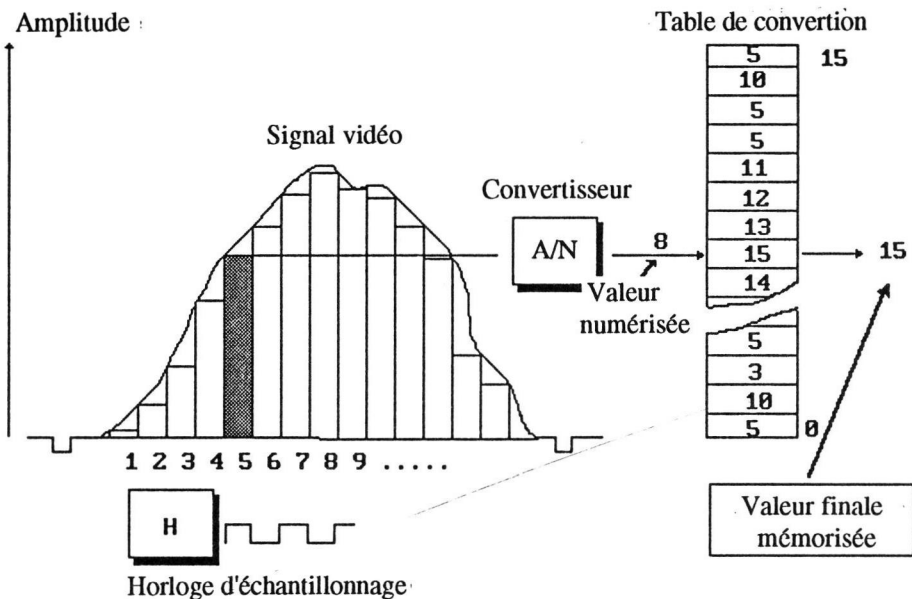


Fig 60-1 : Principe de fonctionnement des tables de conversions.

C. La mémoire d'image

Le résultat de la numérisation est en général récupéré et stocké au sein d'une mémoire d'image, en vue d'un traitement en temps différé.

Cette mémoire, qui peut être considérée comme un tableau à deux dimensions, permettra au programme de calcul d'accéder à chaque point de l'image. Ici, un point élémentaire de l'image est stocké à chaque top ou pulse d'horloge. On a donc un stockage séquentiel, point par point, correspondant au signal vidéo utile, précédemment discrétisé.

La mémoire d'image est généralement vue comme un plan mémoire de l'ordinateur, ce qui facilite grandement son accessibilité.

Chaque point image est accessible en calculant l'adresse suivante :

$$\text{Adresse du point } P(x,y) = x + (y * \text{Dimension en X du tableau})$$

Le plan ainsi constitué est accessible soit par morceau, on dira alors par page (voir figure 62), soit linéairement (voir figure 63), soit point par point, au travers d'un adressage X et Y (voir figure 64). L'accès par page est généralement rencontré sur des architectures à base de processeurs INTEL, comme l'IBM PC. L'adressage linéaire se trouvera sur des architectures à base de processeurs MOTOROLA ou RISC. L'adressage en XY est, quant à lui, de plus en plus abandonné sauf dans quelques cas particuliers.

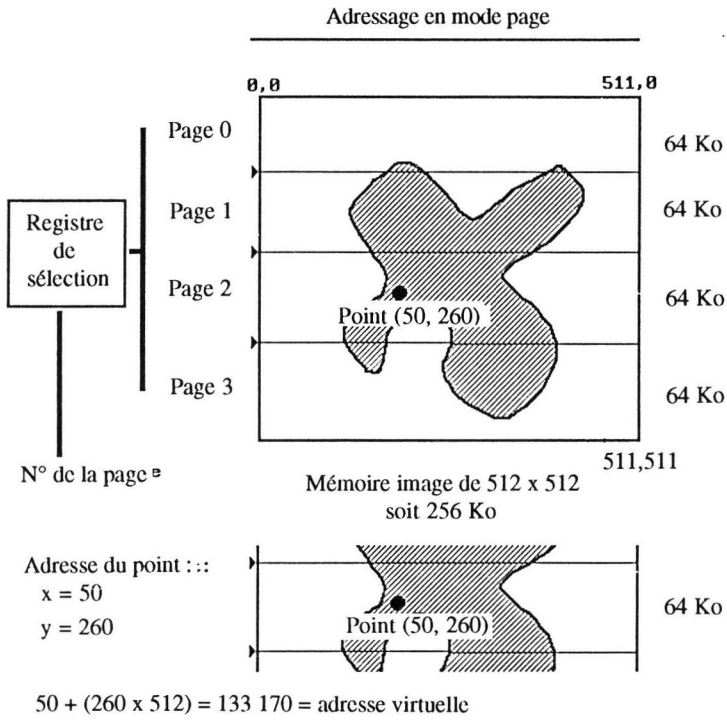


Fig 62 : Accès à la mémoire en mode paginé.

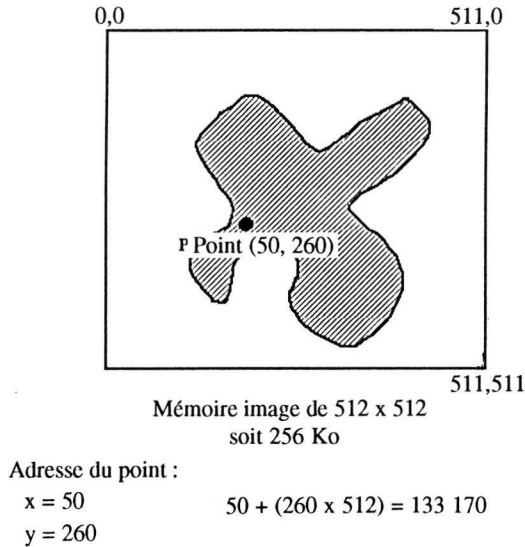


Fig 63 : Accès à la mémoire en mode linéaire.

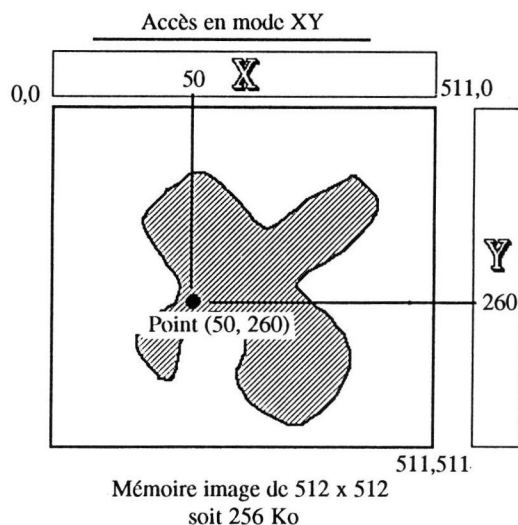


Fig 64 : Accès à la mémoire en mode XY.

La taille de la mémoire est variable suivant les fabricants, généralement on trouve des mémoires représentant une matrice carrée 256 x 256, 512 x 512 ou 1 024 x 1 024. Dans de nombreux cas on dispose de plusieurs mémoires image.

Par exemple :

Une carte disposant d'1Mo de mémoire contiendra en fait 4 plans images de 256Ko, correspondant au stockage de 4 images 512x512 pixels sur 8 bits. Pour pouvoir apprécier le nombre d'images stockées en mémoire, à partir de la capacité mémoire donnée par le fabricant, on devra tenir compte de la nature des images couleurs ou monochromes et de leur niveau de numérisation. Par exemple, si 1Mo permette de stocker 4 images 512x512 pixels sur 8 bits, elle ne permet de stocker qu'une image couleur sur 24 bits et 2 sur 15 bits.

Comme nous venons de le constater, la mémoire image étant constituée de la même manière que la mémoire de l'ordinateur. On y trouve à peu près la même architecture, soit 8 bits, 16 bits, 24 bits, ou 32 bits de profondeur en boîtier de 1 bits, 4 bits ou 8 bits. Dans ce contexte, il arrive que l'on ait des bits inutilisés. Ces derniers seront généralement utilisés en plans d'overlay, c'est à dire d'incrustation, qui contiendront généralement du texte, des couleurs de marquage ou des graphiques. Ce type de plan est très prisé par certains développeurs qui y voient la possibilité de marquer certains pixels en vue de leur traitement (voir figure 65). On peut, par exemple, dire que le pixel a été déjà traité, ou spécifier que ce dernier appartient à un objet spécifique...

L'overlay permet de stocker ou d'affecter une valeur à un pixel sans détruire sa valeur. Cette technique est généralement utilisée pour sur-primer un dessin ou graphique sur l'image, ou pour "marquer" le pixel lors d'un traitement.

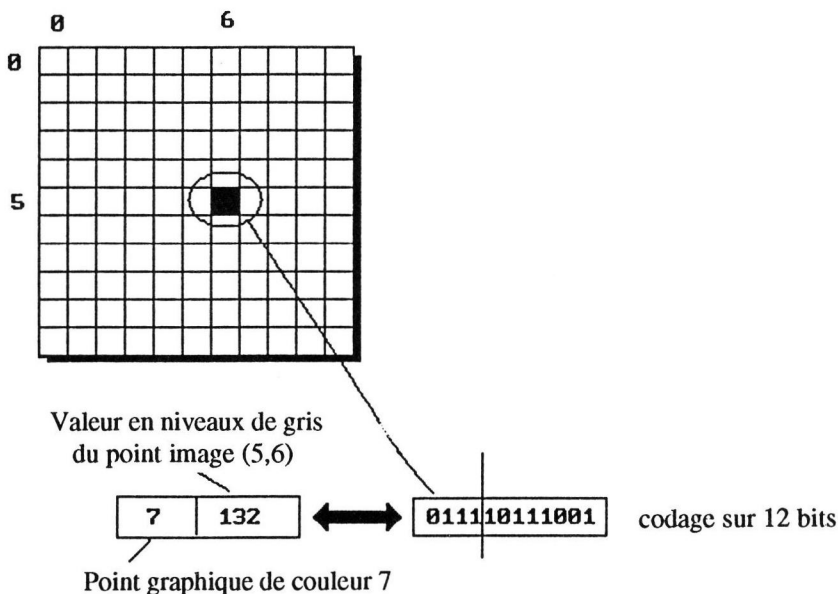


Fig 65 : Principe de l'overlay

D. Les tables de conversions de sortie

Ces tables sont identiques dans leur fonctionnement à celles des entrées. Il existe des familles de tables, celles qui ont une entrée et une sortie, comme les tables de conversion d'entrée, et celles qui ont une entrée et trois sorties. Ces dernières tirent leur originalité dans le fait que la sortie de la mémoire est généralement destinée à un moniteur vidéo, qui, lui, a besoin de trois canaux couleurs, le rouge, le vert et le bleu.

On peut aussi trouver des tables, dont la sortie est réinjectée dans la table d'entrée, se combinant ainsi avec le pixel d'entrée (voir figure 66). Ces tables permettent de faire des opérations élémentaires, comme l'addition, la soustraction, la multiplication etc. d'un pixel acquis à l'instant t avec un pixel en cours d'acquisition. Avec ce type d'architecture il est possible de traiter, dans une certaine mesure des opérations non linéaires. Les opérations les plus courantes sont la suppression du bruit par moyennage, la détection des contours, le filtrage...

Les tables d'entrée sont alors plus importantes.

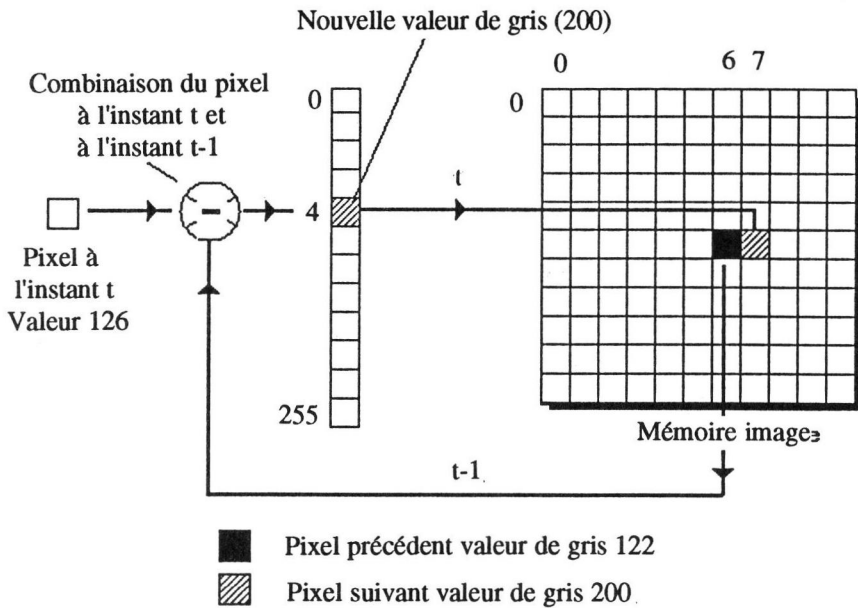


Fig 66 : Exemple d'utilisation du rebouclage des luts.

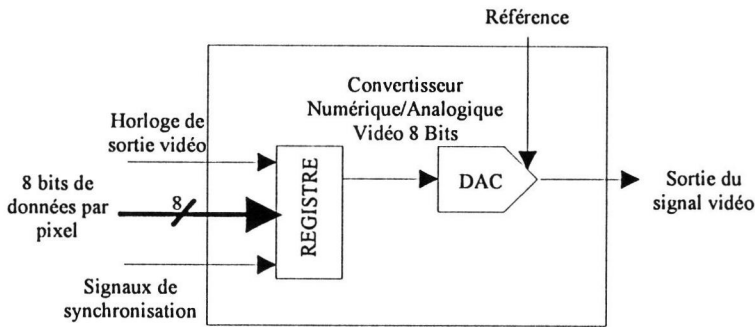
E. Le convertisseur de sortie ou CNA (OPTIONNEL)

Tout comme le convertisseur d'entrée, la grande majorité des cartes du commerce comporte un système permettant la visualisation des images mémorisées. Il s'agit donc, ici, d'effectuer la transformation inverse à la précédente, soit de transformer le signal numérique en signal analogique. On aura donc, un convertisseur Numérique Analogique (CNA en français et DAC en anglais). Ces convertisseurs étant relativement faciles à fabriquer, on trouvera, très souvent un composant complexe et sophistiqué permettant de transformer le signal numérique en signal vidéo couleur, en reconstituant les trois fondamentales le Rouge, le Vert et le Bleu.

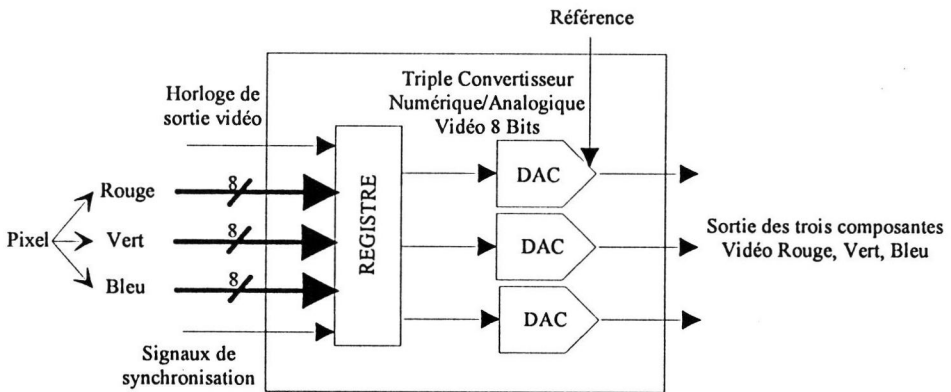
Ces convertisseurs couleurs, il n'existe pratiquement pas de cartes équipées de sortie monochrome, sont pratiquement tous dotés de tables de conversions intégrées. Les cartes monochromes disposant d'un convertisseur de sortie couleur permettent d'effectuer une transformation dites - en fausses couleurs -. Cette opération permet de mettre en relief certains niveaux de gris en les colorant artificiellement. Son usage est très prisé par les personnes travaillant en Télé-Détection, et plus simplement par ceux qui souhaitent faire ressortir un niveau de gris particulier.

En suivant ce principe, il est donc possible d'obtenir par exemple 256 couleurs parmi 16 millions. Pour ce faire la valeur provenant de la mémoire image est envoyée simultanément sur l'entrée des trois convertisseurs, le contenu différent de chacune des trois tables permet d'obtenir 256 couleurs dans une palette de quelques millions de nuances.

On trouvera en illustrations les composants proposés par la société américaine BOOKTREE (figures 67 et 68).



Bt 102 - vidéo DAC 8 bits 75 MHz (N/B)



Bt 102 - triple vidéo DAC 8 bits 75 MHz (couleur)

Fig 67 : Triple convertisseur de sortie.

Note :

Pour obtenir une image en mono-chrome il suffit de charger les trois tables avec les mêmes valeurs.

On notera un point très important : autant les tables d'entrées affectent la valeur du pixel mémorisé, autant les tables de sortie n'affectent en rien le contenu de la mémoire, le résultat est uniquement visuel. Pour cette raison leur intérêt est pratiquement nul en industrie, sauf, et ce n'est pas à négliger lors de la mise au point des programmes.

F. La logique de contrôle

Il s'agit ici de la partie cachée de la carte, elle est destinée à synchroniser les stockages et les entrées/sorties. De plus en plus on utilise des composants spécialisés qui incluent parfois un processeur de calcul.

L'unité de contrôle a la lourde tâche d'éviter les conflits d'accès entre le stockage des points images lors de l'acquisition et l'accès à ces points pendant le calcul. Les cartes modernes se distinguent par la totale transparence d'accès pour le programme, alors qu'au

début du traitement d'image on ne pouvait accéder à l'image que lors des retours de ligne caméra ou pire lors des retours de trames. Sur certaines cartes, on allait même jusqu'à interdire l'accès tant que l'image n'avait pas été définitivement acquise.

Aujourd'hui les cartes modernes gèrent tout cela en temps masqué permettant au programmeur de ne pas se soucier du moment d'accès à la mémoire. On distinguera l'ancienne génération de cartes par la présence de parasites sur l'image durant les accès mémoire.

Ces circuits sont assez complexes et leur explication détaillée dépasse le cadre du livre. Pour donner un exemple, on trouvera en figure 69, le synoptique de fonctionnement d'un contrôleur vidéo du fabricant TEXAS INSTRUMENT, en l'occurrence le TMS 3461.

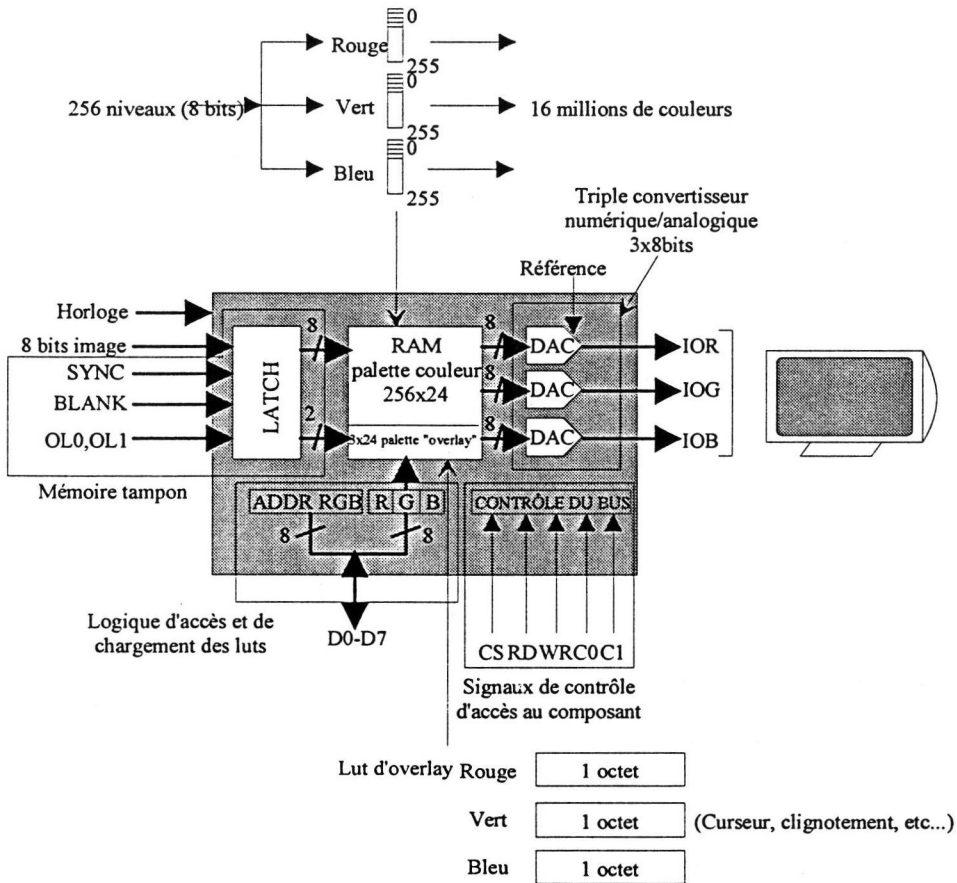


Fig 68 : Convertisseur ayant sa propre LUT intégrée (documentation BOOKTREE).

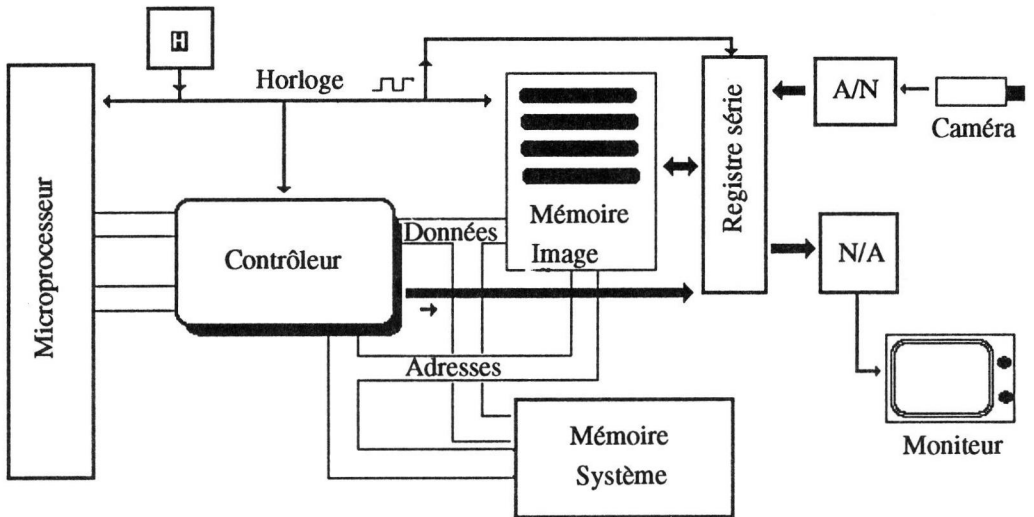


Fig 69 : Synoptique général du contrôleur vidéo 34061 (d'après la documentation de TEXAS INSTRUMENT).

G. Les composants particuliers

L'analyse d'images demandant souvent une puissance de calcul impressionnante un grand nombre de fabricants proposent des des cartes supplémentaires ou add-on, destinées à augmenter la puissance des systèmes. Ainsi un simple micro-ordinateur PC peut approcher la puissance d'un CRAY (l'un des ordinateurs les plus puissants au monde).

CARTE DE TRAITEMENT

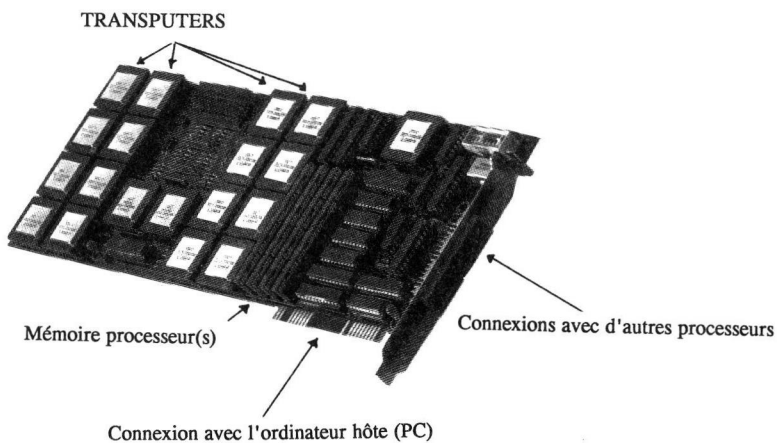


Fig 70 : Exemple de carte pour ordinateur PC de très grande puissance de calcul (documentation QUINTEK).

On trouve aussi des cartes d'acquisition qui sont conçues dès l'origine pour accueillir des processeurs de calcul. Ces solutions sont trop nombreuses et trop variées pour être abordées dans ce livre, mais on peut toutefois les classer en deux grandes catégories :

1 - Les composants spéciaux : Convolueur temps réel, ALU...

2- Les processeurs spécialisés : Contrôleur graphique, Processeurs classiques embarqués sur la carte (TRANSPUTERS, I 860, 68 040, processeurs en tranche...), DSP etc.

La première catégorie est généralement intégrée directement sur la carte d'acquisition d'images, alors que la deuxième complète souvent une configuration de base. Lorsque l'on adjoint une telle carte il est important de réserver suffisamment de mémoire pour le travail du processeur en plus de la mémoire image.

L'utilisateur prendra garde de ne pas être pénalisé lors des transferts d'informations entre la mémoire image et l'unité de calcul. Pour cette raison certains fabricants dotent les cartes de bus spécialisés pour le transfert. Ces bus ne sont pas malheureusement pas normalisés.



TROISIEME PARTIE:
DE L'IMAGE A SON EXPLOITATION

I. LE PRE-TRAITEMENT DES IMAGES D'ORIGINE

L'objectif de tout appareil de vision artificielle est d'analyser l'image acquise au travers d'un capteur (caméra) ; cette analyse va s'opérer à plusieurs niveaux, car la compréhension d'une scène est complexe.

Bien qu'il existe des systèmes purement analogiques de traitement des images, ceux ci sont généralement cantonnés à des fonctions d'amélioration de la qualité vidéo. On ne trouvera pas ce type de matériel dans les systèmes de contrôles automatisés, à de rares exceptions près, notamment lorsqu'ils sont associés en amont, à des systèmes numériques. Les systèmes analogiques sont par définition, temps réel, mais ils sont complexes et non évolutifs.

Nous ne nous intéresserons donc qu'aux systèmes de traitement numérique des images. Ces derniers allient performance, souplesse, et prix. Nous considérerons dans la partie de ce livre que l'image a préalablement été numérisée et quelle se trouve stockée dans la mémoire d'un ordinateur.

Après acquisition et stockage de l'image le traitement se déroule en plusieurs phases :

- 1) L'amélioration du contenu de l'image
- 2) La segmentation de l'image
- 3) L'extraction des informations contenues
- 4) L'identification et la reconnaissance
- 5) La décision d'action

On pourra se reporter à la figure 71 qui synthétise l'ensemble des opérations pour une analyse standard.

Pour des raisons évidentes de simplicité on considèrera par la suite que nous possédons une image numérique composée de $N \times M$ pixels (en général $N = M = 512$), chaque pixel étant codé sur n bits (en général $n = 8$ soit donc 256 niveaux de gris).

Il s'agira dans un premier temps de trouver des techniques qui nous permettront d'obtenir à partir de cette grande quantité d'informations des caractéristiques minimales permettant d'identifier nos objets. Les primitives de traitement seront pour la plupart construites à partir des relations entre pixels voisins.

A. L'amélioration des images par la modification de l'échelle des niveaux de gris

Les objectifs du prétraitement sont :

- de reconstituer une image idéale à partir d'une image de qualité médiocre,
- d'atténuer les "parasites", c'est-à-dire des objets n'ayant aucun intérêt pour l'application comme le bruit par exemple ;
- d'accentuer les paramètres intéressants.

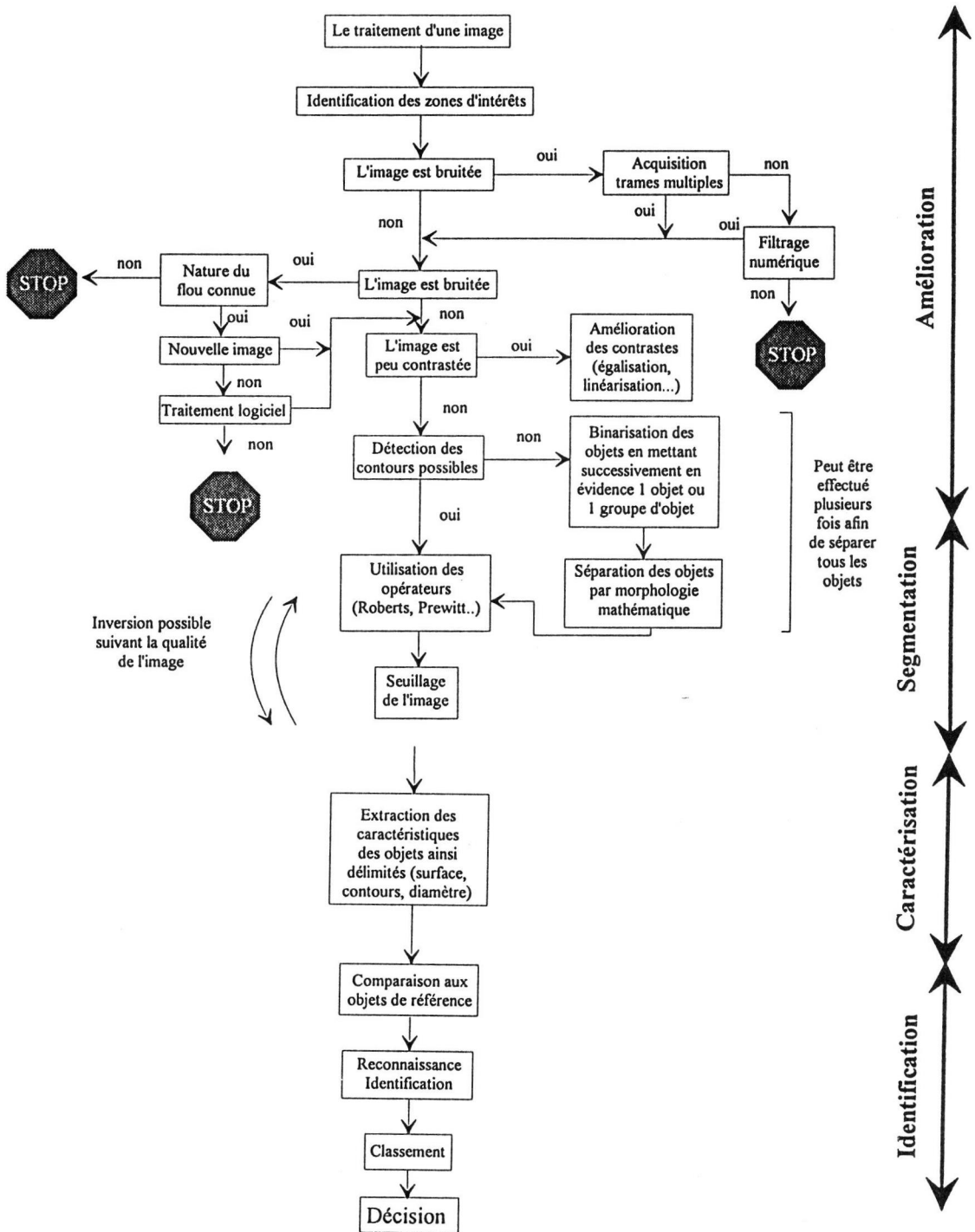


Fig 71 : Diagramme décisionnel pour traiter une image.

Nous n'aborderons pas ici les corrections géométriques. Ces corrections sont utilisées pour restaurer des images distordues, soit par des aberrations du capteur, soit par des problèmes de perspective. En effet, en milieu industriel, on tente le plus possible d'éviter les distorsions géométriques par une prise d'image adéquate (on essaie d'avoir des images d'objets en 2D). La correction géométrique est en revanche indispensable dans des disciplines telles que la télédétection, car les images prises sur une surface courbe (la Terre) doivent ensuite être superposées à des cartes planes.

Le prétraitement de l'image peut s'effectuer à trois niveaux. Sur le signal vidéo à la sortie de la caméra, il s'agira d'un traitement a priori analogique, ou sur le signal numérisé avant son stockage en mémoire, on utilisera alors un processeur rapide et souvent spécialisé (DSP, convolveur temps réel...). Enfin, on pourra traiter l'information une fois stockée en mémoire, par logiciel. Les opérations effectuées dans les deux premiers cas sont bien entendu réalisables par logiciel après stockage, mais on perd alors en rapidité de traitement.

Les corrections envisagées dans cette partie concerneront uniquement les niveaux de gris :

- modification de l'échelle des niveaux de gris,
- lissage c'est-à-dire "estompage" des défauts,
- amélioration du contraste,
- suppression du bruit.

Certains traitements fonctionnent en tenant compte des pixels voisins comme le lissage, d'autres plus simples, comme la modification des échelles de gris, fonctionnent à partir d'opérations basées sur un calcul d'histogramme (voir figure 72).

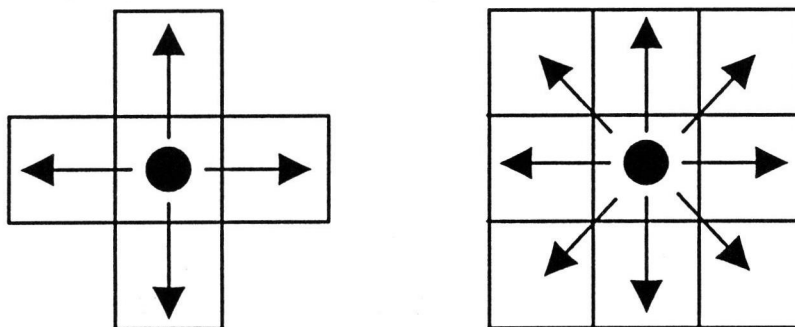


Fig 72 : La connexité : Relation entre 4 voisins et 8 voisins

Dans un premier temps nous allons décrire les opérations ponctuelles qui ne tiennent pas compte des pixels voisins.

L'amélioration des images par modification de l'échelle des niveaux de gris

1. Correction des niveaux de gris (correction radiométrique)

La correction des niveaux de gris compense le fait que tous les pixels constituant la surface sensible du capteur n'ont pas la même sensibilité pour un même éclairage. On peut aussi corriger le manque d'uniformité d'éclairage par la même méthode.

La sensibilité de chaque pixel peut être déterminée de la façon suivante : on éclaire le capteur de la manière la plus homogène possible. On recueille la réponse de chaque point image et l'on construit une matrice de référence qui servira à corriger les variations de sensibilité du capteur.

Cette méthode qui intellectuellement est plaisante, n'est malheureusement presque jamais utilisée car elle demande une matrice aussi grande que l'image. On trouve toutefois une version simplifiée de ce concept dans les caméras CCD. Le capteur n'étant pas parfait on mémorise les points aberrants de manière à les remplacer par leurs voisins lors de la constitution du signal vidéo.

2. La standardisation par histogramme (*histogram stretching*)

Qu'est-ce qu'un histogramme ?

Cette opération consiste à comptabiliser le nombre de pixels de chaque niveau de quantification (niveau de gris).

On aura ainsi le nombre exact de pixels noirs, pixels gris...

On représente en général l'histogramme des niveaux de gris sous forme de barres verticales (voir figure 73). Il exprime la fréquence d'apparition (en ordonnée) de chaque niveau de gris (en abscisse).

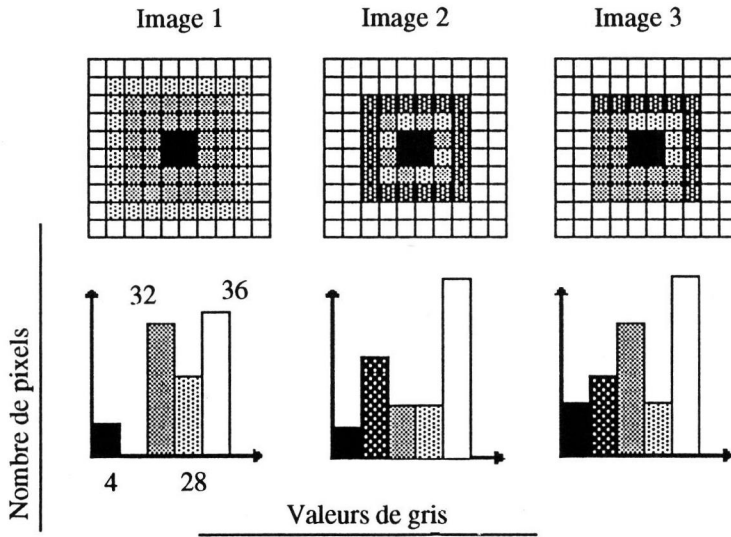


Fig 73 : exemple d'histogramme.

Une scène foncée présente un histogramme décalé vers la gauche (c'est-à-dire vers le noir ou "0") et inversement pour une scène claire. Un pic signifie que de nombreux points de l'image possèdent ce niveau d'illumination. Une scène très contrastée présente 2 pics distincts alors qu'une scène homogène offre un histogramme quasi-horizontale. Si un seul niveau de gris est représenté, une seule "barre" est remplie.

Qu'est-ce que la standardisation ?

La pleine échelle de l'histogramme présente 256 niveaux, pour une numérisation sur 8 bits. Très souvent, la distribution des niveaux de gris sur l'image ne s'étend pas sur toute la gamme (pas de zones très foncées ou très claires). La standardisation consiste à étaler l'histogramme sur toute la gamme disponible (voir figures 74 et 77 (photo)).

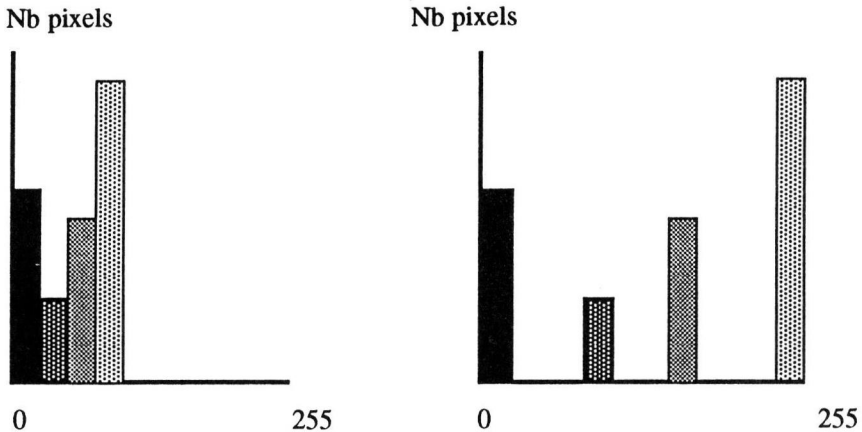


Fig 74 : La standardisation d'un histogramme.

Si par exemple, les niveaux de gris d'une image sont compris entre 50 et 99, une première opération les "translate" de 0 à 50 et une deuxième opération les répartit de 0 à 255. Cette opération augmente le contraste visuel, mais n'engendre aucune modification quant au contenu de l'image (la forme de l'histogramme reste la même).

Note : dans le travail sur les histogrammes, on a souvent intérêt à sélectionner la région intéressante de l'image de manière à ne pas "déséquilibrer" l'histogramme par des zones inintéressantes (le fond par exemple). Il faut donc transformer l'histogramme à partir des paramètres de la région d'intérêt (Region of Interest ou R.O.I.).

3. L'égalisation d'histogramme (histogram equalization)

L'égalisation d'histogramme consiste à aplanir l'histogramme. Elle a pour effet d'améliorer le contraste : les valeurs d'intensité les plus faibles -et qui sont souvent très intéressantes comme les arêtes- sont augmentées aux dépens des valeurs d'intensités plus grandes. Cette technique est aussi un ajustement utile avant de comparer 2 scènes prises dans des conditions d'éclairage différentes.

Cet aplanissement est réalisé à partir de la distribution en fréquences cumulées (DFC). Pour réaliser cette opération, on effectue dans un premier temps, le calcul du nombre total de pixels. On accumule alors, toutes les classes de niveaux de gris, qui dans notre cas nous donne 72.

Ensuite, on fixe le nombre de surclasses, 9 dans notre cas, en essayant d'avoir le nombre de classes le plus grand possible, tout en gardant un écart entre les classes, le plus petit possible. Sur le diagramme en fréquences cumulées, on divise l'axe des ordonnées par le nombre de classes. Chaque division de l'axe des ordonnées est ensuite reportée, sur la courbe,

nous donnant ainsi le nombre de classes à cumuler dans chacune des nouvelles classes. Pour aider à la compréhension de cette méthode, on s'aidera de la figure 75. L'histogramme résultant de cette transformation n'est que très rarement plat. L'aplanissement peut être utilisé pour réduire le nombre de niveaux de gris dans une image, par exemple pour "compresser" le volume d'une image en réduisant le nombre de niveaux de gris de 256 à 16, sans trop affecter la qualité de la perception visuelle.

4. La linéarisation d'histogramme (histogram linearization)

La linéarisation d'histogramme est une autre opération sur histogramme qui a pour objet de faire ressortir les détails correspondants aux classes les plus importantes et d'atténuer les classes les moins importantes. Le résultat donnera de meilleurs contrastes.

L'opération consiste à transformer l'histogramme de manière à obtenir une distribution approximativement uniforme sans diminuer le nombre de classes (niveaux de gris) (voir figures 76 et 78 (photo)). Ainsi, les niveaux montrant de très hautes fréquences seront répartis sur une grande zone de l'histogramme alors que les niveaux de faible fréquence seront compressés.

On appelle cette opération "linéarisation" car elle consiste à linéariser l'histogramme cumulé. Tout comme dans la standardisation, l'histogramme est, dans un premier temps "étiré" sur la gamme totale des niveaux de gris, et égalisé par la procédure suivante :

Dans un premier temps, on place dans l'histogramme en fréquences cumulées le premier niveau de gris rencontré en début d'échelle - valeur 0 -. La projection de la valeur de ce premier niveau sur la bissectrice donne l'abscisse du deuxième niveau (voir figure 79). On recommence ainsi de suite.

Ainsi, les zones de haute fréquence sont fortement écartées sur l'axe x.

Ceci provoque le phénomène suivant :

Le contraste va être accru dans les zones de haute fréquence qui théoriquement correspondent aux zones d'intérêt puisqu'elles occupent une grande place. Les niveaux de gris de fréquence moindre seront considérés comme moins intéressants et donc "compressés" sur moins de niveaux de gris.

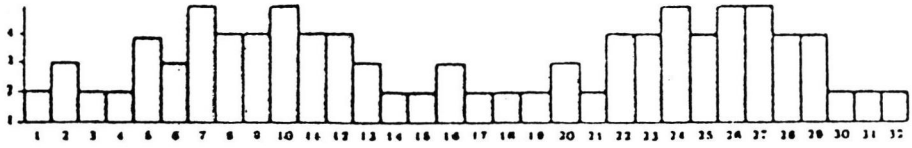
5. Opérations ponctuelles (point operations)

Dans tout ce chapitre, nous travaillons indépendamment sur chaque pixel, sans aucune influence des autres pixels. Ces opérations sont ainsi dites ponctuelles. Ce sont les plus simples des traitements.

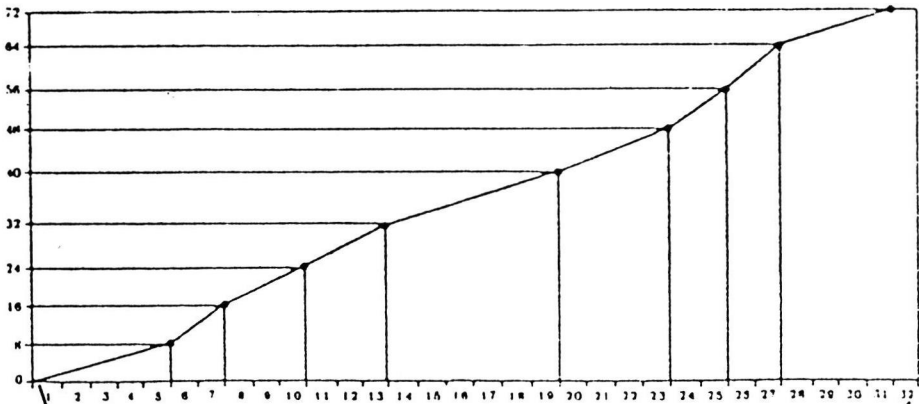
Dans ce cadre, nous pouvons aussi noter l'inversion de niveaux de gris. A chaque pixel de niveau de gris x est associé son complément à 255 c'est-à-dire $(255 - x)$. Par exemple l'inversion d'un pixel blanc (255) donnera un pixel noir $(255 - 255 = 0)$.

Ces opérations peuvent être effectuées en logiciel, mais souvent elles sont câblées au sein de la carte d'acquisition d'images (voir figure 60-1), elles peuvent donc s'effectuer en temps réel au travers de tables de conversions (LookUp Table ou LUT). Ces tables sont présentes physiquement sur les cartes de numérisation soit, à l'entrée du signal vidéo, soit à la sortie vers le moniteur de visualisation. Elles permettent de transformer chaque pixel numérisé en lui réaffectant une autre valeur (voir figures 80 - encart photo -). Pour plus d'informations le lecteur se reportera au chapitre décrivant le matériel.

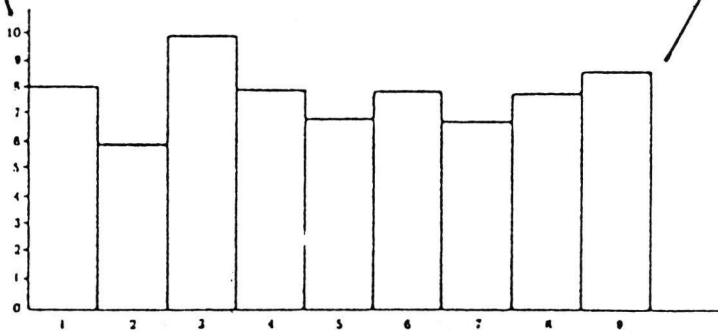
HISTOGRAMME SUR 32 NIVEAUX DE GRIS



OPERATION D'EGALISATION



RESULTAT DE L'OPERATION D'EGALISATION



NOUVEL HISTOGRAMME (9 CLASSES DE GRIS)

Fig 75 : L'égalisation de l'histogramme.

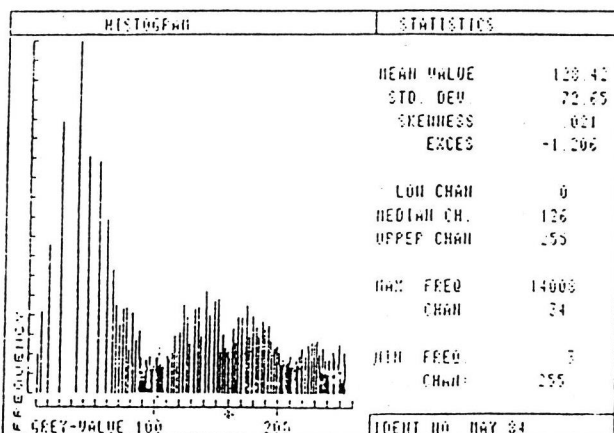
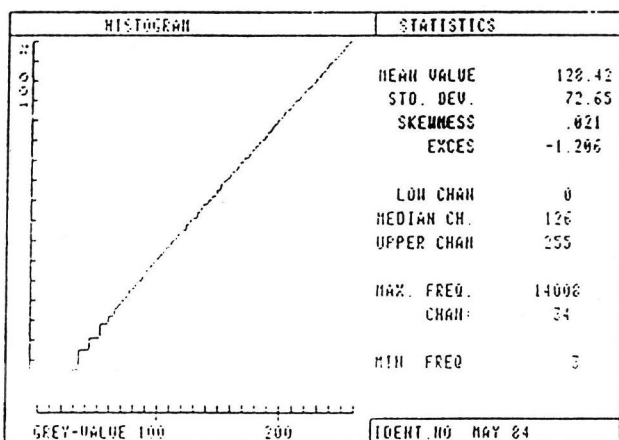
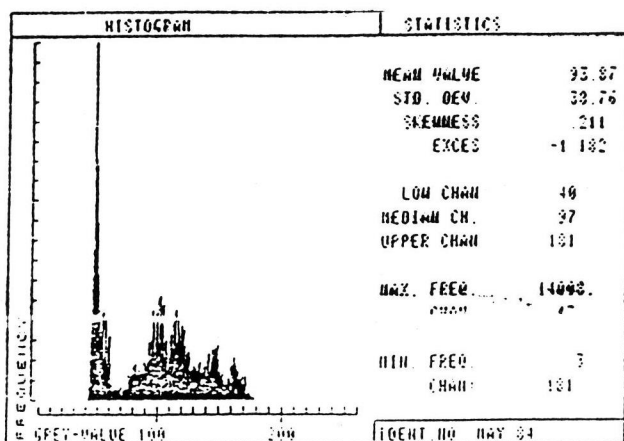


Fig 76 : Linéarisation de l'histogramme.

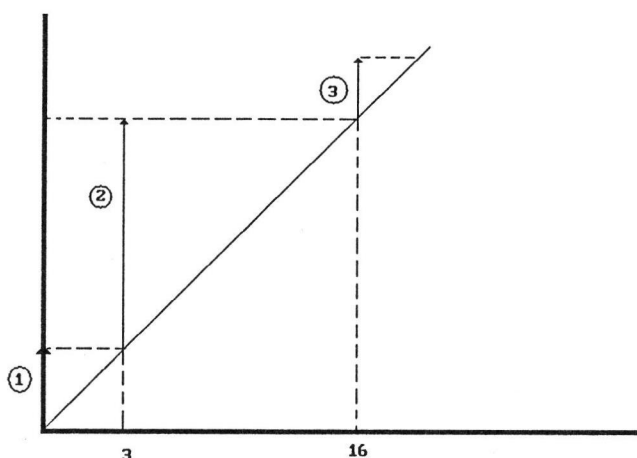


Fig 79 : Projection sur la bissectrice.

On distingue deux types de tables de conversion ou Look up Table :

ILUT = Input Look up Table ou table d'entrée

OLUT = Output Look up Table ou table de sortie

Les LUTs existent indifféremment en entrée et en sortie, on se reportera au chapitre décrivant l'architecture des cartes d'acquisition d'images si l'on souhaite avoir plus d'informations. Les LUTs d'entrée permettent d'effectuer les corrections aux cadences imposées par le signal vidéo, mais la transformation qui en est issue est irrémédiable. tandis que les LUTs travaillant en sortie permettent comme les précédentes de travailler en temps réel, mais elles ont la caractéristique importante de ne pas altérer l'image sur laquelle on travaille, ce qui est un avantage pour la phase de recherche d'algorithmes.

ILUT : tables de correspondance en entrée sont destructives.

OLUT : tables de correspondance en sortie sont exclusivement visuelle, elles n'ont donc aucun effet sur l'image mémorisée.

B. Eliminer les parasites et accentuer les contrastes

L'amélioration de contraste correspond à l'élimination du bruit, à l'accentuation des contours et plus généralement à tout ce qui donne une meilleure apparence à l'image. Lorsqu'on veut améliorer une image trouble, il faut toujours commencer par l'atténuation du bruit (régularisation) avant d'accentuer les contours et jamais l'inverse. L'ordre d'application est primordial. Une différenciation appliquée sur le bruit de fond l'amplifie considérablement et il risque d'être mal éliminé, alors qu'une régularisation ultérieure donnerait des contours flous. Ainsi l'étape de régularisation est toujours la première. Elle correspond à un assainissement de l'image.

1. L'atténuation du bruit

a) Le moyennage entre images successives

Le moyennage global consiste à accumuler plusieurs acquisitions "identiques" (c'est-à-dire dans les mêmes conditions) de la même image. En moyennant ces images, le bruit qui est aléatoire s'élimine alors que les détails intéressants s'ajoutent. Le rapport S/B augmente de $n/2$, n étant le nombre d'accumulations des images.

Bien évidemment, cette méthode ne peut pas s'appliquer aux objets en mouvement.

b) Le lissage (smoothing) ; Introduction aux opérations sur masque (Convolution).

L'opération la plus connue pour l'élimination du bruit est le lissage. C'est une opération sur masque.

Qu'est-ce qu'une opération sur masque ?

Le masque définit sur l'image une petite fenêtre, par exemple 3 pixels de côté. L'ensemble des pixels délimités dans cette zone fera l'objet d'une opération mathématique, nommée convolution.

Dans la plupart des cas, ces fenêtres sont carrées ou rectangulaires, mais d'autres formes sont possibles (hexagonales). L'objectif étant pour un pixel de tenir compte de son voisinage, on choisit généralement des tailles impaires et de symétrie circulaire. Le pixel central sera donc combiné avec son voisinage et la valeur ainsi obtenue remplacera la valeur d'origine. La fonction de pondération est aussi appelée "noyau de convolution" (mask ou templates).

Le principe de fonctionnement est simple :

Chaque élément du masque contient un coefficient. Chacun de ces éléments est associé à son homologue sur l'image. On effectue alors une combinaison linéaire entre les coefficients du masque et les valeurs de niveaux de gris. Le résultat sera mis à la place du pixel central. Cette opération sera ensuite répétée pour tous les points de l'image, le masque étant déplacé à chaque fois.

Cette opération nécessite souvent un stockage intermédiaire des résultats. Ce stockage est en rapport avec la taille du masque, par exemple un masque de 3 x 3 nécessite le stockage de deux lignes. D'autre part, lorsque l'on se trouve aux bords d'une image on s'arrange, soit pour traiter quelques lignes ou colonnes avant, soit pour inventer des pixels neutres. Dans le cas d'un masque 3 x 3 on perdra donc 2 lignes et 2 colonnes.

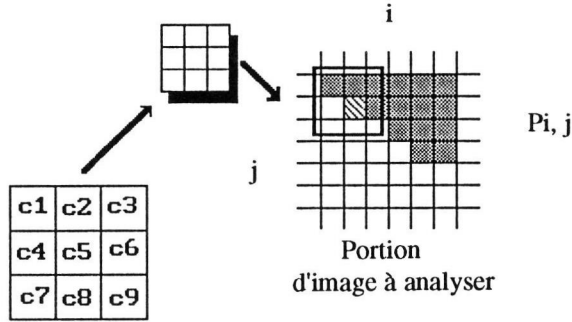
Le lissage (ou régularisation numérique) est un bon exemple d'opération sur fenêtre. Il a pour objet de combattre le bruit dû au capteur à l'aide d'un moyennage entre pixels (voir figure 81 - encart photo -). Par contre on obtient un effet d'adoucissement pouvant faire disparaître certains détails (voir figure 84 - encart photo -), détériorant ainsi la structure des limites (*blurring*). Plus la surface de la fenêtre est petite, moins l'image initiale est modifiée.

Dans ce cas, la fonction qui donne la valeur du pixel central est une combinaison linéaire des pixels de la fenêtre (voir figure 82) :

$$a'5 = \text{Somme} (C_i * a_i)$$

où

a_5 est la nouvelle valeur du pixel central,
 a_i sont les valeurs des intensités des pixels dans la fenêtre,
 C_i sont les coefficients multiplicateurs.



Nouvelle valeur du point image $P_{i, j} =$

$$\begin{aligned}
 & c_1 \times P_{i-1, j-1} + c_2 \times P_{i, j-1} + c_3 \times P_{i+1, j-1} \\
 & + c_4 \times P_{i-1, j} + c_5 \times P_{i, j} + c_6 \times P_{i+1, j} \\
 & + c_7 \times P_{i-1, j+1} + c_8 \times P_{i, j+1} + c_9 \times P_{i+1, j+1}
 \end{aligned}$$

Fig 82 : Description du principe utilisé en analyse d'image pour effectuer une convolution 3 x 3.

Pour le lissage, les coefficients pondérateurs sont tous égaux à 1/9.

Note : Les convolutions peuvent avoir des effets atténuateurs (exemple du lissage) tout comme des effets d'intensification du contraste des images (nous verrons ces cas dans le chapitre amélioration des contrastes avec le Laplacien).

Quelques exemples de lissage :

		1/9	1/9	1/9
		1/9	1/9	1/9
		1/9	1/9	1/9
ou encore				
	1/20	*	2	2
			2	4
			2	2

c) Les convolutions non linéaires : l'opérateur médian.

Le lissage crée malheureusement l'estompage des arêtes. On peut s'affranchir de cet inconvénient en utilisant un opérateur médian. La médiane d'un lot de nombres est la valeur située entre les moitiés inférieure et supérieure. Par exemple, si une fenêtre recouvre la région ci-dessous :

3 3 3
 9 9 9
 9 9 9

Un opérateur "moyenne" retourne la valeur 7 alors qu'un opérateur "médian" retourne la valeur 9. Cet opérateur présente l'avantage de préserver les contours des images traitées.

Moyenne = $7 = 1/9 \times (3 + 3 + 3 + 9 + 9 + 9 + 9 + 9 + 9)$

Médiane = 9 3 3 3 9 9 9 9 9 9

On opère un classement par ordre croissant.

Une bonne illustration du principe de ce filtre est donnée en figure 83.

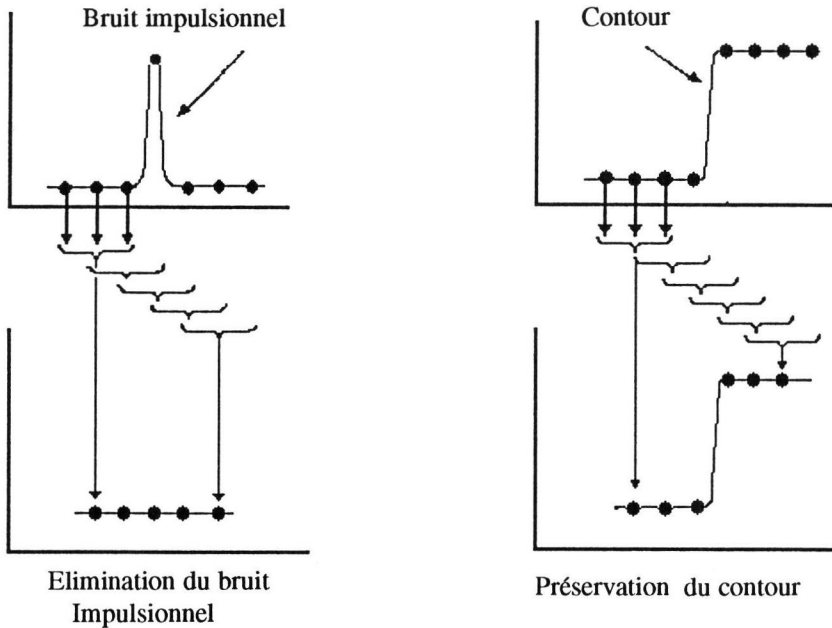


Fig 83 : Principe de fonctionnement du filtrage médian.

Cette opération est appelée convolution non-linéaire car elle utilise une fenêtre mais ne correspond pas à une combinaison linéaire sur les pixels de la fenêtre.

d) Les filtres passe-bas

Ce filtre est ainsi nommé parce qu'il ne laisse passer que les fréquences basses de variation de niveaux de gris. Le bruit peut être considéré comme un évènement aléatoire dont la caractéristique au cours du temps est en évolution permanente, il peut donc ainsi être associé à de hautes fréquences d'apparitions, le filtrage passe-bas permettra de l'éliminer.

Plus généralement, plus l'intensité d'un point image varie rapidement plus les fréquences associées sont hautes, c'est-à-dire que les lignes de contraste induiront des hautes fréquences, alors que les zones peu différenciées induiront de basses fréquences.

Ainsi un filtre passe-bas ne laisse passer que les fréquences basses correspondant à des variations faibles et les variations rapides (arêtes, bruit) sont diminuées (voir figure 81 - encart photo -).

Ce filtre qui élimine le bruit, "gomme" aussi les composantes de fréquence élevée telles que les arêtes. Cet effet n'est pas perturbateur si le bruit apparaît à des fréquences plus élevées que la plus haute fréquence d'intérêt ou, dans le cas où le bruit apparaît dans une gamme de fréquence déterminée. On peut toujours essayer d'utiliser un filtre passe-bande qui lui ne laisse passer qu'une plage de fréquences, on peut ainsi ne pas influencer les fréquences intéressantes.

2. L'intensification des arêtes ou contours

Une fois que le bruit a été éliminé, on peut tenter de "réhausser" les arêtes.

Pourquoi ?

Une image contient un grand nombre de points : 262 144 pour une image de 512 points sur 512 lignes. Or les points caractérisant les contours ne représentent en général que 1 à 2 % de l'image. Ces points n'en contiennent pas moins une information importante.

Les arêtes constituent généralement les limites d'un objet. En réhaussant les arêtes, on facilite le travail d'extraction des contours préalable à sa reconnaissance.

a) Différenciation spatiale

Les variations de l'image peuvent être mises en évidence d'une manière isotrope ou anisotrope et par une opération linéaire ou non-linéaire. L'opérateur d'accentuation est en général un opérateur de dérivation.

L'opérateur est dit isotrope s'il ne fait intervenir que des dérivées d'ordre pair (dérivée seconde). Sinon, il est anisotrope (dérivée première).

* Accentuation anisotrope de type dérivée première.

On citera comme exemple un opérateur simple, celui de Roberts (voir figure 86 - encart photo -).

Si $g(i,j)$ est l'intensité du pixel (i,j) , les dérivées sont approchées par combinaisons linéaires grâce aux différences de luminance suivantes :

$$\begin{array}{cc}
 i,j & i,j+1 \\
 i+1,j & i+1,j+1 \\
 \\
 D1(i,j) = g(i,j) - g(i+1,j) \\
 D2(i,j) = g(i,j) - g(i,j+1) \\
 D3(i,j) = g(i+1,j) - g(i,j+1) \\
 D4(i,j) = g(i+1,j+1) - g(i,j)
 \end{array}$$

Ces différences correspondent en fait à la convolution de l'image par les masques $2 * 2$ suivants :

ROBERTS

$$\begin{array}{ccc}
 0 & -1 & -1 & 0 \\
 D3 = & & \text{et } D4 = & \\
 1 & 0 & 0 & 1
 \end{array}$$

On peut aussi calculer la nouvelle valeur du point (i,j) par une combinaison non-linéaire des produits de convolution. Si F1(i, j) et F2(i, j) sont les produits de convolution de la fenêtre avec les masques D3 et D4, alors la nouvelle valeur de (i,j) est :

$$g'(i,j) = [F1(i,j)^2 + F2(i,j)^2]^{1/2}$$

et l'orientation θ par rapport à l'axe ox s'écrit :

$$\theta = \pi/4 + \arctg (F2(i,j) / F1(i,j))$$

$$g'(i,j) = (|pixel(x,y) - pixel(x-1,y-1)|^2 + |pixel(x,y-1) - pixel(x-1,y)|^2)^{1/2}$$

Nous avons ici un deuxième cas (avec l'opérateur "médian") de convolution non-linéaire : la nouvelle valeur du pixel ne s'exprime pas comme une combinaison linéaire des voisins.

Des résultats similaires pourront être obtenus avec des opérateurs 3 x 3, 5 x 5..., mais avec un temps de calcul plus long. L'utilisation de l'opérateur de Roberts donne de bons résultats mais il est sensible aux bruits et a tendance à donner des contours assez "gras".

Les gradients les plus courants, sont les gradients de Sobel (voir figure 85 - encart photo -), de Prewitt, de Croix.

Les masques à appliquer sont les suivants :

SOBEL	-1 0 1	1 2 1
	-2 0 2	0 0 0
	-1 0 1	-1 -2 -1
PREWITT	-1 0 1	1 1 1
	-1 0 1	0 0 0
	-1 0 1	-1 -1 -1
CROIX	0 0 0	0 1 0
	-1 0 1	0 0 0
	0 0 0	0 -1 0

Le point est reconnu appartenant à un contour si le module du gradient est supérieur à un seuil donné.

On pourra apprécier l'effet de certains de ces filtres sur les figures 85 à 87

Cette méthode donne des résultats similaires aux méthodes 3x3 et 5x5 mais avec un temps de calcul plus court. Elle est néanmoins beaucoup plus sensible au bruit dans l'image, et donne un contour moins fin.

* Accentuation isotrope

L'accentuation isotrope fait intervenir des dérivées d'ordre pair. Le plus connu de ces opérateurs est le Laplacien (dérivée seconde) :

$$g''(i,j) = |d^2g/di^2 + d^2g/dj^2|$$

Finalement, le **LAPLACIEN** peut être représenté par la convolution suivante :

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}$$

On pourra apprécier l'effet du filtre de type Laplacien sur la figure 88 - encart photo -.

Notons que d'autres filtres existent, qui utilisent des opérateurs beaucoup plus grands : 5*5 ou 7*7. Les temps de calcul augmentent en conséquence.

b) Filtres passe-haut

Ce filtre est ainsi nommé parce qu'il ne laisse passer que les hautes fréquences. Contrairement à son homologue le filtre passe-bas qui élimine le bruit de fond, le passe-haut réhausse les contrastes, jusqu'à mettre en évidence les contours des objets, donc des arêtes.

On pourra apprécier l'effet du filtre passe-haut sur la figure 89 - encart photo -.

De manière générale, les changements brutaux d'intensité se traduisent par des hautes fréquences. En ne sélectionnant que les hautes fréquences dans le domaine fréquentiel ("filtre passe-haut"), on met en évidence les zones de l'image correspondant à des changements brutaux d'intensité.

II. REDUCTION D'INFORMATIONS : LA SEGMENTATION

Maintenant que l'image est améliorée, nous sommes prêts à en tirer l'information qui nous intéresse. Il faut, pour cela, réduire la taille de l'information (encore énorme : 512 * 512 * 8bits) à une dimension plus facile à traiter.

Généralement, l'information utile sera extraite des contours (forme...) ou des régions de l'image (taille, forme...). Nous ne traiterons pas dans ce chapitre les cas où l'information utile provient de caractéristiques de réflectance de l'objet, comme de sa couleur ou de sa texture. En effet, la texture est peu utilisée en robotique, car elle est difficile à traiter.

Nous décrirons donc dans ce chapitre les traitements qui permettront de tirer des informations morphologiques de l'objet.

A. Segmentation par seuillage sur les niveaux de gris

En général, une image est caractérisée par la présence de zones ou de régions détenant certaines caractéristiques.

Le but de la segmentation est donc d'extraire des parties d'images élémentaires ou complexes, afin de les isoler ou de les regrouper entre elles.

La segmentation la plus élémentaire, consistera à diviser l'écran en 2 régions homogènes, typiquement le "fond" et l'objet intéressant.

Nous ne décrirons que la méthode de segmentation la plus connue qui consiste à classer un pixel dans l'une ou l'autre des régions de l'image, en fonction de son niveau de gris. L'autre méthode split and merge consiste, elle, à partir d'une partition initiale, à regrouper les régions homogènes et à scinder celles qui ne le sont pas.

1. Le profil

Le "profil" est une opération qui consiste à analyser une coupe de l'image au niveau des intensités lumineuses (niveaux de gris) (voir figure 90).

A partir de l'analyse de ces intensités, on pourra apprécier l'effet du seuillage de l'image sur le profil donc sur l'image.

Le profil est une des méthodes la plus simple pour déterminer un seuil.

Pour réaliser un profil, on définit un segment de droite quelconque sur l'image. Pour chaque point de cette droite, la valeur du niveau de gris de l'image est donnée en retour. L'ensemble des valeurs peut être ensuite représenté sous la forme d'un graphe en x,y où l'ordonnée représente le niveau de gris et l'abscisse l'ordre des points sur la droite.

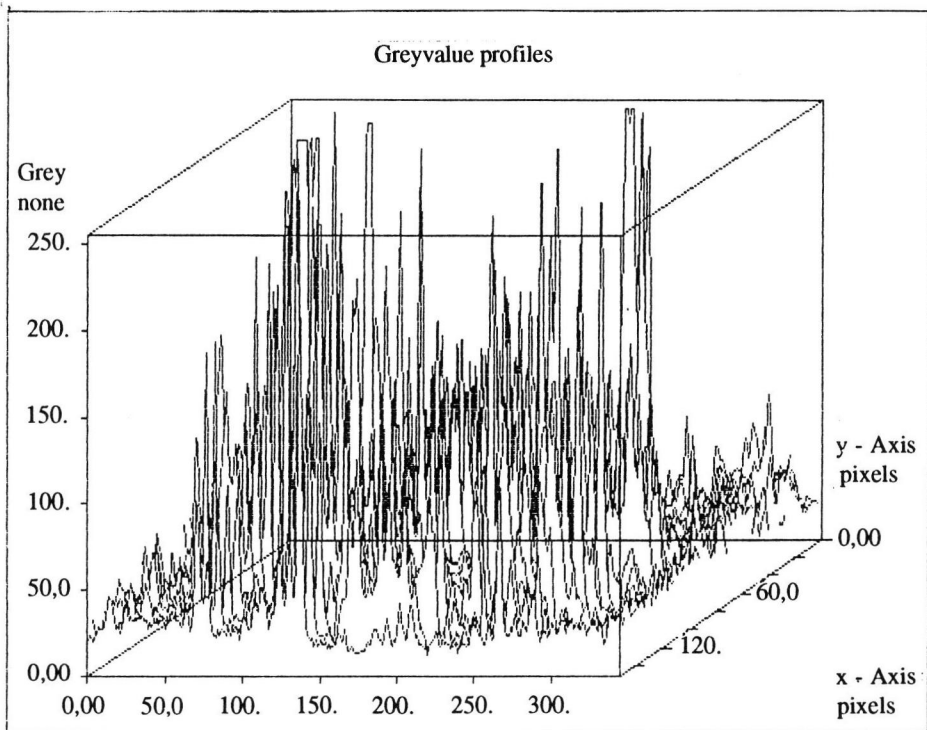


Fig 90 : Projection en 3 dimensions des lignes de profil.

2. Le seuillage de l'image

Deux possibilités existent, la première, la binarisation simple, est souvent utilisée pour isoler un ou plusieurs objets d'un fond homogène. La deuxième que l'on qualifiera de multiple, permet de classer directement plusieurs niveaux de gris. Par exemple on peut classer le fond, l'objet, et un défaut sur l'objet en trois catégories distinctes avec une binarisation sur trois niveaux, mais uniquement si chacun d'entre eux se situe dans des zones différentes de niveaux de gris.

Binarisation simple de l'image : Il s'agit d'affecter à tous les points d'une image la même valeur lorsqu'ils se trouvent au-dessus de la valeur de seuil et une autre valeur quand ils sont au-dessous.

exemple :

$$\begin{aligned} & \text{seuil} = 180 \\ & \text{si } (\text{pixel}(x,y) > \text{seuil}) \\ & \quad \text{pixel}(x,y) = 1 \\ & \quad \text{sinon} \\ & \quad \text{pixel}(x,y) = 0 \end{aligned}$$

Cette opération est utilisée pour obtenir une image binaire.

Binarisation Multiple de l'image : il s'agit d'affecter un transcodage sur les pixels en regroupant les pixels entre eux pour leur affecter une valeur commune, comme par exemple tous les pixels compris entre 0 et 64 auront la valeur 0, tous les pixels compris entre 65 et 127 auront la valeur 128, et tous les pixels compris entre 128 et 255 auront la valeur 255.

Cette opération est surtout utilisée pour regrouper des zones de contrastes ou de luminances voisines.

La méthode du seuillage est couramment utilisée dans les systèmes de traitement d'images, la difficulté consiste toutefois à choisir le bon seuil. En effet, le choix d'un seuil arbitraire et par nature constant présente un gros défaut : celui de ne pas tenir compte de l'évolution de la scène au cours du temps, variation d'éclairage, objet non homogène etc... Il est donc dangereux de fixer un seuil. Une adaptation dynamique en fonction de chaque scène est généralement une nécessité.

On pourra apprécier la difficulté d'un seuillage sur les figures 92 à 94 - encart photo -.

Exemple d'adaptation dynamique : La segmentation par histogramme

Comment l'histogramme des niveaux de gris peut-il nous aider à segmenter ?

Si l'objet se détache suffisamment du fond, l'histogramme des niveaux de gris montre 2 pics (voir figure 94-1), l'un correspondant au fond, l'autre à l'objet. On dit que l'histogramme est bimodal. On cherche alors le minimum séparant les 2 pics. Ce minimum est un seuil. Par exemple : au-dessus du seuil, les pixels appartiendront au fond, et au-dessous du seuil, ils appartiendront à l'objet.

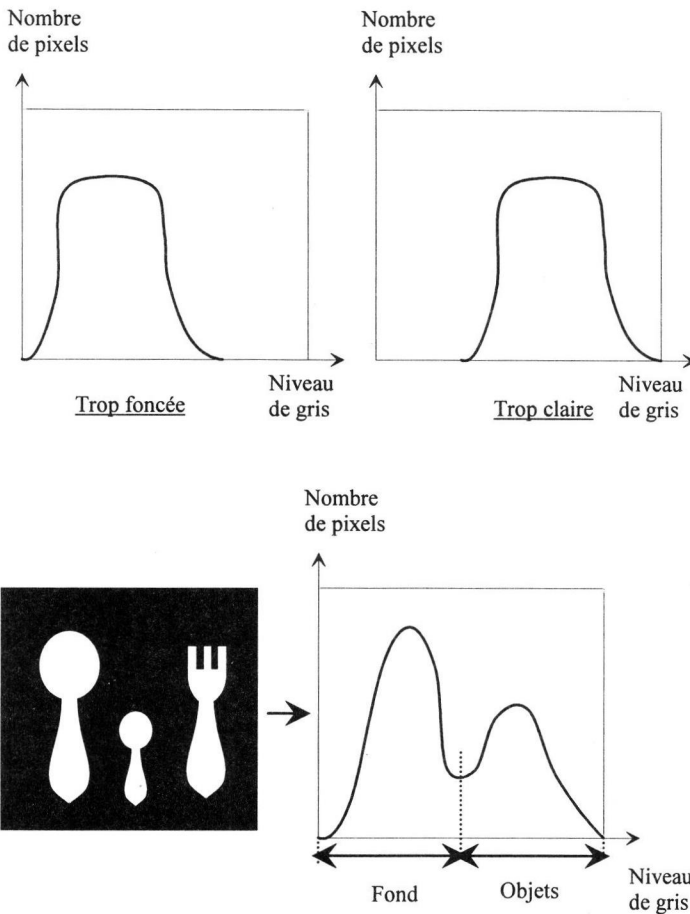


Fig 94-1 : Exemple de segmentation bimodale.

Exemple de démarche méthodologique :

- * Filtrer l'image avec un passe bas afin de diminuer les variations de niveau de gris dans les zones uniformes.
- * Calculer l'histogramme de l'image et trouver la frontière entre les deux pics représentant le fond et l'objet.
- * Seuiller l'image.

On passe ainsi d'une image à n niveaux de gris à une image seuillée, c'est-à-dire que les pixels ne peuvent prendre que les valeurs 0 ou 1 dans le cas d'une image binaire. Si l'image était initialement sur 8 bits, la quantité d'informations est maintenant divisée par 8. Cependant, il peut arriver que l'histogramme soit trop plat et ne présente pas de "col". D'autre part si certains pixels du fond ont des niveaux de gris non homogènes et de l'ordre de ceux des objets, ce seuillage est inefficace. Si un seuil est recherché à partir de l'histogramme à chaque prise de vue, le seuillage est dit à seuil adaptatif. Si en revanche, le seuil est fixé une fois pour toutes, il est dit "fixe".

Dans notre exemple, objets noir sur fond blanc, si le seuil est placé trop bas, les pixels appartenant aux objets risquent d'être rejetés. Par contre, si le seuil est placé trop haut, les pixels du fond risquent d'être pris comme "objets".

Ces difficultés peuvent être minimisées en effectuant d'abord une régularisation de l'image c'est-à-dire par lissage ou passage d'un filtre passe-bas.

On peut aussi seuiller avec un seuil différent en fonction des zones de l'image ("seuil adaptatif régionalisé"). On divise l'image en sous-images et on cherche l'histogramme pour chaque sous-image. L'image sera seuillée en utilisant des seuils adaptés à chaque sous-image. Cette opération qui consiste à utiliser un histogramme local est malheureusement très coûteuse en temps.

Cette opération simple
est très délicate.

L'éclairage de la scène n'étant ni uniforme ni isotrope, le seuil arbitraire ne donne que rarement satisfaction. D'autre part, le bruit provoque des erreurs telles que des amas de pixels isolés dans le fond. Il faudra s'en affranchir par un traitement postérieur tel que le "scrap" (érosion /dilatation).

La première cause des problèmes rencontrés est principalement la non uniformité de l'éclairage engendrant souvent la présence d'ombres particulièrement gênantes pour le traitement.

On trouvera un exemple de segmentation sur les figures 111-1 à 111-4 - encart photo -.

B. Segmentation par la couleur

Les produits alimentaires se caractérisent par leur apparence colorée : c'est à dire par la perception par l'oeil humain des caractéristiques de longueur d'onde de la lumière réfléchiée par la surface de ces produits.

Cette longueur d'onde peut être une information délivrée par la caméra utilisée : soit parce qu'il s'agit d'une caméra couleur, soit parce-qu'on place devant la même scène des

caméras équipées chacune d'un filtre chromatique particulier sélectionnant une bande de longueur d'onde (longueur d'onde qui peut aller dans ce type de montage avec des CCD jusqu'au proche infra-rouge).

C'est pourquoi la couleur peut être utilisée comme mode de segmentation.

1. La segmentation tri-chromatique RGB

L'étude de la perception des couleurs chez l'homme a montré que les couleurs peuvent être reconstituées par un mélange pondéré de trois couleurs de base : ce sont conventionnellement les couleurs caractérisées par les longueurs d'onde suivantes du spectre visible :

- 410 nanomètres pour le bleu
- 530 nanomètres pour le vert
- 650 nanomètres pour le rouge

Cette base de représentation des couleurs revient physiquement à prendre trois images de la même scène en intercalant devant l'objectif successivement un filtre rouge, un filtre vert et un filtre bleu : pour chacune de ces prises d'image, l'information recueillie en un pixel de coordonnées (x,y) de la caméra dépendra de la couleur du point correspondant sur la scène, mais aussi des caractéristiques de l'énergie lumineuse incidente qui éclaire ce point. Les intensités i_r , i_g , i_b perçues au point(x,y) à travers chacun des trois filtres (rouge, vert, bleu) sont donc dépendantes de l'éclairage du point correspondant de la scène. Pour s'affranchir de cette variabilité d'éclairage et caractériser la seule couleur du point, on définit les trois composantes ci-dessous :

$$I_r(x,y) = \frac{i_r}{i_r + i_g + i_b}$$

$$I_g(x,y) = \frac{i_g}{i_r + i_g + i_b}$$

$$I_b(x,y) = \frac{i_b}{i_r + i_g + i_b}$$

Chacune de ces composantes, est donnée par le rapport de l'intensité de la lumière filtrée et de la lumière totale.

Ces trois composantes de la fonction image peuvent être utilisées comme attributs pour classer les points d'une image selon des critères de similarité au niveau des couleurs. Le processus de segmentation permet ainsi d'obtenir des régions de couleur relativement homogène indépendamment des conditions d'éclairage.

Prenons l'exemple de l'inspection de mélanges de salades coupées en ligne : les feuilles sont de forme complexe et leur éclairage ne peut être uniforme. La caractérisation de la composition en morceaux verts, jaunes et rouges peut se faire intégralement par le calcul en tout point de l'image de I_r et de I_g indépendamment des conditions locales d'éclairage. Si l'on utilisait directement les intensités i_r , i_g et i_b , les résultats obtenus pourraient être faussés, les feuilles rouges risqueraient, par exemple, d'être séparées en 2 classes

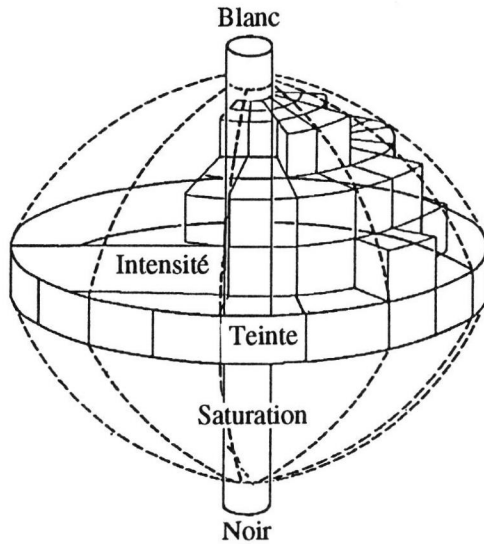


Fig 95 : Cone HIS (d'après une documentation MINOLTA).

La position angulaire autour de l'axe commun aux 2 cônes correspond à sa teinte (H), avec pour valeurs repères celles des 6 principales teintes fondamentales :

ANGLE	TEINTE
0	ROUGE
60	JAUNE
120	VERT
180	CYAN
240	BLEU
300	MAGENTA
360	ROUGE

La distance du point de coordonnées (H,I,S) par rapport à l'axe de rotation vertical des cônes représente le degré de pureté de la couleur (Saturation S). Elle est maximale vers la périphérie, nulle au centre. On en déduit que le cas de l'achromatisme est représenté par l'axe de rotation vertical des 2 cônes.

3. Le changement de coordonnées (R,G,B) en (H,I,S)

Dans le modèle HIS, les trois couleurs fondamentales interviennent avec le même poids pour la détermination de l'intensité :

$$I = (R + G + B) / 3$$

La teinte peut être représentée comme l'angle résultant d'un vecteur tournant autour du point blanc (où $R = G = B$). L'angle 0° correspond aux points situés sur la ligne allant du point blanc au sommet rouge, d'où :

$$H = (90 - \text{Arctan}(F/\sqrt{3}) + x) / 360$$

($x = 0$ si $G > B$; $x = 180$ si $G < B$)

avec $F = (2R - G - B)/(G - B)$

Quant à la saturation, elle est obtenue par :

$$S = 1 - (\min(R, G, B))/I$$

On peut constater que ce changement de système de représentation peut être très lourd en calcul. On peut proposer le changement de coordonnées ci-dessous, qui en est une simplification.

On suppose que la fonction couleur $I(x, y)$ définie ci-dessus est obtenue à partir de coordonnées RGB (ir, ig, ib) normalisées, c'est-à-dire ayant chacune une valeur comprise entre 0 et 1.

Pour chaque point (x, y) , on cherche à obtenir ses coordonnées H, I, S à partir des (ir, ig, ib).

On considère :

$$A = \max(ir, ig, ib) \text{ et } B = \min(ir, ig, ib)$$

On obtient la luminosité I par :

$$I = (A + B) / 2$$

Soit par ailleurs : $C = A - B$

Le calcul de la saturation S dépend des valeurs de A et B :

* Si $A = B$ ou $C = 0$ on est dans le cas de l'achromatisme,
il n'y a pas de composante dominante
 $S = 0$

* Si $A + B > 1$ on est dans le cas d'une luminosité
supérieure ($I > 0,5$),
dans le cône de représentation supérieur

$$S = \frac{C}{2 * I}$$

* Si $A + B < 1$ on est dans le cas d'une luminosité
inférieure ($I < 0,5$),
dans le cône de représentation inférieur

$$S = \frac{C}{2 - C}$$

Le calcul de la teinte H s'effectue à partir des coefficients :

$$r = \frac{A - ir}{C}$$

$$g = \frac{A - ig}{C}$$



Fig. 53 Image d'un tracteur agricole :
visualisation pleine résolution 512 x 512.



Fig. 55 ZOOM x 4.



Fig. 56 ZOOM x 8.



Fig. 56-1 ZOOM x 16 (on peut distinguer
chaque point de l'image).

*Les numéros des photos
correspondent à leur référence dans le texte.*



Fig. 61
Coloration des pixels
par l'utilisation des LUTs.

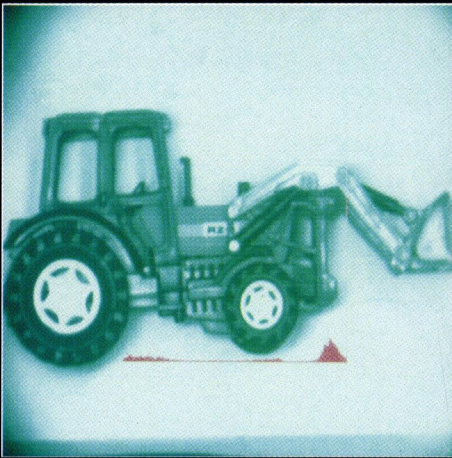


Fig. 77
Visualisation de l'histogramme
de répartition des niveaux de gris
(image claire).

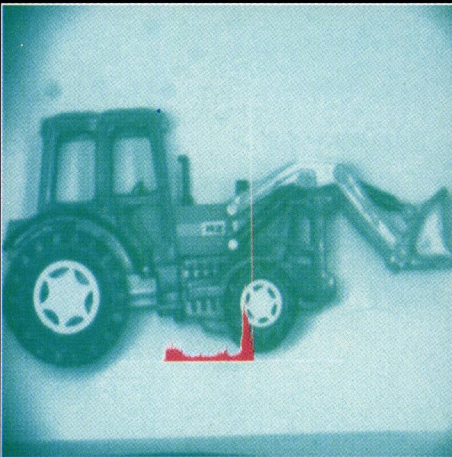


Fig. 78
Visualisation de l'histogramme
de répartition des niveaux de gris sur l'image
préalablement linéarisée (on notera la
différence par rapport à l'image 77).

Fig. 80
Visualisation d'une plage
de niveaux de gris spécifique
(coloration verte).

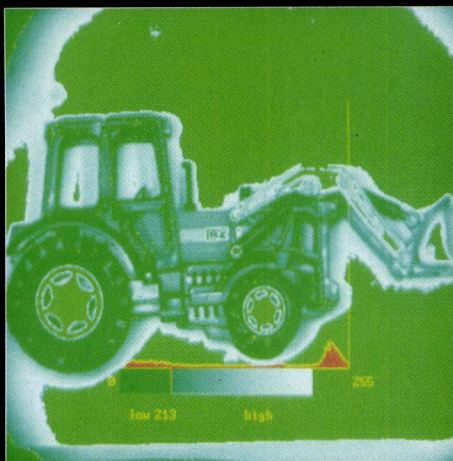


Fig. 81
Lissage de l'image
avec un filtre 5 x 5.



Fig. 84
Filtrage passe-bas important
(filtre 20 x 20).



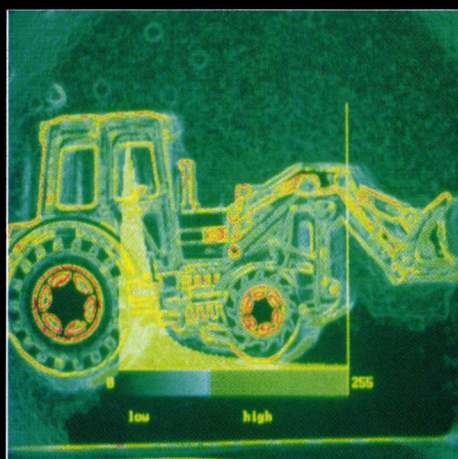


Fig. 85 Exemple de résultat de l'opérateur SOBEL, avec la visualisation de l'histogramme de répartition des niveaux de gris.

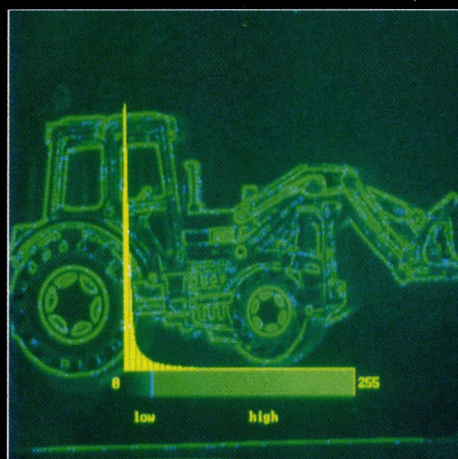


Fig. 86 Exemple de résultat de l'opérateur ROBERTS, avec la visualisation de l'histogramme de répartition des niveaux de gris ainsi transformés.

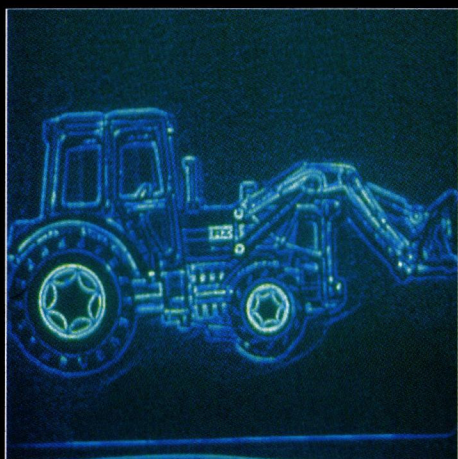


Fig. 88 Exemple de résultat d'un LAPLACIEN, avec LUT.

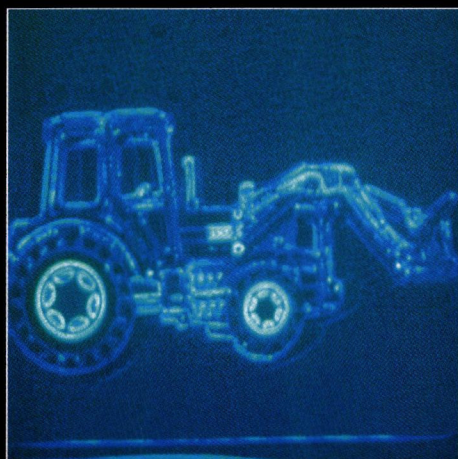


Fig. 89 Exemple de résultat d'un filtre PASSE-HAUT (*filtre 5 x 5*), avec LUT.

Fig. 92
Exemple de l'effet d'un seuil sur
l'image traitée par l'opérateur SOBEL.

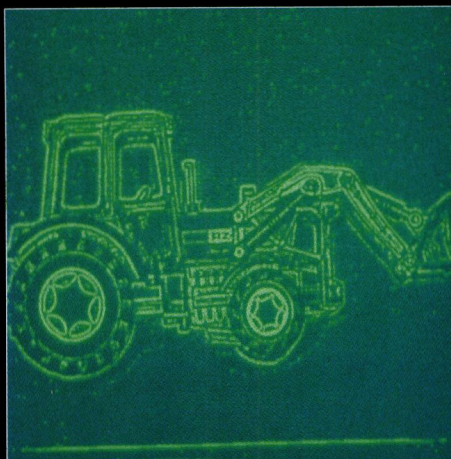


Fig. 93
Même image que 92 mais choix
d'un seuil plus haut.



Fig. 94
Même image que 92 mais choix
d'un seuil plus bas.



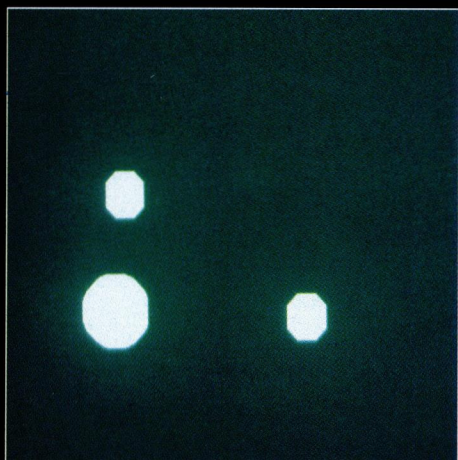


Fig. 100 Exemple d'une ouverture d'ordre 5 sur l'image. Apparition des zones d'intérêts.

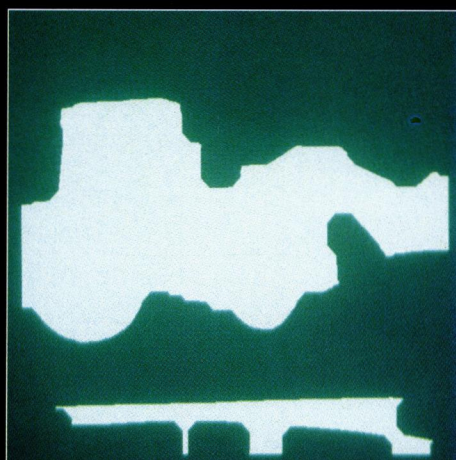


Fig. 100-1 Exemple d'une ouverture d'ordre 5 sur l'image. Mise en évidence du tracteur dans son entité.

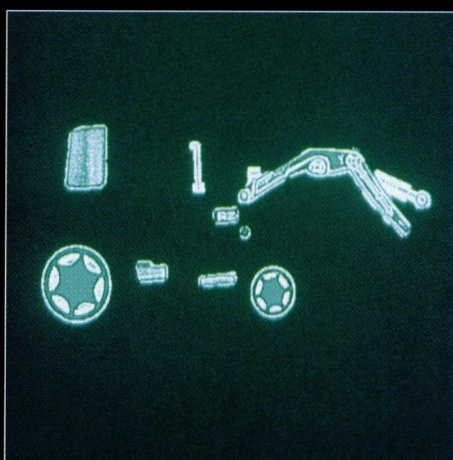


Fig. 100-2 Exemple d'une érosion avec une recombinaison de l'image en niveaux de gris. Mise en évidence de certaines parties du tracteur.



Fig. 101-1 Image d'une clé dont on souhaite extraire le squelette.

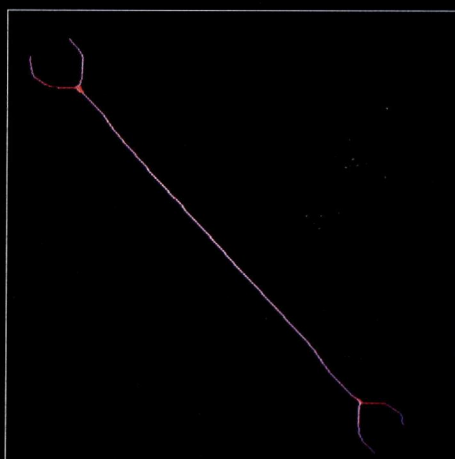


Fig. 101-2 Résultat de l'opération de morphologie mathématique donnant le squelette.

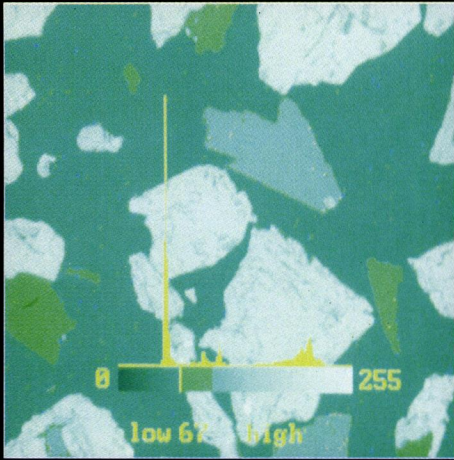


Fig. 111-1 Exemple de classification :
Image à analyser.

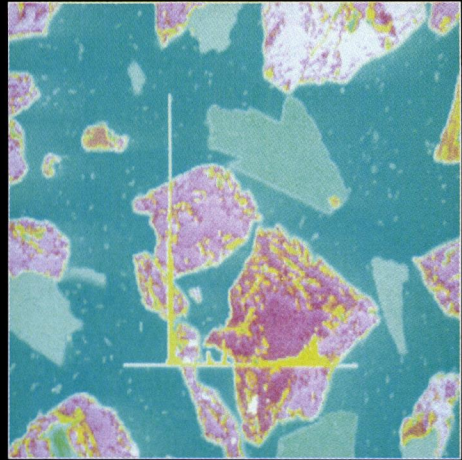


Fig. 111-2 Segmentation par
histogramme suivie d'un seuillage.

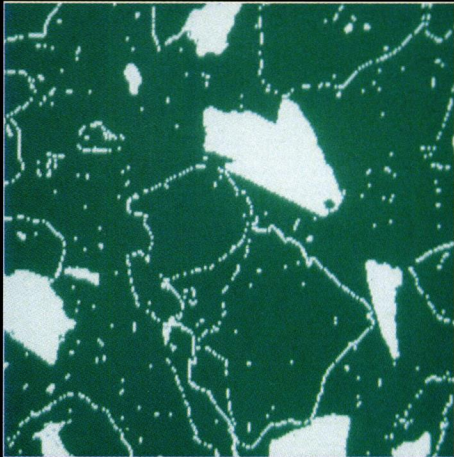


Fig. 111-3 Extraction des zones d'intérêt.



Fig. 111-4 Identification des zones
d'intérêt et classification suivant des critères
de surface (*colorations différentes*).

$$b = \frac{A - ib}{C}$$

On distingue 3 cas :

- * si A = ir alors H = (b - g) * 60 (rouge dominant)
- * si A = ig alors H = (2 + r - b) * 60 (vert dominant)
- * si A = ib alors H = (4 + g - r) * 60 (bleu dominant)

Le passage de coordonnées RGB aux coordonnées HIS, bien que simple à effectuer, doit être interprété avec précaution. En effet cette transformation n'est pas affine : les combinaisons linéaires entre coordonnées de 2 couleurs ne donneront pas la même couleur résultante selon qu'on est dans un système ou un autre.

Par exemple, considérons le cas de 2 couleurs C1 (magenta) et C2 (vert) dont les coordonnées respectives en RGB et HIS sont représentées dans le tableau ci-dessous (le passage des unes aux autres se faisant par application de la méthode ci-dessus) :

	R	G	B	H	I	S
C1 : magenta	1	0	1	300	0,5	1
C2 : vert	0	1	0	120	0,5	1

Si l'on cherche à calculer les couleurs moyennes de C1 et C2 :

- * selon les coordonnées RGB, on obtient
C3 = (0,5 ; 0,5 ; 0,5) c'est-à-dire : gris moyen
- * selon les coordonnées HIS, on obtient
C4 = (210 ; 0,5 ; 0,5) c'est-à-dire : bleu vert saturé

Les coordonnées HIS sont utilisées en segmentation lorsqu'on se réfère dans le traitement de l'image couleur au comportement de segmentation humain.

Elles permettent aussi de réduire les paramètres de segmentation à la seule teinte, diminuant ainsi le volume de données à traiter.

Par exemple, on pourra utiliser les coordonnées HIS pour des opérations de tri en ligne selon des critères multicolorimétriques : c'est le cas du tri de certains fruits multicolores ou de biscuits à la sortie d'un four.

En règle générale, les calculs sur les coordonnées de couleur sont plus souples et visuellement plus prévisibles dans l'espace RGB. On préférera partout où c'est suffisant les coordonnées RGB, en évitant ainsi une transformation lourde en calcul.

C. Segmentation de l'image par analyse de texture

L'analyse de texture est une technique de caractérisation de surfaces qui est appelée à se développer.

Dans un premier temps, nous verrons, après avoir défini la texture, le langage spécifique à l'analyse de texture. Puis, dans un deuxième temps, seront présentés des exemples de modèles mathématiques permettant de réduire le nombre de paramètres de caractérisation de la texture.

1. La texture

La texture est l'une des caractéristiques tactiles ou visuelles d'une surface. Elle définit l'arrangement et la disposition d'éléments simples dans cette surface, suivant une organisation spatiale plus ou moins homogène. Elle décrit la taille et l'organisation de petites parties étroitement entrelacées, constituantes d'une substance.

En fait, la texture n'a pas de définition formelle, mais elle décrit qualitativement des aspects de la surface tels que la régularité, la grossièreté, le grain,... à l'aide d'adjectifs tels que : fine, grossière, ridée, granuleuse, régulière, irrégulière, isotrope, anisotrope,...

Divers domaines tels que la pétrographie ou la métallographie caractérisent les propriétés texturales de leurs objets d'étude, mais chacun avec leur "jargon" propre.

Afin de pouvoir appliquer l'analyse de texture de manière généralisée, il est nécessaire d'utiliser un vocabulaire standardisé.

On commence par distinguer les textures désordonnées et celles qui sont ordonnées :

a) Les textures désordonnées

Aucune régularité ne peut y être détectée : on n'a pour les caractériser que des termes très globaux comme la RUGOSITE ou le CONTRASTE.

Par exemple ; le crépi d'un mur ou un panneau de liège.

b) Les textures ordonnées

L'ordre qui est perçu dans la texture d'une image peut être lié à :

- * une orientation de la texture : on a alors une texture faiblement ordonnée. Cette orientation peut être générale avec une texture lamellaire (fibres dans le bois), ou variée localement (noeuds dans le bois).
- * la présence d'éléments de base ou motifs bien dessinés (motifs d'imprimerie).

Les éléments de base d'une structure ordonnée :

Ces éléments peuvent être caractérisés par leur DISTRIBUTION sur l'image qui est REGULIERE ou IRREGULIERE. On les décrit aussi par :

- * leur FORME : la frontière de ces éléments de base est RECTILIGNE, CURVILIGNE, DENDRITIQUE, etc...
- * leur TAILLE : qui est ou n'est pas UNIFORME.

L'usage d'une terminologie standardisée est une première étape dans la caractérisation d'une texture. Faute de disposer d'outils mathématiques simples, on est obligé de passer par une première phase de description qualitative.

Toutefois l'analyse automatique suppose l'usage d'outils mathématiques ou logiques adaptés à une programmation logicielle.

Aucune méthode d'analyse de texture ne s'est imposée comme universelle : à chaque problème de texture on adapte des approches mathématiques, dont certains exemples sont donnés ci-dessous.

2. Caractérisation : Les approches mathématiques

Deux types d'approches peuvent être envisagés : une approche globale ou une approche locale.

L'approche globale va caractériser de grandes étendues de texture à caractéristiques uniformément réparties. Elle permet de reconnaître la texture d'une région homogène parmi plusieurs possibilités, identifiées à la suite d'apprentissage. Cependant, elle ne suffit pas pour aboutir à la segmentation de l'image en assignant les points de celle-ci à des classes spécifiques de texture.

Les attributs de l'approche globale ne sont utilisables que si la zone de texture uniforme est de taille importante par rapport à l'image, pour représenter un échantillon significatif du phénomène à décrire.

L'approche locale se fait à l'inverse par la caractérisation de chaque point-image ou d'un nombre réduit de pixels.

De telles approches mathématiques répondent à un objectif essentiel : celui de la réduction du nombre de paramètres, afin de simplifier au maximum la caractérisation de la texture par ces méthodes.

a) Spectre d'Energie de Fourier :

Si on mesure l'intensité lumineuse de chaque pixel, en balayant continûment une image, on obtient un signal dont les variations sont liées aux caractéristiques de texture de cette image :

- * sur une image lisse, le signal varie peu et les fréquences de base de ses variations sont faibles
- * sur une image à texture très ordonnée, dont les éléments de base sont de distribution régulière et de taille réduite on obtient un signal très variable dont la composition en fréquence sera très liée à ces tailles et distributions d'éléments de base.

Il découle de ces observations, l'idée d'utiliser les outils d'analyse du signal pour la caractérisation d'une texture.

Tout signal vibratoire peut se décomposer en une somme pondérée de signaux vibratoires sinusoïdaux élémentaires mono-fréquentiels. La transformée de Fourier du signal complexe permet d'obtenir la part d'énergie qui revient à chacun de ces signaux élémentaires.

De la même façon, la transformée de Fourier, appliquée aux variations de niveaux de gris des pixels de l'image, permet d'obtenir les fréquences des principaux signaux élémentaires qui composent ces variations. On parle de spectre d'énergie des fréquences de la texture.

Une texture régulière à variation spatiale lissée des niveaux de gris (sans contraste violent) présente un spectre d'énergie important dans le domaine des basses fréquences.

A l'inverse, une texture grossière caractérisée par des variations brutales de luminance offre un spectre d'énergie renforcé dans le domaine des hautes fréquences.

Il s'ensuit une méthode de différenciation de texture d'image par le calcul du spectre d'énergie de Fourier.

Matrices d'interdépendance spatiale de niveaux de gris

Cette méthode consiste à rechercher systématiquement les régularités de variation de niveau de gris dans l'image :

* Soit un point M_i de l'image, de niveau de gris i . On trace sur l'image une demi-droite quelconque partant de M_i . Des points N_j de cette demi-droite ont un niveau de gris j et ils sont situés à la distance d de M_i . En faisant varier l'orientation θ de cette demi-droite de 0 à 360° autour de M_i , on relève ainsi un certain nombre de points N_j ; pour chacun d'eux, on incrémente le décompte d'occurrence (d, θ, i, j) .

* En déplaçant M_i sur l'image, il arrive que certaines occurrences (d, θ, i, j) apparaissent souvent ; cela révèle le fait que l'image est relativement structurée le long de la direction θ , avec un pas d'espacement de la structure égal à d .

D'où l'idée de rechercher une caractérisation de la texture de l'image par une analyse statistique sur les éléments (d, θ, i, j)

Les matrices d'occurrence

En utilisant dans une première phase une description qualitative de la texture (cf. vocabulaire pour l'analyse de texture ci-dessus), on cherchera à établir à l'avance un nombre aussi réduit que possible de critères de position (d, θ) : les intervalles et directions les plus prometteurs pour l'analyse) et d'intensité (i, j) ; nombre et répartition des niveaux de gris utiles : maximum 8 couples de niveaux de gris). On diminuera ainsi considérablement le volume des calculs.

Plaçons-nous dans le cas où un couple unique (d, θ) est considéré dénombrer le nombre $K(d, \theta, i, j)$ de pixels où M_i et N_j représentent des niveaux de gris, éloignés de d et situés sur une droite d'inclinaison θ .

Pour que les valeurs utilisées dans les calculs soient apparentées à des fréquences relatives et normalisées, les nombres $K(d, \theta, i, j)$ sont divisées par le nombre $K(d, \theta)$ de couples de points de l'image distants de d dans la direction θ .

On obtient :

$$P(d, \theta, i, j) = \frac{K(d, \theta, i, j)}{K(d, \theta)}$$

Pour un couple (d, θ) donné, les fréquences d'apparition $P(d, \theta, i, j)$ sont ensuite rangées dans une matrice.

$$C(d, \theta) = (c_{ij})$$

avec les coefficients c_{ij} .

$$c_{ij} = P(d, \theta, i, j)$$

Les termes c_{ij} évaluent les probabilités d'existence de paires de points satisfaisant les paramètres de (d, θ, i, j) .

$C(d,\theta)$ est la matrice d'occurrence de l'image pour le couple topologique (d,θ) .

Les descripteurs d'interdépendance des niveaux de gris

On applique ensuite à la matrice d'occurrence $C(d,\theta)$ des descripteurs propres à révéler les caractéristiques de la texture de l'image. Les plus courants sont :

- maximum de probabilité :

$$\text{MAX } (c_{ij})$$

note : détecte le motif le plus fréquent

- hétérogénéité :

$$(1) \quad \sum_i \sum_j c_{ij}^2 \quad \text{avec } i \text{ différent de } j$$

note : une image à texture uniforme a une hétérogénéité quasi nulle

- contraste :

$$(2) \quad \sum_{m=0}^{K-1} m^2 * (\sum_i \sum_j c_{ij}) \quad \text{avec}$$

$m = \text{val. abs.}(i-j)$ et k le nombre de niveaux de gris de l'image.

note : cette formule est une somme pondérée des probabilités c_{ij} ; sa valeur est élevée dans le cas d'une texture contrastée car ses grands écarts de gris induisent des pondérations importantes sur les probabilités de présence de paires.

Exemple :

On considère l'image $6 * 6$ ci-dessous codée sur 5 niveaux de gris :

Image I=	0	1	2	1	2	1
	1	2	1	2	1	0
	2	1	2	1	0	2
	0	3	2	1	3	4
	3	1	0	2	3	2
	1	0	3	4	2	1

Une première observation qualitative de cette image codée nous permet d'observer des éléments de base linéaires, ou régulièrement fluctuants (avec un pas de 1 ou 2), selon les diagonales de l'image (angles $7\pi/4$ et $5\pi/4$).

Cette constatation nous guide vers un premier choix de paramètres topologiques

$$d = 1 \quad \text{et} \quad \theta = 7*\pi / 4$$

pour lequel le décompte des occurrences nous donne la matrice de décompte $A1$:

pour i	0	1	2	3	4	j
	0	1	1	0	2	0
	0	4	2	3	0	1
A1 =	2	1	4	1	0	2
	2	1	1	0	0	3

0 0 0 0 0 4

De la même façon, pour les paramètres topologiques :

$$d = 1 \text{ et } \theta = 5 * \pi / 4$$

cette matrice de décompte devient la matrice A2 :

pour i	0	1	2	3	4	j
A2=	2	1	0	0	0	0
	2	6	1	0	0	1
	0	1	5	3	0	2
	0	0	1	1	1	3
	0	0	1	0	0	4

Pour obtenir effectivement les matrices d'occurrence C1 ou C2 correspondantes, il convient de diviser les termes de ces matrices de décompte par 25, nombre total de couples de pixels satisfaisant (d,θ) sur l'image.

Si on applique chacun des descripteurs d'interdépendance des niveaux de gris ci-dessus aux cas des 2 couples topologiques (d,θ) choisis, on obtient :

couple d = 1 et $\theta = 7 * \pi/4$

motif le plus fréquent : (1,1) et (2,2)

hétérogénéité : 32

contraste : 84

couple d = 1 et $\theta = 5 * \pi/4$

motif le plus fréquent : (1,1)

hétérogénéité : 19

contraste : 14

On peut déduire de cette approche mathématique de la texture de l'image I :

* que cette image est très contrastée dans la direction $7 \pi/4$ et relativement homogène dans la direction perpendiculaire.

* que des motifs courts ou moyens sont présents le long de ces 2 directions

Bien que confirmant l'évaluation qualitative initiale, ces résultats ont de plus l'avantage de pouvoir être utilisés dans un logiciel de segmentation au même titre que d'autres méthodes de caractérisation mathématique de l'image.

c) Les longueurs de lignes à niveau de gris constant

PRINCIPE

On recherche les alignements de pixels à niveau de gris choisis dans une bande très étroite ($j = i \pm 1$ ou $i = j$) et on relève la longueur l de ces alignements.

Une texture grossière comporte des alignements longs ; dans une texture fine, les alignements sont plus courts et plus nombreux.

Calcul des nombres occurrences des alignements

On recherche les alignements à niveaux de gris constant le long de toutes les directions possibles de l'image suivant la direction téta, avec $0^\circ < \theta < 360^\circ$.

Soit μ la longueur maximum des alignements sur l'image dans la direction θ . La valeur μ est calculée en nombre d'intervalles entre pixels alignés.

Pour μ longueur d'alignement possible dans la direction téta, avec $1 < l < \mu$.

On appelle $Nl(i,\theta)$ le nombre d'alignements de pixels sur l'image tels que :

- * leurs niveaux de gris soient proches de i ,
- * ils sont alignés dans la direction θ ,
- * ils sont de longueur l .

Puisque l peut prendre les valeurs $1,2,3,\dots,\mu$, on peut déterminer μ nombres $Nl(i,\theta)$.

Si k est le nombre total de niveaux de gris de l'image, on définit des descripteurs à bande étroite de gris ($i = j$) qui s'écrivent :

voir (3)

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^{\mu} \frac{Nl(i,\theta)}{l^2}$$

$$N = \sum_i^k \sum_l^{\mu} Nl(i,\theta)$$

et

$$G2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^{\mu} (l^2 \times Nl(i,\theta))$$

- Si $G1$ est grand, la texture comporte un grand nombre d'alignements courts dans la direction U .

- Si $G2$ est grand, la texture est faite d'alignements longs.

Exemple :

On considère l'image $6 * 6$ ci-dessous codée sur 5 niveaux de gris :

	0	1	2	1	2	1
	1	2	1	2	1	0
	2	1	2	1	0	2
Image I=	0	3	2	1	3	4
	3	1	0	2	3	2
	1	0	3	4	2	1

Calculons $G1$ et $G2$ sur l'image ci-dessus pour les 2 directions $7\pi/4$ et $5\pi/4$. Le critère choisi de proximité entre deux niveaux de gris dans le même alignement est défini comme suit :

"Pixels $j=i$ complétés par des pixels $j = i + 1$ dans le même alignement".

cas $7\pi/4$:

alignement maximal : $\mu = 5$

Les nombres d'alignements non nuls sont :

$$N1(0) = 1 \quad N2(0) = 2$$

$$N1(1) = 4 \quad N2(1) = 4 \quad N4(1) = 1$$

$$N1(2) = 4 \quad N2(2) = 1$$

On a $N = 13$

$$\text{et } G1 = 0,524 \quad G2 = 3,76$$

cas $5\pi/4$

alignement maximal : $\mu = 5$

$$N2(0) = 0 \quad N3(0) = 1$$

$$N1(1) = 1 \quad N2(1) = 2 \quad N3(1) = 1$$

$$N1(2) = 1 \quad N2(2) = 2$$

$$N1(3) = 1 \quad N2(3) = 0$$

et

$$N4(0) = 1$$

$$N4(1) = 1 \quad N5(1) = 1$$

$$\text{On a } N = 11 \text{ et } G1 = 0,376 \quad G2 = 8,181$$

Sur cette image, l'analyse des longueurs de lignes à niveaux de gris constants donne un pli d'orientation de la texture, selon la direction $5 \pi/4$.

La même analyse dans la direction $\pi/2$ donnera par contre une information plus riche sur les alignements courts que les 2 premières directions $7 \pi/4$ et $5 \pi/4$.

cas $\pi/2$:

longueur d'alignement maximum : $\mu = 5$

$N1(0) = 4$

$N1(1) = 3$ $N2(1) = 1$ $N3(1) = 2$

$N1(2) = 1$ $N2(2) = 1$

$N1(3) = 1$

soit $N = 11$

et $G1 = 0,702$; $G2 = 3$

III. LA DESCRIPTION DES OBJETS DANS L'IMAGE

Les techniques de segmentation définie permettent de former des régions dans une image. Elles sont définies soit par des ensembles de points connexes, soit par leur contour externe.

Comme dans la démarche visuelle humaine on cherche souvent à reconnaître la forme de ces régions. On définit pour cela des outils de description de ces formes. Ils permettent de calculer des attributs de forme qualifiant les régions dessinées grâce à la segmentation : ces attributs servant ensuite à classer ces régions pour les reconnaître.

On se placera dans ce texte dans le cas des formes dites binaires : c'est-à-dire sur des images composées de 0 et de 1, où les 1 appartiennent aux régions dont on analyse la forme, le reste étant composé de 0.

A. Améliorer l'image à segmenter : la morphologie mathématique

Une fois l'image segmentée, on constate souvent que le résultat obtenu n'est pas parfait, il subsiste généralement du bruit, des objets incomplets ou collés entre eux. Les outils disponibles en morphologie mathématique peuvent aider à améliorer l'image.

A la base, la morphologie mathématique - ou algèbre d'image - consiste à traiter les images (ou des objets) en fonction de critères ensemblistes (voir figure 96). Cela signifie que l'on travaille sur les pixels d'images binaires, et par le biais des opérateurs ensemblistes classiques : union, intersection, complémentaire. On voit apparaître depuis peu des techniques identiques en niveaux de gris.

Afin de faciliter la compréhension du chapitre, nous n'aborderons que la morphologie sur images binaires.

La première "intersection" peut servir de "masque", afin de délimiter une zone de travail.

Il suffit de mettre tous les pixels du masque à "1" et ceux du pourtour à "0" et de combiner l'image du masque et l'image originale par opérateur "ET".

Cependant la morphologie mathématique révèle tout son intérêt dans la restructuration de l'image.

L'idée est d'utiliser un élément de petite surface (quelques pixels) appelé "élément structurant" et de le déplacer sur l'image, tout comme les opérateurs de convolution. A chaque nouvel emplacement, on effectue des opérations logiques entre l'image à restructurer et l'élément structurant.

La définition de l'élément structurant varie suivant l'effet recherché (voir figure 97). La taille et la forme des éléments structurants sont variables et le résultat de la transformation en sera modifié.

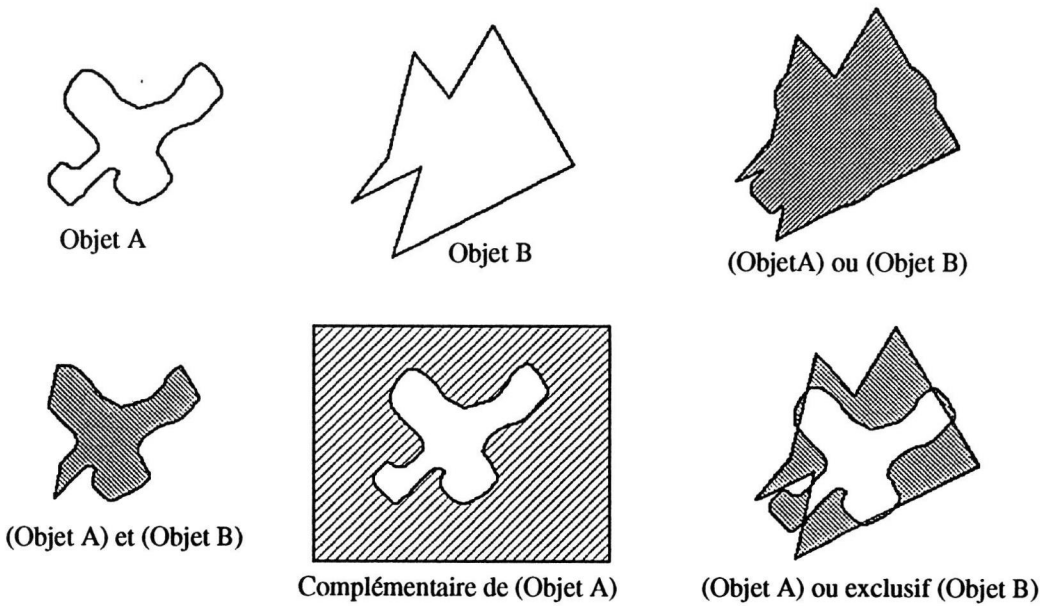


Fig 96 : Les opérations morphologiques de base.

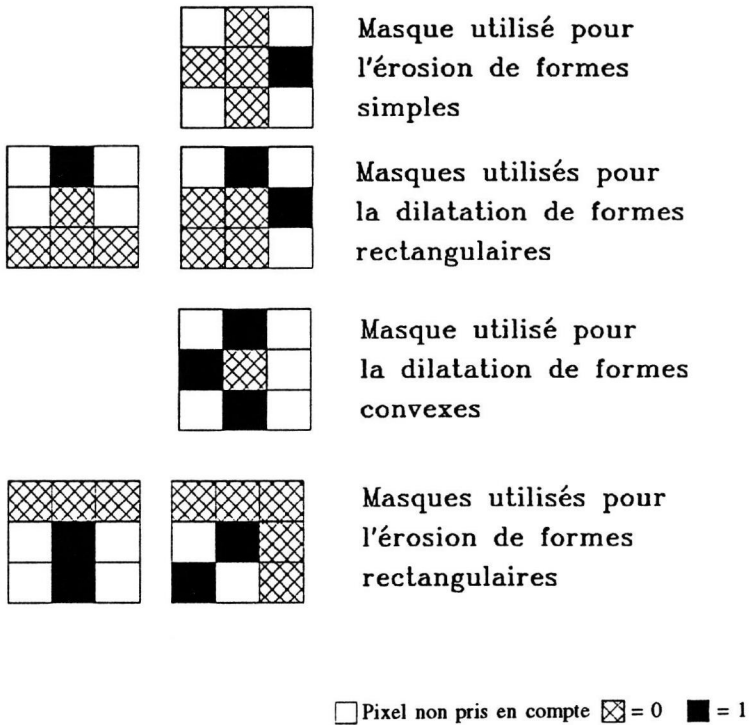


Fig 97 : exemples d'éléments structurants.

Les applications les plus fréquentes de l'algèbre d'image sont :

- la séparation d'objets,
- le remplissage des trous,
- la suppression des appendices,
- la squelettisation.

Les méthodes les plus employées portent le nom d'érosion et de dilatation (voir figure 98). Nous allons décrire leur fonctionnement.

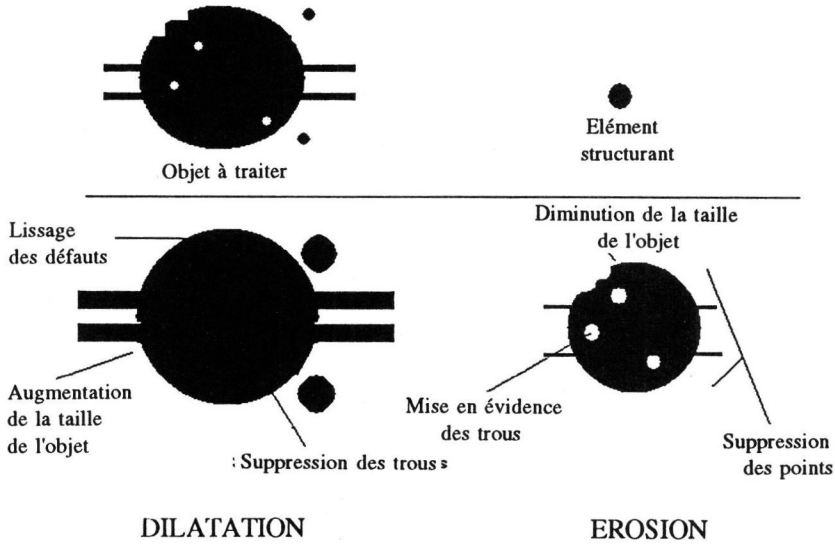


Fig 98 : Les opérations d'érosion et de dilatation.

1. L'érosion

Elle consiste à éroder le pourtour des objets d'une "épaisseur" de taille égale à celle de l'élément structurant.

Si les objets sont de taille inférieure à l'élément structurant, l'érosion les élimine.

Si on l'applique à des objets collés, elle permet éventuellement de les séparer.

Sur une image bruitée, elle permet de retirer les parasites les plus petits, si tant est que leur taille n'est pas de l'ordre des objets d'intérêt.

L'érosion permet aussi de supprimer les appendices parasites sur un objet. Dans ce cas, l'érosion doit être suivie d'une dilatation pour que l'objet retrouve sa taille normale. Cette opération est appelée "ouverture" (voir figures 99 et 100 - encart photo -).

2. La dilatation

La dilatation est l'opération inverse de l'érosion : elle permet de "grossir" les objets d'une "épaisseur" équivalente à la taille de l'objet structurant.

Elle est très utilisée pour le remplissage de trous. Dans ce cas, la dilatation doit être suivie d'une érosion pour combler les petits vides. Cette opération est appelée "fermeture" (voir figure 99 et 100-1 - encart photo -).

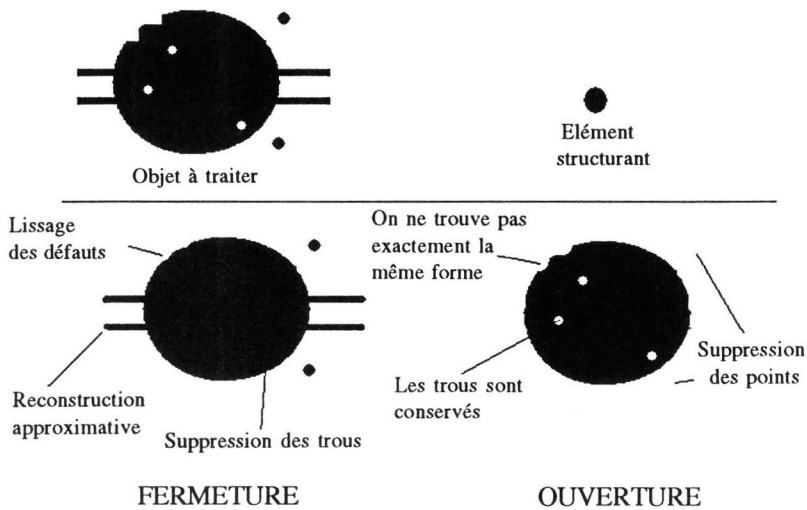


Fig 99 : Les opérations de fermeture et d'ouverture.

3. La squelettisation

La squelettisation a pour but de fournir le "squelette", c'est-à-dire la structure maîtresse d'un objet. Le squelette peut être en effet un paramètre très utile pour la reconnaissance d'un objet (repérage des carottes tordues ou bicodales, repérage des caractères par exemple, tri d'outils...).

Elle est semblable à une série d'érosions avec la spécificité suivante : l'érosion s'arrête lorsqu'un "squelette" de 1 pixel de large est atteint (voir figure 101-1 et 101-2 - encart photo -) Notons que les propriétés topologiques de l'image se retrouvent dans le squelette (nombre de trous, nombre de parties connexes...).

B. Les outils de description des objets

1. Description du contour

a) Codage

On peut décomposer un contour en une succession de segments droits de longueurs et directions données. Dans la grille de points-pixels, cette succession de segments élémentaires (longueur = intervalle entre 2 pixels) peut être caractérisée grâce à une "table de connectivité" telle que ci-dessous :

4	3	2
5	A	1
6	7	8

(voir figure 72).

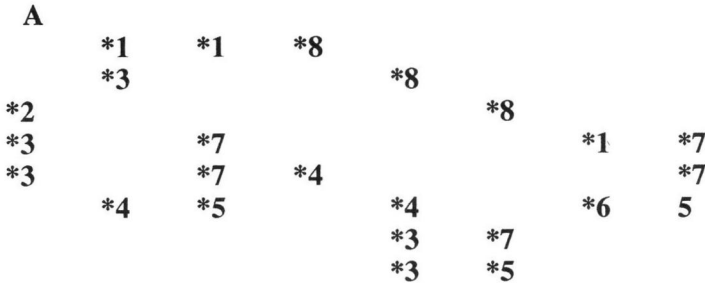
Il s'agit là d'une table de connectivité 8 qui est utilisée pour effectuer le codage de contour de FREEMAN ; on utilise aussi une table, plus simple, de connectivité 4, telle que :

	2	
3	A	1
	4	

(voir figure 72).

Selon l'une ou l'autre de ces tables (choisie en fonction du degré de complexité que l'on cherche), le contour peut alors se caractériser par la série des codes qui qualifient la liaison de chaque point A du contour avec son suivant sur ce contour.

Exemple : considérons le contour ci-dessous, pour en effectuer un codage 8 de Freeman, dans le sens contraire au sens trigonométrique.



Si on commence le codage au point de départ A, la chaîne spécifique à ce contour s'écrit :
(1 1 8 8 8 1 7 7 5 6 7 5 3 3 4 4 7 7 5 4 3 3 2 3)

On constate que la chaîne dépend du point de départ A utilisé pour commencer ce codage. D'autre part, la même forme disposée différemment sur l'image n'aura pas le même codage.

Pour rendre le descriptif du contour invariant en rotation, il suffit de procéder à la transformation de la chaîne numérique, par une opération dites de première différence : Chaque code est remplacé par la différence calculée en comptant, dans le sens trigonométrique, le nombre de directions qui le sépare du suivant. Ainsi en connectivité 8, la chaîne

(1 4 7) devient (3 3 2)

Exemple : le contour codé dans l'exemple ci-dessus a en codage de première différence la forme suivante :

(0 7 0 0 1 6 0 6 1 1 6 6 0 1 0 3 0 6 7 7 0 7 1 6)

Ces chaînes de différence ne dépendent pas de la rotation. Elles sont toutefois sensibles au choix du premier point (toute comparaison entre 2 chaînes suppose un balayage circulaire des nombres de l'une des 2).

Un autre facteur influençant le résultat du codage est le pas de déplacement sur le contour. Le premier qui vient à l'esprit est un déplacement pixel par pixel. Si on augmente le pas de déplacement à 2 pixels ou plus, on diminue la précision du suivi de

contour, mais aussi le volume de calcul. Le choix d'un pas de déplacement revient donc à trouver un compromis entre finesse du suivi et volume de calcul.

On peut aussi moduler le pas de déplacement en fonction de la géométrie de l'objet. Par exemple, pour un objet allongé suivant l'axe des x , on prendra un pas supérieur à 1 suivant cet axe, et un pas de un suivant l'axe des y .

En dehors du simple codage par chaîne numérique, il existe plusieurs représentations possibles d'un contour de région de l'image à partir desquelles des attributs descriptifs et caractéristiques de la silhouette ou du profil de cette région peuvent être établis.

b) Le périmètre

C'est l'attribut le plus simple pour qualifier un contour (voir figure 102). Son calcul est simple puisqu'il suffit de décompter le nombre de points utilisés pour décrire le contour. Ce descripteur de contour est sensible au bruit et nécessite des objets séparés.

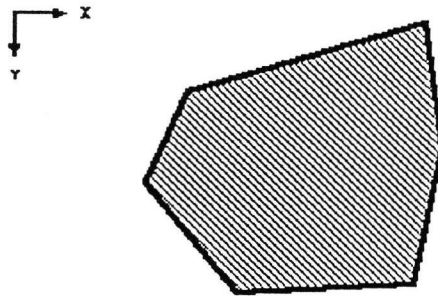


Fig 102 : Le périmètre d'une forme quelconque.

c) La signature polaire

Cette procédure géométrique consiste à se placer au centre de gravité G de la région étudiée, et à tirer un rayon D tournant autour de G . Les coordonnées du centre de gravité d'une région sont déterminées en calculant la moyenne de celles de tous les points appartenant à cette région.

L'angle de rotation t de D autour de G est mesuré à partir d'un axe défini au préalable. Pour chacune de ses positions t , et selon la complexité de cette forme, le rayon D coupera le contour en un ou plusieurs points (voir figure 104).

Dans le cas d'une forme simple, le rayon D coupera le contour en un seul point $M(t)$, quelle que soit sa position angulaire.

Soit r la distance séparant G et $M(t)$: (r,t) sont les coordonnées polaires de $M(t)$ dans le repère de centre G .

La courbe représentant les variations de r en fonction de l'angle t est la SIGNATURE POLAIRE de la forme s considérée (voir figure 103).

Cette signature est invariante en translation, et en rotation si on a pris soin de référencer t par rapport à l'axe principal de la forme. La comparaison d'une forme à une autre peut se faire par celle de leurs signatures polaires : on cherchera le maximum de corrélation entre les 2 courbes.

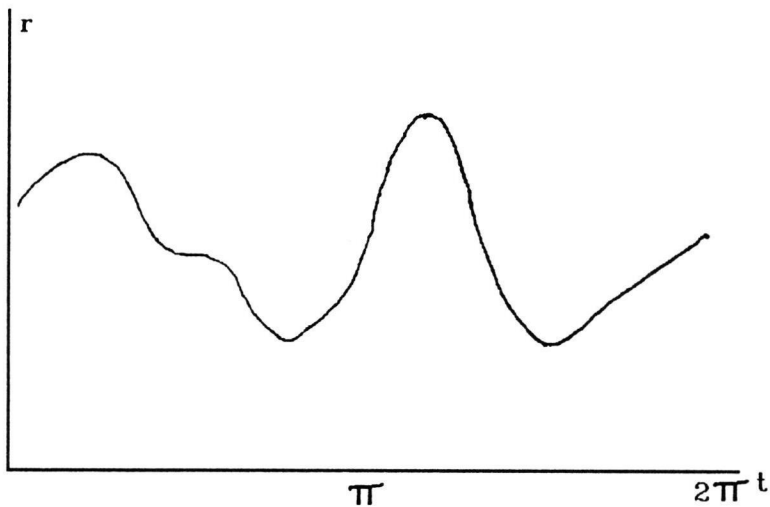
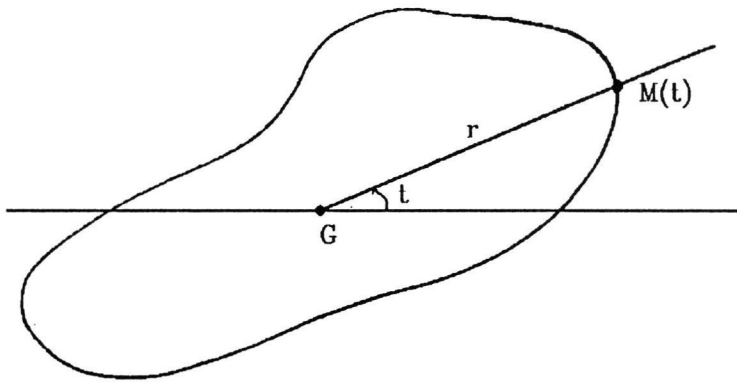


Fig 103 : Représentation de la signature polaire.

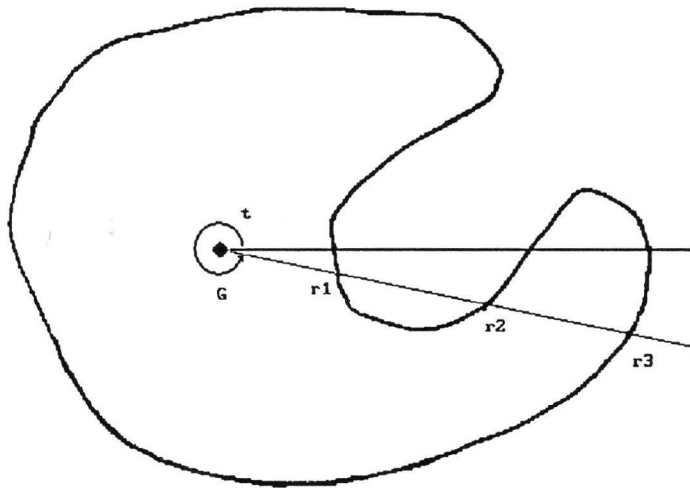
d) Autres signatures

Deux autres signatures sont très utilisées pour les images binaires :

- La signature horizontale est obtenue par la variation du nombre de pixels entre les 2 points du contour situés sur un axe horizontal qui balaye l'image de haut en bas.
- La signature verticale, s'obtient de la même façon avec un axe vertical qui balaye l'image de gauche à droite.

L'étude des minimas et des maximas de ces signatures, permet parfois de caractériser une forme.

Les trois signatures décrites précédemment ne permettent pas de décrire toutes les formes : en particulier lorsque axe de balayage et contour ont plus de points d'intersection que nécessaire (voir figure 104)



Limite de la méthode des signatures de contours dans le cas de forme complexes.
 Pour l'angle polaire t on obtient ici 3 valeurs possibles pour le rayon polaire r .

Fig 104 : Limite de la méthode des signatures de contours pour des formes complexes. Pour un seul angle polaire on obtient 3 valeurs possibles pour le rayon polaire.

e) La pente des tangentes

Le contour est décrit cette fois par les coordonnées cartésiennes de ses points $M(x,y)$. Soit s l'abscisse curviligne le long de ce contour.

A tout point du contour sont associées les fonctions $x(s)$ et $y(s)$ de la variable s .

On choisit une origine $s = 0$ au point $A (x(A),y(A))$ du contour situé sur son axe principal.

On définit la pente $p(s)$ de la tangente du contour en $M(s)$ par la formule

$$p(s) = \left(\frac{dy/ds}{dx/ds} \right)$$

Notons qu'en appliquant la fonction arc-tangente à ces valeurs

de pente $p(s)$, on peut obtenir les angles $\mu(s)$ de ces tangentes au contour avec une direction de référence.

$$\mu(s) = \text{Arctg } p(s)$$

Les variations de cette pente de la tangente au contour lorsque l'abscisse curviligne passe de 0 à P , valeur du périmètre, constituent une courbe descriptive de ce contour utilisable pour comparer 2 contours dans les mêmes conditions que les signatures polaires.

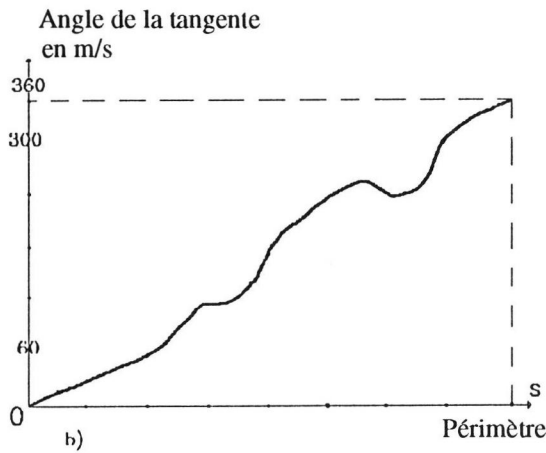
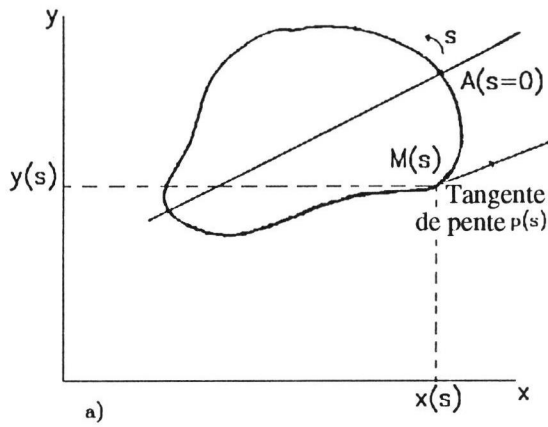


Fig 105 : la pente des tangentes au contour : a) construction et variables. b) Variation de l'angle des tangentes au contour.

f) La courbure

Une définition encore plus fine de la silhouette d'un contour peut-être donnée par les valeurs de la courbure du contour.

La courbure du contour au point M de coordonnée curviligne s s'écrit :

$$c(s) = \frac{d\mu(s)}{ds}$$

avec $\mu(s)$ angle de la tangente en M(s) obtenu comme en figure 105.

Dans les mêmes conditions que la signature polaire, ces deux derniers descripteurs de contour sont invariants en rotation et en translation. Ils sont toutefois assez sensible aux bruits, un lissage préalable est souvent nécessaire.

2. Les descripteurs de Fourier

Lorsqu'on parcourt un contour fermé de façon répétitive, les différents descripteurs du contour définis ci-dessus deviennent des fonctions périodiques de la variable de parcours (t polaire ou s curviligne). Ils retrouvent cycliquement les mêmes valeurs à chaque tour du contour.

C'est le cas pour :

- * les coordonnées cartésiennes $x(s)$ et $y(s)$,
- * le rayon $r(t)$ pour la signature polaire,
- * la pente $p(s)$ ou l'angle $\mu(s)$ de tangente,
- * la courbure $c(s)$

Il est parfois utile de se servir de la transformation en série de Fourier de l'une de ces fonctions périodiques pour caractériser le contour parcouru.

Supposons que nous appliquions cette méthode au développement en série de Fourier de la variation de courbure autour du contour d'un objet.

Soit $c(s)$ la courbure du contour en un point d'abscisse curviligne situé sur celui-ci. $c(s)$ étant une fonction périodique par rapport à la longueur du périmètre P du contour, il est possible de la développer en série de Fourier.

Pour cela, on transforme la coordonnée s en

$$T = 2\pi \times \frac{s}{P}$$

et la fonction $c(s)$ en

$$C(T) = c \times \left(\frac{T \times P}{2\pi} \right)$$

La fonction $C(t)$ de T est périodique de période 2π . Elle peut donc être développée en série de Fourier dont les coefficients s'écrivent (voir les formules manuscrites sur formule 1) :

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} C(t) \cos(nt) dt$$

et

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} C(t) \sin(nt) dt$$

Ces formules servent à calculer de 2 à 4 premiers termes (a_n, b_n) du développement en série de Fourier qui constituent un ensemble d'attributs morphologiques de la forme étudiée. Ils sont invariants dans les rotations et translations de la forme dans l'image.

3. Les descripteurs de surface

a) La surface

C'est avec le périmètre, le plus simple des descripteurs utilisés dans la caractérisation des formes.

La surface peut s'obtenir :

* soit par décompte des points appartenant à la forme : on applique cette méthode pour une forme préalablement isolée.
la valeur de la surface s'écrit alors :

$$A = \sum_{i,j} F(i,j)$$

avec

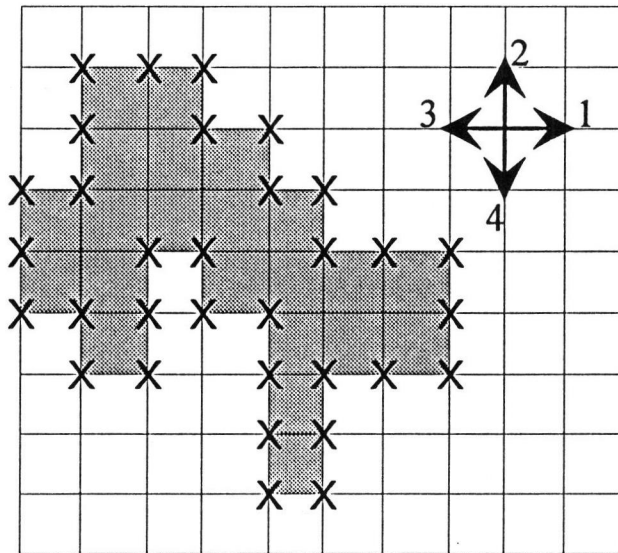
+F(i,j) = 1 pour les points de coordonnées (i,j) appartenant à la forme

+F(i,j) = 0 pour les autres points de l'image.

* soit par utilisation du codage du contour préalablement établi pour la forme considérée.

Prenons l'exemple d'une chaîne numérique (c1, c2, c3,...,cn) codant un contour avec une table de connectivité 4. La surface A de cette région s'obtient par la méthode suivante (voir figure 106) :

- 1) on pose $A = 0 ; B = 0 ; i = 1$
- 2) si $c_i = 1$ alors $B = B + 1$ et aller en 6) sinon aller en 3)
- 3) si $c_i = 2$ alors $A = A + B$ et aller en 6) sinon aller en 4)
- 4) si $c_i = 3$ alors $B = B - 1$ et aller en 6) sinon aller en 5)
- 5) si $c_i = 4$ alors $A = A - B$ et aller en 6)
- 6) si i différent de n alors $i = i + 1$ et aller en 2) sinon fin



Codage 4	
sens (+)	4 4 3 4 4 1 4 1 2 2 1 4 1 4 4 4 1 2 2 1 1 2 2 3 3 2 3 2 3 2 3 3
A	0 0 0 1 2 2 2 2 3 4 4 2 2 -1 -4 -7 -7 -3 1 1 1 7 13 13 13 17 17 20 20 22 22 22
B	0 0 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 2 2 3 3 3 3 4 4 4 5 6 6 6 5 4 4 3 3 2 2 1 0

Fig 106 : Calcul de la surface d'une forme à partir du codage de son contour.

Pour une forme donnée, la valeur de la surface, comme celle du périmètre, dépend de l'échelle de grossissement de l'image par rapport à l'objet correspondant. Pour éviter cette dépendance, on utilise des attributs sans dimension, qui ont de plus des propriétés d'invariance par rapport à la translation, à la rotation ou à l'homothétie ; certains d'entr'eux sont décrits ci-dessous.

b) La compacité

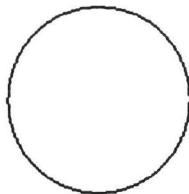
Elle est définie à partir de la surface et du périmètre par l'équation) :

$$c = \frac{1}{4\pi} \times \frac{(\text{Périmètre})^2}{\text{Surface}}$$

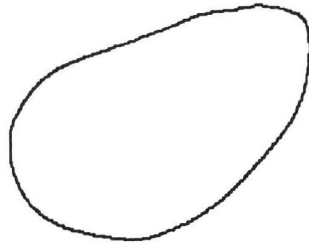
C'est l'un des plus utiles et parmi les plus simples descripteurs de la forme (voir figure 107). Il prend sa valeur maximum 1 pour le cercle (valeur théorique car pour des raisons de discrétisation de l'image on trouve le plus souvent 0,88).

Le triangle le plus compact est le triangle équilatéral : $\frac{3\sqrt{3}}{\pi}$

Le quadrilatère le plus compact est le carré : $4/\pi$



A)



B)



C)

Fig 107 : Exemples de formes ayant des compacités différentes.

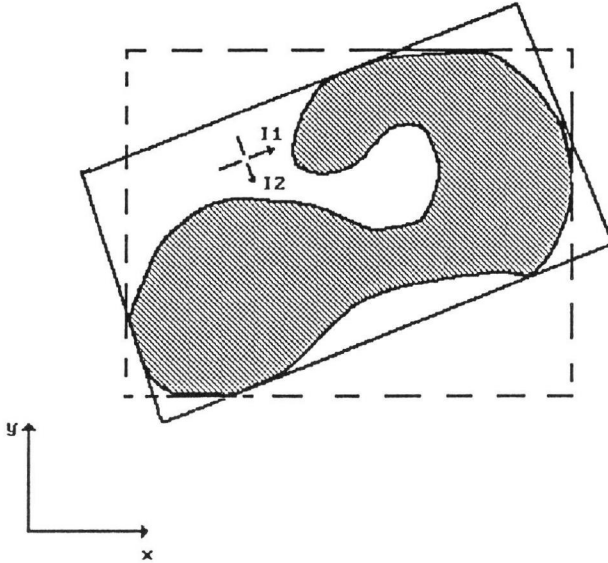
c) Le coefficient d'élongation

Considérons le rectangle exinscrit à la forme analysée. Ce dernier peut être obtenu de deux manières (voir figure 108) :

- * la première, par le rectangle exinscrit suivant les axes (x,y) de l'image
- * la seconde, plus proche de la forme, par le rectangle entourant la forme parallèlement à ses axes principaux.

L'élongation d'une forme est le rapport entre la longueur et la largeur de son rectangle exinscrit.

$$C = \text{Longeur} / \text{Largeur (rectangle exinscrit)}$$



Deux types de rectangles ex inscrits :

- * R1 = côtés parallèles aux axes x et y
- * R2 = côtés parallèles aux axes d'inertie de la forme I1 et I2

Fig 108 : Coefficients d'élongation : les rectangles exinscrits.

d) Les moments caractéristiques

Les moments sont des descripteurs qui prennent en compte l'organisation interne des points d'une surface. Ils sont souvent utilisés car ils sont invariants en translation, rotation et homothétie.

Soit la fonction $F_s(x,y)$ qui définit la forme S, telle que :

- * $F_s(x,y) = 1$ si (x,y) dans S
- * $F_s(x,y) = 0$ si (x,y) hors de S

Le moment d'ordre $(p + q)$ de la région S est égale à :

$$M_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q F_s(x, y)$$

Le moment M_{00} d'ordre 0 ($p = 0$; $q = 0$) est égale à la surface A de la région analysée.

Les moments d'ordre 1 sont définis par les expressions :

$$M_{01} = \sum_{x,y} y F_s(x, y)$$

$$M_{10} = \sum_{x,y} x F_s(x,y)$$

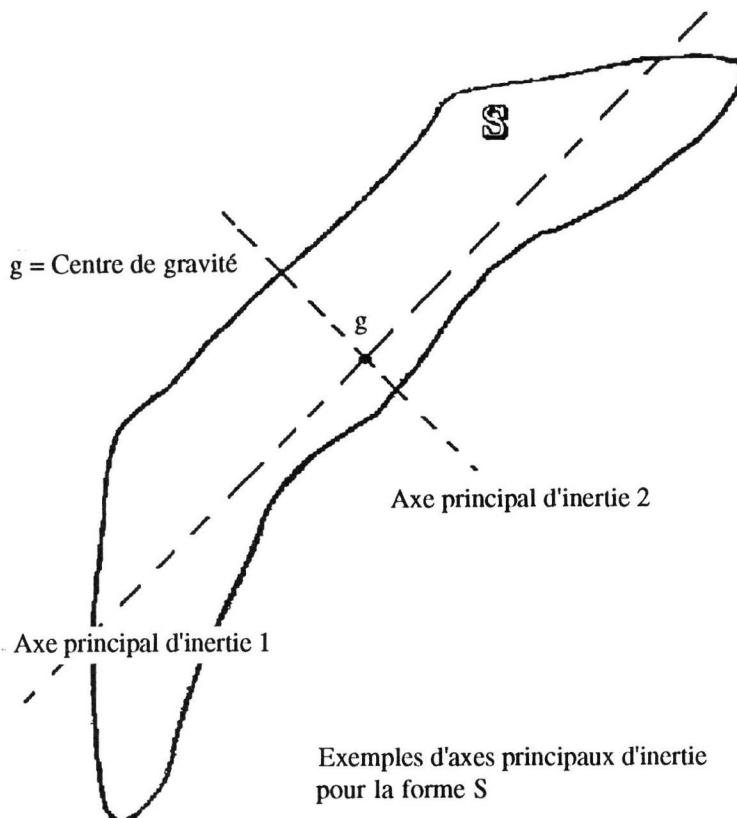
Ils permettent de définir le centre de gravité G (xg,yg) (centroïde en anglais) :

$$x_g = \frac{M_{10}}{M_{00}}$$

$$y_g = \frac{M_{10}}{M_{00}}$$

On définit ainsi les moments centrés d'ordre (p,q) comme

$$\mu_{p,q} = \sum_{x,y} (x - x_g)^p (y - y_g)^q x F_s(x,y)$$



Exemples d'axes principaux d'inertie pour la forme S

Fig 109 : Les axes principaux d'inertie.

Les moments centrés d'ordre 2 s'expriment par

$$\mu_{2,0} = \sum_{x,y} (x - x_g)^2 F_s(x,y)$$

$$\mu_{0,2} = \sum_{x,y} (y - y_g)^2 F_s(x,y)$$

$$\mu_{1,1} = \sum_{x,y} (x - x_g)(y - y_g) F_s(x,y)$$

Les moments centrés d'ordre 2 permettent de déterminer les axes principaux d'inertie de la région S étudiée (figure 109) en diagonalisant la matrice ci-dessous :

$$\text{Matrice d'inertie} \quad \begin{vmatrix} \mu_{2,0} & \mu_{1,1} \\ \mu_{1,1} & \mu_{0,2} \end{vmatrix}$$

IV. RECONNAISSANCE DES OBJETS DANS L'IMAGE

La reconnaissance d'objets sur une image est une opération très complexe, car elle se réfère à l'interprétation humaine qui est le plus souvent subjective.

Les méthodes qui permettent de reconnaître une forme sur une image sont nombreuses et extrêmement variables en complexité. Elles reviennent toutes à prendre une décision de classification de cette forme basée sur sa description par des attributs et paramètres étudiés dans le chapitre précédent.

On distingue divers modes de descriptions des objets :

* **Les descriptions paramétriques ou statistiques.**

* **Les descriptions structurales ou syntaxiques.**

La description paramétrique d'un objet consiste à le caractériser suivant des attributs comme son moment d'inertie, son rapport de finesse, etc, et ensuite à effectuer un classement en fonction de ces paramètres.

Dans de nombreux cas, seule une analyse paramétrique simple est utilisée ; la difficulté réside dans le choix de bons paramètres, et dans la recherche d'un compromis entre leur nombre et l'efficacité de la description.

La description structurale d'un objet consiste à le décomposer en éléments constitutifs élémentaires, tels que des formes géométriques simples (cercles, segments de droite...).

Exemple : une maison est constituée d'un toit, de fenêtres, de portes et de murs. Chacun de ces éléments sera à son tour décrit en cadres, vitres, etc...

On relie ensuite ces éléments par des règles d'association qui permettront de définir l'objet dans sa complexité (la maison). Ces règles constituent une description structurale de l'objet.

Cette méthode relativement récente en imagerie, est très largement utilisée dans le monde du graphisme ; elle repose sur l'analyse hiérarchique des objets.

Elle se prête tout particulièrement à l'utilisation des langages de programmation orientés-objets, aujourd'hui en plein développement.

Exemples de procédures de classification :

Le nombre d'approches disponibles pour l'interprétation des scènes, rapidement évoqué ci-dessus, reflète la complexité de la démarche de reconnaissance.

On se référera pour une découverte générale de cette problématique aux ouvrages spécialisés en traitement d'image traitant de la théorie de la classification. Ils font généralement appel à de bonnes connaissances en statistiques et en probabilités.

Parce que certains de ces ouvrages sont assez hermétiques, il nous a semblé intéressant de présenter au lecteur, quatre des procédures de classifications les plus couramment utilisées, toutes basées sur une description de type paramétrique (la plus utilisée) :

Appelée aussi méthode de corrélation, elle a pour but de déterminer les parties de l'image qui sont fortement corrélées avec une sous-image-gabarit de référence.

La transformée de Hough

Elle permet un travail similaire au précédent, mais sur des caractères paramétrés de l'image (ligne, cercles, etc...), plutôt que directement sur des morceaux d'images eux-mêmes. Le résultat en est la localisation sur l'image de ces caractères.

L'application de fonction de décision

Il s'agit de déterminer une fonction séparant les objets d'intérêt de leurs voisins. Cette fonction utilise des paramètres et attributs calculés sur les objets de l'image. Si pour chacun d'eux, on dispose de n paramètres descriptifs (au moins 2), on représente alors chaque objet par un point dans un espace des paramètres à n dimensions. L'ensemble des objets de l'image est représenté par un ou des nuages de points dans cet espace. La fonction de décision est une fonction de paramètres qui définit une surface dans cet espace. Elle sépare les points images des objets intéressants, des autres points.

L'application de fonction de vraisemblance

Elles permettent d'établir la probabilité pour une région étudiée de l'image d'appartenir à telle ou telle classe de référence.

A. L'adéquation à une forme gabarit (TEMPLATE MATCHING)

1) Définition du gabarit

Une forme gabarit ("template" en anglais) peut être :

- * l'image noir et blanc, ou couleur, d'un objet qu'on cherche à localiser
- * une ou plusieurs caractéristiques d'une image déjà traitée : par exemple un contour de forme donnée (cercle, segment incliné, etc...), une forme de gradient de niveaux de gris (tels que ceux que renvoie une sphère), une séquence de teintes etc...

Un gabarit se traduit le plus souvent par une portion d'image de référence, appelée masque. La méthode de reconnaissance consiste à déplacer ce masque sur toute l'image analysée, en recherchant les parties qui sont identiques ou très proches du masque (voir figure 110). L'appréciation de similitude se fait par une méthode de calcul de corrélation entre le gabarit et l'image. Cette méthode est décrite ci-après.

2) Calcul de corrélation gabarit-image

Considérons une image dont le pixel de la i ème ligne et de la j ème colonne a pour valeur $f(i,j)$.

La forme-gabarit qui est prise en référence est une zone d'image de dimension $M*N$ pixels, dont les valeurs sont définies par $t(m,n)$.

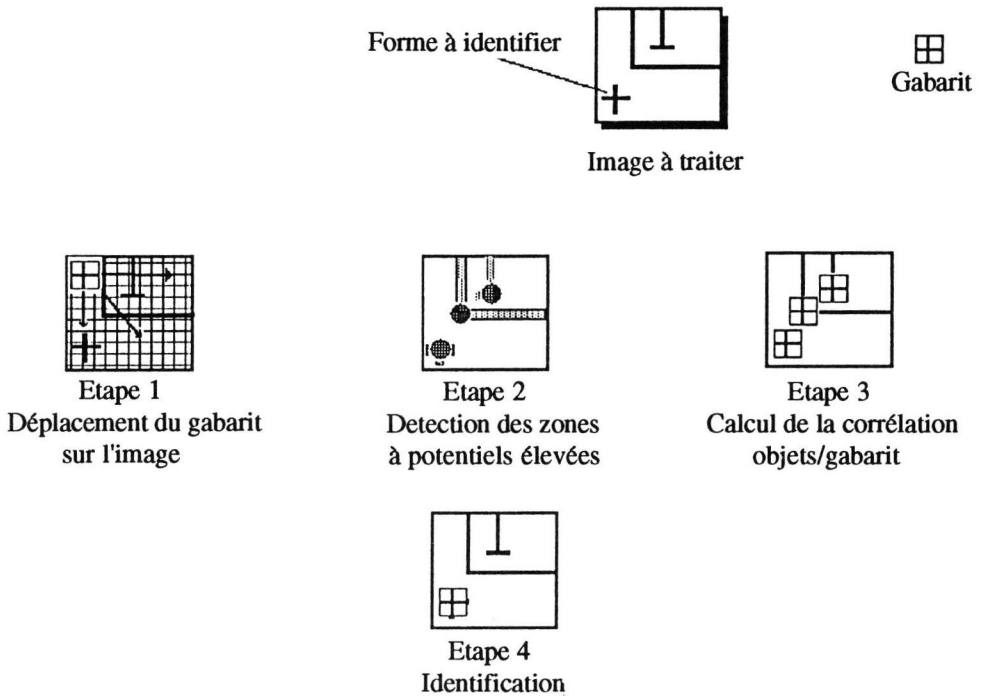


Fig 110 : Exemple de reconnaissance par gabarit.

Pour comparer toute zone de l'image étudiée au gabarit, il faut disposer d'un outil de calcul qui évalue sa corrélation avec le gabarit.

On effectue pour cela un calcul de distance euclidienne.

On considère une partie $s(i,j)$ de l'image, dont les dimensions sont choisies identiques à celles du gabarit, et dont le premier point, en haut à gauche, a pour coordonnées (i,j) .

La distance euclidienne entre la zone s de l'image et le gabarit s'écrit :

$$d^2(i,j) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [f(i+m, j+n) - t(m,n)]^2$$

Cette expression peut se développer en trois termes :

- * la somme des carrés des valeurs de pixel dans la partie d'image examinée,
- * la somme des carrés des valeurs de pixel dans le gabarit,
- * la somme des produits croisés des valeurs de pixel de l'image et du gabarit.

C'est ce dernier terme qui est utile pour la mesure de la similitude image-gabarit : plus il est grand, plus la distance $d(i,j)$ est petite.

Il convient donc de calculer pour chaque zone $s(i,j)$:

$$R(i,j) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [f(i+m, j+n) - t(m,n)]$$

et de comparer cette valeur à un seuil étalon qu'on aura défini au préalable, par étalonnage préalable au dessus du seuil, la zone image sera considérée comme correspondant au gabarit.

3) Le choix du gabarit

Le choix du gabarit est fait en fonction de l'application considérée : de sa qualité dépend l'efficacité de la reconnaissance.

Les difficultés rencontrées concernent l'orientation et la taille des objets par rapport au gabarit :

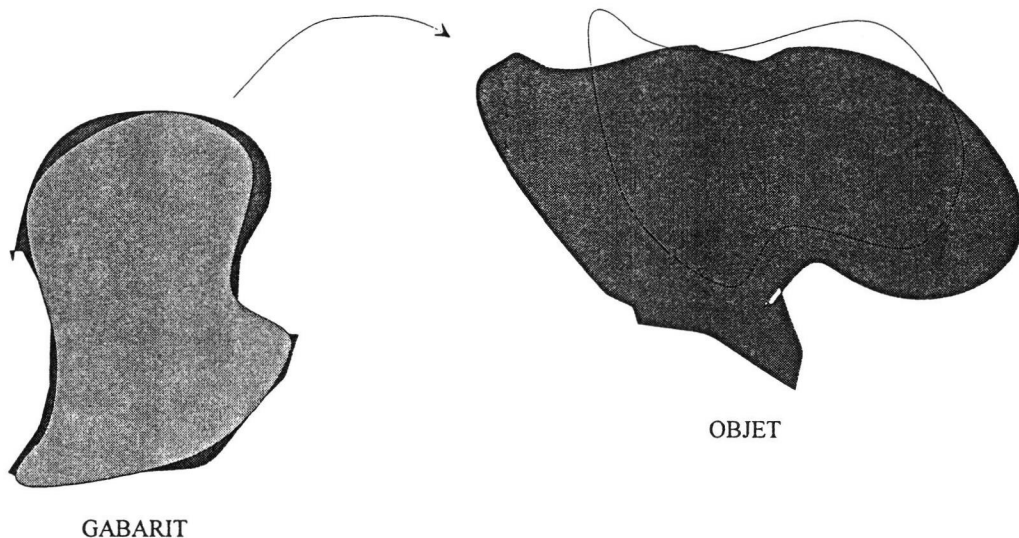


Fig 111 : Exemple de recherche d'adéquation à un gabarit par rotations successives. Embryon de pomme de terre.

* La figure 111 montre que les objets recherchés sur l'image ne sont pas toujours tous orientés de la même manière : on est dans ce cas amené à effectuer une rotation du masque-gabarit à chaque niveau de l'exploration de l'image. On peut également utiliser comme gabarit un codage descriptif de l'objet invariant en rotation (comme celui de son contour).

* Si les objets recherchés ne sont pas tous à la même échelle, une solution est d'utiliser un codage descriptif de la forme qui ne soit pas sensible à la taille (cf les paramètres et attributs du paragraphe précédent)

B. L'identification par transformée de HOUGH

On se place ici dans le cas où la forme de l'objet qu'on cherche à reconnaître sur l'image peut être décrite par une courbe, calculée par une équation des coordonnées sur l'image

(comme celle d'une droite, d'un cercle, d'une ellipse etc...). La méthode de Hough est une procédure de recherche sur l'image des objets qui répondent à la même équation de courbe. C'est une approche générale de reconnaissance de gabarit.

Nous allons décrire ci-dessous l'application de la méthode de Hough dans le cas de la reconnaissance d'une ligne droite.

1. Méthode de HOUGH pour la détection d'une droite

PLAN IMAGE ET PLAN DES PARAMETRES

Soit une image dont on repère les pixels par leurs coordonnées (x,y) .

Une droite D dans le plan image s'exprime par l'équation linéaire :

$$y = a_0x + b_0$$

(voir figure 112).

La droite D ainsi paramétrée est caractérisée par le couple (a_0, b_0) .

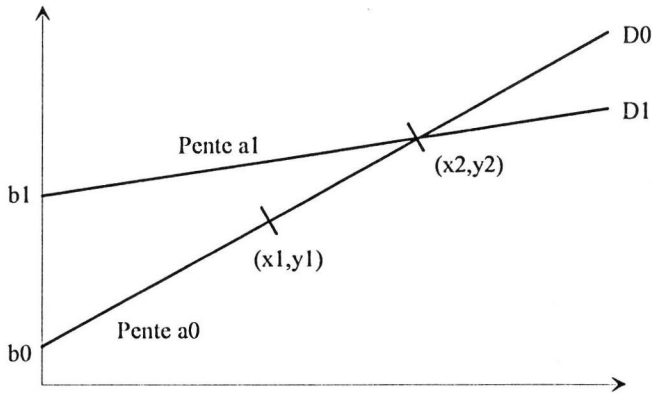


Fig 112 : *Plan Image* : Dans le plan image les pixels ont pour coordonnées (x,y) . Une droite D_0 est paramétrée par a_0 et b_0 et une droite quelconque D_1 par (a_1, b_1) .

Différentes droites D seront paramétrées par différents couples de paramètres (a,b) .

Nous pouvons placer ces différents couples dans un espace alternatif où les points ont pour coordonnées les valeurs (a,b) : le nouvel espace ainsi créé s'appelle l'espace des paramètres.

Dans cet espace une valeur du couple (x,y) permettra de définir à son tour une droite μ puisque :

$$b = -x*a + y$$

Les valeurs prises par (a,b) dans ce cas paramètreront des droites D du plan image passant toutes par le point (x,y) .

Un autre couple de valeur (x',y') définissant un autre point de la droite D, correspondra dans le plan des paramètres à une autre droite μ' d'équation :

$$b = -x'*a + y'$$

Si les 2 points (x,y) et (x',y') du plan image appartiennent tous deux à la droite D paramétrée par (a_0, b_0) , les droites μ et μ' qui leurs correspondent dans le plan des

paramètres se coupent nécessairement au point (a_0, b_0) .

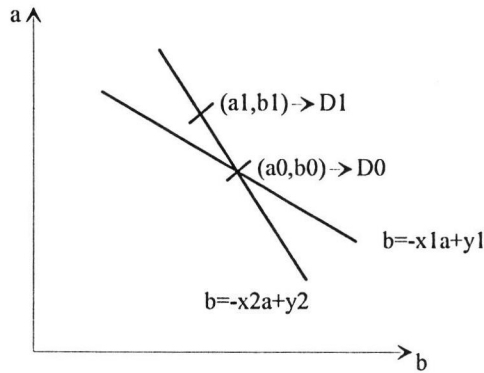


Fig 113 : *Plan des Paramètres* : Une droite $D(a,b)$ du plan image est représentée par un point (a,b) du plan des paramètres. Toutes les droites $D(a,b)$ passant par un point (x_1, y_1) dans le *Plan Image* sont représentée par une droite dans le plan des paramètres d'équation $b = -x_1 a + y_1$.

2. Reconnaissance d'une droite

On tire de cette analyse une méthode de reconnaissance d'une ligne droite dans une image :

- * pour chaque point d'une courbe L du plan image on trace la droite μ correspondante dans le plan des paramètres,
- * si les différentes droites μ ainsi obtenues sont concourantes dans le plan des paramètres en un point (a_0, b_0)
 - + on en déduit que la ligne de contour L est une droite dans le plan image
 - + que les paramètres de la droite L dans le plan image sont (a_0, b_0) .

3. Méthode algorithmique

On considère un plan image composé de pixels (x,y) dans lequel ont été tracées des lignes de contours dont les points ont les coordonnées (X,Y) .

* On construit un plan des paramètres (A,B) . Chaque coordonnée A ou B de ce plan ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs discrètes $(A_0, A_1, \dots, A_n ; B_0, B_1, \dots, B_m)$.

* Chaque couple de valeur (A_i, B_j) sera par la suite considéré comme une case de l'espace des paramètres dans laquelle on comptera le nombre N_{ij} de fois où ce couple (A_i, B_j) apparaîtra au cours de la reconnaissance. A chaque fois N_{ij} est incrémenté de 1 ; il est placé à 0 au début de la reconnaissance.

* Pour chaque point (X,Y) des contours à reconnaître, on calcule par :

$$B = -X \cdot A + Y$$

toutes les valeurs que prend B , lorsque A varie de A_0 à A_n .

* On arrondit chaque valeur de B trouvée à la valeur B_j la plus proche dans la liste (B_0, \dots, B_m) disponible.

* Pour chacun des n couples (A_i, B_j) ainsi obtenu, on incrémente de 1 le nombre N_{ij} de la

case correspondante de l'espace des paramètres.

* A la fin de l'exploration des couples (X,Y) des lignes de contour, les nombres N_{ij} constituent un histogramme d'occurrence des paramètres (A_i, B_j) .

* La ou les valeurs N_{ij} maximum correspondent aux paramètres (A_i, B_j) de la ou des lignes droites les plus représentatives des contours.

* Dans le cas ou une seule réponse n'apparaît pas directement, l'espace des paramètres peut lui même être traité comme une image qu'on seuillera de façon à ne garder que les zones où les N_{ij} dépassent une certaine valeur. Ces zones indiqueront les paramètres (A_i, B_j) qui cernent les lignes de force les plus probables des formes sur l'image.

4. Généralisation à d'autres figures

La méthode de Hough, de transformation de l'espace image en un espace des paramètres, pour la reconnaissance de forme de contours, est applicable selon les mêmes modalités, à d'autres courbes paramétrables par 2 ou 3 valeurs (cercles, ellipses).

L'algorithme ci-dessus est également utilisable ; la reconnaissance se réduisant à un traitement adéquat de l'histogramme N_{ij} (ou N_{ijk} dans le cas de 3 paramètres).

C. LA RECONNAISSANCE PAR L'APPLICATION D'UNE FONCTION DE DECISION

1. Définition du vecteurs d'attributs

On appelle attribut A tout paramètre calculé sur un objet de l'image et utilisé pour prendre une décision de classification, de reconnaissance ou de contrôle sur cette image : les descripteurs de contour, de surface, de couleur ou de texture évoqués dans les chapitres précédents sont des attributs.

Une reconnaissance de forme supposant l'utilisation de plusieurs attributs A_i , l'ensemble des n attributs nécessaires constitue le VECTEUR D'ATTRIBUTS (A_1, \dots, A_n) pour une image ou une région de cette image. La figure 114 donne un exemple de choix de vecteur d'attributs (niveau de gris, texture) et de son utilisation pour classer graphiquement les points d'une image dans un plan des attributs.

Le choix des attributs pour une reconnaissance de forme est crucial : il détermine son efficacité, comme le schématise la figure 115.

2. Définition de la fonction de décision

C'est une fonction du vecteur d'attribut

$$F[A_i] = F(A_1, \dots, A_i, \dots, A_n)$$

qui prend des valeurs réelles. Lorsqu'elle est appliquée au vecteur attribut d'une image ou d'une région d'image qui a la forme ou les caractères requis pour être reconnue, cette fonction doit dépasser un certain seuil F_0 ; elle doit rester en deçà de ce seuil pour toutes

autres images ou région.

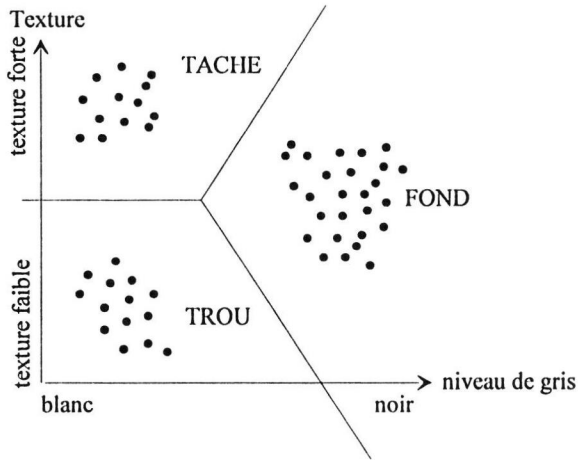


Fig 114 : Le choix d'un vecteur d'attributs (niveau de gris, texture) permet de positionner de façon distincte les points d'une image dans le système d'axes correspondants.

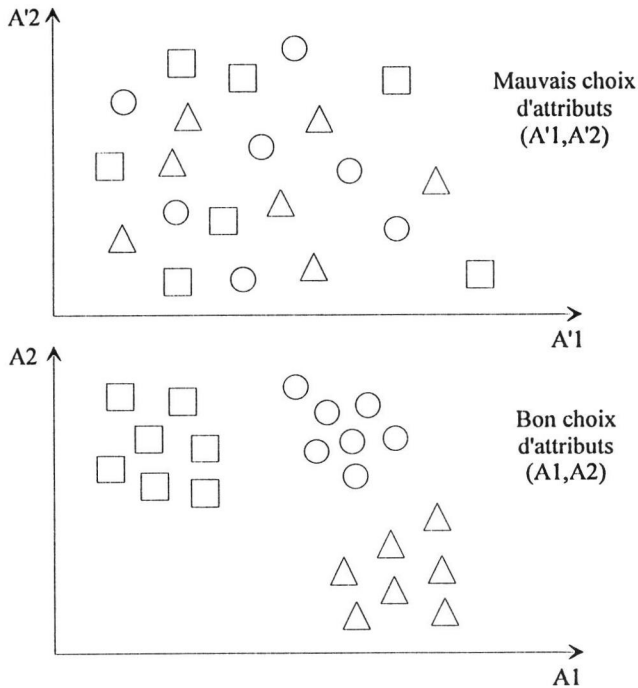


Fig 115 : Importance du choix des attributs : on représente chaque objet par un point dans l'espace des attributs utilisés pour classer 3 types d'objets sur l'image, on voit que les 2 attributs (A_1, A_2) assurent une meilleure séparation des 3 types de points-objets, que les

attributs (A'_1, A'_2).

LE VECTEUR (A_1, \dots, A_n)
CORRESPOND A LA FORME RECONNUE
SI
 $F(A_i) > F_0$

Comment cela fonctionne :

Après avoir effectué un choix d'attributs, on distingue 3 étapes de la reconnaissance de forme par une fonction de décision :

1. Phase d'apprentissage :

On mesure les valeurs des attributs sur un échantillon d'images d'apprentissage.

2. Le traitement des différentes valeurs :

L'analyse des valeurs prises par le vecteur d'attributs permet d'élaborer une fonction de décision la plus apte à distinguer la forme à reconnaître.

3. La reconnaissance de forme :

Elle s'effectue, sur toute nouvelle image, par l'application de cette fonction de décision au vecteur d'attributs de cette image ou d'une de ses régions.

3. Fonction de décision bi-dimensionnelle

Nous allons illustrer cette démarche par le cas de la reconnaissance de forme par fonction de décision sur vecteur à 2 attributs.

Exemple

Considérons un cas de reconnaissance de forme sur des images I , pour lequel 2 attributs A_1 et A_2 ont été sélectionnés comme les plus pertinents.

Le vecteur d'attributs pour ce problème s'écrit :

$$(A_1, A_2)$$

L'apprentissage se fait sur k images I_i

$$(I_i) \quad i = 1, \dots, k$$

avec une proportion suffisante d'entr'elles comportant la forme à reconnaître.

Sur chacune des ces images I_i , on calcule le vecteur d'attribut

$$(A_{1i}, A_{2i})$$

Puis on représente graphiquement l'ensemble de ces valeurs.

Si, comme on l'espère, les attributs ont été correctement choisis pour assurer une reconnaissance de forme, on doit pouvoir distinguer sur ce graphe (voir figure 116), 2 groupes de points-image (I_{i1}) et (I_{i2}) : (I_{i1}) correspondant exclusivement à la population d'images qui comporte la forme à reconnaître.

Ainsi, il doit être possible de tracer une droite D qui sépare clairement le graphe en 2 zones Z_1 et Z_2 :

* Sur Z_1 , tout point correspond à une image qui comporte la forme à reconnaître

* Sur Z_2 , tout point correspond à une image ne satisfaisant pas les critères de reconnaissance.

L'équation de la droite D dans le plan (A_1, A_2) s'écrit :

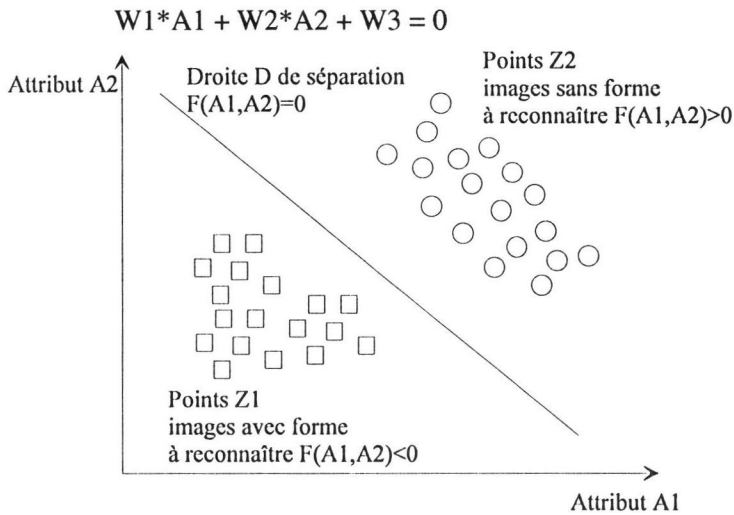


Fig 116 : Fonction de décision binaire : L'équation de la droite D séparant les nuages de points représentantatifs des deux classes d'images est utilisée comme base de la fonction de décision.

Cette équation établie à partir des valeurs du vecteur d'attribut $(A1, A2)$ pour un échantillon représentatif d'images, nous permet de définir la fonction de décision de ce problème de reconnaissance. Elle s'écrit :

$$F(A1, A2) = W1 \cdot A1 + W2 \cdot A2 + W3$$

En effet,

- * $F(A1, A2) < 0$ pour tout point de Z1 : donc pour toutes les images I comportant la forme à reconnaître
- * $F(A1, A2) > 0$ pour tout point de Z2 : pour toutes les images ne comportant pas la forme à reconnaître.

La fonction de décision $F(A1, A2)$ est appelée fonction de décision binaire.

La détermination par le calcul de l'équation de la droite D à partir des valeurs des vecteurs d'attributs $(A1, A2)$ des images échantillons I_i , suppose l'application d'une méthode d'optimisation de la distance et de la position de cette droite par rapport aux 2 groupes de points-image (I_{i1}) et (I_{i2}) sur le graphe ci-dessus.

La méthode la plus courante est celle de la Distance Euclidienne des Barycentres.

Commençons par calculer les coordonnées des barycentres respectifs B et C, sur le graphe, des groupes de points images (I_{i1}) et (I_{i2}) :

Le barycentre B des points (I_{i1}) a pour coordonnées $(b1, b2)$

b1 est égale à la moyenne des A1 des points (I_{i1})

b2 est égale à la moyenne des A2 des points (I_{i1})

Le barycentre C des points (I_{i2}) a pour coordonnées $(c1, c2)$ qui se calculent de la même façon à partir de celles des points (I_{i2}) .

La méthode de détermination par distance euclidienne de la droite D, séparant les 2 groupes de points images consiste à en faire la médiatrice de BC, lieu des points

équidistants des 2 barycentres.

Tout point $(A1, A2)$ de cette médiatrice D satisfait à :

distance de $(A1, A2)$ à $(b1, b2)$ = distance de $(A1, A2)$ à $(c1, c2)$

ou encore

$$((A1 - b1)^2 + (A2 - b2)^2)^{0,5} = ((A1 - c1)^2 + (A2 - c2)^2)^{0,5}$$

En élevant les 2 termes de cette équation au carré et en simplifiant on obtient :

$$A1*(b1 - c1) + A2*(b2 - c2) - ((b1^2+b2^2) - (c1^2+c2^2))/2 = 0$$

Les coefficients de la fonction de décision

$$F(A1, A2) = W1*A1 + W2*A2 + W3$$

s'écrivent donc :

$$W1 = b1 - c1$$

$$W2 = b2 - c2$$

$$W3 = - ((b1^2+b2^2) - (c1^2+c2^2))/2$$

La méthode ainsi établie est illustrée ci-dessous au travers d'un exemple :

On considère une population d'images-échantillons dont on a choisi 2 attributs significatifs, par exemple, un paramètre de couleur que l'on notera $A1$ et un paramètre de surface qui sera noté $A2$.

Représentés dans le graphe en figure 117, cette population d'images se sépare en 2 groupes aisément identifiables.

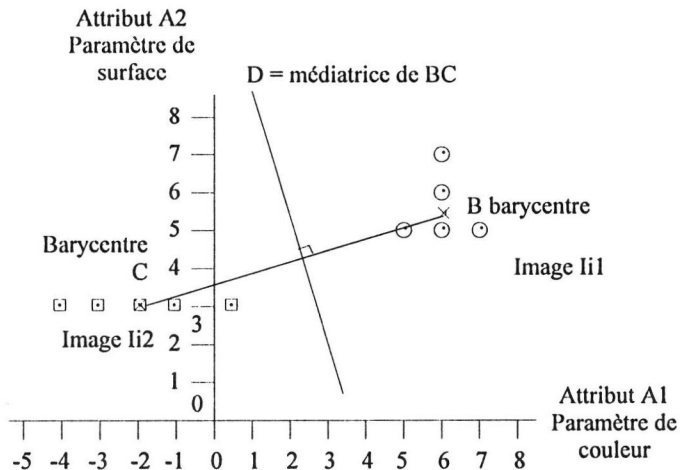


Fig 117 : exemple de calcul d'une fonction de décision binaire.

Un premier groupe (Ii1) pour les images duquel le vecteur d'attributs prend les valeurs : $(5, 5)$ $(6, 5)$ $(6, 6)$ $(6, 7)$ $(7, 5)$

Les images de ce groupe comportent toutes la forme à reconnaître.

Un deuxième groupe (Ii2) avec pour vecteurs d'attributs :

(0, 3) (-1, 3) (-2, 3) (-3, 3) (-4, 3)

Les images de ce groupe ne comportent pas la forme à reconnaître

Les barycentres de chacun de ces 2 groupes ont pour coordonnées :

* pour (Ii1) : B (6, 5.6)

* pour (Ii2) : C (-2, 3)

La médiatrice D de BC, représentant une solution pour séparer les 2 populations de points, a pour équation :

$$A1*(b1 - c1) + A2*(b2 - c2) - ((b1^2 + b2^2) - (c1^2 + c2^2))/2 = 0$$

$$F(A1,A2) = 8*A1 + 2.6*A2 - 27.18 = 0$$

Le calcul de F(A1,A2) permettra de comparer les objets.

Pour toute nouvelle image I :

* on calculera le vecteur (A1,A2)

* si $F(A1,A2) > 0$ alors l'image comportera l'objet recherché.

4. Fonction de décision à n dimensions

Lorsque le nombre n d'attributs nécessaire à la reconnaissance de forme est supérieur à 2, la même démarche peut s'appliquer dans un espace à n dimensions (A1,...,Ai,...,An). Elle se déroule comme suit :

1) Identification dans une population échantillon d'un sous-groupe d'images, comportant la forme à reconnaître, et ayant des valeurs d'attributs les séparant notablement du reste des images qui ne comportent pas cette forme.

2) Calcul des barycentres

$$B(b1, \dots, bi, \dots, bn) \quad \text{et} \quad C(c1, \dots, ci, \dots, cn)$$

des 2 groupes de points-images par calcul des n moyennes sur les coordonnées-attributs de ces points.

3) Détermination de l'équation du plan médiateur dans l'espace à n dimensions entre ces 2 barycentres : par égalisation des distances euclidiennes de B et de C aux points de ce plan.

La distance euclidienne d'un point image I de coordonnées (A1,...,Ai,...,An) au barycentre B de coordonnées (b1,...,bi,...,bn) s'écrit :

$$d(I,B) = ((A1-b1)^2 + \dots + (Ai-bi)^2 + \dots + (An-bn)^2)^{0,5}$$

4) Utilisation du premier terme de l'équation de ce plan médiateur comme fonction de décision : celle-ci, appliquée aux n attributs de toute nouvelle image, prendra une valeur par rapport à 0 qui sera déterminante pour la reconnaissance de la forme recherchée dans cette image.

D. REGLE DE VRAISEMBLANCE : DECISION BASEE SUR UNE PROBABILITE D'APPARTENANCE

1. Les limites de la fonction de décision

L'application de la méthode par fonction de décision suppose que les 2 classes de points de l'espace des attributs soient bien distinctes, pour pouvoir positionner une droite ou un plan les séparant.

Dans certains cas, telle n'est pas la situation : les groupes de points se recoupent. Se pose alors le problème de l'appartenance des images dont les attributs sont représentés dans cette zone de recouvrement. Pour surmonter cet obstacle, des approches statistiques ont été mises en œuvre : elles permettent de raisonner en termes de probabilité d'appartenance d'un nouveau vecteur attribut à une classe ou à l'autre.

2. La démarche statistique

Pour aider à la compréhension de ces méthodes statistiques de classification, nous limiterons l'analyse au cas où on cherche à reconnaître des formes (ou d'autres caractéristiques) dans un ensemble infini I d'images, ou de régions d'images, à partir du calcul d'un seul attribut A .

Supposons que pour l'ensemble des images I , nous connaissions la proportion P de celles qui comportent effectivement la forme à reconnaître. Les images qui ne la comportent pas sont en proportion $(1 - P)$.

Le choix de l'attribut A étant supposé pertinent pour la reconnaissance de forme considérée, si on mesure les valeurs de A séparément pour les images I_{i1} qui comportent la forme à reconnaître et celles I_{i2} qui ne l'ont pas, on devrait obtenir 2 distributions de valeurs bien séparées, comme schématisé en figure 118.

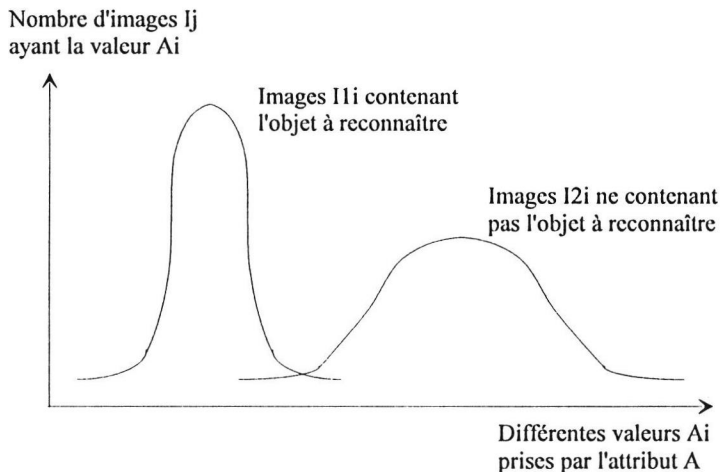


Fig 118 : Situation favorable à une fonction de décision : Les distributions de valeurs de l'attribut A pour les 2 classes d'images à distinguer sont nettement séparées.

Nous avons vu que lorsque les 2 distributions de valeurs étaient bien distinctes, l'application d'une fonction de décision convenait pour reconnaître les images de type I_{i1} .

Si ces distributions de valeurs se recouvrent, sur un intervalle de valeurs $[A_n, A_m]$, comme schématisé en figure 119, la décision est incertaine pour toute nouvelle image I_i dont l'attribut A_i se situe dans cet intervalle.

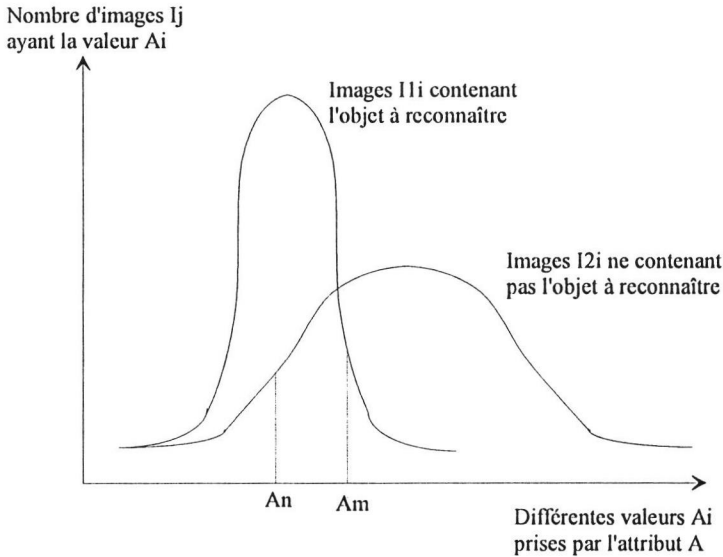


Fig 119 : Limite de la fonction de décision : Lorsque les distributions de valeurs de l'attribut A pour 2 classes d'images à distinguer se recouvrent sur un intervalle $[A_n, A_m]$, toute image ayant une valeur d'attribut A dans cet intervalle ne peut être simplement classée par une fonction de décision.

Cette indécision ne peut être partiellement levée que par un raisonnement statistique sur la vraisemblance de l'appartenance de l'image I_i à une classe ou à l'autre.

3. Méthodes statistiques pour les images

On mesure l'attribut A sur un nombre n suffisamment grand d'images I_i , pour pouvoir obtenir de façon significative :

- * un histogramme (en abscisse : les différentes valeurs A_i prises par A ; en ordonnée : le nombre d'images I_i pour lesquelles l'attribut A a pris la valeur A_i). Cet histogramme prend souvent la forme d'une distribution normale $p(A)$ telle que schématisée sur les figures 118 et 119.

- * une valeur moyenne μ des A_i de toutes les images i.

- * un écart type s des A_i avec :

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (A_i - \mu)^2 \times 0,5$$

L'histogramme expérimental ainsi obtenu doit ensuite être transformée en une fonction normalisée de distribution de la valeur A, à partir des valeurs de la moyenne μ et de l'écart type s ci-dessus, par la formule

$$p(A/I) = \frac{1}{s\sqrt{2}} \cdot \exp\left(-0,5\left(\frac{A-\mu}{s}\right)^2\right)$$

avec

$$\int_{-}^{+} p(A/I) \cdot \alpha A = 1$$

Lorsqu'on réalise des statistiques sur la valeur de l'attribut A séparément pour des images I1 qui comportent la forme à reconnaître et celles I2 qui ne l'ont pas, les fonctions normalisée $p(A/I1)$ et $p(A/I2)$, telle qu'obtenues ci-dessus, peuvent avoir graphiquement une allure telle qu'indiquée en figure 120.

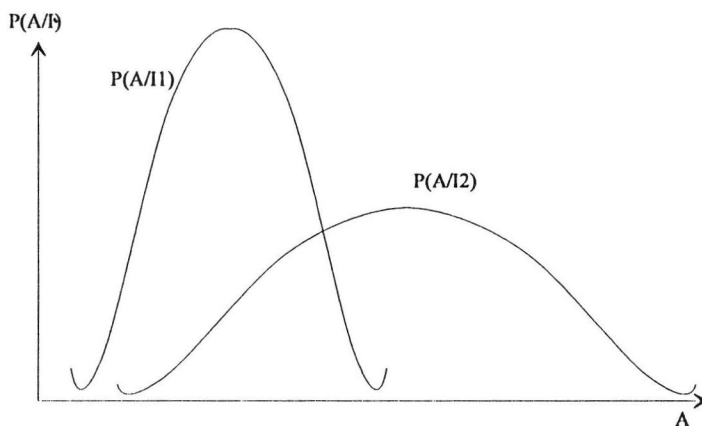


Fig 120 : Histogrammes normalisées des valeurs prises par un attribut A sur 2 populations d'images I₁ et I₂, comportant ou ne comportant pas l'objet à reconnaître.

4. Application de la méthode de BAYES

Pour réussir à trouver si une nouvelle image I appartient à la classe I1 de celles qui comportent l'objet à reconnaître, on applique des technique liées à la théorie de la décision. La méthode la plus courante est la méthode de Bayes. Pour l'utiliser, il faut connaître :

- * la proportion P d'images comportant la forme à reconnaître
- * les distributions normalisée de valeurs de l'attribut A selon qu'on le calcule :
 - + sur des images I1 de la classe I1 soit $p(A/I1)$
 - + sur des images I2 de la classe I2 soit $p(A/I2)$

La méthode de Bayes pour établir une décision d'appartenance de toute nouvelle image I aux classes d'images I1 ou I2 est la suivante :

1) on calcule la valeur A_i de l'attribut A sur la nouvelle image I

2) on applique les formules suivantes :

$$P1(A_i) = (P * p(A_i \setminus C1)) / p(A_i)$$

(probabilité pour que I appartienne à I1)

et

$$P2(A_i) = ((1-P) * p(A_i \setminus C2)) / p(A_i)$$

(probabilité pour que I appartienne à I2)

avec

$$p(A_i) = P * p(A_i \setminus C1) + (1-P) * p(A_i \setminus C2)$$

3) on applique la règle de décision suivante :

DECIDER QUE L'IMAGE I APPARTIENT A I1 SI
 $P1(A_i) > P2(A_i)$

DECIDER QUE L'IMAGE I APPARTIENT A I2 SI
 $P1(A) < P2(A)$

La probabilité de commettre une erreur de classification en appliquant cette règle est la suivante :

* probabilité d'erreur = $P2(A)$ si on décide l'appartenance à C1

* probabilité d'erreur = $P1(A)$ si on décide l'appartenance à C2

Cette méthode n'est bien entendu à utiliser que dans les cas complexes lorsque l'attribut retenu n'est pas suffisamment discriminant.

V. RECONNAISSANCE DES FORMES ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les méthodes de reconnaissance décrites au chapitres précédent ne permettent pas toujours de résoudre les cas très complexes qui se présentent en analyse d'images.

Reconnaître un visage est une action que tout être humain est capable d'accomplir presque instantanément, dès son plus jeune âge, alors que l'ordinateur éprouve beaucoup de difficultés à le faire dans un temps raisonnable.

Pour ces situations très complexes pour l'ordinateur, d'autres méthodes de reconnaissance se référant à la démarche naturelle de l'homme peuvent être envisagées. Pour cela, on a fait une analyse du comportement de l'homme dans une reconnaissance visuelle d'objets

L'homme met en œuvre deux types de démarches intellectuelles :

- soit une analyse fine et détaillée de l'objet à reconnaître, assortie d'un raisonnement déductif sur les différentes observations faites au cours de cette analyse, qui mène à une reconnaissance.

- soit une association "réflexe" de l'image perçue par l'oeil avec d'autres images, ou perceptions visuelles plus élémentaires, lentement mémorisées tout au long de la vie de l'individu. Cette association permet une reconnaissance instantanée, intuitive et non-déductive par l'homme. Elle est probablement basée sur la structuration physiologique du cerveau en réseaux de neurones, si l'on retient les hypothèses faites sur le fonctionnement de la mémoire. Ces neurones sont connectés entre eux par des liaisons électro-chimiques qui sont autant de voie d'échanges, où le stockage d'informations s'effectue au cours de la vie de l'individu.

La reconnaissance d'images complexes par des procédures d'intelligence artificielle installées sur ordinateur peut s'effectuer selon 2 voies similaires :

*les systèmes à base de connaissance

*les systèmes neuro-mimétiques ou connexionistes

A. LES SYSTEMES A BASE DE CONNAISSANCE OU SYSTEMES EXPERTS

1. description d'un système expert

Ces systèmes tendent à imiter la première démarche humaine dans la reconnaissance de forme décrite ci-dessus : la voie déductive.

Ils sont basés sur des règles logiques du type :

"si.....alors....."

qui s'enchainent les unes aux autres pour mener à une décision.

L'ensemble des règles nécessaires pour mener à bien un raisonnement s'appelle la "base de règles"

Derrière les "si" et les "alors" qui structurent ces règles sont indiqués des "faits" : valeurs de paramètres, événements ou décisions, algorithmes de calcul. Ils constituent "la base de faits"

Pour se déplacer d'une règle à l'autre en manipulant correctement les faits, "un moteur" anime l'évolution du raisonnement : c'est "le moteur d'inférence".

Ainsi, dans un système à base de connaissances plus communément appelé système expert, le moteur d'inférence anime la circulation dans la base de règles, en appliquant celles-ci aux faits de la base de faits.

Exemple : Reconnaissance d'une orange sur une image

On a la base de règles suivante :

règle 1 : Si "compacité" > 0,75 alors "forme"="ronde"
règle 2 : Si "forme" = "ronde" alors "test Rouge"
règle 3 : Si "test rouge" alors "moyenne" "rouge" sur "forme"
règle 4 : Si "moyenne""rouge"sur"forme" > 0,7 alors "test Rouge" > 0
règle 5 : Si "test Rouge" > 0 et Si "forme" = "ronde" alors "forme" = "fruit orange"

Ces règles permettent d'effectuer un raisonnement chaîné qui ordonne d'abord l'examen de compacité de l'objet pour déterminer s'il est assez circulaire ; dans ce cas, on teste ensuite sa couleur sur la totalité des pixels de sa surface : si elle est en moyenne assez rouge, cet objet assez rond et assez rouge est reconnu comme un fruit "orange".

Ces règles supposent que dans la base de faits, se trouve

*des algorithmes de calcul permettant :

+ de connaître : la compacité, les intensités et la couleur des pixels,

+ le calcul de la moyenne des valeurs d'intensité des pixels contenus dans une

forme quelconque.

*une table contenant les différentes valeurs de forme,

*etc...

2. Comment développer un système expert

Pour mettre en forme une expertise dans un système à base de connaissances, il est nécessaire d'utiliser un logiciel de développement de système expert du commerce, et d'un nombre limité de bons experts (au moins dans une première étape).

Le logiciel de développement permet de construire les règles et la base de connaissance ; il est équipé de son moteur d'inférence. Il permet, en général de façon très interactive de tester le fonctionnement du système expert en développement.

Le test de ce fonctionnement peut se faire par simulation ou directement en interfaçant le système de développement avec le système de vision-traitement de l'image ; cela offre la possibilité de développer sur site.

Une fois le prototype de système expert élaboré et jugé satisfaisant, il est alors possible de l'extraire de son système de développement sous forme d'un logiciel. Ce dernier peut alors être intégré dans l'ordinateur de l'application de vision.

On trouve souvent de tels systèmes dans des systèmes de vision utilisés pour la conduite de processus complexes (exemple : conduite de four de cuisson...).

B. LES SYSTEMES NEURO-MIMETIQUES

Ces méthodes de reconnaissance basées sur une déduction de nature logique, comme ceux décrits ci-dessus, ne permettent pas de résoudre tous les problèmes complexes.

C'est le cas lorsque la connaissance n'est pas exprimable en termes logiques et clairement descriptibles par un expert, ou encore lorsque les paramètres sont trop complexes.

Pour aborder ce type de situation de reconnaissance, on peut utiliser un réseau de neurones artificiels. Il reproduit ce qu'on suppose être la structure et le fonctionnement de son exemple humain, tels qu'évoqués ci-dessus. Il prend la forme d'une "boîte noire", dans laquelle on accède par n pôles d'entrée et m pôles de sortie.

1. fonction et étalonnage d'un réseau de neurones

Pour un problème de reconnaissance d'image donné, il faut d'abord étalonner ce réseau de neurones sur un très grand nombre d'exemples de résolution par l'homme de l'opération de reconnaissance visuelle qu'on cherche à lui faire imiter.

Il faut disposer, à cette fin, d'une banque importante d'images de référence. Pour chacune d'entre elles, on a calculé n valeurs d'attributs, et un expert humain a pris m décisions de reconnaissance sur cette image.

L'étalonnage du réseau se déroule ensuite de la façon suivante : pour chaque image de référence, à l'entrée du réseau on injecte les n valeurs d'attributs, et à sa sortie les m décisions de reconnaissance prise par l'expert.

Progressivement, et au fur et à mesure de l'injection des données des images de référence, le réseau de neurone est supposé mémoriser le savoir-faire de reconnaissance de l'expert humain.

Lorsqu'il est jugé suffisamment étalonné, il doit délivrer automatiquement m décisions de reconnaissance correctes, lorsqu'on lui injecte les n attributs de toute nouvelle image, hors les images de référence.

2. structure d'un réseau de neurones

Un réseau de neurones artificiels est caractérisé par 3 entités :

* le neurone, noeud du réseau : c'est un automate, relié à des automates voisins, qui en reçoit des impulsions et est chargé de renvoyer lui-même une impulsion. Les n entrées et les m sorties du réseau sont des neurones particuliers.

* la topologie du réseau : chaque neurone du réseau est relié à d'autres neurones (à tous ou à certains). La topologie du réseau caractérise la structure d'ensemble de ces liaisons et la nature de chaque connexion. A chaque liaison entre 2 neurones est affectée une valeur ou poids.

* l'évolution du réseau : à chacun des pas d'entraînement du réseau, tel que décrits ci-dessus, on modifie les valeurs des liaisons inter-neuronales. Ces liaisons sont ajustées pour obtenir une mémorisation progressive et efficace : celle-ci doit aboutir à une convergence du réseau à l'issue de son apprentissage (c'est-à-dire lorsque les valeurs des liaisons interneuronales n'évoluent plus, ou peu, devant chaque nouveau cas d'apprentissage).

3. comment développer un réseau de neurones

On utilise un système de développement de réseau de neurone disponible sur le marché. Il permet de choisir une structure de réseau, de l'étalonner à partir de variable d'entrée et de sortie, de surveiller la progression de cet étalonnage jusqu'à convergence éventuelle. A l'issue de l'étalonnage, le réseau développé peut être rendu disponible sous forme de logiciel, ou, pour les applications en ligne sous forme de composant pré-programmé.

Exemple : Classification de plantes en pot fleuries.

Dans le cas de la classification des plantes en pot fleuries, aucune méthode classique de reconnaissance, ne permet de reproduire la décision des experts qui s'apparente à une reconnaissance de la "beauté" de ces objets décoratifs qu'ils sont chargés de trier pour la commercialisation.

Pour reproduire automatiquement ces décisions de tri, un réseau de neurones a été développé (voir figure 121).

Il comporte 16 neurones dans sa couche d'entrée : chacun d'eux est connecté à une valeur d'un attribut calculée sur 2 images distinctes de la plante à trier.

Le réseau comporte 3 neurones dans sa couche de sortie : une fois le réseau étalonné, les valeurs prises par ces 3 neurones sont les valeurs décisionnelles qui, selon leur niveau, permettront de reconnaître une plante de type "belle", d'une autre : il s'agit d'une note sur la beauté des feuilles de la plante, sur celle de ses fleurs, et d'une note plus globale de qualité.

Enfin le réseau comporte une seule couche cachée intermédiaire de 5 neurones. Les 16 neurones d'entrée sont tous reliés aux neurones de la couche cachée, qui sont eux-mêmes tous reliés aux 3 neurones de la couche de sortie.

200 à 300 exemples de tri exécutés par l'homme ont été nécessaires pour étalonner ce réseau.

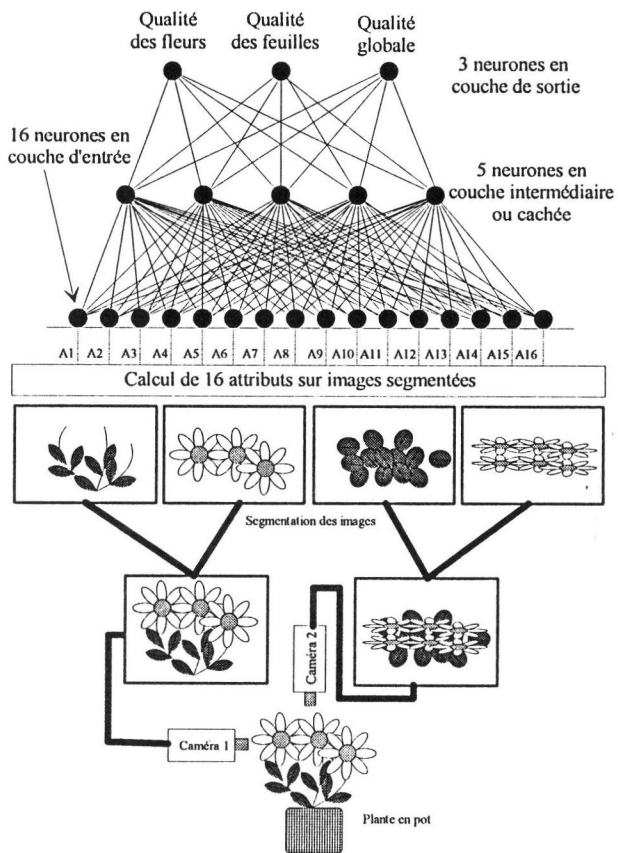


Fig 121 : Exemple d'application des réseaux de neurones à la classification des plantes en pots suivant des critères de beauté.

QUATRIEME PARTIE:
DE LA THEORIE A LA PRATIQUE
LA MISE EN OEUVRE

I. GENERALITES

A. Une technique multi-disciplinaire

Il s'agit d'un domaine en grande progression, ceci étant dû en partie à la présence de matériel de plus en plus performant et d'un coût abordable. Mais il ne faut pas pour autant vouloir tout lui faire faire, les risques sont encore grands (voir figure 122) et un minimum de précautions restent nécessaires.

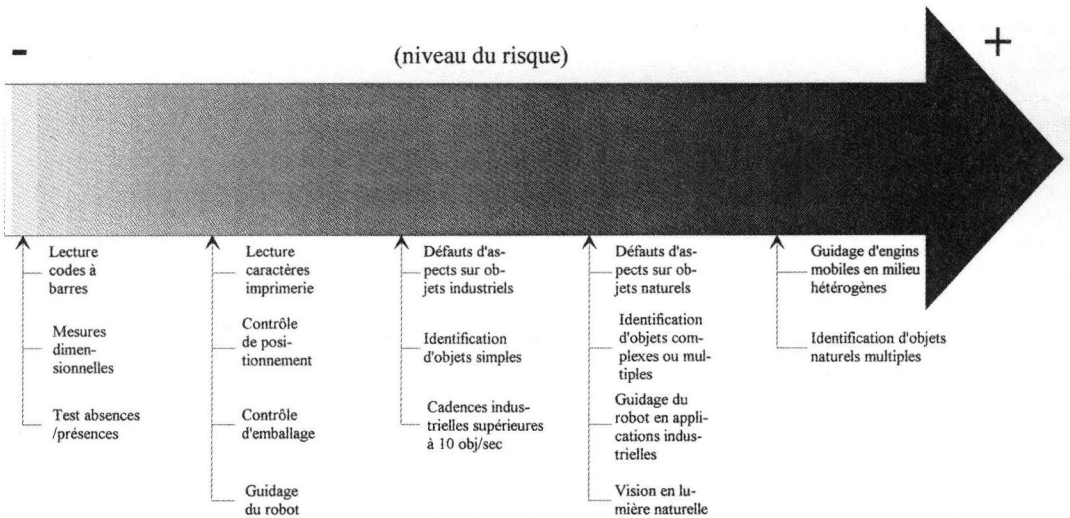


Fig 122 : Les risques d'échec dans l'intégration des systèmes de vision industrielle.

Une application en vision industrielle nécessite le regroupement de 5 sciences de l'ingénieur :

- * La maîtrise des mathématiques y compris les statistiques
- * La maîtrise de l'informatique
- * La maîtrise de l'électronique
- * La maîtrise de l'optique
- * La maîtrise de la mécanique.

L'installation d'une machine de vision industrielle sera, en outre, l'association de ces techniques de l'ingénieur et du savoir faire d'un intégrateur.

Il ne faut, en aucun cas, sous-estimer les problèmes qui ne sont pas directement ceux issus de la vision. Les problèmes mécaniques, notamment ceux nécessaires à la présentation des produits devant le système de vision peuvent être complexes. Les problèmes d'éclairage représentent quant à eux, la bête noire des intégrateurs.

Pour donner un petit exemple, on peut citer cet intégrateur qui maîtrisant bien la partie logicielle avait négligé les problèmes mécaniques. Il a mis trois ans pour rendre fonctionnel un projet qui aurait dû être terminé en 6 mois.

B. Les différents types de vision industrielle

La vision industrielle temps réel pose un problème simple : "comment analyser une image à une cadence compatible avec les contraintes industrielles présentes". Il est donc possible que le terme de cadence ait une signification différente suivant l'interlocuteur. De manière générale l'unité requise sera le nombre d'objets analysés par seconde. Ce nombre peut évoluer d'un objet à plusieurs dizaines par seconde. Plusieurs approches industrielles existent, adaptées à la complexité du sujet traité.

1. Méthode off line

La première est appelée en anglais Off Line. Il s'agit d'une analyse en temps différé, réalisée par échantillonnage de la production.

Il s'agira ici d'utiliser des outils couramment utilisés dans les laboratoires, les temps de traitements pouvant varier entre quelques secondes à plusieurs dizaines de minutes.

En général l'échantillon est disposé manuellement, l'analyse pouvant se faire automatiquement, suivant un processus enregistré manuellement ou de manière semi-automatique. Ces systèmes peuvent être entièrement automatisés, mais leur grande majorité nécessite une présence humaine.

2. Méthode on line

Cette deuxième méthode On Line, c'est à dire "sur la chaîne", est compatible avec les vitesses de processus industriels. Mais la notion de temps réel nécessite que l'on s'attarde un peu sur ce qui peut se cacher derrière ce terme.

Il est important, avant tout de définir cette notion de Temps Réel, qui peut varier de manière très importante suivant le sujet d'application.

La notion de temps réel est relative ; pour un gestionnaire, on parlera de dizaines de secondes voire de minutes, pour un industriel on raisonnera plus en termes d'objets triés, par exemple 5 objets par seconde (200 ms). Pour l'électronique de traitement d'images, on raisonnera en terme de cadence image, soit 40 ms ou 20 ms. On voit donc des différences très importantes suivant le domaine d'application.

On aborde ici, une notion très sensible en analyse d'image numérique, celui du volume des informations à traiter.

Celui ci étant très important, il nécessitera l'usage d'une puissance de calcul très importante.

On peut dire qu'aujourd'hui, peu de systèmes peuvent se targuer d'être temps réel, généralement seules quelques opérations peuvent être classées dans la catégorie temps réel.

Par exemple pour un système de vision couleur on peut définir les caractéristiques suivantes :

- * Durée d'acquisition : 40 milli-secondes.
- * Volume d'une image : $512 \times 512 \times 3 = 786432$ octets
(3 plans images : Rouge, Vert, Bleu)
- * Temps d'accès à un point image couleur : 100 nano secondes
- * Temps d'accès à un élément colorimétrique : 100 nanosecondes/3 soit environ 33 nano-secondes par élément.

* Puissance théorique minimale : 30 Mips

* Puissance pratique minimale : 300 Mips.

Il faut considérer une moyenne de 10 instructions pour traiter de manière élémentaire un point image.

Les points importants à maîtriser sont :

- 1) les cadences (utilisation de caméras à durée d'acquisition variable)
- 2) la dynamique de la mesure (capteur haute résolution)

Comme nous venons de le voir il existe une différence essentielle entre le besoin de traiter à des cadences industrielles et les performances du système de vision.

Pour le système de traitement d'image, il n'existe pas de relation immédiate entre le nombre d'objets à traiter et la puissance nécessaire de traitement. Bien sûr plus le système sera puissant, plus il aura de chances de pouvoir traiter les images rapidement. Mais compte tenu de la technologie actuelle, les capacités de calcul sont limitées au regard du problème à traiter. Dans ces circonstances les industriels utilisent divers artifices tant au niveau de la prise de vue, qu'au niveau du traitement, pour pouvoir traiter l'information en temps réel.

Techniques utilisées :

Plusieurs techniques peuvent être mise en œuvre pour augmenter la vitesse de traitement. Les plus connues utilisent des processeurs câblés (cartes spécialisées), les autres sont basées sur la simplification au préalable de l'image à traiter. Pour ce faire on utilisera diverses méthodes.

Méthodes optiques :

Eclairages spéciaux, filtres, éclairage par moiré...

Méthodes mécaniques :

Méthodes de présentation d'objet

Méthodes électroniques :
prétraitement.

Ces méthodes peuvent être combinées.

La faisabilité d'une application tient avant tout, au savoir faire de l'intégrateur, qui saura montrer les points importants de l'application, qui permettront de satisfaire à la notion de temps réel.

II. ETUDES PRELIMINAIRES A L'IMPLANTATION D'UN SYSTEME DE VISION INDUSTRIELLE

Malheureusement il n'existe guère de recette universelle, le marché récent de l'imagerie industrielle reste encore un domaine où le sur-mesure règne en maître.

On peut toutefois conseiller une analyse vigilante du problème à traiter, en essayant de bien classer par catégorie d'importance, les problèmes à résoudre. Un bon schéma directeur (voir figure 123) pourra aider à la résolution du problème.

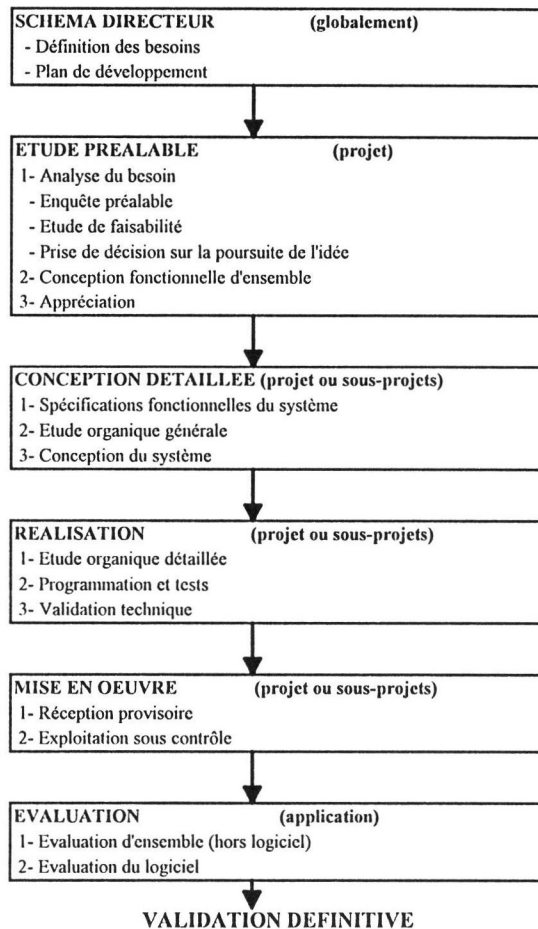


Fig 123 : Schéma directeur pour une étude en vision industrielle.

En effet, on trouve souvent une solution de vision industrielle qui peut résoudre plusieurs problèmes à la fois, mais les performances des machines étant encore limitées, il vaut mieux n'envisager qu'un seul problème.

Le deuxième conseil sera peut être d'envisager, dans un premier temps, une amélioration dans la conduite du processus industriel. Il est souvent facile de résoudre 80% du problème, alors qu'il est très complexe et coûteux de vouloir résoudre les 20% restants.

Le troisième conseil sera peut être d'envisager une modification plus ou moins profonde du processus industriel avant l'intégration d'un système de vision. Il est parfois plus simple et moins coûteux de modifier certains aspects mécaniques que de vouloir tout résoudre par vision artificielle.

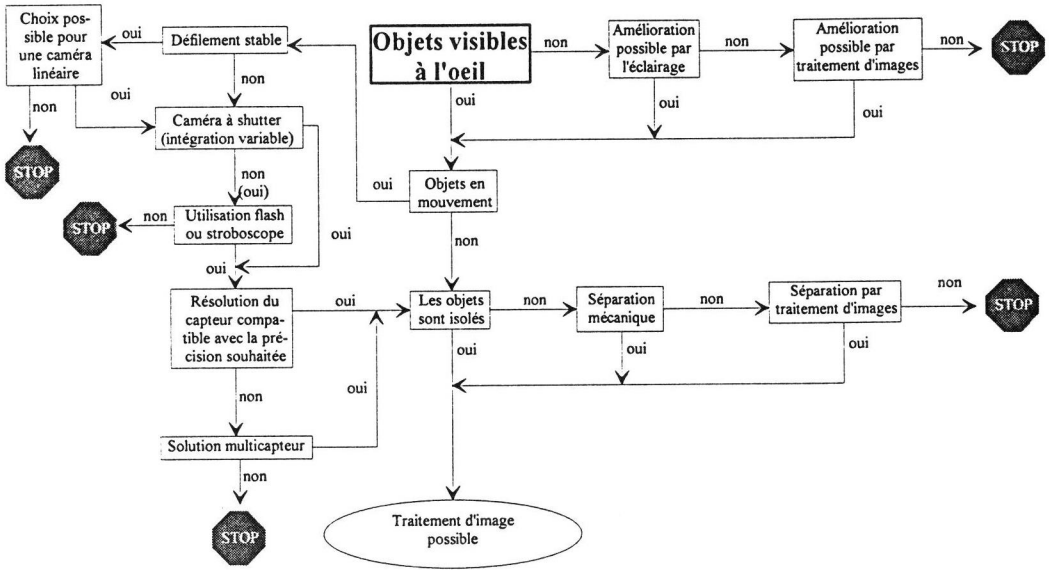


Fig 124 : Diagramme d'aide au choix d'un système de vision industrielle.

A. Analyse du problème

Cela constitue la phase primordiale du projet : une bonne analyse de votre problème permettra, à terme, un choix optimal et sûrement des économies. L'analyse du problème doit se faire à plusieurs niveaux, social, économique, et technique. L'industriel doit faire une analyse fine des deux premiers points, car il est le seul à pouvoir le faire. Le troisième point sera quant à lui, analysé en étroite collaboration avec le fournisseur de la solution de vision industrielle.

Dans tous les cas l'industriel est libre de se faire aider par un conseil public ou privé, ce choix sera à faire en tenant compte de l'investissement prévu!

Analyse des besoins

Evaluation du besoin réel.

Analyse de l'existant.

Evaluation grossière du retour sur investissement.

Analyse commerciale

Evaluation de l'impact commercial (amélioration qualité par exemple).

Evaluation du gain financier probable.

Analyse sociale

Evaluation de l'impact social.

Evaluation du reclassement nécessaire du personnel.

Choix d'une solution financière pour le reclassement.

Coût d'une formation éventuelle ?

Choix du personnel le mieux adapté pour gérer le système.

Evaluation du coût de la maintenance pendant la période d'amortissement du matériel.

Qui fera la maintenance, avec quel contrat, et quels sont les délais d'intervention ?

Doit-on former, en interne, le personnel pour une maintenance préventive ?

La maintenance préventive est elle possible sans l'intervention du fournisseur ?

Analyse financière

Choix de la méthode de financement.

Définition d'un argumentaire technique.

Définition d'un argumentaire financier.

Discussion de financement avec les organismes adéquats.

Analyse du marché

Analyse du marché des prestataires

Un système similaire n'existe-t-il pas déjà.

Sélection préliminaire de deux ou trois fournisseurs.

Sélection préliminaire de systèmes permettant de résoudre des problèmes similaires.

Analyse technique

Evaluation des différentes techniques à mettre en œuvre.

Evaluation des pertes de production éventuelles.

Analyse des prestations de chaque fournisseur.

Evaluation des coûts d'installation.

Evaluation des coûts de modification éventuels du processus actuel.

Analyse financière des fournisseurs

Quelle est leur solvabilité.

Taille de l'entreprise.

Expérience préalable.

Analyse rapide de leur pérennité, (surtout pour les petites sociétés).

Sélection de la solution

Sélections des fournisseurs

Quelles sont les garanties offertes par le fournisseur sur la pérennité de son matériel ?

Le fournisseur est-il le fabricant du matériel de vision ?

Quelle est l'origine du matériel ?

Réalisation des études de faisabilité

Accord de confidentialité préalable.

L'étude de faisabilité est-elle gratuite ?

Quel est le délai de réalisation de cette étude ?

Est-il possible de visiter des sites où le système proposé fonctionne ?

Définition du cahier des charges pour l'étude de faisabilité ?

Les caméras sont-elles standards ou spécifiques ?

Le système de vision est-il intégrable dans mon environnement informatique ?

Le système de vision peut-il communiquer avec mes automates programmables ?

Quel est le protocole de communication supporté ?

Quelles sont les possibilités d'évolution du système ?

Nombre de lignes supportées.

Nombre de caméras supportées.

La modification des algorithmes est-elle possible ?

Analyse des résultats

Analyse des résultats de l'étude de faisabilité.

Le projet reste-t-il viable ?

Evaluer les conséquences de l'analyse de faisabilité, et recommencer la phase d'analyse économique.

Choix de la solution

Montage du dossier de financement

Etude comparative des solutions possibles et choix du fournisseur.

Présentation du projet aux organismes financiers.

Réalisation du montage financier final.

Elaboration du projet final

Elaboration du projet final avec le fournisseur.

Détermination de la phase probatoire.

Détermination des conditions des essais sur site.

Installation sur site

Respect du cahier des charges.

Phase de tests

Analyse des résultats.

Validation

Accord définitif avec le fournisseur.

2. Rédaction du cahier des charges

L'objet du cahier des charges est double, il permet à celui qui le rédigera de faire exactement le point sur son projet dans les moindres détails. Et pour celui qui l'étudiera, il permettra de comprendre le projet et d'avoir ainsi un dialogue commun avec celui qui veut le réaliser.

La rédaction du cahier des charges est la plus importante des phases du projet, cette partie est malheureusement généralement sous-estimée et réalisée sans grandes précautions.

Le cahier des charges sera réalisé, dans un premier temps, en interne avec les différents acteurs touchés par le projet. Lors de la présentation aux futurs partenaires, on prendra soin de leur demander de signer un accord de confidentialité, si les informations contenues dans le projet semblent sensibles...

On pourra réaliser deux cahier des charges, le premier expurgé de certaines informations confidentielles (commerciales, sociaux économiques), qui servira de première base pour l'élaboration d'un devis, la version totale sera fournie après un premier accord. Mais attention, cela ne sera guère possible si la prestation envisagée est du type clé en main ; car, dans ce cas, le prestataire aura peu d'éléments, pour évaluer sa prestation, et risque de prendre une marge de sécurité financière plus importante.

Malheureusement il n'existe pas de méthode universelle pour la rédaction du cahier des charges, par contre, plusieurs outils de mise en forme existent, surtout pour les définitions fonctionnelles (réseaux de Pétri, Grafset, Organigrammes...).

Notre objet ici, n'est pas de décrire ces méthodes mais de décrire les points essentiels nécessaires à la réalisation d'un bon cahier des charges.

Les différentes phases :

Description du projet

Un cahier des charges commence toujours par la présentation écrite du problème à traiter et de l'environnement dans lequel sera intégré le projet.

On pourra également citer les noms des participants directs ou indirects les plus représentatifs dans ce projet.

Description de l'existant

Cette partie doit être réalisée avec beaucoup de soin, car elle sera utilisée par le prestataire de services qui analysera votre problème. On devra décrire outre l'existant mécanique, l'existant social, car celui ci constitue un des points essentiels du projet. Il ne faut pas oublier que l'intégration d'un système de vision industrielle sur site est en général prévue pour remplacer des opérateurs humains.

On prendra soin de décrire l'existant fonctionnel. Une sage précaution consiste à donner des photos avec le dossier, et mieux une vidéo. Dans tous les cas une visite du site par le prestataire s'impose, lors de la remise du cahier des charges.

On portera l'analyse sur tous les points qui doivent faire l'objet d'une automatisation. Chacun des points sera décrit avec précision et on expliquera les raisons exactes, même les plus subjectives qui conduisent à cette automatisation. On ne manquera pas d'explicitier les raisons commerciales, s'il y en a.

Description des contraintes incontournables

Il s'agit de bien faire apparaître les points que l'on pourra difficilement contourner, soit pour des problèmes financiers, soit pour des raisons sociales ou techniques. Ces points doivent être décrits avec précision, car ils donneront le cadre d'évolution à ne pas dépasser, évitant ainsi au prestataire de fournir des solutions qui ne sont pas réalisables.

Etablir une planification prévisionnelle :

Cette planification n'est pas une obligation, mais il peut être utile au rédacteur pour définir la disponibilité de la solution et pour le fournisseur de voir si les délais prévus ne sont pas trop difficiles à réaliser.

Un projet avec un délai trop court risque de décourager le prestataire ou de faire monter le coût de sa prestation. On veillera à ne fournir dans le cahier des charges qu'une planification prévisionnelle relativement succincte, mais suffisamment précise sur les dates de réalisation.

Dans tous les cas il faudra revoir la planification avec le prestataire, il ne faudra pas inutilement, fermer la porte au dialogue.

Note :

On se référera pour plus de détails au modèle de cahier des charges fournit en annexe.

B. Analyse de faisabilité

Il s'agit là d'une étape préalable incontournable, sauf dans le cas où votre problème a déjà été résolu ailleurs.

L'étude de faisabilité doit permettre de voir, la viabilité technique du projet, cela demande parfois la réalisation d'un pilote expérimental.

L'équipe en charge de votre projet doit pouvoir appréhender le problème autrement que par le cahier des charges. A ce titre un déplacement sur le site n'étant pas toujours possible, il est judicieux de réaliser un film vidéo montrant l'ensemble des opérations effectuées.

Une bonne étude de faisabilité peut aboutir à exclure la solution à base de traitement d'images.

Suivant la complexité de l'étude, il sera souvent demandé une participation financière qui pourra souvent paraître élevée. Il est souvent préférable de perdre un peu l'argent au niveau de la faisabilité, plutôt que d'investir dans un système qui ne fonctionnera jamais.

L'étude de faisabilité s'effectuera sur la base de votre cahier des charges, et grâce aux échantillons représentatifs que vous fournirez. Le prestataire doit pouvoir établir son

protocole d'expérimentation, en fonction de votre problème et des moyens dont il dispose pour réaliser l'expérimentation.

Il est essentiel d'envisager toutes les solutions classiques, mécaniques, optiques ou autres, avant de décider de s'orienter vers une solution vision. Beaucoup de problèmes peuvent être résolus simplement. Par exemple, si l'on souhaite trier des vis pour les ranger toutes de la même manière, une des solutions économiques sera d'utiliser un pot vibrant et non un robot associé à une caméra.

Lorsque toutes les solutions classiques ont été éliminées, on envisagera alors une solution par vision.

Dans cette approche on essaiera de faciliter au maximum les traitements, en soignant la présentation et l'éclairage du produit devant la caméra (*voir le chapitre sur l'éclairage*).

On peut classer les applications en 3 catégories par ordre de difficultés croissantes :

- 1) Les applications par échantillonnage de la production.
- 2) Les applications temps réel, avec des objets simples et isolés entre eux.
- 3) Les applications temps réel, avec de nombreux objets hétérogènes et en vrac.

Pour l'étude de la faisabilité, on essaiera, dans un premier temps, l'étude sur des échantillons judicieusement choisis représentant la population la plus significative des problèmes à rencontrer. Le travail s'effectuera de préférence dans des locaux adaptés à un travail de laboratoire. On cherchera à trouver les algorithmes adaptés, tout en étant dans des conditions optimales d'éclairage et de présentation. Si les essais sont négatifs, on pourra arrêter là les investigations. Par contre si les essais s'avèrent positifs, on passera à l'étude réelle sur site ou sur une reconstitution du site, quand cela est possible. Il ne s'agit pas là de réaliser le système définitif, mais plutôt d'être dans des conditions se rapprochant au plus près de la réalité. Malheureusement dans bien des cas cela reste difficile, notamment sur chaîne.

Cependant grâce aux possibilités des camescopes, on peut utiliser ceux-ci en lieu et place du futur système d'inspection. Le film ainsi réalisé sera montré à l'équipe qui sera en charge du projet, on pourra même dans certains cas, si la qualité du film est excellente utiliser ce dernier directement dans le système de traitement d'images.

Bien que la prise de vue soit généralement réalisée avec le plus grand soin, elle ne représentera pas exactement la résolution de votre problème. Dans la mesure du possible, faites évaluer votre problème par les deux ou trois fournisseurs que vous avez sélectionnés. Vous apprécierez ainsi leur capacité à répondre à votre attente et leurs questions permettront d'affiner votre cahier des charges final.

Méfiez-vous des résultats extraordinaires, car il est normal d'avoir des taux de rejets ou d'échecs raisonnables. Dans le cas contraire, cela pourrait supposer que vous avez trouvé le produit miracle ou malheureusement, que l'étude de faisabilité n'a pas été faite assez sérieusement...

Demandez toujours les conditions réelles d'expérimentation, et la description écrite de la méthodologie utilisée. Cette précaution vous permettra d'évaluer le degré de réalisme de la faisabilité, et surtout d'avoir des éléments pour vous retourner contre le fournisseur si le protocole n'a pas été respecté.

D'une manière générale il est souhaitable que vous assistiez au moins à un test, **avec vos propres échantillons** amenés spécialement pour l'occasion.

III. LE MATERIEL DE VISION

Pour démarrer une application dans le domaine de la vision, un minimum de matériel est nécessaire. La configuration minimale dépendra avant tout du résultat escompté et de l'application.

Dans tous les cas les composants de base suivants seront obligatoires :

- 1) une ou plusieurs caméras.
- 2) une ou plusieurs optiques (objectifs).
- 3) un système d'éclairage approprié.
- 4) un système de fixation pour l'éclairage et la caméra
- 5) un système d'acquisition d'image.
- 6) un système de traitement de l'information.
- 7) un système de stockage d'images, si besoin...
- 8) un système de visualisation.

Dans bien des cas les points 5 à 8 seront regroupés au sein d'un même système, par exemple, un compatible IBM PC.

A. Les critères de sélection

Le choix du matériel dépendra avant tout de trois facteurs principaux :

- Votre capacité financière
- Vos connaissances techniques en vision numérique
- La complexité de votre application

Il existe sur le marché plusieurs types de matériel : le matériel clé en main de consommation courante (ce terme ici est grandement abusif), le matériel installable par l'utilisateur, et le matériel réalisé sur mesure.

Dans le premier cas, il s'agit en général d'un appareil venant se greffer sur la chaîne au même titre qu'un nouveau convoyeur ou qu'un autre système de manutention automatique. Dans ce cas le système sera installé par le fournisseur dans la journée et son fonctionnement sera du type presse bouton.

Pour le deuxième cas, il est nécessaire d'avoir un minimum de compétence dans le domaine, bien que les grands fabricants (ALLEN BRADLEY, HITACHI ou OMRON...) aient fait de gros progrès quant à la convivialité et la facilité de programmer leurs systèmes. Il n'en demeure pas moins que seul quelqu'un de formé pourra obtenir des résultats probants. Cette option ne sera envisagée que dans la mesure où, en interne, on possède les compétences nécessaires. En outre, on n'oubliera pas, que le système de vision seul ne représente qu'un élément du puzzle, son intégration est aussi un point à ne pas négliger.

Pour le dernier cas il s'agit a priori d'un nouveau problème à résoudre, et l'industriel demandeur n'est pas susceptible de le faire seul, et ce pour diverses raisons. On fera appel dans ce cas à une société ayant la capacité nécessaire pour intégrer cette nouvelle solution.

Actuellement, et du fait de l'évolution très rapide des technologies électroniques, il peut être inopportun de souhaiter un matériel très évolutif. Toutefois, on pourra l'envisager dans le cas où le prestataire a une notoriété bien établie.

Il est sage d'envisager le choix d'un appareil destiné à résoudre un seul problème à la fois. Son évolution doit être envisagée en terme d'amélioration des performances et non pas en terme de matériel universel.

La difficulté actuelle dans le choix d'un matériel tient à l'évolution rapide des technologies. Il est probable que la solution proposée par le fournisseur ne corresponde pas à ce qui se fait de mieux en électronique. On ne doit pas s'attendre à trouver le dernier microprocesseur qui vient de sortir. En général le prestataire travaille sur une solution plus ou moins éprouvée, bien qu'en vision industrielle les technologies utilisées soient récentes.

On éliminera les solutions trop anciennes comme les systèmes basés sur des caméras à tubes, excepté peut être, pour des solutions très particulières comme les rayons X, par exemple.

Lors du choix du matériel, il est plus important de se préoccuper des résultats obtenus par le système, plutôt que par ce qui le constitue.

On vérifiera donc si les performances annoncées, sont bien conformes à celles réellement obtenues.

On prendra grand soin de choisir un système n'entraînant pas de point de blocage dans la chaîne. On prévoira à cet effet, la possibilité de dériver la production pour réaliser les opérations manuellement, le temps que le fournisseur répare le système. A ce titre la rapidité d'intervention du service de maintenance est prépondérante dans le choix du matériel.

Les précautions d'usage

- * Choisir un matériel dédié à la résolution d'un problème particulier
- * Choisir un fournisseur ayant une bonne stabilité financière, on se reportera pour cela aux informations fournis par les banques, les revues spécialisées, les clubs d'utilisateurs ou celles disponibles sur minitel.
- * Choisir un système clé en main, plutôt qu'un système de vision à intégrer.
- * Ne pas jouer la carte de l'évolution universelle
- * Jouer la carte de l'assistance technique et de la maintenance
- * S'entourer de conseils avertis
- * Ne traiter que des problèmes simples, et couramment résolus comme le dimensionnement, la présence ou absence...
- * N'envisager les problèmes complexes, comme les défauts d'aspects, la reconnaissance qu'avec de solides garanties de faisabilité, vérifier la faisabilité sur VOTRE problème.

On attachera une attention toute particulière au choix du système d'éclairage. Il n'est malheureusement pas possible de donner une méthode infaillible, on trouvera certains éléments de choix dans le chapitre traitant de l'éclairage de la scène.

Une fois le choix de l'éclairage fait, il sera nécessaire de choisir l'optique adéquate. On utilisera les formules fournies par le constructeur de la caméra, ou celles fournies en annexe du document.

Dans la partie expérimentation, et si l'encombrement l'autorise, on utilisera un zoom. Il permettra de connaître de manière expérimentale la focale la mieux adaptée au problème à traiter.

Pour les passionnés de photographie on précisera que les focales utilisées en télévision n'ont aucun rapport avec celles utilisées sur les appareils photos de type 24x36. Les focales les plus couramment utilisées sont autour de 10mm.

On peut, une fois ces problèmes réglés, considérer qu'une grosse partie des difficultés a été résolue.

B. L'éclairage de la scène

Les problèmes d'éclairage sont souvent sous-évalués, on découvre souvent beaucoup trop tard leur importance.

L'éclairage doit avoir les caractéristiques suivantes :

- 1) De luminance stable au cours du temps
- 2) De chrominance stable au cours du temps

On appellera éclairage l'irradiation d'un produit par des radiations de longueurs d'onde allant du domaine des rayons X au domaine de l'infra-rouge. Cependant, la notion de couleur n'est valide que dans le domaine du visible, et sa perception sera liée au type d'éclairage utilisé. Par exemple : la perception de la couleur d'une tomate ou d'un steak, sous un éclairage de type tungstène, renforcera la couleur dominante rouge, on comprendra ici tout l'intérêt d'un tel éclairage dans ce type de commerce. (Voir le chapitre sur la couleur).

Actuellement les concepteurs de systèmes ont deux alternatives :

- * Soit concevoir une machine intégrant des outils d'éclairage adaptés au problème posé.
- * Soit développer des logiciels basés sur des algorithmes complexes.

De plus, il existe pour certains types d'éclairage une réglementation précise et parfois très sévère : c'est le cas pour les rayons X et autres rayons pénétrants, les lasers et les éclairages stroboscopiques.

Les applications agro-alimentaires sont assez exigeantes en lumière. L'éclairage pourra servir à identifier les caractéristiques colorimétriques de l'objet à analyser. Il pourra être utilisé pour mettre en valeur certains défauts, rehausser les contrastes ou les couleurs d'un objet. De plus il pourra aussi servir à mettre en valeur la forme d'un objet.

On ne peut pas généraliser l'usage de tel ou tel type d'éclairage, dans le domaine agro-alimentaire. Toutefois pour une analyse neutre de la couleur, on préconisera l'usage d'une température de couleur de 5000°K (voir figure 125).

1. Techniques d'éclairage

Le choix va dépendre ici de l'application. On choisira son éclairage en analysant avec soin ce que l'on cherche à voir.

TYPE DE LA SOURCE	TEMPERATURE APPARENTE °K	LUMINESCENCE MOYENNE cd/mm ²
NATURELLE		
<i>Soleil</i>	5.900	1600
<i>Ciel clair</i>	12.000 à 25.000	0,008
<i>Ciel nuageux</i>	6.500	0,002
COMBUSTION		
<i>Flamme d'une bougie</i>	2.000	0,01
<i>Flash Photo</i>	3.800	160 à 400
LAMPES A ARC		
<i>Flamme</i>	3.800	180
<i>Haute intensité</i>	5.500-6.500	500 à 1500
LAMPES A ARC (Décharge dans un gaz)		
<i>haute pression compacte</i>		
Mercure (100W)	8.000	1700
Mercure (200W)	8.000	400
Mercure-Xenon (1000W)	7.000	350
Xenon (150 W)	6.000	180
Xenon (1600 W)	6.000	800
Xenon (20000 W)	6.000	4800
<i>Zirconium</i>	3.200	46
<i>Argon</i>	7.000	1400
<i>Décharge à haute intensité</i>		
Mercure	6.000	1,5
Sodium à haute pression (400W)	2.100	6,5
<i>Basse pression</i>		
Fluorescent		
430 ma	4.300	0,008
800 ma	4.300	0,011
1500 ma	4.300	0,017
Sodium	1.700	0,1
INCANDESCENT		
<i>Filament au carbone</i>	2.000	0,5
<i>Filament au tantale</i>	2.200	0,7
<i>Filament de tungstène</i>		
Lampe sous vide	2.600	2
Lampes remplies de gaz	3.000	12
(dont les lampes halogènes	3.200	24
à filament de tungstène)	4.300	36

Fig 125 : Tableau des sources de lumière.

Il s'agit de l'éclairage standard, ses avantages étant essentiellement son coût, sa disponibilité, sa simplicité d'emploi.

Son inconvénient vient essentiellement de la chaleur dégagée et du vieillissement. Il présente en outre, des variations de température de couleur en fonction de la durée de vie, et de la tension d'alimentation.

Les lampes de type halogène ont un grand succès actuellement. Existant dans des formats différents, elles sont d'un emploi facile et de grande sécurité (basse tension), et dotées d'une meilleure durée de vie.

Eclairage fluorescent

Cet éclairage est souvent préféré au précédent. Les lampes disponibles peuvent être de formes quelconques. Elles ne génèrent que peu d'infra-rouge (pas de chaleur). Ce type d'éclairage est en général employé pour des éclairages diffus (diminution des réflexions).

L'utilisation de poudre fluorescente dans la fabrication des tubes engendre des températures de couleur différentes ; ainsi le type blanc donne des températures de couleur équivalentes de 3500 et 4500 °K. Les tubes type "lumière du jour" donnent 6500°K.

De manière générale l'utilisation des caméras couleurs avec des tubes fluorescents nécessite l'usage d'un filtre coloré.

Eclairage par fibre optique

Cet éclairage est en général utilisé pour amener la lumière en un point particulier de la scène. La lampe utilisée est de type halogène, d'une durée de vie assez importante.

Eclairage à base de lampes à arc

La qualité de la température de couleur des lampes à arc dépend de la nature des charbons utilisés. En basse intensité on obtient une température de couleur de 3900°K, alors qu'en haute intensité on obtiendra 4500 à 6500 °K.

Eclairage a base de lampes à décharge

Il s'agit en général de lampes fournissant un spectre de raies spécifiques. Pour les plus classiques, les lampes à vapeur de mercure, on obtient 4 radiations caractéristiques 404, 435, 546, 579 nm, il n'y a aucune émission dans le rouge. Si l'on choisit une lampe ayant des traces de cadmium, on aura les 4 radiations suivantes, 468,480, 508, 644 nm.

Eclairage stroboscopique

C'est l'éclairage de base pour une scène en mouvement. L'énergie lumineuse libérée est très puissante et ceci pendant une fraction de seconde (5 à 500 microsecondes), sur un spectre s'étendant de 200 nm (UV) à 2 000 nm (proche infra-rouge) avec un pic vers 480 nm et 800 nm.

La température de la couleur est proche de la lumière naturelle (5 800°K à 7 000°K).

Le choix de ce type d'éclairage nécessite la maîtrise :

- * De l'énergie lumineuse instantanée souhaitée (compromis avec la fréquence des éclairs).
- * De la durée de l'éclair (compromis avec l'énergie transmise)
- * Du cycle d'illumination.
- * De la lumière ambiante (niveau d'énergie minimal à transmettre).

Exemple :

Un objet se déplace à 20 cm/s. Pour un éclair de 100 microsecondes cela nous donne un déplacement réel de l'objet sur l'image de 0.002cm

Les résultats obtenus peuvent être grandement améliorés lorsque l'on couple l'éclairage stroboscopique à une caméra rapide (vitesse d'exposition variable 1/250 au 1/10000).

Un nouveau système d'éclairage de type stroboscopique est possible à l'aide de diodes électroluminescentes, ce qui garantit une grande vitesse (plus de 60 éclairs par seconde), une durée de vie très longue et une dissipation thermique pratiquement nulle. Le problème reste ici la faible énergie émise.

Eclairage par FLASH

Le principe est sensiblement identique à l'éclairage stroboscopique, mais il permet de plus forte puissance.

Les flashes de faible puissance (photographe amateur) ont des puissances de 10 à 100 W/s mais les flashes professionnels de studio peuvent aller jusqu'à 20 000 W/s. L'inconvénient des flashes vient généralement de leur temps de recharge qui peut aller jusqu'à 20 secondes, c'est la contre partie de leur puissance.

Les flashes sont actuellement souvent équipés d'un système qui contrôle la durée de l'éclair en fonction de l'énergie réfléchie, offrant une énergie émise aussi constante que possible en fonction du sujet éclairé. Certains flashes sont équipés de systèmes permettant de piloter directement la durée de l'éclair.

Un système à flash peut avantageusement remplacer certains éclairages classiques de haute énergie, car son pouvoir calorifique est presque nul. L'énergie générée très importante, permet, en fermant le diaphragme de la caméra, d'obtenir une meilleure profondeur de champ.

Eclairage laser

Il s'agit en général d'un laser de faible puissance (1-5mw) de type hélium-néon. La lumière est monochromatique et cohérente, mais son utilisation nécessite souvent l'adjonction de système mécanique de balayage (ex : prisme tournant, membrane vibrante...).

Ce type d'éclairage structuré est très souvent utilisé en contrôle dimensionnel

Eclairage dans une gamme chromatique spécifique (UV...)

Ce type d'éclairage est utilisé lorsqu'on à déterminer une ou plusieurs caractéristiques chromatiques des objets à analyser. Il s'agit alors de mettre en évidence uniquement ces caractéristiques par un éclairage approprié et un filtre soigneusement sélectionné.

Si l'on souhaite mesurer une caractéristique de réflexion de la surface un filtre suffit, qu'il soit posé sur la source d'éclairage ou sur la caméra. Si par contre il y a changement de longueur d'ondes, par exemple lors du phénomène de fluorescence, on devra doter l'éclairage du filtre correspondant à l'excitation et un filtre sur la caméra correspondant à la longueur d'onde d'émission.

Ce concept d'éclairage peut être associé à des méthodes classiques d'éclairage.

Il est aujourd'hui possible d'obtenir de très bons éclairages chromatiques en utilisant des diodes électroluminescentes, mais il ne concerne que des éclairages de faibles énergies.

2. Conseils de mise en œuvre

Diverses techniques d'éclairage peuvent être utilisées, chacune dépendant du type d'application et des outils de vision dont on dispose.

PROBLEME	TYPES ECLAIRAGES
Visualisation des défauts de surface	tous types
Visualisation de certains points de l'objet	éclairage par fibres
Visualisation des volumes	éclairage en lumière structurée ou balayage laser
Nécessité d'une bonne stabilité chromatique	lampe halogène régulée
Visualisation des profils	éclairage diffusant par tubes fluorescents
Objets en mouvement à fixer sur l'image	éclairage stroboscopique ou flash
Eclairage dont la courbe spectrale est la plus plate possible	éclairage par tube à éclat (flash, stroboscope)

Fig 126 : Tableau d'aide au choix de l'éclairage.

L'utilisateur devra choisir les caractéristiques de son éclairage (voir figure 125) et la manière de le mettre en œuvre (voir figures 127 à 131) en fonction de son application.

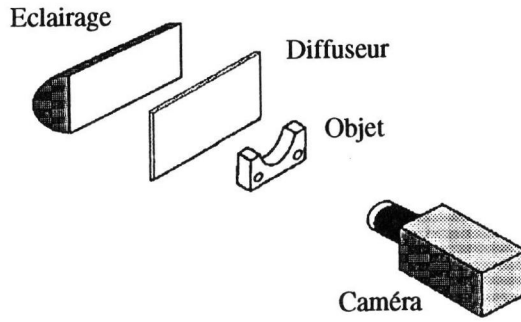


Fig 127 : Eclairage de dos.

C'est la méthode procurant les meilleurs contrastes, très utilisée lorsque l'on a besoin de travailler sur la silhouette d'un objet. Détection de présence, analyse de forme...

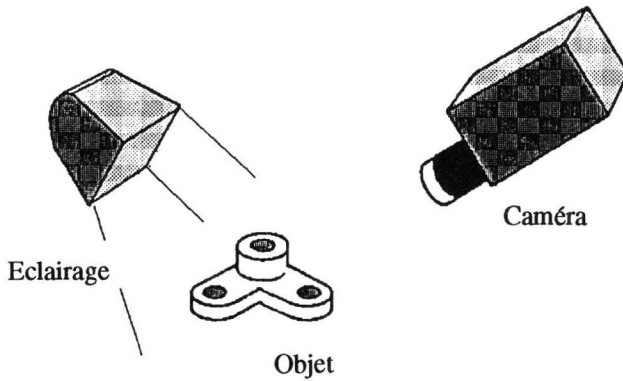


Fig 128 : Eclairage direct (ou de face)

C'est la méthode la plus courante. Détection de présence, analyse de texture, colorimétrie...

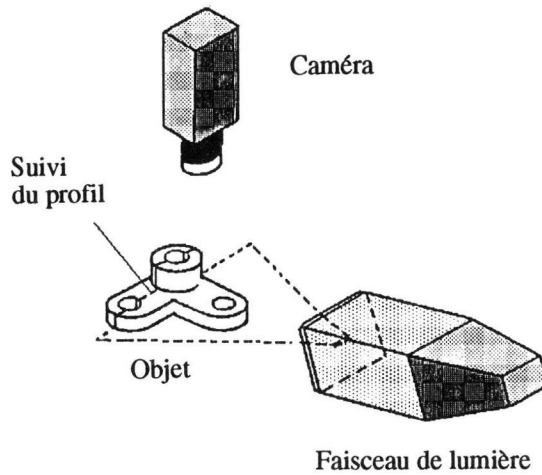


Fig 129 : Eclairage en lumière structurée.

C'est la méthode permettant de simplifier la caractérisation géométrique des objets. Elle permet d'extraire des informations 3D d'une image, elle permet de réduire les temps de traitement en diminuant la zone d'intérêt. La source de lumière utilisée est généralement de type laser. Calcul de géométrie, reconstruction 3D...

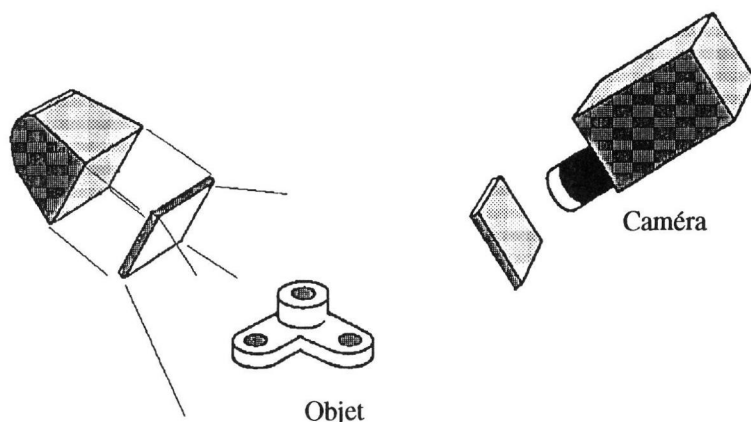


Fig 130 : **Eclairage par transmission et diffusion.**

Cette méthode spéciale a des applications très spécifiques, comme l'étude de la maturité de la tomate, ou l'analyse de tous produits translucides. La longueur d'onde la plus utilisée est celle qui correspond aux rayons X. Toutefois, son caractère dangereux la cantonne à des domaines très particuliers (contrôle des bagages dans les aéroports, analyse médicale...).

L'angle d'éclairage

L'angle d'éclairage est important, notamment pour l'appréciation des jus, ou autres produits alimentaires translucides, mais aussi pour les objets hautement réfléchissant.

Lorsqu'on éclaire un produit, on a une composante de réflexion spéculaire et une composante de réflexion diffuse. En analyse d'image, suivant le but recherché, on essaiera de mettre en valeur l'une ou l'autre de ces composantes. Notamment, lorsqu'on cherche à apprécier l'aspect de surface d'un objet, on utilise de préférence la réflexion diffuse. Pour ce faire on évitera un éclairage très directif, un angle de 45° par rapport à la normale de l'éclairage dominant est conseillé (figure 131).

En revanche on peut utiliser la réflexion spéculaire, c'est à dire le reflet, lorsqu'on cherche à localiser un objet.

On pourra dans une certaine mesure apprécier la texture, en étudiant la quantité d'énergie réfléchi.

Dans l'agro-alimentaire la difficulté essentielle provient de la variation d'homogénéité de la texture ou l'aspect de surface du produit.

COMMENT PROCEDER AU CHOIX DE L'ECLAIRAGE :

Il faut avant tout disposer de suffisamment d'informations sur la scène à analyser avant de choisir son éclairage.

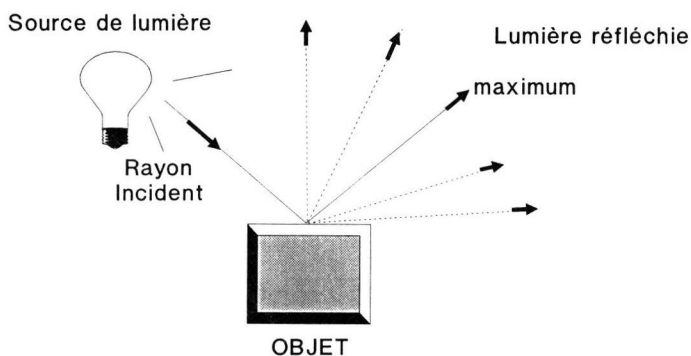


Fig 131 : Les angles d'éclairage.

Outre les critères techniques définis précédemment, on regardera de très près les problèmes de disponibilité commerciale des lampes que l'on souhaite utiliser.

Il est en général de disposer de diverses sources d'éclairage.

La méthode la plus utilisée sera empirique et consistera à essayer toutes les combinaisons disponibles. Toutefois on prendra garde aux variations d'éclairage non directement maîtrisées, comme le soleil perçant au travers d'une baie mal fermée, ou d'un fond qui n'est pas toujours très propre, comme par exemple les tapis de convoyage. Lorsque l'on souhaite traiter des produits agro-alimentaires qui sont convoyés par des tapis, une des meilleures solutions consiste à analyser les produits en vol lors de leurs passages d'un tapis à un autre.

Si l'on souhaite analyser uniquement les formes, ou la dimension des produits on choisira un éclairage de dos, en s'inspirant de la méthode utilisée pour réaliser des ombres chinoises. On utilisera si possible un écran diffusant, par exemple on pourra se servir de tables lumineuses utilisées couramment par les photographes.

Si l'on souhaite par contre analyser l'aspect extérieur du produit les choses se compliquent, une des solutions consiste à essayer divers angles d'éclairage en commençant avec un angle de 45° par rapport au produit à analyser.

On essaiera en outre de perfectionner l'éclairage, en choisissant un domaine chromatique adapté. Seule une étude au spectrophotomètre ou à l'aide d'un colorimètre peut permettre de déterminer les longueurs d'ondes appropriées. Malheureusement ce matériel est assez onéreux et rarement accessible aux industriels, il est en général disponible dans certains laboratoires de recherche. On peut toutefois obtenir des résultats similaires en achetant des filtres optiques couvrant le spectre. On pourra choisir des filtres en rodoïd (en gélatine) dit filtres Wratten chez KODAK, ils sont peu coûteux et peuvent être découpés à l'aide de simples ciseaux. Malheureusement ces filtres n'existent pas dans des bandes étroites. On choisira des filtres en verre, lorsqu'on aura besoin d'une meilleure qualité ou besoin de filtres particuliers.

On peut aussi envisager l'utilisation d'un laser comme moyen d'éclairage. Malheureusement, un simple laser ne suffira pas, il sera nécessaire d'y adjoindre, soit une optique adéquate, soit un système mécanique permettant de générer diverses formes de faisceaux. L'usage d'un laser est assez complexe, et peu recommandé pour le néophyte. On n'en trouve que dans certains types d'application, comme le guidage ou l'analyse 3D.

Plus généralement, on s'orientera vers un éclairage fluorescent dans les cas où l'on éclaire par-derrière, et un éclairage soit fluorescent soit à base de lampe halogène pour un éclairage de face. On notera que lors de l'analyse d'images d'objets en défilement, l'usage du flash ou du stroboscope pourra être envisagé avec succès.

On peut résumer en quelques questions les précautions à prendre :

1. La scène à analyser contient elle des objets en déplacement ?
2. De quelle technologie de lampes ai-je besoin ?
3. Quelle est la durée de vie probable de la lampe ? (Plusieurs milliers d'heures pour une lampe à incandescence et jusqu'à 100 millions d'éclairs pour un flash)
4. Quelle est la variation d'éclairage acceptable ?
5. Ai-je besoin d'une longueur d'onde spécifique ?

C. Les choix optiques

1. Filtres Optiques

L'usage de filtres optiques, devant l'objectif ou devant la source d'éclairage, permet dans certaines conditions de mettre en évidence certaines caractéristiques de la scène : augmentation des contrastes, travail sur la couleur, etc.

Filtres Polarisants

Ces filtres sont, en général, utilisés par paire, un des deux filtres est placé sur la source lumineuse, l'autre sur la caméra.

Le filtre émetteur polarise la lumière sur un plan de telle manière que le filtre sur la caméra rejette les longueurs d'ondes qui ne sont pas orientées dans la même direction.

On utilise ces filtres lorsqu'on travaille sur des pièces hautement réfléchissantes.

Filtres à absorption

Ces filtres sélectionnent certaines longueurs d'onde par absorption de l'énergie correspondante.

Les plus communs sont constitués de verres colorés ou de gélatines (appelées en général filtres Wratten KODAK).

Les filtres utilisés pour les caméras couleurs, sont le rouge, le vert et le bleu (RVB), soit en anglais Red, Green, Blue (RGB). Cela correspond aux filtres 25, 47B et 58 dans les filtres Wratten.
 Ces filtres ne disposent pas d'une bande passante très étroite.
 Ils sont en général très bon marché.

Filtres interférentiels

Ces filtres suppriment les longueurs d'ondes indésirables. Ils sont constitués de multiples couches réfléchissantes très fines, qui éliminent les fréquences par interférences avec les fréquences réfléchies.

Ces filtres peuvent être de type passe bande, ils disposent alors d'une bande passante très étroite, ou de type passe bas ou passe haut. Ils sont en général très coûteux.

On trouvera dans la figure 132 les différents types de filtres utilisés.

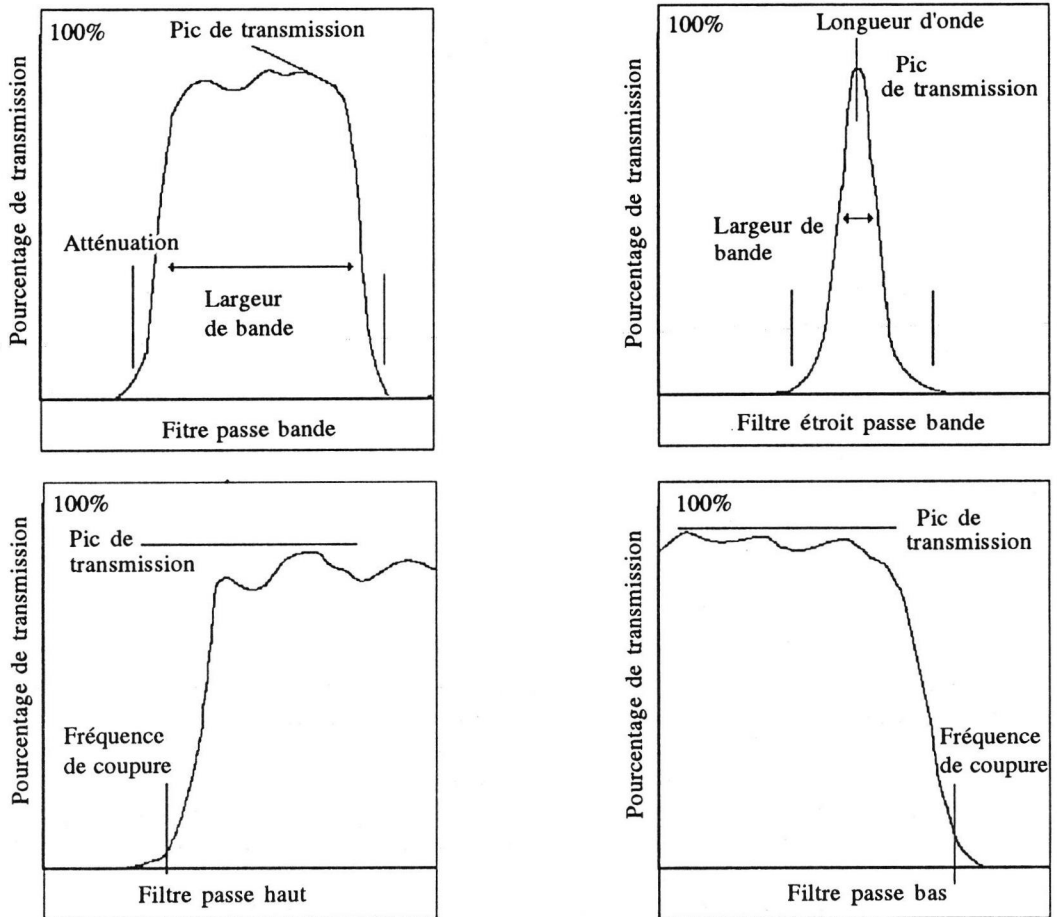


Fig 132 : Types de filtres optiques utilisables en vision industrielle.

2. Les objectifs

Un objectif est composé d'une ou plusieurs lentilles. Ils sont en général dotés d'un réglage de netteté et d'un réglage de diaphragme manuel ou automatique. Certains objectifs possèdent un réglage de la focale (ZOOM) manuel ou électrique.

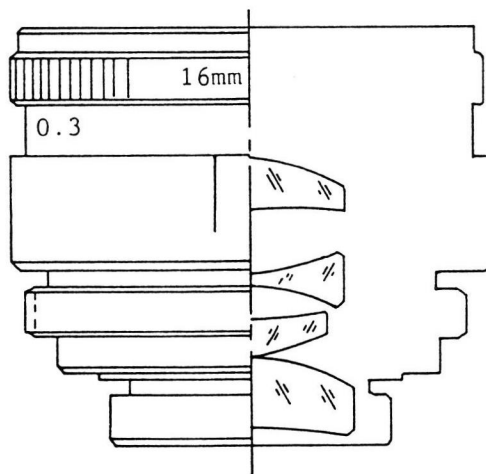


Fig 133 : Exemple de la complexité d'un objectif de qualité.

La plupart des caméras vidéo acceptent des montures de type "C", qui sont différentes des montures existantes pour les appareils de photo. Les objectifs de caméras vidéo sont généralement de petite taille.

Il est important de noter qu'il existe une grande différence entre les objectifs de caméras vidéo et les objectifs de type photographique, pour la même focale on n'aura pas le même effet de grossissement. Par exemple, un 28 mm donnera un effet de grand angle sur un appareil photo, alors que sur une caméra vidéo industrielle on aura l'effet d'un téléobjectif.

Un objectif se choisira en fonction :

- * De sa distance focale
- * De son angle de champ
- * De son ouverture
- * De sa qualité (nombre de lentilles, aberrations...).

La focale, s'exprime en millimètres. L'effet de grossissement est directement proportionnel à la focale, dans la mesure où l'objet est situé à la même distance.

La focale a donc une influence sur le grossissement, mais, et cela est moins connu, la focale influence aussi la notion que l'on a de la perspective d'un scène.

L'angle de champ exprime l'angle de couverture de l'image sur le capteur. On exprime ainsi la taille de l'image qui sera réellement nette sur la partie sensible du capteur. Pour un oeil humain cette angle est de 53°.

L'ouverture exprime la luminosité de l'objectif lorsque le diaphragme est complètement ouvert. On peut la déduire en calculant le rapport entre la distance focale et le diamètre utile du diaphragme.

Les valeurs de diaphragmes sont normalisées et évoluent en $2^{1/2}$, ainsi un objectif f/4 est deux fois moins ouvert qu'un objectif f/2,8

La qualité de l'objectif se mesure essentiellement par son pouvoir séparateur. Le test consiste à visualiser une mire spéciale, contenant une multitude de traits de plus en plus fins. Le pouvoir séparateur de l'objectif sera alors exprimé en traits par millimètres.

Compte tenu de la destination des caméras industrielles on a rarement des objectifs de très bonne qualité. L'utilisateur désirant acquérir un excellent objectif devra acheter un objectif photo et utiliser une bague adaptatrice pour le monter sur sa caméra, généralement l'objectif est souvent aussi imposant si ce n'est plus que le corps de la caméra elle-même.

Note : on se référera à l'annexe pour les calculs sur les objectifs.

D. Le choix des caméras

Ce choix dépendra d'un certains nombres de critères, comme par exemple :

- Sa réponse spectrale.

- Sa sensibilité.

- Ses capacités de synchronisation.

- Sa capacité de gestion du temps d'exposition.

- Sa consommation et sa tension d'alimentation.

- Sa dimension hors tout en incluant son objectif.

- Son coût et sa disponibilité.

Mais le plus important reste avant tout l'usage à laquelle la caméra est destinée (voir diagramme de choix 63-1).

D'autre part il est important de choisir votre caméra en fonction des possibilités d'entrées de votre système de numérisation. On trouve classiquement des sorties de type BNC. Pour les caméras couleur cela dépend essentiellement de la marque de la caméra, toutefois, on trouve souvent des connecteurs identiques à ceux existants en micro-informatique.

Aujourd'hui on trouve des sorties Y/C (Luminance / Chrominance) correspondant au nouveau standard vidéo de haute qualité. Ces connecteurs sont de plus en plus petits et sont malheureusement assez difficile à se procurer (voir figure 134).

DIAGRAMME DE CHOIX DES CAMERAS

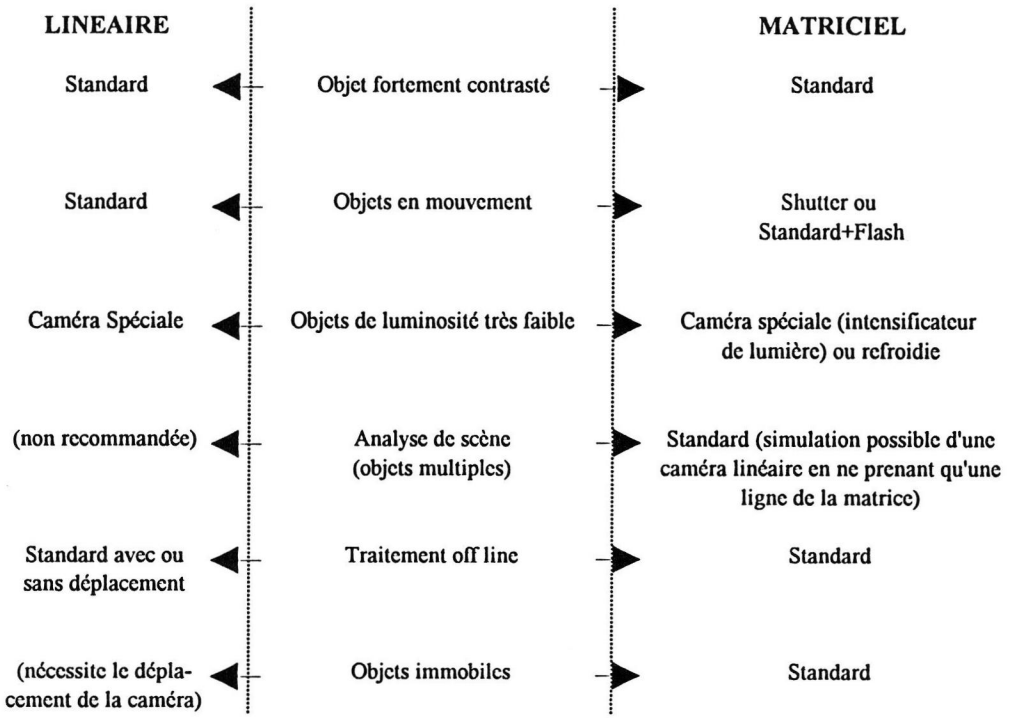


Fig 134 : Tableau d'aide au choix des caméras.

ORDINATEUR DE CONTROLE



MONITEUR DE CONTROLE



CAMERA

Fig 135 : Exemple de système destiné aux intégrateurs (*documentation OMRON*)

E. Le choix du système d'acquisition :

Actuellement deux possibilités existent pour l'utilisateur, soit un système dédié, soit un micro-ordinateur ou station de travail dotée d'une carte spéciale destinée à l'acquisition d'image. Il existe aussi mais cela reste rare des caméras intégrant leur unité de traitement.

ORDINATEUR DE CONTROLE

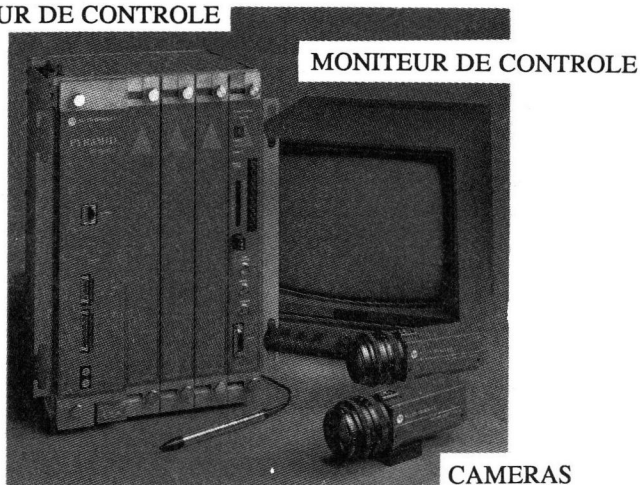


Fig 136 : Exemple de système destiné aux intégrateurs (*documentation ALLEN BRADLEY*)

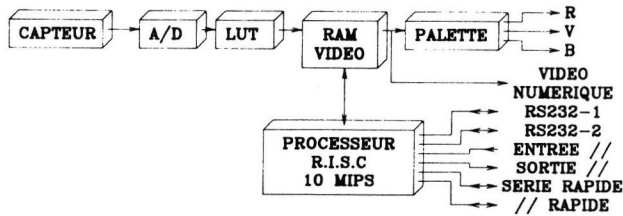
Le système dédié s'adresse, avant tout, aux intégrateurs (figure 135) ayant bien appréhendé leur problème. Ces systèmes sont en général conçus pour répondre à un besoin particulier, contrôle dimensionnel, contrôle de présence... Bien que tous soient programmables ou adaptables, ils n'en sont pas moins dédiés. On trouve aussi dans cette catégorie, des appareils que l'on pourrait qualifier de deuxième génération. Ils sont beaucoup plus performants allant jusqu'à la reconnaissance de forme, l'atout essentiel de ces appareils étant d'être vus comme un automate programmable sophistiqué, ce qui les rend accessibles à des non-spécialistes. Il existe aujourd'hui des systèmes d'acquisition où la caméra est de type "boîte noire" (figures 135 à 137), d'un faible coût, et simple d'emploi, tout en étant suffisamment performante. Ce type de caméra autonome est dotée de sorties de type relais (TOR), se programmant par dip-switch¹ et est configurable via un simple PC.

Dans le cas d'un ordinateur doté d'un système d'acquisition d'images les possibilités sont plus étendues. Leur utilisation est toutefois plus complexe et nécessite un minimum de formation. Il ne faut pas croire qu'ils sont plus sophistiqués que les précédents, la différence tient essentiellement dans la modularité du système, tant au niveau logiciel qu'au niveau matériel.

Il est aujourd'hui possible de démarrer des applications de vision en utilisant un micro-ordinateur de bureau, une carte d'acquisition d'image, et un logiciel de traitement d'images. Malheureusement actuellement peu de logiciels sont disponibles et ils sont souvent peu adaptés aux problèmes industriels.

¹ Dip-switch : petits commutateurs se manipulant avec la pointe d'un stylo.

CAMERA AVEC SYSTEME DE TRAITEMENT INTEGRE



Principe de fonctionnement

LE LOGICIEL

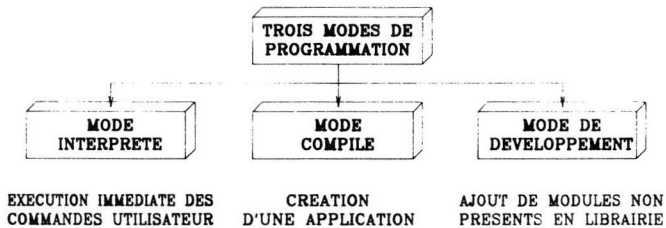


Fig 137 : Exemple de système destiné aux intégrateurs (*documentation EIA*)

La configuration de base de la partie acquisition est la suivante :

- * Capacité de se synchroniser sur la caméra
- * Vitesse d'échantillonnage, ce qui donne en fait la résolution de l'image.
- * Possibilité de traiter chaque niveau de gris en temps réel au moyen d'une table d'entrée (Lookup table ou LUT).
- * Minimum de deux plans, un pour le stockage et un pour le traitement.
- * La possibilité de visualiser le résultat. Possibilité impérative dans les développements, mais non nécessaire sur site.

Pour ceux qui recherchent la performance, on choisira un système d'acquisition disposant de son propre processeur de calcul. Généralement on trouve, soit des DSP (Digital Signal Processor), soit des processeurs spécialisés, comme le 34010 de chez Texas Instruments. Disposant sur la carte de leur propre mémoire de travail, ils peuvent très bien être utilisés pour développer des algorithmes de traitement d'image. Toutefois, ces processeurs nécessitent de la mémoire pour travailler, il faudra qu'elle soit en quantité suffisante pour accueillir les images et le programme.

On retiendra pour principe que l'utilisation de ces processeurs augmente de manière notable les performances du système, transformant de simples micro-ordinateurs en calculateur très haut de gamme pouvant dépasser la puissance de certains gros systèmes. Cette augmentation de puissance s'accompagne généralement d'un accroissement de la complexité du développement ; il est parfois nécessaire d'apprendre un nouveau langage et de nouveaux outils.

Exemples de performances obtenues à l'aide d'un processeur spécialisé ZORAN.

2D FFT (Fast Fourier Transform) :		2D Fast Convolution	
8x8	0.1 ms	8X8	1 ms
16x16	0.4 ms	16x16	4ms
64x64	8.0ms	32x32	18ms
128x128	21.0ms	64x64	80ms
256x256	150.0ms	128x128	300ms
		256x256	1500ms

F. Le choix du logiciel

Du côté logiciel, on veillera à disposer des algorithmes minimum pour réaliser un traitement. En général tous les logiciels du commerce disposent de commodités pour réaliser diverses sortes d'acquisition, et de pré-traitements. Malheureusement il est encore assez difficile de trouver, à un prix abordable, des algorithmes de mesure, ou comptabilisation. Seuls certains logiciels, généralement destinés aux laboratoires disposent d'outils suffisamment puissants pour réaliser de la classification ou de la reconnaissance...

La nature des logiciels choisis est étroitement liée au choix du matériel. Si l'on achète une solution clé en main, le logiciel sera limité aux accès fournis par l'installateur, en général seuls les paramètres de réglages sont accessibles. Si par contre le système est intégré par vos soins deux possibilités vous sont offertes :

- Le développement grâce à un langage spécifique (macro langage), ou mieux grâce à des techniques d'apprentissage.
- L'utilisation de bibliothèques de fonctions à intégrer au sein de votre propre programme en langage C ou Pascal. Cette dernière possibilité est fortement déconseillée si vous n'avez pas la formation adéquate, elle n'est pas systématiquement offerte sur les systèmes industriels.

Si l'utilisateur choisit le développement à l'aide d'une carte dotée d'un processeur spécialisé, il vérifiera la disponibilité d'algorithmes adaptés au traitement d'image. Ce point est important, car les vendeurs de matériels ne se soucient pas toujours de la partie logicielle.

CINQUIEME PARTIE:

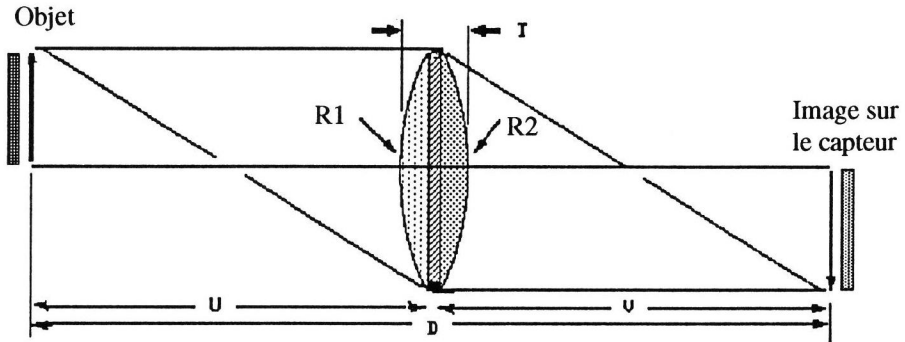
ANNEXES

I. LES OPTIQUES DE CAMERAS

A. Calcul des objectifs

Différents éléments entrent dans le choix d'un objectif :

- 1- La dimension de la partie à analyser.
- 2- La distance entre la scène et le capteur (pas l'objectif).
- 3- La luminosité de la scène.



F = Focale

M = Facteur d'agrandissement

R = Facteur de réduction

R_1 = Rayon de courbure de la lentille côté objet

T = Epaisseur de la lentille

D = Distance de l'objet à l'image

U = Distance de l'objet à la lentille

V = Distance de l'image à la lentille

R_2 = Rayon de courbure de la lentille côté image

N = Indice de réfraction

Focale :

$$F = \frac{D \times M}{(M + 1)^2} = \frac{U + M}{M + 1} = \frac{D}{M + 2}$$

$1/F = (N - 1) (1/R_1 - 1/R_2)$ pour les lentilles minces

$$1/F = (N - 1) \left(1/R_1 - 1/R_2 + \frac{T(N - 1)}{R_1 R_2 N} \right)$$

Grossissement :

$$M = \frac{V}{U} = \frac{F}{U - F} = \frac{V - F}{F}$$

Distance de l'objet à l'image

$$D = F \left(M + \frac{1}{M} + 2 \right) = \frac{V(M + 1)}{M} = F(M + 2)$$

Réduction :

$$R = \frac{U}{V} = \frac{U - F}{F} = \frac{F}{V - F}$$

Fig 138 : Formules optiques pour lentilles minces.

A ces trois critères s'ajoutent d'autres critères tels que la bande passante de l'objectif, ses déformations géométriques etc...

Dans la plus grande majorité des cas, on se limitera aux trois critères pré-cités, sachant que bien souvent le choix se fera sur le coût de l'objectif et de sa disponibilité.

On rappellera quelques éléments fondamentaux (voir tableau des formules optique figure 138) :

$$1/f = 1/u + 1/v$$

où

f = longueur focale

u = distance de l'objet à la lentille

v = distance de la lentille au capteur

$M = u/v = x/x' = y/y'$

où

x = largeur du champ visualisé

y = hauteur du champ visualisé

x' = largeur du capteur de 8 à 9 mm

y' = hauteur du capteur de 6 à 7 mm

Par exemple un objet de 38 cm vu d'une distance de 127 cm, nécessite une focale de 28mm (voir figure 139). On utilisera dans ce cas un objectif de 25mm afin d'être sûr que l'objet se trouve bien dans le champ de vision.

Dans certains cas il est nécessaire d'éloigner de manière assez conséquente l'objectif de la surface du capteur, c'est la cas lorsque l'on veut faire de la macroscopie. La valeur d'écartement sera donnée par le calcul (figure 138) en considérant que l'objectif est une lentille simple. Le tableau de la figure 140, nous donne les bagues d'allongement les plus courantes.

exemple : (simplifié au cas de la lentille mince)

$$l = 38,1 \text{ cm} \quad L_s = 127 \text{ cm}$$

$$1/f = 1/L_s + 1/L_c \text{ ou } L_c = L_s / (1/f, 8)$$

$$1/f = 1/127 + 38,1/0,88/127$$

$$f = 28,8 \text{ mm}$$

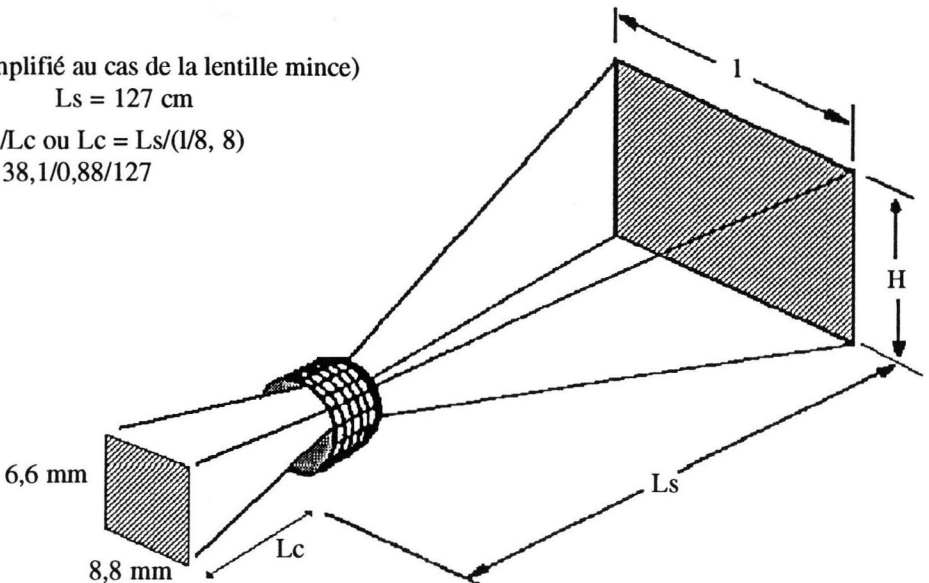


Fig 139 : Exemple de calcul d'un objectif.

Focale de la lentille	f=12,5 mm	f=25 mm	f=50 mm	f=75 mm	f=8,5 mm	f=16 mm
Distance de focalisation	inf. 0,3 m	inf. 0,6 m	inf. 1,0 m	inf. 1,2 m	inf. 0,2 m	inf. 0,5 m
0,5 mm	36 cm-20 cm	129 cm-43 cm			19 cm-12 cm	56 cm-28 cm
1,0 mm	20 cm-14 cm	67 cm-34 cm			11 cm-9 cm	30 cm-20 cm
1,5 mm(1+0,5)	15 cm-12 cm	46 cm-28 cm	178 cm-68 cm		9 cm-8 cm	21 cm-16 cm
5,0 mm	8 cm -8 cm	17 cm-15 cm	60 cm-41 cm	129 cm-68 cm		9 cm-8 cm
10 mm		11 cm-10 cm	34 cm-21 cm	71 cm-50 cm		6 cm-6cm
15 mm		9 cm-8 cm	26 cm-23 cm	51 cm-41 cm		
20 mm		8cm-8 cm	22 cm-20 cm	42 cm-35 cm		
25 mm(20+5)			19 cm-18 cm	36 cm-32 cm		
30 mm(20+10)			17 cm-17 cm	32 cm-29 cm		
35 mm(20+10+5)			16 cm-16 cm	29 cm-27 cm		
40 mm			15 cm-15 cm	27 cm-25 cm		
45 mm(40+5)				25 cm-24 cm		
50 mm (40+10)				24 cm-23 cm		
55 mm(40+10+5)				23 cm-22 cm		
60 mm(40+20)				22 cm-21 cm		
65 mm(40+20+5)				21 cm-21 cm		
Tubes disponibles : 0,5 mm, 1,0 mm, 5,0 mm, 10 mm, 20 mm, 40 mm						

Fig 140 : Tableau des bagues allongées (*documentation COSMICAR*)

B. Calcul de la profondeur de champ

Ce problème est bien connu des photographes, il est très dépendant de la focale utilisée et du diaphragme. Lorsqu'on met au point à une distance précise, les objets se trouvant devant et derrière la scène à analyser sont plus ou moins flous. Cette netteté donnera notre notion de profondeur de champ, on parlera alors de cercles de confusion puisqu'il est relativement difficile de définir avec exactitude à partir de quel moment l'image ne peut plus être considérée comme nette.

Il est important de noter que la profondeur de champ s'accroît au fur et à mesure qu'on ferme le diaphragme.

Elle dépend donc :

1- De la distance focale de l'objectif choisi.

2- De la distance entre l'objectif et l'objet.

3- De l'angle d'ouverture.

On peut la calculer avec la formule suivante :

$$D_{\min} = (d \times F^2) / (F^2 + (e \times \text{Dia} \times (d - F)))$$

$$D_{\max} = (d \times F^2) / (F^2 - (e \times \text{Dia} \times (d - F)))$$

où

D_{\min} est la distance la plus proche nette

D_{\max} est la distance la plus lointaine nette

d la distance en millimètres

F la focale en millimètres

Dia la valeur du diaphragme

e le cercle de confusion.

Note : Cette formule est donnée pour une surface sensible de 24 mm x 36 mm, elle est donnée pour un usage courant.

Précision de la mesure :
 Taux d'erreur autorisé :
 Orientation de l'objet :
 Vitesse de déplacement :
 Support de transport :
 Disposition des objets entre eux (chevauchement) :
 Dispositif de séparation existant :
 Nombre d'objets à trier par seconde :

2) Contrôle d'aspect

Nature de l'objet :
 Analyse couleur Analyse noir et blanc
 Contrôle d'aspect Surface
 Contrôle de conformité Modèle
 Contrôle des défauts taille mini taille maxi
 Orientation de l'objet :
 Vitesse de déplacement :
 Support de transport :
 Disposition des objets entre eux (chevauchement) :
 Dispositif de séparation existant :
 Nombre d'objets à trier par seconde :

3) Analyse Code Barre ou Caractère

Nature du support :
 Taille des caractères, Fontes utilisées, code barres :
 Couleur des caractères du fond
 Nombre de caractères à lire par seconde :

4) Guidage préhenseur

Type de préhenseur type de robot

5) Guidage robot mobile

Type de robot :
 Environnement de déplacement :
 Nombre d'objets à manipuler par minutes :
 Opérations à effectuer :
 Assemblage Manipulation Déplacement
 Précision souhaitée :

5) Tri à la forme

Description de la forme :
 Orientation de l'objet :
 Vitesse de déplacement :
 Support de transport :
 Disposition des objets entre eux (chevauchement) :
 Dispositif de séparation existant :
 Nombre d'objets à trier par seconde :

DESCRIPTION DES OBJETS :

Nature physique :	Métal Bois Verre Plastique	Biologique
Sa réaction à la lumière :	Sans incidence Dommageable	
Sa nature optique :	Transparent opaque	
La nature de sa surface :	Lisse Granuleuse Brillante	Mâte
L'état de surface reste-t-il stable au cours du temps :	Oui	Non
L'hétérogénéité des objets :	Forte	Faible

DISPONIBILITE D'ECHANTILLONS POUR LA FAISABILITE :
 Oui Non

DESCRIPTION DES OBJETS SUR LA CHAINE :

L'opération s'effectue par lot ou en continu :		
Dimension de l'objet le plus grand (LxlxH) :		
Dimension de l'objet le plus petit (LxlxH) :		
Tolérances :		
Les objets peuvent-ils évoluer physiologiquement au cours du temps :		Oui
Non		
Les objets sont en défilement continu :	Oui	Non
Possibilité d'arrêter les objets	Oui	Non
Prélèvement par échantillonnage :	Oui	Non
Vitesse de la chaîne :		
Vitesse stable en cours d'opération :	Oui	Non
Si non donner le taux de fluctuation :		
Nombre d'opérateurs présents pour le contrôle :		
Estimation du nombre de contrôles humains effectués par heure :		
Les objets sont :		
Immobiles	Oui	Non
En translation uniforme	Oui	Non
En mouvements hétérogènes	Oui	Non
Convoyage sur tapis :	Oui	Non
Si oui :	à plat Debout	Autre
Nature du tapis :		
Couleur du tapis :		
Les objets sont :		
Isolés entre eux	Oui	Non
Multiplés et isolés	Oui	Non
Multiplés et entreposés en vrac	Oui	Non
L'objet est-il présenté toujours de la même façon : (orientation, plan, partie visible...)	Oui	Non

Distances entre les objets en cm :

Variation d'orientation des objets en degrés par rapport à l'axe de défilement :

L'aspect géométrique des objets est :

Plan (ex : coupes microscopiques...) Oui Non

Tridimensionnel symétrique Oui Non

Tridimensionnel non symétrique Oui Non

L'objet doit-il faire l'objet d'un traitement par prélèvement statistique :

Oui Non

Plusieurs objets différents sont-ils à analyser dans la même application :

au même moment de la production

suivant des productions différentes

Si les objets font actuellement l'objet de tri visuel, décrire les conditions de ce tri :

(tables spécialisées, éclairages spéciaux, matériels spéciaux...)

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL :

Qualité de l'environnement :

Type Bureau Type Laboratoire Type Atelier

Environnement climatisé : Oui Non

Nature des produits couramment utilisés sur le site :

pâteux gluants collants autres

Environnement pollué : Oui Non

Si oui nature de la pollution :

Environnement bruyant : Oui Non

Perturbations magnétiques : Oui Non

Perturbations HF : Oui Non

Lumières parasites : Oui Non

Tension d'alimentation : 220v 380v Autre

Hygrométrie : Taux :

Température élevée (si supérieure à 35 °C) : °C

Température basse (si inférieure à 5 °C) : °C

Vibrations : Faibles Importantes

Description mécanique de la chaîne (partie disponible pour le système de vision) :

Accessibilité

Possibilité de disposer des éclairages :

Sur le côté

Sur le fond

De face

Possibilité d'ajouter un coffrage ou un tunnel

Contraintes d'implantation :

Sécurité Confidentialité Hygiène

DESCRIPTION DE LA CHAÎNE :

Nombre de personnes réalisant manuellement le contrôle :

Nombre de lignes à traiter :

S'agit-il d'une ligne flexible : Oui Non

si oui indiquer les temps de rotation des produits.

La chaine subit-elle des lavages fréquents :

Existet-t-il un moyen de synchroniser la prise de vue avec les objets : Oui Non

Si oui s'agit-il :

D'un automate :

D'un capteur inclus dans la chaine :

Autre :

Si non un montage externe est-il possible :

Un système d'éjection est-il présent : Oui Non

Si oui son utilisation est elle envisageable :

S'agit -il d'un système tout ou rien

S'agit il d'une liaison informatique :

Type

Protocole

CONDITION DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

8 heures par jour 2x8 3x8 7jours sur 7 par campagne (nb de mois)

Dans le cas d'un fonctionnement par campagne, indiquez :

Nombre de campagne par an :

Durée de chaque campagne :

Périodicité des campagnes :

Tonnage ou nombre d'objets traités par campagne :

LIENS INFORMATIQUES AVEC LE RESTE DE L'USINE

Type de système informatique utilisé actuellement pour la supervision :

Le système communiquera avec :

Automates Ordinateurs Robots Actionneurs

Protocole de communication :

Type de liaisons :

RS232 RS422 JBUS MODBUS Autres

Nature physique de la liaison :

Liaison optique Bifilaire Coaxiale

MAINTENANCE

Maintenance interne Externe

Niveau du personnel de maintenance :

Ouvrier Ouvrier Spécialisé Technicien Ingénieur

Type de la formation du personnel :

Electrique Automatique Informatique Electronique Autre

NATURE DE LA PRESTATION

Etude de faisabilité Oui Non

Réalisation de la partie vision Oui Non

Intégration sur site Oui Non

Intégration sur site + mécanique Oui Non

Intégration sur site + mécanique + implantation informatique	Oui	Non
autre : (description)		
Service après vente :		

QUESTIONS DIVERSES :

Lieu de l'installation :

Dates de fermeture de l'usine :

Périodes d'arrêt de la chaîne :

Durée minimale de l'installation :

Confidentialité de l'application :

Nombre de machines envisagées :

Echelonnement de la production :

Délai de réalisation souhaité :

Délais de réponse souhaitée après présentation du cahier des charges :

Urgence du projet :

III. LES SYSTEMES DE REPRESENTATION COLORIMETRIQUE

A. Le système RGB

Etant donné que toutes les couleurs peuvent être reconstituées à partir des primaires Rouge Vert et Bleu (RVB), on pourrait les choisir comme base de composition. Le triangle de MAXWELL (voir figure 141) est un triangle équilatéral permettant de reconstituer des couleurs par combinaisons linéaires.

Chaque triangle de MAXWELL correspond à une luminosité précise. Le centre de ce triangle correspond au blanc (point où $R=B=V$). Les longueurs d'onde monochromatiques sont disposées sur le spectrum locus. La ligne joignant le B et le R est la ligne des pourpres.

La longueur d'onde dominante d'un échantillon est située à l'intersection entre le spectrum locus et la droite passant par le blanc ($R=V=B$) et le point représentant l'échantillon.

Il apparait alors que la combinaison du B, G, R ne permet pas de reconstituer toutes les couleurs. Dans certains cas, notamment pour les longueurs d'onde monochromatiques, l'addition de 2 primaires (ex V et B) donne une couleur "tirant" déjà trop sur la troisième primaire (R) pour s'approcher de la couleur recherchée. Le rajout de cette troisième primaire accentuerait d'autant l'écart entre la couleur test et la couleur reconstituée.

On a alors choisi une base de primaires non réelles mais dont les coefficients (ou valeurs des tristimuli) sont toujours positifs. Ces tristimuli émanent du système CIE et sont appelés X,Y et Z.

B. Le système CIE

Chargée de quantifier la couleur, la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) a déterminé :

- des sources standards de spectre connu,
- un observateur standard sensé représenter ce que voit l'oeil,
- des unités mathématiques caractérisant la couleur.

Les sources standards sont nommées A (lampe tungstène), B (lumière du jour), C (ciel bleu) et D65.

Le système CIE présente la couleur dans un espace à trois dimensions décrivant la teinte, la chromaticité et la luminosité.

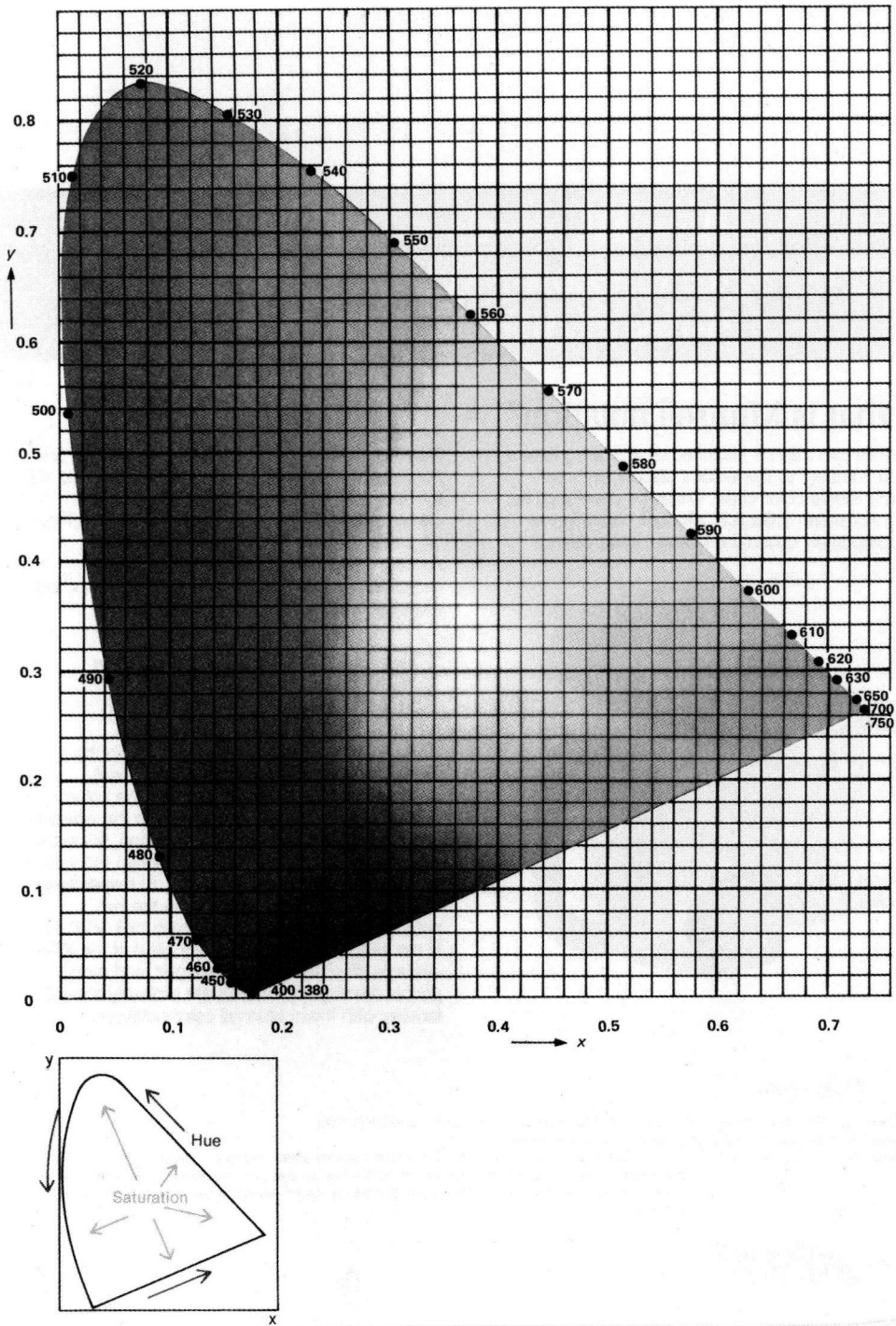


Fig 141 : Triangle de MAXWELL. (Documentation MINOLTA)

La luminosité n'était pas décrite dans le système R,V,B en dimension 2 (triangle de MAXWELL). L'étude de la réponse de l'œil humain aux différentes teintes montre une très grande sensibilité dans le vert. Il apparaît donc intéressant de relier la luminosité et le niveau de vert : le sommet correspondant au vert est affecté d'une luminosité de 1.00.

Les nouveaux tristimuli X, Y et Z sont développés à partir du triangle B, V, R et du spectrum locus. La ligne XY correspond à la tangente au spectrum locus en R (de luminosité 0) ; cette droite est pratiquement superposée à la droite R-V. Le Z, analogue au bleu, doit avoir une luminescence nulle : c'est la droite reliant la luminescence nulle en R et B. Ce triangle équilatéral est ensuite transformé mathématiquement en un triangle rectangle.

A partir des tristimuli X, Y et Z, on calcule les coordonnées chromatiques x, y et z :

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Deux de ces coordonnées permettent de décrire parfaitement la teinte et la saturation de la couleur. La couleur est parfaitement connue si on intègre aussi la luminosité donnée par Y. Nous obtenons ainsi un modèle topographique dans lequel la base est représentée par x et y et l'*altitude* par Y.

Ce qui donne les concepts de pureté, longueurs d'ondes dominantes et complémentaires dans le diagramme chromatique (spectrum locus tracé en coordonnées chromatiques x et y).

L'observateur standard correspond à ce que verraient les yeux (éclairés à 4°) d'un grand nombre d'observateurs normaux. A partir des valeurs r, g, b obtenues par l'expérience, on calcule les valeurs abstraites x, y et z. Ces valeurs x, y et z, nous permettrons de retrouver les tristimuli X, Y et Z à partir des spectres des échantillons.

C. Le système L-a-b

Ce modèle est actuellement le plus couramment utilisé en colorimétrie, il remplace avantageusement le modèle XYZ (voir figure 95).

Le modèle L a b comporte deux coordonnées horizontales : a allant du vert (-a) au rouge (+a) et b allant du bleu (-b) au jaune (+b). La coordonnée verticale L décrit la luminosité (0=noir et 100= blanc). Les coordonnées L a b et X, Y, Z sont reliées par les expressions suivantes :

$$E = ((L)^2 + (a)^2 + (b)^2)^{1/2}$$

$$Y = 0,01 L^2$$

$$X = \frac{0,1 a * L + 0,175 L^2}{17,85}$$

$$Z = \frac{0,07 L^2 - 0,1 L * b}{5,929}$$

Les coordonnées L a b sont très pratiques pour quantifier des différences de couleur.

IV. L'OFFRE FRANÇAISE

Nom Prénom	: Sylvie LACOUTURE
Fonction	: Ingénieur Projet
Nom de la compagnie	: ACTIVE VISION
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 5804
Adresse	: Domaine d'Arny BP 16, 91680 BRUYERES LE CHATEL
Téléphone	: (1) 60.83.12.34
Télécopie	: (1) 60.83.88.22

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société ACTIVE VISION propose diverses solutions pour la reconnaissance de caractères de marquage industriel (laser, jet d'encre, estampage, micro-burinage...) sur divers supports (papier, métal, plastique...).

Nom Prénom	: ARBAN Aldo
Fonction	: Dir Commercial
Nom de la compagnie	: ADEPT TECHNOLOGY
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 5804
Adresse	: 7 rue Victor Hugo 92310 SEVRES
Téléphone	: (1) 45.34.32.32
Télécopie	: (1) 45.34.76.16

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société ADEPT Technology propose une solution robotique très complète, actuellement plus de 200 robots industriels en ligne sont en fonctionnement, en particulier pour le packaging. Cette société propose un robot lavable, le PackOne qui répond aux normes sanitaires pour la manipulation des produits frais.

Tous les robots peuvent être équipés d'un système de vision propriétaire (Vision ADEPT AGS). Actuellement 70 % des robots de conditionnement disposent d'un système de vision.

Parmi les applications on peut citer :

* Prise à la volée (en mouvement et en vrac) des produits à conditionner (un ou plusieurs produits simultanément).

* Orientation de chaque produit pendant le déplacement du robot (éventuel contrôle visuel en temps masqué).

* Dépose des produits selon une disposition quelconque. L'organe de réception (boîte, etc...) peut lui-même se déplacer (réception au vol).

Les industries utilisatrices sont les chocolateries, biscuiteries, fromageries, viandes.

Nom Prénom	: MARTI BATLLE Ramon
Fonction	: Ingénieur Commercial
Nom de la compagnie	: ALCATEL TITN ANSWARE
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: Le Trident - 34 Av du Général de Gaulle 38100 GRENOBLE
Téléphone	: 76.22.41.95
Télécopie	: 76.22.53.34

APPLICATIONS DESTINEES AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société ALCATEL propose des systèmes de traitement d'images sophistiqués destinés essentiellement aux applications de laboratoires. Ce matériel utilisé généralement par le milieu médical trouve aussi des applications en agro-alimentaire. Ce matériel permet le comptage de bactéries, des zones d'inhibition et plus généralement de la granulométrie.

La société dispose d'un système de traitement des images couleurs.

Nom Prénom	: CLAIR Pierre
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie	: AGENCOME SA.
Raison sociale	: Conseil en Vision par ordinateur
Code APE	: 7703
Adresse	: 8 rue Hermann Frenkel 69007 LYON
Téléphone	: 78.61.46.32
Télécopie	: 78.61.46.99

APPLICATIONS DESTINEES AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société AGENCOME propose du matériel de vision conçu par la société EURESYS. AGENCOME assure le support technique aux intégrateurs, et assure également les études de faisabilité et la conception de logiciels adaptés aux besoins du client.

Nom Prénom	: SERRANO Angel
Fonction	: Directeur commercial
Nom de la compagnie : ALLEN BRADLEY SERVOVISION.	
Raison sociale	: SA
Code APE	: 5910
Adresse	: 36 avenue de l'Europe 78140 VELIZY VILLACOUBLAY
Téléphone	: (1) 30.67 72 00
Télécopie	: (1) 34 65 32 33

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

ALLEN BRADLEY vend des systèmes dédiés (caméras + cartes + logiciel) ainsi que des applications complexes. ALLEN BRADLEY a un réseau d'intégrateurs régionaux pour réaliser des applications complètes.

* Contrôle de conditionnement :

- Habillage et remplissage de bouteilles et de flacons à des cadences allant de 3 000 à 30 000 bouteilles à l'heure ;

- Contrôle du cellophanage de coffrets ;

- Contrôle d'empilement de barquettes ;

- Contrôle de présence et de positionnement des produits dans leur conditionnement ;

* Contrôle de conformité du produit avant conditionnement

- Intégrité de comprimés ;

- Arrangement des sachets de thé ;

- Forme des chocolats.

* Dépalettisation/ Déstockage/ Robot de conditionnement

- Application conditionnement de chocolat

Nom Prénom	: THIBAUT Philippe
Fonction	: Commercial
Nom de la compagnie : AMPAL	
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: 9 av du Bois de l'Epine, ZAI du Bois de l'Epine 91 031 EVRY Cedex
Téléphone	: (1) 60 77 34 37
Télécopie	:

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

MATERIEL MONTE EN LIGNE

AMPAL applique la vision à la dépalettisation et à la préparation de commandes comme système de guidage des robots : c'est le système VISIPAL.

Nom Prénom	: NORSA François
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie : APPI	
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 2815
Adresse	: ZI Les Milles, BT 6 ACTIMART, 13851 Aix en Provence Cedex 3
Téléphone	: 42.24.44.51
Télécopie	: 42.39.70.77

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société APPI développe et intègre des solutions de vision industrielle. Parmi les diverses applications industrielles de cette société on peut citer :

- Le décodage de caractères sur circuits imprimés.
- Le contrôle des pots en verre (1,3 m/sec)
- Le contrôle de l'embouteillage
- Le contrôle qualité des tuiles (formes et couleur)...

La société réalise des études de faisabilité.

Nom Prénom	: LARUE Francis
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie : APPLICATIONS ET ROBOTS INDUSTRIELS	
Raison sociale	:
Code APE	: 7701
Adresse	: 14 rue du Plessis Briard - ZAC du Canal 91023 EVRY CEDEX
Téléphone	: (1) 64.97.14.39
Télécopie	: (1) 69.91.14.04

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société représente ARIA Switzerland. Elle dispose d'un robot doté d'un système de vision permettant le guidage et la manipulation des petits objets. Une application a été développée pour le conditionnement de pralinés. Le système effectue une reconnaissance de forme.

Nom Prénom : BOILEAU Stéphane
Fonction : Technico-Commercial
Nom de la compagnie : AUTOMATISME ET CONTROLE
Raison sociale : SA
Code APE : 5804
Adresse : 8 rue Raoul Follereau BP18 38180 SEYSSINS
Téléphone : 76.96.89.36
Télécopie : 76.48.34.22

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE ET DE LABORATOIRE

La société a développé pour l'INRA un appareil destiné à détecter les hauteurs de mousse (émulsion) dans une éprouvette (recherche scientifique).

La société développe des systèmes de mesures de diamètre (exemple : agrumes).

Nom Prénom : LAUNAY Gaël
Fonction : Responsable dpt Caméras
Nom de la compagnie : ARIES
Raison sociale : SA
Code APE : 5906
Adresse : 44 bis Bd Félix Faure 92320 CHATILLON
Téléphone : (1) 46.57.41.71
Télécopie : (1) 46.56.69.39

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

APPAREILS MONTES EN LIGNE

La société ARIES distribue toute une gamme de matériels optiques et notamment des produits d'imagerie. Elle représente en France les sociétés DAGE-MITI, EPIX, I-SIGHT, PULNIX, XYBION. L'offre couvre tous les domaines d'applications de l'infra-rouge au visible en passant par des caméras ultra-rapides.

La société ne développe pas directement d'applications.

Nom Prénom : VIRE Eric
Fonction : Directeur Commercial
Nom de la compagnie : AVELEM
Raison sociale : SA
Code APE : 7701
Adresse : La Billardière 36190 GARGILESSÉ
Téléphone : 54.47.86.72
Télécopie : 54.47.77.99

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société AVELEM conçoit et réalise des systèmes de traitement d'images. Elle propose des solutions haut de gamme notamment pour l'archivage temps réel des images sur cartes de mémoire d'images.

Nom Prénom	: Nicolas VENDRYES
Fonction	: Directeur Technique
Nom de la compagnie	: AXODE
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 7703
Adresse	: 20 Square Montsouris 75014 PARIS
Téléphone	: (1) 45 80 58 26
Télécopie	: (1) 45 80 58 19

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société AXODE est spécialisée dans l'intégration de système clé en main de vision industrielle. Elle prend en charge la globalité des projets, de l'élaboration du cahier des charges à l'intégration complète des solutions.

Ses principaux domaines d'applications sont :

- Contrôle de conformité
- Contrôle d'aspect
- Contrôle dimensionnel
- Reconnaissance de caractères et de codes à barres
- Contrôle qualité du marquage...

Elle a une forte expérience dans le développement de système de lecture optique de documents, notamment à grande vitesse.

Exemple d'application : Lecture de numéros de chèques avant leur destruction.

La société commercialise un système compact de traitement d'image facile d'emploi destiné aux intégrateurs.

Nom Prénom	: ORTONNE Michel
Fonction	: Directeur Marketing
Nom de la compagnie	: BERTIN et Cie
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7701
Adresse	: 59 rue Pierre Curie - BP 3 - 78373 PLAISIR CEDEX
Téléphone	: (33 1) 34.81.85.00
Télécopie	: (33 1) 30 54 04 14

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE, POUVANT ETRE MONTE EN LIGNE

Le savoir faire de la société BERTIN s'étend du domaine des capteurs à fibres optiques, en passant par les spectrocolorimètres en ligne (Industrie pétrolière), le tri de produits et la découpe laser associée, mais elle travaille aussi dans le domaine du tri postal par code barre.

En vision industrielle, elle a acquis un important savoir faire en télémétrie, aide au pilotage de robot, et elle est maitre d'œuvre du programme CEE "TELEMAN".

BERTIN dispose au travers de sa filiale spécialisée, la SESO, d'un important savoir faire en optique, du visible à l'infrarouge

Nom Prénom	: BISCONTE Jean-Claude
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie	: BIOCOM
Raison sociale	: SA
Code APE	: 8301
Adresse	: Avenue de la Baltique - Immeuble Le Nath, ZA Courtaboeuf, BP 53, 91942 LES ULIS CEDEX
Téléphone	: (1) 64.46.27.60
Télécopie	: (1) 69.82.95.18

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE ET DE LABORATOIRE

* En laboratoire :

La société BIOCOM, qui est associée à l'INSERM, développe des logiciels et des matériels de vision destinés aux laboratoires "BIO" qui comprennent bien évidemment des laboratoires de type agro alimentaire.

Actuellement, deux types de produits répondent aux besoins de l'agro-alimentaire :

1 - Des systèmes d'analyse d'image "classique" incluant une bibliothèque générale IMAGENIA et des logiciels d'application ciblés pour l'histologie, la cytologie, l'électrophorèse, la bactériologie... Ces matériels ont été installés dans de grandes industries agro-alimentaires comme UNISABI, AMORA, pour du contrôle de qualité en laboratoire.

2 - Chaîne particulière, "COBRA", destinée au contrôle de qualité du lait. Ce système comprend en plus d'un module d'analyse d'image automatisé et rapide des modules de prélèvement et de traitement des échantillons. Plusieurs laboratoires inter-professionnels sont équipés de ce système qui vient d'être homologué par le CST.

Les systèmes moins spécifiques de l'agro-alimentaire sont : analyse de gels d'électrophorèse (ELPHOR 2000), exploration de coupes histologiques (HISTO 200), autoradiographie quantitative et comptage de grains (RAG 200 et 500), analyse cellulaire (DEFT).

* Industrie

Les systèmes BIOCOM ont été utilisés pour :

- Contrôle de qualité :

calcul du % de matière grasse - UNISABI

dénombrement de téguments dans les échantillons de moutarde - AMORA

- Pilotage automatique de robot de tranchage : CERIZY

Nom Prénom	: Jean-Claude DREZET
Fonction	: Responsable Vision
Nom de la compagnie : B.R.D.I	
Raison sociale	: SA
Code APE	: 3405
Adresse	: ZA Les Baronnes BP9 34730 PRADES LE LEZ
Téléphone	: 67.59.56.00
Télécopie	: 67.59.55.02

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société BRDI est un fabricant de caméras spéciales. Elle exploite un brevet permettant un anti-éblouissement sélectif du capteur. Les produits proposés sont destinés aux applications en conditions sévères.

Nom Prénom	: BERIBOS Robert D.
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie : BYTECH SA	
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2914
Adresse	: Rue du Caducée - Parc Euromédecine BP 4144, 34091 MONTPELLIER CEDEX 5
Téléphone	: 67.14.16.70
Télécopie	: 67.14.16.77

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

MATERIEL MONTE EN LIGNE ET DE LABORATOIRE

La société BYTECH est un fabricant de matériel de vision. Il développe sur demande des applications industrielles. Cette société à l'origine fortement orientée dans le domaine médical (MamoScreen), s'intéresse au milieu agro-industriel.

Nom Prénom	: VALLA Henri
Fonction	: Ingénieur Technico-Commercial
Nom de la compagnie : CENTRALP AUTOMATISMES	
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2914
Adresse	: 21 rue Marcel Pagnol 69200 VENISSIEUX
Téléphone	: 78.75.92.30
Télécopie	: 78.76.11.23

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société CENTRALP a développé des applications pour le contrôle de fabrication de sacs en papier, ainsi que le contrôle de conformité des fonds, des valves et des marquages de sacs pour l'agro-alimentaire (engrais, nourriture pour animaux, etc...).

La société intègre la matériel d'Allen Bradley.

Nom Prénom	: Mr FARDEAU
Fonction	: Directeur et Responsable Vision
Nom de la compagnie	: CERSA
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 2913
Adresse	: Parc Expobat, N° 53, 13480 CABRIES
Téléphone	: 42.02.60.44
Télécopie	: 42.02.79.79

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société est spécialisée en ingénierie automatique et capteurs. Elle a réalisée divers appareils de mesures sans contacts par procédés optiques. Ces appareils utilisés dans l'industrie sidérurgique, nucléaire, et aéronautique permettent d'effectuer des mesures dimensionnelles de grandes précisions, sans contact, ainsi que le contrôle des formes, de l'aspect de surface d'un produit.

Nom Prénom	: VIAL Jean-Pierre
Fonction	: Responsable Commercial
Nom de la compagnie	: CHROMA SA..
Raison sociale	: SA
Code APE	: 3402
Adresse	: 20 boulevard Robert Schuman 13002 MARSEILLE
Téléphone	: 91.56.09.72
Télécopie	: 91.56.07.41

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société, qui à l'origine s'appelait TRAVOCEAN, a conçu et réalisé en 1987, une caméra tri-CCD sur laquelle chaque voie vidéo est calibrée sur une longueur d'onde donnée. Cette caméra était destinée à réaliser, dans le cadre d'un projet de recherche, à traiter par colorimétrie des produits agro-industriels.

Nom Prénom	: Mr BETMALE ou Melle CHASLIER
Fonction	: Ingénieurs Vision
Nom de la compagnie	: CIME AGRO
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2409
Adresse	: 87 rue Jean Perrin - Zone Industrielle, 13763 AIX LES MILLES
Téléphone	: 42.24.43.91
Télécopie	: 42.39.71.19

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société CIME AGRO est spécialisée dans le développement de machines spéciales, elle développe des applications en vision industrielle suivant le cahier des charges de l'utilisateur, son expérience touche les domaines du tri colorimétrique, tri dimensionnel, et le tri qualitatif. Forte de ce savoir-faire CIME AGRO a développé des applications sur le tri des pommes de terre (dimensions), des carottes (dimensions, formes), ainsi qu'une machine permettant de trier les asperges suivant plusieurs critères tel que la rectitude, les défauts de teintes, les défauts d'aspect. Cette dernière machine a reçu la médaille d'OR au SIMA92.

La société CIME AGRO effectue des études de faisabilité à la demande.

Nom Prénom	: LEGAL François
Fonction	:
Nom de la compagnie	: COMEXAL INDUSTRIE
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: Les grandes Durandières 44 710 PORT SAINT PERE
Téléphone	: 40 04 81 81
Télécopie	: 40 04 81 88

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

MATERIEL MONTE EN LIGNE ET DE LABORATOIRE

La société Comexal est en France le représentant exclusif de la firme CABIN PLANT INTERNATIONAL société Danoise ayant développé une compétence dans la vision pour les produits agricoles et alimentaires tels que :

* Contrôle de défaut d'aspect/ dimensionnement : industrie du poisson, des fruits et légumes, des produits laitiers, de la viande, pâtisserie et confiserie.

* Contrôle de conditionnement dans les brasseries.

Nom Prénom	: Sal d'AGOSTINO
Fonction	: Directeur Général
Nom de la compagnie	: COMPUTER RECOGNITION SYSTEM
Raison sociale	:
Code APE	: 2409
Adresse	: 11, Orion Park drive AYER, MA 01432, USA
Téléphone	: (19 1) (508) 772 3991
Télécopie	: (19 1) (508) 772 5748

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société COMPUTER RECOGNITION SYSTEM réalise des applications dans différents domaines, tels que :

- * Contrôle conformité conditionnement :
 - étiquetage, lecture des dates et numéro du paquet ;
 - présence de capsule, position étiquette
 - inspection dimensionnelle
 - vérification fermeture.
- * Fruits et légumes
 - Dimensionnement
 - Contrôle aspect : couleur et taches
- * Produits de boulangerie :
 - Volume extrudé
 - Inspection de la croûte...

Nom Prénom	: NADEL Roland
Fonction	: Responsable Technique
Nom de la compagnie	: CONTROL IMAGE
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 5911
Adresse	: Les Mercuriales - 40 rue Jean Jaurès 93176 BAGNOLET CEDEX
Téléphone	: (1) 43.62.24.86
Télécopie	: (1) 43.62.28.50

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société CONTROL IMAGE développe des applications faisant appel soit à des techniques de vision assistées par ordinateur, soit à des techniques de digitalisation ultrasoniques.

Elle a réalisé en Vision divers systèmes permettant la mesure des caractéristiques géométriques d'alvéoles microscopiques à la surface de plantes, la mesure du diamètre de fibres, d'orientation et de concentricité du coeur de la fibre par rapport à l'écorce.

D'autres applications concernent le comptage et mesures géométriques sur des prélèvements de graines, la mesure d'histogrammes et la détermination des zones colorées sur des prises de vue aériennes.

Dans le domaine de l'imprimerie la société a réalisé une application sur l'analyse de la qualité des codes à barres sur des emballages alimentaires

Dans le cadre de son activité dans les ultra-sons, elle a développé un système permettant de relever des coordonnées géométriques sur cartes géographiques et un autre permettant de relever des coordonnées en 3 dimensions sur des échantillons de fruits.

Nom Prénom	: LABRANCHE Sandrine
Fonction	: Assistante au Département Commercial
Nom de la compagnie	: COURBON
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2815
Adresse	: 2 rue Hector Berlioz - BP. 327 42015 SAINT ETIENNE CEDEX 2
Téléphone	: 77.57.49.31
Télécopie	: 77.57.01.31

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE ET MONTE EN LIGNE

La société COURBON intervient dans tous les secteurs et spécialement l'agro alimentaire pour la conduite centralisée et supervision, l'automatisation de la composition du traitement et du conditionnement, l'informatisation de la logistique et les systèmes de contrôle par vision artificielle.

Son département automatisation du contrôle par vision artificielle intervient dans l'agro-alimentaire pour les contrôles d'aspect, de conformité et dimensionnels.

Elle a développé diverses applications, comme le contrôle d'aspect (rayures, bavures...), de conformité et dimensionnel sur des pièces d'usinage (Piston, pièces de sécurité..).

La société propose des applications basées sur l'utilisation de réseaux de neurones (système NESTOR).

Nom Prénom	: SOUYRIS Frank
Fonction	: Responsable Technique
Nom de la compagnie	: DEMAUREX - ARIA SWITZERLAND
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 5910
Adresse	: Technoparc Gessien, rue Clément Ader 01630 SAINT GENIS POUILLY
Téléphone	: 50.42.03.19
Télécopie	: 50.42.10.75

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société représentante de ARIA a développé une application de conditionnement de pralinés à très haute cadence utilisant un système de vision et le robot ultra rapide ARIA DELTA. La vision détermine : la position du centre de gravité, le contour, l'orientation et la surface visible d'un praliné. Le robot saisit ce praliné, l'oriente et le dépose dans une barquette à alvéole elle-même en mouvement.

La vision utilise la technologie des transputers de manière à ne pas ralentir le temps de cycle.

Cadence actuelle de palettisation : > 80 pcs/mn.

Nom Prénom	: BOULET Pierre
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie	: DICOM
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7701
Adresse	: 4 rue René Razel, Domaine Technologique de Saclay, Bat Azur SACLAY 91400 ORSAY
Téléphone	: (1) 69.41.94.94
Télécopie	: (1) 69.41.88.32

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société Dicom propose divers systèmes de contrôle par analyse d'images, elle distribue notamment le matériel NELTEC qui permet de faire du tri colorimétrique par apprentissage et à distance sur des produits agro-alimentaires. Cette société intègre le matériel américain COGNEX.

Nom Prénom	: Patrick JOYON
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: DIGITAL DESIGN
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2914
Adresse	: 15 avenue de Norvège, ZA Orsay Courtaboeuf, 91953 LES ULIS CEDEX
Téléphone	: (1) 69.07.78.77
Télécopie	: (1) 69.28.21.51

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société Digital Design a réalisé diverses applications en vision industrielle, notamment pour le contrôle des défauts sur le papier, sur le verre. Son expérience touche aussi le domaine de la granulométrie.

Nom Prénom	: J. Luc CROZET
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: DIGITAL VISION
Raison sociale	: SA
Code APE : 2915	
Adresse	: 14 avenue Clément Ader, BP 43 F, 31771 COLOMIERS CEDEX
Téléphone	: 61.30.21.21
Télécopie	: 61.78.50.89

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI
(Au travers de ses intégrateurs)

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société DIGITAL VISION conçoit et réalise des caméras industrielles et des systèmes de traitement d'images.

Ses intégrateurs ont réalisé diverses applications, dont certaines sont décrites ci-dessous :

- * Laboratoire : Comptage automatisé de bactéries (développé par IRTN de Toulouse).
- * Laboratoire : reconnaissance de formes pour tri de cellules (développé par l'Université Paul Sabatier de Toulouse).
- * Laboratoire : mesure de surfaces tissulaires (développé par l'INRA de MAGNERAUD).
- * Contrôle conformité conditionnement (développé par ETNI, Toulouse) : contrôle de l'étiquetage des bouteilles.

Nom Prénom	: DORIN François
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: ECRIN AUTOMATISMES...
Raison sociale	: SA
Code APE	: 5804
Adresse	: Rue du Pré de l'Horre, BP 15, 38920 CROLLES
Téléphone	: 76.08.88.89.
Télécopie	:

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société Ecrin Automatismes est une société de distribution ayant une activité d'intégration. Elle distribue les systèmes GESPAC, CVI, et BYTECH.

A la demande de sa clientèle elle a réalisé un système de tri pour les huîtres en Bretagne, et un système de comptage des œufs défilant sur un tapis roulant.

Nom Prénom	: PINON Yves
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: EDIXIA
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7703
Adresse	: ZART des Perrières, BP 59, 35 770 VERN SUR SEICHE.
Téléphone	: 99 62 86 11
Télécopie	: 99 62 72 38

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société EDIXIA est un fabricant de matériel. Cette société travaille avec des intégrateurs qui développent des applications (voir SYSLOG). Dans les applications développées à partir de matériel EDIXIA, citons :

- * Contrôle conformité emballage : contrôle de bouchons plastiques lors du sertissage ; contrôle d'éléments bois ; contrôle d'emballages métalliques.
- * Contrôle conformité conditionnement : contrôle emballage (paquets - bouteilles).
- * Laboratoire : lecture automatique des butyromètres à lait, comptage de colonies bactériennes...
- * Contrôle des produits avant conditionnement : contrôle de la cuisson des gaufrettes.
- * Dépalettisation : tri de cartons dans un atelier de palettisation automatique (lecture de caractères).

Nom Prénom	: TANCHAUD Joël
Fonction	: Responsable Commercial
Nom de la compagnie	: E.I.A
Raison sociale	:
..Code APE	: 7703
Adresse	: Burospace, Route de Gizy, Bât Antélia, 2 bis, 91571 BIEVRES CEDEX
Téléphone	: (1) 69.41.37.70
Télécopie	: (1) 69.41.33.24

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société EIA est une société multi disciplinaire associant des compétences mécanique, électronique, informatique et optique. Elle conçoit à la demande tout système de vision et de robotique, du prototype à la série.

Nom Prénom	: SILVESTRE Philippe
Fonction	: Ingénieur Technico-Commercial
Nom de la compagnie	: EEV FRANCE (division de GEC Composants)
Raison sociale	: SA
..Code APE	: 5804
Adresse	: 2 rue Henri Bergson 92665 ASNIERES CEDEX
Téléphone	: (1) 40.80.55.80
Télécopie	: (1) 47.33.11.31

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société anglaise EEV fabrique des caméras matricielles CCD à transfert de trame industrielles et spéciales (asynchrone, très haute résolution, sur mesure...).

Nom Prénom	: ALT Peter
Fonction	: Directeur commercial
Nom de la compagnie	: ELBICON
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: Industrierrein Nieuwland, B-3220 Aarschot., BELGIQUE
Téléphone	: (19 32) (016) 56 06 11
Télécopie	: (19 32) (016) 56 59 65

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société ELBICON est un fabricant de machines spéciales spécialisé dans la couleur en milieu agricole. Le dernier matériel est équipé de 4 caméras qui permettent le tri des produits en fonction des défauts d'aspect et sur toute leur surface. On trouve ces appareils dans l'industrie de la transformation des fruits et légumes.

En France, Elbicon est représenté par GRATIAS et Cie (1- 48 53 57 34).

Nom Prénom	: HUET Alain
Fonction	: Directeur
Nom de la compagnie	: ELSAG FRANCE
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2816
Adresse	: 122 rue Marcel Hartmann 94853 IVRY SUR SEINE
Téléphone	: (1) 46.70.41.00
Télécopie	: (1) 46.70.94.85

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société ELSAG est spécialisée dans la reconnaissance de caractères.

Elle propose diverses applications adaptées à tous les domaines d'utilisation. Que ce soit dans le domaine de la banque, des arts graphiques, industriels ou agro-alimentaires.

La société dispose actuellement de trois offres :

Le système SLAT10, destiné à la lecture des tickets, chèques...

Le système SLAT20, destiné au contrôle de conformité à haut débit (200 caractères par seconde).

Le système SLAT, destiné à l'identification des mobiles (voitures, wagons, containers...).

Nom Prénom	: DEPETRIS Daniel
Fonction	: Responsable Commercial
Nom de la compagnie	: E M R
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7701
Adresse	: 185 avenue de Choisy 75013 PARIS
Téléphone	: (1) 45.84.12.21
Télécopie	: (1) 45.84.69.15

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société EMR conçoit et réalise divers matériels et plus particulièrement un système destiné à contrôler l'homogénéité en ligne du sucre ou autre poudre (Système CALISCOPE).

Nom Prénom	: Vuisard Serge
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: ELTEC INTERNATIONAL
Raison sociale	: SARL
..Code APE	: 5804
Adresse	: 1 allée des Garays 91120 PALAISEAU
Téléphone	: (1) 64.47.18.77
Télécopie	: (1) 64.47.09.33

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

la société ELTEC est un fabricant de cartes d'imagerie au standard VME. Ces cartes sont destinées aux intégrateurs.

la société propose une gamme complète de cartes du modèle simple au plus sophistiqué.

Nom Prénom	: Christian SAULNIER
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie : ESI - INTELEDEX VISION	
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 6010
Adresse	: 51 rue de l'université 93160 NOISY-LE-GRAND Cedex
Téléphone	: (1) 43 05 85 85
Télécopie	: (1) 43 04 52 08

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

MATERIEL MONTE EN LIGNE

Cette société est spécialisée dans l'intégration de système de vision propriétaire, dans l'industrie électronique, pharmaceutique et autres.

Elle propose diverses solutions pour la lecture optique des caractères, le contrôle et le suivi de l'alignement, le guidage des robots ainsi que le contrôle dimensionnel.

Nom Prénom	: Mr LAVIROTTE
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie : ETNI	
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2817
Adresse	: 114 rue Hénon 69 004 LYON
Téléphone	: 78 28 04 43
Télécopie	: 78 29 34 05

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société ETNI développe des applications en ligne, notamment dans le domaine du conditionnement :

* Contrôle conformité emballage :

- contrôle de la forme ;
- détection des corps étrangers...

* Contrôle conformité conditionnement :

- habillage des bouteilles (présence, positionnement...)
- contrôle du dégarni
- bouchage.

Nom Prénom	: FOREST Thierry
Fonction	: Directeur
Nom de la compagnie : EURESYS	
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: PIR du Sart Tilman, 14 av du Pré Aily B-4031 ANGLEUR (BELGIQUE)
Téléphone	: (19-32) 41 677 288
Télécopie	: (19-32) 41 677 466

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société EURESYS développe des systèmes de vision industrielle destiné aux intégrateurs. Les systèmes proposés supportent les caméras matricielles et linéaires, ils sont destinés avant tout aux applications de contrôle, de guidage...

Nom Prénom	: L'HUILLIER Didier
Fonction	: Responsable Applications
Nom de la compagnie : EUROPIXELS	
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 7703
Adresse	: Bat 9, BP 9.01, parc du Millénaire 1025 rue Henri Becquerel 34036 Montpellier Cedex
Téléphone	: 67.65.61.85
Télécopie	: 67.22.26.67

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société EUROPIXELS commercialise les produits de la société américaine DATACUBE. Cette société dispose d'une gamme de cartes de traitement d'images au standard VME. La société propose un système clé en main destiné aux applications industrielles.

Nom Prénom	: Mottin François
Fonction	: Responsable Vision
Nom de la compagnie : EXAVISION	
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 2914
Adresse	: 100 Chemin du mas de Cheylon 30900 NIMES
Téléphone	: 66.29.61.01
Télécopie	: 66.29.24.70

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société EXAVISION fabrique des systèmes complets de la caméra au traitement d'images. La société propose une micro-caméra couleur destinée au suivi en temps réel de bain de soudure, ainsi que diverses solutions de pilotage à distance de caméras opérants dans des conditions difficiles.

Nom Prénom	: Didier LACROIX
Fonction	: Responsable Vision
Nom de la compagnie	: FACTORY Systèmes
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2913
Adresse	: 22 rue Vladimir Jankelevitch EMERAINVILLE 77437 MARNE LA VALLEE CEDEX 2
Téléphone	: (1) 64.61.68.68
Télécopie	: (1) 64.61.67.34

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société FACTORY Systèmes commercialise le matériel de vision ITRAN. Il s'agit de systèmes prêt à l'emploi, programmable par l'utilisateur et destiné au marché de l'intégration industrielle. Ces systèmes permettent le contrôle dimensionnel et d'aspect à des cadences pouvant atteindre 60 objets par seconde. L'utilisateur programme le système à l'aide d'un micro-ordinateur sous windows.

La société propose le système I-PAK qui est destiné avant tout au contrôle de conditionnement et d'emballage.

Nom Prénom	: CHENNAOUI
Fonction	: Ingénieur Responsable d'Affaires Vision
Nom de la compagnie	: GARCZYNSKI et TRAPLOIR
Raison sociale	: SA
Code APE	: 5511
Adresse	: ZI NORD, rue Thomas Edison, BP 37 X, 72040 LE MANS CEDEX
Téléphone	: 43.77.77.77.
Télécopie	: 43.28.50.19.

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

Cette société est spécialisée dans l'intégration de systèmes. Elle a réalisé pour un de ses clients, un système destiné à vérifier la conformité des emballages.

Nom Prénom	: AIMI Patrick/GRASSEAU Gilles
Fonction	: Ingénieurs R&D VISION
Nom de la compagnie	: GESPAC
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2701
Adresse	: Zone Industrielle les Playes 83500 LA SEYNE SUR MER
Téléphone	: 94.30.34.34
Télécopie	: 94.87.35.52

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société GESPAC conçoit et fabrique tout un ensemble de cartes industrielles (Format GESPAC), dont certaines sont destinées à l'analyse d'images. Gespac peut fournir au travers de sa filiale CVI des caméras industrielles. Les applications sont réalisées pour toute ou partie au travers d'un réseau d'intégrateurs. Parmi les applications réalisées on trouve :

Instrumentation médicale

- Interprétation d'une image de réaction sérum-hématies dans un automate de groupage sanguin (GA50)

- Instrument de mesure de vitesse de sédimentation du sang par caméra CCD linéaire

- Logiciel de numération, de dimensionnement, de contrôle de croissance de levures

Vision industrielle

- Contrôle de qualité

- Contrôle dimensionnel

- Contrôle de position (exemple : contrôle d'impression et de positionnement d'étiquettes)

Nom Prénom	: Mme LUCAS
Fonction	:
Nom de la compagnie	: HAMAMATSU PHORONICS FRANCE
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 5804
Adresse	: 3 allée du commandant Mouchotte Zone Orly tech 91781 WISSOUS Cedex
Téléphone	: (1) 49.75.56.80
Télécopie	: (1) 49.75.56.87

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

Matériel en ligne et laboratoire

La société HAMAMATSU conçoit et distribue toute une gamme de capteurs couvrant tous les domaines d'applications en vision industrielle des rayons X à l'infrarouge, en passant par l'ultraviolet et le visible.

Cette société propose des caméras spéciales conçues pour des environnements de faible luminosité ou nécessitant des temps d'acquisition extrêmement court.

Nom Prénom	: ASSIRE Alain
Fonction	: Responsable Vision
Nom de la compagnie	: IRIS
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2913
Adresse	: Zone Industrielle Saint Maurice - BP. 332 04103 MANOSQUE
Téléphone	: 92.72.53.53
Télécopie	: 92.87.39.56

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société IRIS est spécialisée en vision infra-rouge, elle a réalisé une application dans la mesure de températures sur des extrudeuses (CLEXTRAL).

Nom Prénom	: PIQUARD JF
Fonction	: PDG
Nom de la compagnie	: ICAP
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2913
Adresse	: 37 Chemin du Vieux Chêne 38240 MEYLAN
Téléphone	: 76.41.13.13
Télécopie	: 76.90.17.97

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL EN LIGNE

La société ICAP est spécialisée dans la conception et l'intégration de système de contrôle non destructif, dont la vision industrielle. ICAP met en œuvre les techniques les mieux appropriées suivants les applications, tel que les rayons X, le visible, l'infra-rouge...

ICAP réalise sur demande des études de faisabilité.

Nom Prénom	: COSTE Alain
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie : I2S	
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7714
Adresse	: 239 rue du Jardin Public, BP76 33041 BORDEAUX Cedex
Téléphone	: 56 29 10 03
Télécopie	: 56 43 14 30

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL EN LIGNE ET DE LABORATOIRE

La société I2S conçoit et fabrique des caméras industrielles. Elle commercialise des solutions complètes en imagerie industrielle ou de laboratoire.

Les applications citées ci-dessous ont été réalisées en grande partie par le réseau d'intégrateurs de la société.

On peut citer :

- produits alimentaires à flux continu : contrôle de défauts d'aspect sur purée de pomme de terre et sucre en poudre ;
- boulangerie et biscuiterie : contrôle de l'uniformité de cuisson ;
- détection par rayons X : os de poulets et noyaux de cerises ;
- dimensionnement de produit : fruits et légumes, pommes frites ;
- contrôle conformité conditionnement : remplissage de boites de sucres et de chocolats, habillage, cellophanage ;
- contrôle conformité emballage : inspection de bouteilles recyclées en fonction de l'état du goulot, du fond de la bouteille...

Nom Prénom	: Mme LORIAN
Fonction	: Responsable Vision
Nom de la compagnie : I2V (Inspection Industrielle Vidéo)	
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2914
Adresse	: 164 Boulevard Gambetta 95110 SANNOIS
Téléphone	: (1) 39.98.80.90
Télécopie	: (1) 39.81.13.55

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : ?

La société I2V commercialise les produits WELCH ALLYN. Cette société est spécialisée dans la commercialisation et l'intégration de micro caméra.

Elle commercialise en outre des dispositifs de mesures 2D et 3D.

Nom Prénom	: MAUGET Jean-albert
Fonction	: Responsable Commercial
Nom de la compagnie	: IMAGE TECHNOLOGIE
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 2913
Adresse	: ZAC de Pichaury Domaine de St Hilaire 13855 Aix en Provence Cedex
Téléphone	: 42.24.38.24
Télécopie	: 42.24.33.05

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société IMAGE TECHNOLOGIE est spécialisée dans les applications industrielles et nucléaires. Elle a développé des caméras montées sur tourelles, ainsi qu'un système de poursuite d'objets à base de caméras CID.

Nom Prénom	: MAMOUDI Mithridate
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie	: IMASYS
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7703
Adresse	: 68 rue carnot 92120 SURESNES
Téléphone	: (1) 46.97.82.57.
Télécopie	: (1) 40.99.11.88

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL EN LIGNE ET DE LABORATOIRE

La société IMASYS offrent un ensemble de solutions multimarques destinées à réaliser des applications de vision.

La société représente les marques : ALACRON, AVELEM, BIOSCAN, COHU, DALSA, IMAGING TECHNOLOGY, LHESA, PULNIX, SHARP DIGITAL INFORMATION, SONY, VIDEK, XLI.

La société propose des solutions matérielles et des solutions logicielles.

Nom Prénom	: GENEVIEVE Jean-marie
Fonction	: Responsable
Nom de la compagnie	: INSPECTRONIC
Raison sociale	: SA
Code APE	: 6701
Adresse	: 53 Rue Casimir Perrier 95870 BEZONS
Téléphone	: (1) 34.23.30.00
Télécopie	: (1) 34.23.31.50

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société INSPECTRONIC conçoit et fabrique des systèmes d'inspection visuelle pour les marchés du nucléaire, militaire ou de la surveillance.

La société propose des outillages d'inspection couleur miniaturisés, un système de caméras autonomes destiné à la poursuite de cibles...

Nom Prénom	: MAHE Bruno
Fonction	: Responsable Commercial
Nom de la compagnie	: INTER COMPOSANTS
Raison sociale	: SA
Code APE	: 5804
Adresse	: 127 rue de Paris 91300 MASSY
Téléphone	: (1) 69.32.01.64
Télécopie	: (1) 69.32.03.55

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société INTER COMPOSANTS représente les sociétés DALSA, DOLAN JENNER, MITSUBISHI, SITEK, VSI SCAN.

Certains de ses produits sont avant tout destinés aux fabricants de capteurs électroniques et de caméras (produits DALSA). Elle propose en outre des cartes destinées au traitement de l'image.

Nom Prénom	: Bruno DUFAY
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: ITMI
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7703
Adresse	: 11 Chemin des Prés - ZIRST - BP. 87 38243 MEYLAN CEDEX
Téléphone	: 76.90.33.81
Télécopie	: 76.41.84.41

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL EN LIGNE ET DE LABORATOIRE

La société ITMI, maintenant intégrée dans le groupe CAP CESA, est spécialisée en vision industrielle et dans les sciences connexes. Elle a réalisée diverses applications en industries agro-alimentaires et plus particulièrement :

MOET ET CHANDON - LANSON - TAITTINGER - MARNE ET CHAMPAGNE : contrôle de niveau de remplissage, position bouchon...

SEITA : tri de feuilles de tabac sur convoyeur à 160 m/mn.

SICA DU SILO : guidage aspirateur à grains dans camion.

BISCUITERIES NANTAISES : contrôle qualité et dimensionnel des petits beurrés.

BARILLA (Italie) : contrôle qualité et dimensionnel biscottes avant emballage, guidage de robots pour préhension en sortie four continu.

La société ITMI participe actuellement au projet européen ROSAL (en collaboration avec la société MEILLAND et la société PELLENC SA), il s'agit ici de réaliser un robot de greffage de rosiers.

Nom Prénom	: PETE HUISMAN
Fonction	: Directeur Europe
Nom de la compagnie	: KEY TECHNOLOGY
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: Hengelosestraat 705, POB 545 7500 AM ENSCHEDE, PAYS-BAS
Téléphone	: (31) 53 33 53 63
Télécopie	: (31) 53 33 13 15

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL EN LIGNE ET DE LABORATOIRE

Key technology est une société d'origine américaine qui conçoit des systèmes de tri de produits agro-alimentaires. La société propose une gamme de machines adaptées aux problèmes les plus fréquents qui se trouve dans les IAA.

Description :

* Fruits et Légumes : Elimination des corps étrangers et des fruits tachés.

Sur petits fruits et légumes ou produits coupés en morceaux présentés sous forme de flux et accélérés sur une table d'accélération. Elimination des corps étrangers de réflectance différente et des produits tachés.

* Fruits et légumes : guidage robotique

Couplage des systèmes de vision à des couteaux qui enlèvent automatiquement la partie tachée sur des frites.

Nom Prénom	: ROUAUD Charles
Fonction	: Directeur
Nom de la compagnie	: LCI - LE CONTROLE INDUSTRIEL
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 2913
Adresse	: 83 rue des Fauvelles - BP. 141 92406 COURBEVOIE CEDEX
Téléphone	: (1) 43.34.10.99
Télécopie	: (1) 47.68.50.99

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société Le Controle Industriel développe essentiellement des applications de laboratoire, dans les domaines du contrôle de l'épaisseur de produits extrudés, des dimensions de barquettes

surgelées ou du conditionnement de gâteaux secs.

La société propose un système intégré destiné à l'alignement et la mesure en 2D ou 3D, pour les machines de mesures ou les robots de préhension.

Nom Prénom	: ROBIN Jean-Claude
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie	: LHESA ELECTRONIQUE
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2914
Adresse	: BP. 9238, 95077 CERGY PONTOISE CEDEX
Téléphone	: (1) 34.64.20.22
	: (1) 34.64.50.20

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société LHESA développe des applications qui concernent la vision au sens large. Leur laboratoire d'étude est apte à recevoir tous projets (du capteur jusqu'à l'analyse de l'image). Cette société a développé pour le compte de l'INRA de NANTES un système d'analyse de composition des aliments au moyen d'une caméra infra-rouge couplée à un monochromateur.

Nom Prénom	:
Fonction	:
Nom de la compagnie	: LOCTRONIC international LTD
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: Danbury CHELMSFORD CM3 4NH, ESSEX, G-B.
Téléphone	: (19 44) (0) 245 41 21 56
Télécopie	: (19 44) (0) 245 41 31 39

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société LOCOTRONIC est spécialisée dans les machines de tri des produits fruits et légumes, parmi les appareils disponibles on trouve un système permettant le tri par la dimension (pommes de terre, fruits et légumes). On trouve aussi des systèmes permettant le tri aux défauts d'aspect sur des pommes de terre pelées, des frites, des chips...

Nom Prénom	:	
Fonction	:	
Nom de la compagnie	:	LUMETECH
Raison sociale	:	
Code APE	:	
Adresse	:	Strandvejen 50 DK-2900 HELLERUP, COPENHAGEN, DANEMARK
Téléphone	:	(19 45) 31 18 56 00
Télécopie	:	(19 45) 31 18 22 31

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

Cette entreprise danoise propose un robot de découpe du poisson et d'élimination des arêtes, particulièrement original.

En France LUMETECH est représentée par COMEXAL Sallée Baco 44000 NANTES tel : 40892425.

Nom Prénom	:	Jacques LAFRANCE
Fonction	:	Gérant
Nom de la compagnie	:	MATSUSHITA AUTOMATION CONTROLS FRANCE
Raison sociale	:	SARL
Code APE	:	5804
Adresse	:	10 rue des petits ruisseaux, ZAC Nord-Est, BP 44, 91371 VERRIERES LE BUISSON CEDEX
Téléphone	:	(1) 69 20 98 98
Télécopie	:	(1) 69 20 38 97

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société MATSUSHITA AUTOMATION CONTROLS fabrique et commercialise un système de vision intégré destiné au tri par la forme ou plus simplement le contrôle d'objets en mouvement. Ce système industriel peut être utilisé pour le contrôle de conditionnement (habillage et remplissage des bouteilles).

Ce système est destiné aux intégrateurs, ayant une expérience dans l'intégration des capteurs et désireux d'inclure de la vision sur leur système. Sa programmation et son utilisation sont d'un accès facile.

Nom Prénom	: Mr JULLIEN
Fonction	: Directeur Technique
Nom de la compagnie	: MESTROLE
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2913
Adresse	: 4 à 6, rue Hector Berlioz, 76290 MONTIVILLIERS
Téléphone	: 32.79.61.61.
Télécopie	:

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société MESTROLE réalise des études de faisabilité et développe des systèmes de contrôle conformité emballage, comme le contrôle de la conformité des poussoirs (fissures, manques de matière...), reconnaissance de caractères, ou le contrôle de vignettes.

Nom Prénom	: DELEPIERE Marc
Fonction	: Gérant
Nom de la compagnie	: MICRAUDEL
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 2701
Adresse	: 93 rue Adelshoffen 67300 SCHILTIGHEIM
Téléphone	: 88.83.75.76
Télécopie	: 88.81.32.93

APPLICATION DANS LE MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société MICRAUDEL commercialise un système sophistiqué d'interférométrie holographique assisté par ordinateur. Parmi ses applications on peut citer :

- mesure, visualisation et modélisation de micro déplacements, de micro déformations, de défauts de structure, défauts de soudure, de collages, délaminages
- étude de fluides (aérodynamisme)
- étude de vibration
- étude de croissance de cristaux
- etc...

Cette société réalise études et prestations de services.

Nom Prénom	: Jean DELAGE
Fonction	: P.D.G.
Nom de la compagnie	: MICRO CONTROLE
Raison sociale	: SA
Code APE	: 3404
Adresse	: rue Jean Mermoz, PA Saint Guénault, BP. 144 91005 EVRY CEDEX
Téléphone	: (1) 64.97.98.98
Télécopie	: (1) 60.79.45.61

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société MICRO CONTROLE fabrique et commercialise du matériel optique et micro-mécanique. Leur système a été conçu comme une boîte à outils sur lequel on développe des programmes à façon en fonction d'un cahier des charges fourni par le client. Dans le cadre de ses activités elle a réalisé les applications suivantes :

- Granulométrie automatique de grains de semoules
- Mesure de fibres alimentaires (contrôle de pollution).

Leurs applications sont, d'une façon générale, plutôt orientées sur des machines de laboratoire, mais il peut être envisageable de les monter en ligne.

Nom Prénom	: CHANEAC Robert
Fonction	: Gérant
Nom de la compagnie	: MICRONIX
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 5804
Adresse	: 64/70 rue des chantiers 78000 VERSAILLES
Téléphone	: (1) 39.50.70.07
Télécopie	: (1) 30 21 50 92

APPLICATION DANS LE MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : ?

La société MICRONIX représente les sociétés ADAS Electronique, LEUTRON VISION, JANZ computer.

Cette société est spécialisée dans la distribution de produits destinés au monde industriel dans les standards VME et PC.

Nom Prénom	: BRINGER Yves
Fonction	: Ingénieur
Nom de la compagnie : MISIS IMAGE	
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 7701
Adresse	: 10 D rue de la Productique 42000 SAINT ETIENNE
Téléphone	: 77.79.05.27
Télécopie	: 77.74.60.00

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société MISIS IMAGE a réalisé plusieurs applications en vision industrielle, notamment dans le domaine du laboratoire avec une réalisation sur la quantification du pelliculage de graines (image couleur), en granulométrie et en reconnaissance de cellules (reconnaissance de forme). Dans d'autres domaines elle a réalisé un robot de conditionnement (application non alimentaire adaptable au milieu alimentaire), un système de réorientation de balles de tennis pour présenter une face précise à l'impression.

MISIS IMAGE réalise en outre des études de faisabilité à la demande, et parmi elles on peut citer :

- aiguillage des cartons en fonction de leur étiquette ;
- Contrôle de présence de fragments de noyaux dans les fruits écrasés (fabrication de desserts aux fruits par exemple).

Nom Prénom	: SWIERCZYNSKI Casimir
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie : METHODES ET SERVICES	
Raison sociale	:
Code APE	: 7703
Adresse	: 14 rue Soleillet 75020 PARIS
Téléphone	: (1) 43.58.12.21
Télécopie	: (1) 43.58.14.15

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société METHODES ET SERVICES a récupéré les activités Productique de GSD. Parmi les applications développées, on peut citer :

- * Contrôle conformité de conditionnement : habillage des bouteilles
- * Robot de conditionnement : mise en boîte de chocolats.

Nom Prénom	: Danièle PAILLER
Fonction	: Gérant
Nom de la compagnie	: MUTECH
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 2913
Adresse	: 526 Ter, Chemin du Panorama 69300 CALUIRE-ET-CUIRE
Téléphone	: 72.27.04.78
Télécopie	: 78.08.24.63

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société MUTECH a développé un système de contrôle de vide (système breveté), ainsi que des systèmes de contrôle de niveau, d'habillages, de présence...

L'ensemble de ces systèmes travaillent dans des conditions de cadences industrielles.

Nom Prénom	: Gilles RAFFIER
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: NOESIS
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 7703
Adresse	: 13 Avenue Morane Saulnier - Immeuble Nungesser 78140 VELIZY VILLACOUBLAY
Téléphone	: (1) 34.65.08.95
Télécopie	:

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société NOESIS est une société travaillant dans le développement de logiciels de vision multi-plateforme.

Afin de répondre au souhait de ses clients elle réalise des études de faisabilité.

Exemple d'études :

- détection de dépôts graisseux dans des boîtes de conserve.
- détection et mesure de la quantité de graisse dans un saucisson.
- comptage et mesure de grains de riz, haricot pour une société dans l'agro alimentaire.
- étude morphologique de cerneaux de noix.

Nom Prénom	: Christian G. JOLY
Fonction	: Président Directeur Général
Nom de la compagnie	: NUMELEC INSTRUMENTS
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2913
Adresse	: Z.A. de l'Aqueduc - BP. 68 8-10 avenue Georges Pompidou 78690 LES ESSARTS LE ROI
Téléphone	: (1) 30.41.99.78
Télécopie	: (1) 30.41.99.69

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGROALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société NUMELEC est surtout connue pour son matériel de traitement des images satellites. Son matériel est aussi utilisé par les vétérinaires pour le contrôle antipollution nucléaire de la nourriture et des aliments.

Nom Prénom	: Alain COUDERT
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: OMRON Electronics
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 5804
Adresse	: 19 rue du Bois Galon, BP 33, 94121 FONTENAY SOUS BOIS CEDEX
Téléphone	: (1) 48.76.12.12
Télécopie	: (1) 48.76.09.30

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société OMRON plus connue par ses automatismes et ses développements en logique floue a mis sur le marché un système de vision industrielle. Ce matériel est destiné aux intégrateurs. Parmi les applications on peut citer :

La vérification du niveau de liquide dans des bouteilles de champagne, à la vitesse de 2 bouteilles par seconde. La contrôle de l'inclinaison des étiquettes sur des bouteilles classiques (à 3° près), à la vitesse de 3 bouteilles par seconde.

Ce système est destiné aux intégrateurs, ayant une expérience dans l'intégration des capteurs et désireux d'inclure de la vision sur leur système. Sa programmation et son utilisation sont d'un accès facile.

Nom Prénom	: Jacky CHAMPAULT
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie : OPTILAS	
Raison sociale	: SA
Code APE	: 5910
Adresse	: 4 allée du cantal, ZI La Petite Montagne Sud, CE 1834, 91018 EVRY CEDEX
Téléphone	: (1) 60.79.59.00
Télécopie	: (1) 64.97.17.36

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société OPTILAS est spécialisée dans le domaine de l'optique. Elle représente les sociétés DAGE-MTI, DME, KODAK, MERET, UNIVISION.

Les produits distribués par cette société s'adressent avant tout aux intégrateurs et aux fabricants de solutions de vision industrielle.

Nom Prénom	: ROOST Philippe
Fonction	: Directeur Général
Nom de la compagnie : PARINOR	
Raison sociale	:
Code APE	: 5804
Adresse	: 12-19 rue de constantinople 75008 PARIS
Téléphone	: (1) 42.93.55.99
Télécopie	: (1) 42.93.46.10

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société PARINOR est le représentant officiel de la société PANASONIC. A ce titre elle propose toute une gamme de caméras industrielles et un ensemble de solution de vidéo-surveillance.

Nom Prénom	: DARIDON Bruno
Fonction	: Ingénieur
Nom de la compagnie : PROCELL	
Raison sociale	:
Code APE	: 7701
Adresse	: Centre d'entreprise et d'innovation, 6 Allée Pelletier Doisy 54 600 VILLERS LES NANCY
Téléphone	: 83.59.58.44
Télécopie	: 83 44 04 82

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGROALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

La société Procell développe des applications destinées aux laboratoires. On peut citer :

- Caractérisation des émulsions ;
- Détermination de la structure des mousses ;
- Granulométrie des poudres ;
- Structure des produits extrudés ;
- Morphologie des microorganismes

Nom Prénom	: Marc STABILE
Fonction	: Ingénieur Responsable Vision
Nom de la compagnie	: PRODITEC SA.
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7704
Adresse	: Chemin de MARTICOT 33610 CESTAS
Téléphone	: 56.68.59.15
Télécopie	: 56.68.59.01

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société PRODITEC a développé un système de tri pour les haricots verts. Il analyse les critères de formes, longueur, largeur, et les bouts. La cadence de tri est de 200 haricots par seconde. Le système développé utilise une technique de traitement parallèle de l'information.

Le système a été développé avec AGROTEC (AGEN) et FEMIA INDUSTRIE (NANTERRE).

Nom Prénom	: MARIN Eric
Fonction	: Directeur technique
Nom de la compagnie	: FEMIA INDUSTRIE
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2409
Adresse	: 225 à 231 rue de la Garenne - ZI Les Groupes 92000 NANTERRE
Téléphone	: (1) 47.80.86.86
Télécopie	: (1) 47.80.99.98

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO-ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

FEMIA INDUSTRIE développe, en collaboration avec le CRITT AGROTEC D'AGEN (initiateur du projet), la société PRODITEC à CESTAS (conception et réalisation du système de vision) et avec le concours de l'ANVAR, une machine de tri par reconnaissance de formes, destinée aux haricots verts et plus généralement à tout produit de forme allongée.

Le système est composé d'un ensemble mécanique qui assure l'avance, l'orientation et la séparation des produits les uns des autres et d'un système de vision basé sur une caméra linéaire et d'un dispositif de traitement d'images à architecture parallèle. Le tri s'effectue sur des critères de longueur, largeur et forme des extrémités à la cadence de 200 objets/s.

Nom Prénom	: NADJAR Dovy Marc
Fonction	: Ingénieur Technico-commercial
Nom de la compagnie	: QUANTEL MICRO CONSULTANTS
Raison sociale	: SA
Code APE	: 5804
Adresse	: 1 rue Michaël Favaday 78180 MONTIGNY LE BRETONNEUX
Téléphone	: (1) 30.45.37.47
Télécopie	: (1) 30.45.29.20

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO-ALIMENTAIRE : ?

La société fournit du matériel d'acquisition, d'amélioration et d'analyse d'images issues de tout type de capteur : caméra, microscope électronique...

Nom Prénom	: HARTMANN Michel
Fonction	: Responsable Département Contrôle industriel
Nom de la compagnie	: R M P
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2913
Adresse	: 3 et 5 villa Marcès 75011 PARIS
Téléphone	: (1) 47.00.28.00
Télécopie	: (1) 47.00.29.04

La société RMP commercialise les caméras KAPPA, ainsi que le matériel EGG (Stroboscopes).

Nom Prénom	: LEMARQUAND Philippe
Fonction	: Chef de Projet
Nom de la compagnie	: SAGEM
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2911
Adresse	: 6 avenue d'Iéna 75783 PARIS CEDEX 16
Téléphone	: (1) 40.70.63.63
Télécopie	: (1) 47.20.39.46

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL EMBARQUE

La SAGEM a participé, dans le cadre des projets européens MAGALI et CITRUS, à la réalisation du système de localisation des fruits dans un feuillage pour en permettre la cueillette robotisée. Dans d'autres secteurs la SAGEM a développé des systèmes de contrôle par vision des tableaux de bord d'automobiles, un système embarqué de détection de balise et d'obstacle pour véhicule. Ainsi qu'un système de contrôle en 3D par caméra 3D laser.

Nom Prénom	: Georges CORNUEJOLS
Fonction	: PDG
Nom de la compagnie	: SCANERA/FACEL
Raison sociale	: STE CIV
Code APE	: 8301
Adresse	: 1 rue Jean Monnet ZA Cap Alpha 34830 CLAPIERS
Téléphone	: 67 59 46 00
Télécopie	: 67 59 17 12

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société FACEL développe des caméras (12 brevets dont 5 mondiaux détenus par SCANERA qui est une société civile de recherche), et intègre ses propres produits.
La société sur commande réalise des études de faisabilité
La société a développé un prototype l'ESAY CUT SYSTEM 2000 qui est un système automatique de découpe de poulets. Dans le domaine de l'industrie papetière la société a développé un système de contrôle de la pâte à papier (FIBROTRONIC 3000).

Nom Prénom	: DELAGNEAU Dominique
Fonction	: Directeur
Nom de la compagnie	: SECAD
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2815
Adresse	: Le Balmay 01430 MAILLAT
Téléphone	: 74.76.35.45
Télécopie	: 74.76.34.12

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL DE LABORATOIRE

SECAD est surtout un constructeur français de cartes de numérisation et traitement d'images vidéo destinées aux utilisateurs O.E.M. Parmi les applications développées on peut citer le suivi de trajectoires, qui permet de choisir des "CIBLES" qui peuvent aller de la bactérie observée au

microscope jusqu'au rongeur (ou plus gros). Le logiciel permet de saisir et mémoriser automatiquement les trajectoires pour les traiter et en faciliter l'interprétation.

Nom Prénom	: PATTEN Jana
Fonction	: Marketing Coordinator
Nom de la compagnie	: SIMCO RAMIC
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: POB 1666 MEDFORD, OREGON 97 501, USA
Téléphone	: (19 1) (503) 776 9800
Télécopie	: (19 1) (503) 779 4104

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

Cette société américaine, développe et commercialise des machines de tri aux défauts d'aspect pour les petits fruits ou légumes.

Nom Prénom	: WOJCIECHOWSKI Pascal
Fonction	: Responsable Commercial Caméras SONY O.E.M.
Nom de la compagnie	: SONY FRANCE
Raison sociale	: SA
Code APE	: 5804
Adresse	: 15 rue Floréal, BP 34, 75017 PARIS
Téléphone	: (1) 40.87.30.00
Télécopie	: (1) 40.10.94.18

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société SONY dispose d'un département O.E.M. Ce département a comme activité principale la commercialisation pour le marché OEM (produits finis ou semi-finis) d'une gamme de caméras industrielles destinées directement aux intégrateurs et aussi aux fabricants de caméras.

La société propose des caméras complètes noir et blanc ou couleur, ainsi que les éléments ou les modules destinés à la fabrication des caméras.

Nom Prénom	:
Fonction	:
Nom de la compagnie	: SORTEX LIMITED
Raison sociale	:
Code APE	:
Adresse	: Pudding Mill Lanerue Kepler LONDON E15 2PJ, GB
Téléphone	: (19 44) (01) 5190525
Télécopie	: (19 44) (01) 5195614

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

Sortex est un fabricant de systèmes de tri à la couleur et aux défauts d'aspect, notamment sur produits secs (fruits secs, noix, graines...) mais aussi sur petits fruits et légumes frais (haricots, petits pois...)

En France, la société SORTEX est représentée par

PANDCO BP 40 91 302 MASSY Cedex

Tel : (1) 69 30 69 66

Fax : (1) 60 11 98 67

Nom Prénom	: LAUCOURNET Philippe
Fonction	: Production
Nom de la compagnie	: STIM
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2913
Adresse	: Zone artisanale n° 38 34160 CASTRIES
Téléphone	: 67.59.30.98
Télécopie	: 67.70.86.96

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société étudie et réalise des cartes d'imagerie spécifiques sur cahier des charges. Actuellement elle a à son catalogue diverses applications dans le domaine de la sécurité

Nom Prénom	: BARD Claude-Michel
Fonction	: Directeur Commercial
Nom de la compagnie	: STRELA
Raison sociale	: SA
Code APE	: 3405
Adresse	: 9/11 rue Benoit Ralon 92156 SURESNES CEDEX
Téléphone	: (1) 45.06.66.16
Télécopie	: (1) 45.06.45.47

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société commercialise diverses caméras industrielles noir et blanc, couleur, dans divers conditionnements.

Nom Prénom	: JEANNOT Claude
Fonction	: Directeur Régional
Nom de la compagnie	: SYSLOG
Raison sociale	: SA
Code APE	: 7703
Adresse	: NAPA Center Bat A, 3 rue Ariane, Parc technologique du Canal 31 524 RAMONVILLE Cedex
Téléphone	: 61 75 10 10
Télécopie	: 61 75 05 52

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société SYSLOG fournit des applications intégrées. Parmi les applications on trouve :

- * Le contrôle des dimensions et de la forme des produits : pommes de terre tombant en chute libre.
- * Le contrôle de forme et qualité des cookies,
- * Le contrôle de conditionnement : remplissage des bouteilles,
- * Le contrôle d'emballage.

SYSLOG est l'inétegrateur d'EDIXIA pour le Sud de la France.

Nom Prénom	: TUFFIN Georges
Fonction	: Ingénieur
Nom de la compagnie	: TECHMATION
Raison sociale	: SA
Code APE	: 5910
Adresse	: 20 quai de la Marne 75019 PARIS
Téléphone	: (1) 42.00.11.05
Télécopie	: (1) 42.40.37.80

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société a développé un système de découpage automatique de la viande.

Nom Prénom	: ALAIN Arnaud
Fonction	: Responsable VISION
Nom de la compagnie	: TECHNICOME
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2913
Adresse	: ZA de Pissaloup, rue Edouard Branly, 78190 TRAPPES
Téléphone	: (1) 30.69.01.10.
Télécopie	: (1) 30.69.05.96.

APPLICATION DANS LE MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

Les systèmes TECHNICOME bien que développés pour des applications non alimentaires peuvent montrer un intérêt dans ce secteur, dans le domaine du conditionnement : reconnaissance de caractères sur des contenants.

Nom Prénom	: VIGNEAU
Fonction	: Responsable des Ventes
Nom de la compagnie	: THOMSON COMPOSANTS MILITAIRES ET SPATIAUX
Raison sociale	: SA
Code APE	: 2914
Adresse	: 50 rue JP. Timbaud, BP 329, 92402 COURBEVOIE CEDEX
Téléphone	: (1) 49.05.39.21.
Télécopie	: (1) 49.05.39.03

APPLICATION DANS LE MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

THOMSON commercialise des capteurs CCD dans le domaine du visible et des rayons X. Parmi les études de faisabilité qui ont été faites, on peut citer :

* Détection des corps étrangers

- morceaux de verre dans des milieux homogènes ;
- cailloux dans des myrtilles congelées ;
- corps métalliques dans des containers même fermés ;
- fragments d'os ou arêtes de poisson dans des préparations.

* Contrôle du conditionnement :

- contrôle de remplissage dans des containers opaques.

Nom Prénom	: COSNARD Eric
Fonction	: Directeur Technique
Nom de la compagnie	: KREON-VISION 3D
Raison sociale	: SA
Code APE	: 3404
Adresse	: Rue Nicolas Appert, BP 1565, 87022 LIMOGES CEDEX 09
Téléphone	: 55.38.81.55.
Télécopie	: 55.37.60.94.

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : NON

La société KREON (VISION 3D) développe et commercialise un système d'acquisition d'images en 3 dimensions par balayage laser. Parmi les applications possibles on peut citer : numérisation 3D de la viande pour guider ou optimiser la découpe (partie de boeuf, volaille, porc, etc...)

Nom Prénom	: Mr HIPPOLYTE
Fonction	: Directeur Technique
Nom de la compagnie	: VISION & GENIE AUTOMATIQUE
Raison sociale	: SARL
Code APE	: 2913
Adresse	: Rue du Ginèbre ZA, 66600 RIVESALTES
Téléphone	: 68.64.66.13
Télécopie	: 68.64.66.58

APPLICATION DESTINEE AU MILIEU AGRO ALIMENTAIRE : OUI

MATERIEL MONTE EN LIGNE

La société VGA ingenierie développe et commercialise des caméras linéaires spécifiques ainsi que des machines spéciales dans tous les domaines industriels, dont l'industrie agro-alimentaire.

On peut citer comme exemples d'applications :

- Trieuse de bouchons de vin : 18 000 bouchons/h en 8 catégories.
- Appareils de lecture pour la sédimentation du sang.

V. LES ADRESSES UTILES

ACTIVE VISION
DOMAINE D'ARNY BP 16, 91680 BRUYERES
LE CHATEL
TEL (1)60831234
FAX (1)60838822

ADEPT TECHNOLOGY
7 RUE VICTOR HUGO, 92310 SEVRES
TEL (1)45343232
FAX (1)45347616

AGENCOME SA EURESYS
PÉPINIERE OMEGA 8 RUE HERMANN
FRENKEL, 69007 LYON
TEL 78614632
FAX 78614699

ALCATEL TITN ANSWARE
LE TRIDENT 34 AV DU GÉNÉRAL DE
GAULLE, 38100 GRENOBLE
TEL 76224195
FAX 76225334

ALLEN BRADLEY SERVOVISION
36 AV DE L'EUROPE, 78140 VELIZY-
VILLACOUBLAY
TEL (1)30677200
FAX (1)34653233

AMPAL
9 AV DU BOIS DE L'EPINE ZAI, 91031 EVRY
CEDEX
TEL (1)60773437

APPI
80 BIS RUE AMPERE BT 6 ACTIMART,
13851 AIX EN PROVENCE
TEL 42244451
FAX 42397077

APPLICATIONS ET ROBOTS INDUSTRIELS
RUE DU PLESSIS BIARD ZAC DU CANAL,
91000 EVRY
TEL (1)64971439

AUTOMATISME ET CONTROLE
8 RUE RAOULFOLLEREAU BP 18,
38180SEYSSINS

TEL 76968936
FAX 76483422

ARIES
44 BIS FELIX FAURE, 92320 CHATILLON
TEL (1)46574171
FAX (1)46566939

AVELEM
LA BILLARDIERE, 36190 GARGILESSÉ
TEL 54478672
FAX 54477799
AXODE
20 SQUARE MONTSOURIS, 75014 PARIS
TEL (1)45805826
FAX (1)45805819

BERTIN
59 RUE PIERRE CURIE ZI DES GATINES
BP 03, 78373 PLAISIR CEDEX
TEL (1)34818500
FAX (1)30540414

BIOCOM
24 AVENUE DE LA BALTIQUE ZA DE
COURTABOEUF BP 53, 91942 LES ULIS
CEDEX
TEL (1)64462760
FAX (1)69829518

B.R.D.I
ZA LES BARONNES BP9, 34730 PRADES LE
LEZ
TEL 67595600
FAX 67595502

BYTECH SA
RUE DU CADUCEE BP 4144 PARC
EUROMEDECINE, 34091 MONTPELLIER
CEDEX 5
TEL 67141670
FAX 67141677

CENTRALP
21 RUE MARCEL PAGNOL, 69200
VENISSIEUX
TEL 78759230
FAX ???

CERSA
PARC EXPOTBAT VILLA 17 PLAN DE
CAMPAGNE, 13480 CABRIES
TEL 42026044
FAX 42027979

CHROMA SA
20 AV ROBERT SCHUMAN, 13002
MARSEILLE
TEL 91560972
FAX 91560741
CONTROL IMAGE
40 RUE JEAN JAURES LES MERCURIALES,
93170 BAGNOLET
TEL (1)43622486
FAX (1)43622850

CIME AGRO
87 RUE JEAN PERRIN - ZONE
INDUSTRIELLE, 13763 AIX LES MILLES
TEL 42244391
FAX 42397119

COMEXAL INDUSTRIE
LES GRANDES DURANDIERES, 44710 PORT
ST PIERRE
TEL 40048181
FAX 40048188

COMPUTER RECOGNITION SYSTEM
11 ORION PARK DRIVE AYER, MA 01432
USA
TEL (19 1) 5087723991
FAX (19 1) 5087725748

COURBON
2 RUE HECTOR BERLIOTZ BP 32??, 42015
SAINT ETIENNE CEDEX 2
TEL 77574931
FAX 77574931

DEMAUREX
TECNOPARC GESSIEN, 01630 SIANT DENIS
TEL 50420319
FAX ???

DICOM
LE MINI PARC BAT 9 6 AV DES ANDES ZA
DE COURTABOEUF, 91952 LES ULIS
TEL (1)64460711.FAX (1)69287971

DIGITAL DESIGN
ZA ORSAY COURTABOEUF 17 AV DE LA
NORVEGE, 91953 LES ULLIS CEDEX

TEL (1)69077877
FAX (1)69282151

DIGITAL VISION
14 AV CLEMENT ADER ZI EST BP 43, 31770
COLOMIERS CEDEX
TEL 61302121
FAX 61785089

ECRIN AUTOMATIQUE
6 AV DES ANDES ZA COURTABOEUF BP
315, 91958 LES ULIS
TEL (1)69071884
FAX ???

EDIXIA
ZART DES PERRIERES, 35770 VERN SUR
SEICHE
TEL 99628611
FAX 99627238

EEV FRANCE
2 RUE HENRI BERGSON, 92600 ASNIERES
TEL (1)40805524
FAX(1)47331131

EIA
BUROSPACE BAT 2 BIS ROUTE DE GIZY,
91571 BRIEVES CEDEX
TEL (1)69413770
FAX (1)69413324

ELBICON
INDUSTRIETERREIN NIEUWLAND, B-3220
AARSCHOT
TEL (19 32)016560611
FAX (19 32)016565965

ELSAG
122 RUE MARCEL HARTMANN, 94200 IVRY
SUR SEINE
TEL (1)46704100
FAX (1)46709485

ELTEC INTERNATIONAL
1 ALLEE DES GARRAYS, 91120 PALAISEAU
TEL 64471877
FAX ???

EMR
185 AVENUE DE CHOISY, 75013 PARIS
TEL (1)45841221
FAX ???

ESI-INTELLEDEX VISION
51 RUE DE L'UNIVERSITE, 93191 NOISY LE
GRAND
TEL (1)43058585
FAX (1)43045208

EURESYS
PIR DU SART TILMAN 14 AV DU PRE AILY,
B-4031 ANGLEUR
TEL (19 32) 41677288
FAX (19 32) 41677466

EUROPIXELS
BT 9 BP 9.01 PARC DU MILLENAIRE 1025
RUE HENRI BECQUEREL, 34036
MONTPELLIER
TEL 67643000
FAX 67222925

ETNI
114 RUE HÉNON, 69004 LYON
TEL : 78280443
FAX : 78293405

EXAVISION
100 CH DU MAS DE CHEYLON, 30900
NIMES
TEL 66296101
FAX 66292470

FACTORY SYSTEMES
55 RUE DE L'UNIVERSITE, 93191 NOISY LE
GRAND CEDEX
TEL (1) 43053939
FAX (1)43051417

GARCZYNSKI ET TRAPLOIR
ZIN RUE THOMAS EDISON 37X, 72040 LE
MANS CEDEX
TEL 43777658
FAX 43777806

GESPAC
ZONE INDUSTRIELLE LES PLAYES
83500 LA SEYNE SUR MER
TEL 94303434
FAX 94873552

HAMAMASTU FRANCE
ZONE ORLYTECH 3 ALLÉE DU CDT
MOUCHOTTE, 91781 WISSOUS CEDEX
TEL (1)49755680
FAX (1)49755687

I2S
239 RUE DU JARDIN PUBLIC BP 76, 33041
BORDEAUX
TEL 56291003
FAX 56431430

I2V (INSPECTION INDUSTRIELLE VIDEO)
164 BOULEVARD GAMBETTA, 95110
SANNOIS
TEL (1)39988090
FAX (1)39811355

ICAP
ZONE ASTEC 15 AVENUE DES MARTYRS
85X, 38041 GRENOBLE CEDEX
TEL 76885198
FAX???

IMAGE TECHNOLOGIE
ZAC DE PICHAURY DOMAINE DE ST
HILAIRE 13855 AIX EN PROVENCE CEDEX
TEL 42243824
FAX 42243305

IMASYS
68 RUE CARNOT 92120 SURESNES
TEL (1)46978257
FAX (1)40991188

INSPECTRONIC
53 RUE CASIMIR PREMIER, 96870 BEZONS
TEL (1)32233000
FAX (1)34233150

INTER-COMPOSANTS
ZI DES CHAMPS ROUNDS 127 RUE DE PARIS,
91300 MASSY
TEL (1)69320164
FAX (1)69320355

ITMI
CHEMIN DES PRES ZIRST BP 87, 38243
MEYLAN CEDEX
TEL 76903381
FAX 76418441

IRIS
ZI ST MAURICE BP 221, 04102 MANOSQUE
CEDEX
TEL ???
FAX ???

KEY TECHNOLOGY
HENGELOSESTRAAT 705 POBOX 545, 7500

AM ENSCHEDE
TEL (19 31)53335363
FAX (19 31)53331315

LE CONTROLE INDUSTRIEL
83 RUE DES FAUVELLES BP 141, 92406
COURBEVOIE CEDEX
TEL (1)43341099
FAX (1)47685099

LHESA ELECTRONIQUE
BP 7072, 95052 CERGY PONTOISE CEDEX
TEL (1)34642022
FAX (1)34645020

LOCOTRONIC
DANBURY CHELMSFORD CM3 4NH, ESSEX
GB
TEL (19 44) 245412156
FAX (19 44) 245413139

LUMETECH
STRANDVEJEN 50, DK-2900 HELLERUP
COPENHAGEN
TEL (19 45) 31185600
FAX (19 45)
31182231

MATSUSHITA AUTOMATION CONTROLS
FRANCE
10 RUE DES PETITS RUISSEAUX BP 44,
91371 VERRIERES LE BUISSON CEDEX
TEL (1)69209898
FAX (1)69203897

METHODES ET SERVICES
14 RUE SOLEILLET 75020 PARIS
TEL (1)43581221
FAX (1)43581415

MESTROLE
ROUTE DE HOC, 76600 LE HAVRE
TEL 35533434
FAX ???

MICRAUDEL
93 RUE ADELSHOFFEN
67300 SCHILTIGHEIM
TEL 88837576
FAX 88813293

MICRO CONTROLE - DIVISION NACHET
11 RUE J. MERMOZ PARC D'ACTIVITES ST
GUENAUT, 91006 EVRY CEDEX

TEL (1)60779092
FAX (1)64979638

MICRONIX
64/70 RUE DES CHANTIERS,
78000 VERSAILLES
TEL (1)39507007
FAX (1)30215092

MISIS IMAGE
10 RUE DE LA PRODUCTIQUE,
42000 ST ETIENNE
TEL 77730527
FAX 77798229

MUTEC
526 TER CHEMIN DU PANORAMA,
69300 CALUIRE
TEL 72270478
FAX ???

NOESIS
CENTRE D'AFFAIRES DE JOUY 5 BIS RUE
DU PETIT ROBINSON, 78350 JOUY EN
JOSAS
TEL (1)34650895
FAX (1)34659914

NUMELEC INSTRUMENTS
ZA DE L'AQUEDUC BP 68 8-10 RUE
GEORGES POMPIDOU, 78690 LES ESSARTS
LE ROI
TEL (1)30419978
FAX 30419969

OMRON
19 RUE DU BOIS GALON, 94120 FONTENAY
SOUS BOIS
TEL : (1)48761212
FAX : (1)48760930

OPTILAS
4 ALLEE DU CANTAL, 91018 EVRY
TEL (1)69795900
FAX (1)60869633

PARINOR
12 RUE DE CONSTANTINOPLE,
75008 PARIS
TEL (1)42935599
FAX (1)42934610

PROCEL
CENTRE D'ENTREPRISES ET

D'INNOVATION 6 ALLEE PELLETIER
DOISY, 54600 VILLIERS LES NANCY
TEL 83595844
FAX 83440482

PRODITEC SA
ZI MARTICOT, 33610 CESTAS
TEL 56685915
FAX 56685901

FEMIA INDUSTRIE
225 RUE DE LA GARENNE BP 811,
92008 NANTERRE
TEL 47808686
FAX 47809998

QUANTEL MICRO CONSULTANTS
1 RUE MICHAEL FARADAY,
78180 MONTIGNY LE BRETONNEUX
TEL (1)30453747
FAX (1)30452920

RMP
3/5 IMPASSE MARCES, 75011 PARIS
TEL (1)47002800
FAX (1)47002904

SAGEM
1 RUE LOUIS MEUNIER BP 125,
92000 NATERRE CEDEX
TEL (1)42912020
FAX ???

SCANERA/FACEL
ZAE CAP ALPHA 1 RUE MONNET,
34830 CLAPIERS
TEL 67594600
FAX 67591714

SECAD
LE BALMAY VIEU D'IZENAVE,
01430 MAILLAT
TEL 74757375
FAX 74757701

SIMCO RAMIC
POBOX 1666 MEDFORD, OREGON 97501
USA
TEL (19 1) 5037769800
FAX (19 1)5037794104

SONY DPT OEM
15 RUE FLOREAL, 75017 PARIS

TEL (1)40873000
FAX (1)40109418

SORTEX
PUDDING MILL LANERUE KEPLER
LONDON E15 2PJ GB
TEL (19 44)01 5190525
FAX (19 44)01 5195614

STRELA
BP745, 92053 PARIS LA DEFENSE
TEL (1)46923534
FAX (1)46923525

STIM
ZA N° 38, 34160 CASTRIE
TEL 67708711
FAX ???

SYSLOG
3 RUE ARIANE PARC TECHNO DU CANAL,
31524 RAMONVILLE CEDEX
TEL 61751010
FAX 61750552

TECHNICOME SA
ZI DE PASSELOUP RUE ETIENNE BRANLY,
78190 TRAPPES
TEL (1)30690101
FAX (1)30690596

TECHMATION
20 QUAI DE LA MARNE BP 28, 75297 PARIS
CEDEX
TEL (1)42001105
FAX (1)42403780

THOMSON-BCS TMS
50 RUE JP TIMBAUD BP 330, 92402
COURBEVOIE
TEL (1)49053921
FAX (1)49053903

VISION 3D-KREON
RUE NICOLAS APPERT BP 5565
87022 LIMOGES CEDEX 09
TEL 55388155
FAX 55376094

V.G.A INGENIERIE
RUE DU GINEBRE ZA, 66600 RIVESALTES
TEL 68646613
FAX 68646658

VI. BIBLIOGRAPHIE

AN INTRODUCTION TO DIGITAL IMAGE PROCESSING

Auteur : W. NIBLACK Editeur : PRENTICE HALL ISBN : 0-13-480674-3

DE L'IMAGE A LA DECISION

Auteur : JG POSTAIRE Editeur : DUNOD ISBN 2-04-016504-5

DIGITAL IMAGE PROCESSING

Auteurs : R C.GONZALES P.Wintz Editeur : ADDISON WESLEY

DIGITAL IMAGE PROCESSING : CONCEPTS, ALGORITHMS AND SCIENTIFIC Applications

Auteur : BERND JÄHNE Editeur : SPINGER-VERLAG ISBN 3-540-53782-1

IMAGE ANALYSIS AND MATHEMATICAL MORPHOLOGY

Auteur : J.SERRA Editeur : Academic press

INTERACTIVE COMPUTER GRAPHICS

Auteurs : P. BURGER D.GILlies Editeur : ADDISSON-WESLEY ISBN 0-201-17439-1

L'OFFRE ET LE MARCHE DE LA VISIONIQUE : ETAT ET PERSPECTIVES (LIVRE BLANC)

BIPE 122 av charles de gaulle 92522 neuilly sur seine tel : (1)46404700

LA PERCEPTION VISUELLE

Editeur : POUR LA SCIENCE diffusion BELIN ISBN 2-9029 18-32-1

LA RECONNAISSANCE DES FORMES PAR ALGORITHMES

Auteur : JC SIMON Editeur : MASSON ISBN 2-225-80194-0

LE TRAITEMENT D'IMAGE SUR MICRO-ORDINATEUR

Auteur : JJ TOUMAZET EDITEUR : SYBEX ISBN 2-7361-0291-6

LES MACHINES DE VISION EN PRODUCTIQUE

Auteurs : C.LAURGEAU M.PARENT Editeur : ETA ISBN : 2-905784-00-8

PRECIS D'ANALYSE D'IMAGES

Auteurs : M.COSTER JL CHERMANT Editeur : CNRS IBSN : 2-222-03686-0

ROBOT VISION

Auteurs : B : KLAUS P.HOM Editeur : MIT ISBN : 0-262-08159-8

TECHNIQUES DE L'INGENIEUR - SYSTEMES DE TELEVISION

Auteur : LOUIS GOUSSOT EDITEUR : 21 RUE CASSETTE 75006 PARIS

COURS DE TELEVISION MODERNE

Auteurs : R. BRESSON EDITEUR : Editions Radio ISBN 2-7091-0839-9

VII. LES AUTRES REFERENCES A LIRE

International MAP (Machine Vision Artificial Intelligence Pattern Processing) directory. L.J Numley & Associates 6584 Bayberry Street Agoura, CA 91301 USA

VISION EXPERT, la lettre de la vision et de l'identification industrielles. A JOUR 11 rue du Marché St honoré 75001 PARIS

THE PHOTONETICS DESIGN & APPLICATIONS HANDBOOK, Laurin Publication

VISION - LE GUIDE DE L'UTILISATEUR 1990, AXES COMMUNICATION 29 rue violet 75015 PARIS

AXES ROBOTIQUES, AXES COMMUNICATION 29 rue violet 75015 PARIS

ADVANCED IMAGING,PTN Publishing Co., 445 Broad Hollow Road Malville N.Y 11747 USA

VIII. GLOSSAIRE

ADC	Analog Digital Converter terme anglais pour CAN
ADDITIF	La couleur est obtenue par le mélange de couleur de base, le mélange de Rouge, de Vert et de Bleu dans une certaine proportion donne la couleur blanche.
ALIASING	Effet d'escalier apparaissant lors du dessin d'une droite sur l'écran.
ALU	Arithmetic Logic Unit, il s'agit d'un circuit intégré destiné à effectuer de manière cablée des opérations de calcul élémentaire, addition, soustraction, multiplication et division. Ce type de composant est de moins en moins utilisé, au profit des DSP. On notera toutefois que l'on retrouve ce composant à l'intérieur des microprocesseurs.
ANTI-ALIASING	Procédé logiciel ou matériel permettant d'estomper d'aliasing.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange, il s'agit du code le plus communément utilisé dans les ordinateurs pour représenter le jeu de caractères alphabétique et numérique.
BALANCE DES BLANCS	Action permettant un mélange des couleurs de base afin d'obtenir un blanc équilibré.
BALANCE DES COULEURS	Action permettant un mélange des couleurs de base afin d'obtenir une couleur particulière.
BINAIRE	Chiffre représenté en base 2
BINARISATION	Procédé permettant d'obtenir pour chaque point image un équivalent binaire. Ce procédé est généralement utilisé pour transformer une image en niveaux de gris en une image ne contenant que deux nuances, un point image sera alors allumé (blanc) ou éteint (noir).
BIT	Partie élémentaire binaire 0 ou 1
BLANKING	Le signal de blanking est une composante du signal vidéo qui est utilisé par les moniteurs de télévision pour permettre au spot qui arrive en fin de ligne image de revenir au début de la prochaine ligne sans que cela puisse se voir à l'oeil. Certains cartes de calcul utilisent ce laps de temps pour faire des calculs.
BLOOMING	Phénomène de débordement des charges, se matérialisant par une tache fortement lumineuse bavant sur les cellules voisines.
BRIGHTNESS	Terme anglais pour BRILLANCE
BRILLANCE	(BRIGHTNESS en Anglais) Représente l'intensité de la lumière réfléchie ou émise. Dans le modèle HIS la brillance est assimilée à l'Intensité.

BUS	Liaison physique permettant l'interconnexion de cartes électroniques.
BUS EISA	Bus des compatibles PC de deuxième génération. Sa vitesse de transfert peut aller jusqu'à 30Mhz et permet le multi-processeur. Ce bus permet l'usage des anciennes cartes du BUS ISA. Ce bus est la réponse de certains fabricants au BUS PS/2, il est toutefois peu utilisé à l'exception du matériel haut de gamme.
BUS ISA	Bus des compatibles PC, sa vitesse de transfert est limitée à 8Mhz et ne permet pas le multiprocesseur.
BUS PS/2	Nouveau bus équipant les nouveaux ordinateurs IBM, ce bus permet des transferts pouvant aller à 30Mhz et autorise le multi-process.
BYTE	Terme anglais pour OCTET
CNA	Convertisseur numérique analogique : Composant électronique permettant de convertir une série de valeurs numériques discrètes en un signal analogique, ici en signal vidéo.
CCD	Charge Coupled Device, Capacité à transfert de charges.
CCIR	Comité Consultatif International de Radiodiffusion, nom générique utilisé souvent pour se référer au standard de télévision Européen.
CCTV	Closed Circuit Television, Circuit fermé de télévision. Cette abréviation est en rapport avec le matériel de vidéo utilisé pour les systèmes de vision industriels, notamment les caméras.
CI	Abréviation de Circuit Intégré
CID	Charge Injection Device, capteur MOS dont chaque point est accessible directement, par son adresse.
CISC	Complex Instruction-Set Computers, technologie basée sur l'utilisation de micro programmes intégrés au sein du micro processeur. L'utilisateur dispose d'un grand nombre d'instructions de base.
CAN	Convertisseur analogique numérique : Composant électronique permettant de convertir un signal analogique, ici un signal vidéo en une série de valeurs numériques discrètes appelées pixels.
COMPATIBLE PC	Se dit d'un ordinateur compatible avec le standard de fait défini par IBM pour ses propres ordinateurs personnels.
COMPOSITE	Voir vidéo composite
CONTRASTE	Différence entre l'intensité de la brillance et les parties sombres d'une image.
CONVOLUEUR	Circuit intégré permettant d'effectuer en temps réel une convolution.

CONVOLUTION	Opérateur mathématique permettant de modifier la valeur d'un point image en fonction de ses voisins immédiats.
CRS	Computer Recognition System, se traduit littéralement en système de reconnaissance.
CRT	Abbréviation anglaise pour Cathode Ray Tube, en français Tube Cathodique.
CTD	Charge Transfert Device
DAC	Digital Analog Converter terme anglais pour CNA
DIAPHRAGME	Système mécanique permettant de contrôler la quantité de lumière rentrant dans l'objectif. Dépend de la focale de l'objectif.
DIGITAL	Voir Numérique
DIGITALISEUR	Système permettant de digitaliser ou numériser une image.
DIGITALISATION	S'emploi souvent à la place de NUMERISATION. L'origine de ce terme provient de la représentation en DIGIT des chiffres informatiques.
DOS	Disk Operating System. Ce terme générique est aujourd'hui associé principalement au système d'exploitation développé par la société MICROSOFT. Ce mot appartient aujourd'hui au monde du PC.
DSP	Digital Signal Processor. Il s'agit d'un composant destiné à effectuer du traitement de signal. A l'origine conçu pour effectuer des filtrages pour les Télécommunications, ce composant est maintenant fortement apprécié en analyse d'images pour sa puissance de calcul.
ESPACE ADRESSABLE	Définit généralement la mémoire image accessible dans l'ordinateur.
FRAME BUFFER	Terme anglais pour Mémoire de trames
GENLOCK	Synchronisation de signaux vidéos entre eux.
GRAY LEVEL	Terme anglais pour Niveau de gris
HARD ou HARDWARE	Terme anglais utilisé communément pour définir la partie matériel d'un ordinateur (carte électronique, disque dur...)
HIS	Hue, Intensity, Saturation ou Teinte Intensité Saturation. Généralement utilisé pour définir une transformation colorimétrique.
HISTOGRAMME	Graphe représentant le nombre d'occurrence d'un ensemble de valeurs.
IC	Veut dire en anglais Integred Circuit, soit en français circuit intégré.

IRIS AUTOMATIQUE	Système généralement électro-mécanique permettant d'obtenir un niveau de lumière constant au travers de l'objectif. Lorsqu'il n'est pas automatique on utilise plus souvent le terme de diaphragme.
LOOK UP TABLE	Terme anglais pour table de conversion (LUT)
MEMOIRE DE TRAMES	Zone en deux dimensions de la mémoire qui stocke une image. Chaque ligne de l'image correspond à une ligne de la mémoire.
MEMOIRE IMAGE	Employée dans le même sens que mémoire de trames
MONOCHROME	Se dit d'une image en noir et blanc.
MONTURE-C	Standard de monture des objectifs vidéos. Bague de 1" de diamètre comprenant 32 ergots par inch.
MULTIPLEXEUR	Système électronique servant d'aiguillage de plusieurs signaux d'entrée vers une sortie. On trouve généralement un tel système sur l'étage d'entrée d'une carte de numérisation, il est alors possible de connecter plusieurs caméras mais seulement une d'entre elles sera active à un instant donné.
NIVEAU DE GRIS	Valeur numérique correspondant au résultat de la numérisation du signal analogique vidéo pour un point de l'image. Généralement un point noir aura la valeur 0 et un point blanc la valeur 255 (numérisation sur 8 bits).
NUMERIQUE	Se dit d'une image lorsque chacun de ses points est quantifiés par une valeur numérique.
NUMERISATION	Opération consistant à transformer la valeur analogique d'un point image en chiffre.
OCTET	8 bits
OEM	Original Equipment Manufacturer, société achetant des sous ensembles pour constituer un produit fini.
OUVERTURE	Définit l'espace permettant de laisser passer la lumière à travers l'objectif.
PC	Personal Computer, ou ordinateur personnel. Sigle d'origine IBM associé à sa gamme d'ordinateurs personnels.
PICTURE ELEMENT	Voir PIXEL
PIXEL	Terme anglais pour POINT IMAGE
POINT IMAGE	Le plus petit élément constituant l'image numérique. La valeur de ce point sera stockée dans une adresse mémoire unique dans la mémoire image.
PROFONDEUR DE CHAMP	Distance dans laquelle l'image peut être considérée comme nette.

PUCE	Terme utilisé pour nommer un composant électronique complexe (circuit intégré).
RAM VIDEO	Terme anglais se référant à une mémoire (RAM Random Access Memory) spécialement conçue pour les problèmes de vidéo. cette mémoire est en général à double accès permettant ainsi un accès pour le signal vidéo et un accès pour le système informatique. Ce type de technologie permet d'éviter des conflits d'accès à la mémoire image pendant le traitement et la visualisation (parasites sur l'image).
RESOLUTION DE L'IMAGE	Nombre de points verticaux ou horizontaux définissant l'image numérique.
RESOLUTION DE LA CAMERA	Définit la capacité de séparation de lignes ou de points séparés entre eux suivant une norme précise. Ce pouvoir séparateur dépend de l'objectif de la caméra et du capteur utilisé, le moins bon des deux donnant le résultat.
RGB	Terme anglais pour RVB
RISC	Reduced Instruction-Set Computers, technologie ne faisant pas appel aux micro-programmes comme dans le CISC, engendrant ainsi un très faible nombre d'instructions de base. Le programmeur devra lui-même réaliser les instructions complexes qu'il souhaite utiliser.
RS 170	Norme US pour la vidéo surveillance, voir la partie sur les standards vidéo.
RVB couleur.	Composantes Rouge Verte et Bleu d'un signal vidéo
SCANNER	Voir digitaliseur.
SEUIL	Voir seuillage.
SEUILLAGE	Opération consistant à définir une ou plusieurs plages de niveaux de gris aux quels ont associera une nouvelle valeur unique.
SIGNAL VIDEO	Signal électrique analogique généré par la caméra.
SMEARING	Ou trainage Vertical. Il s'agit de l'apparition de lignes verticales du haut en bas de l'image. Ce défaut est du à l'insolation des cellules durant leur transfert. Ce défaut est maintenant bien maîtrisé et n'existe pratiquement plus.
SOFT ou SOFTWARE	Terme anglais utilisé communément pour définir le logiciel.
SOUSTRACTIF	Se dit du système d'obtention des couleurs par l'absorbition ou suppression de certaines couleurs du spectre, l'oeil est basé sur ce principe.
TABLE DE CONVERSION	Table de conversion des données présentent en entrée de la table. Les données servent d'adresses dans la table et le contenu adressé remplace en sortie la donné initiale.

TEMPS REEL Ce terme ne trouve sa vraie signification que lorsqu'il est placé dans son contexte. En imagerie il fait référence à la fréquence d'apparitions des images vidéos. Cette vitesse est légèrement différente suivant les standards Ex : le standard RS170 (US) correspond à 30 images par seconde, le standard CCIR à 25 images par seconde. Il est très important de ne pas confondre la notion de temps réel qu'à un automatique, un gestionnaire ou industriel. Cela peut se référer à des notions temporelles très différentes, de la minute à la milliseconde.

TRANSPUTER Processeur à architecture RISC incluant 4 liaisons série à haut débit. Ce processeur permet de développer des applications multi-processeurs de manière simple.

VIDEO COMPOSITE Signal vidéo codé contenant l'information image ainsi que divers signaux de synchronisation.

VLSI Very Large Scale Integration, technologie permettant l'intégration plusieurs milliers voire millions de transistors dans la même puce.

VME Standard de cartes électroniques utilisant un bus propriétaire. Ces cartes sont conçues pour un environnement industriel et des applications haut de gamme. Le standard est à l'origine une initiative du constructeur MOTOROLA.

Y/C En français Luminance/Chrominance. Remplace avantageusement le signal de vidéo composite couleur, diminue le traitement nécessaire à l'extraction des composantes RVB, donc augmente la qualité du signal numérisable. Ce signal ne pas existance en vidéo noir et blanc.

Ce type de prise devient un standard de fait, de part son adoption pour le marché grand public en S-VHS et Hi8.

PREMIERE PARTIE : LES SYSTEMES DE VISION DANS L'AGRO-INDUSTRIE

I. SYSTEMES DE VISION ET INDUSTRIE	8
A. Qu'est ce qu'une machine de vision	9
B. Le marché aujourd'hui	12
1. Structure du marché & Etude socio-économique	13
2. Les raisons de cette évolution	13
3. Perspectives du marché	14
4. La croissance	15
C. La vision industrielle dans le monde agro-Industriel	17
II. LES APPLICATIONS DANS LES INDUSTRIES AGRICOLES ET ALIMENTAIRES	20
A. Objets non biologiques	22
1. Contrôle de la conformité des emballages	22
2. Contrôle de la conformité du conditionnement pour liquides	27
3. Contrôle de la conformité du conditionnement des solides	30
4. Robot de conditionnement.	33
5. Dépalettisation/ Déstockage	34
B. Objets biologiques	36
1. En laboratoire	36
2. Sur les lignes I.A.A.	39

DEUXIEME PARTIE : DE LA SCENE A L'IMAGE : TECHNOLOGIE D'UN SYSTEME DE VISION

I. PERCEVOIR LA SCENE	55
A. La lumière	55
B. La perception humaine	56
C. La perception par le capteur	59
II. CAPTEUR D'IMAGES	61
A. Généralités	62
B. Les capteurs de vision 2D	65
1. Capteurs à tubes	67
2. Capteurs solides	69
a) Les CCD	69

b) LES CID	72
C. Les capteurs de vision 3D	73
D. La géométrie des capteurs	74
III. DU CAPTEUR A L'IMAGE	80
A. Le signal issu du capteur: codage	81
1. Le signal vidéo	81
2. Les standards	82
B. Du signal à l'ordinateur: La formation de l'image	85
1. L'échantillonnage spatial	86
2. La quantification	88
3. Le volume de l'information	90
IV. QUELLE ELECTRONIQUE POUR L'IMAGE	92
A. Le convertisseur Analogique Numérique (CAN)	92
B. Les tables de conversions d'entrée	93
C. La mémoire d'image	95
D. Les tables de conversions de sortie	98
E. Le convertisseur de sortie ou CNA (OPTIONNEL)	99
F. La logique de contrôle	100
G. Les composants particuliers	102

TROISIEME PARTIE :

DE L'IMAGE A SON EXPLOITATION

I LE PRE-TRAITEMENT DES IMAGES D'ORIGINE	106
A. L'amélioration des images par la modification de l'échelle des niveaux de gris	106
1. Correction des niveaux de gris (correction radiométrique)	108
2. La standardisation par histogramme (histogram stretching)	109
3. L'égalisation d'histogramme (histogram equalization)	110
4. La linéarisation d'histogramme (histogram linéarization)	111
5. Opérations ponctuelles (point operations)	111
B. Eliminer les parasites et accentuer les contrastes	114
1. L'atténuation du bruit	115
a) Le moyennage entre images successives	115
b) Le lissage (smoothing); Introduction aux opérations sur masque (Convolution).	115
c) Les convolutions non linéaires: l'opérateur médian	116
d) Les filtres passe-bas	117
2. L'intensification des arêtes ou contours	118
a) Différenciation spatiale	118
b) Filtres passe-haut	120

II. REDUCTION D'INFORMATIONS : LA SEGMENTATION	121
A. Segmentation par seuillage sur les niveaux de gris	121
1. Le profil	121
2. Le seuillage de l'image	122
B. Segmentation par la couleur	124
1. La segmentation tri-chromatique RGB	125
2. La segmentation HIS	126
3. Le changement de coordonnées (R,G,B) en (H,I,S)	127
C. Segmentation de l'image par analyse de texture	129
1. La texture	130
a) Les textures désordonnées	130
b) Les textures ordonnées	130
2. Caractérisation : Les approches mathématiques	131
a) Spectre d'Energie de Fourier	131
b) Les inter-dépendances	132
c) Les longueurs de lignes à niveau de gris constant	134
III. LA DESCRIPTION DES OBJETS DANS L'IMAGE	137
A. Améliorer l'image à segmenter : la morphologie mathématique	137
1. L'érosion	139
2. La dilatation	139
3. La squelettisation	140
B. Les outils de description des objets	140
1. Description du contour	140
a) Codage	140
b) Le périmètre	142
c) La signature polaire	142
d) Autres signatures	143
e) La pente des tangentes	144
f) La courbure	145
2. Les descripteurs de Fourier	146
3. Les descripteurs de surface	146
a) La surface	146
b) La compacité	148
c) Le coefficient d'élongation	148
d) Les moments caractéristiques	149
IV. RECONNAISSANCE DES OBJETS DANS L'IMAGE	152
A. L'adéquation à une forme gabarit (TEMPLATE MATCHING)	153
B. L'identification par transformée de HOUGH	155
1. Méthode de HOUGH pour la détection d'une droite	156
2. Reconnaissance d'une droite	157
3. Méthode algorithmique	157
4. Généralisation à d'autres figures	158

C. La reconnaissance par l'application d'une fonction de décision	158
1. Définition du vecteurs d'attributs	158
2. Définition de la fonction de décision	158
3. Fonction de décision bi-dimensionnelle	160
4. Fonction de décision à n dimensions	163
D. Règle de vraisemblance : décision basée sur une probabilité d'appartenance	164
1. Les limites de la fonction de décision	164
2. La démarche statistique	164
3. Méthodes statistiques pour les images	165
4. Application de la méthode de BAYES	166
V. RECONNAISSANCE DES FORMES ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	168
A. Les systèmes à base de connaissance ou systèmes experts	168
1. Description d'un système expert	168
2. Comment développer un système expert	169
B. Les systèmes neuro-mimétiques	170
1. Fonction et étalonnage d'un réseau de neurones	170
2. Structure d'un réseau de neurones	170
3. Comment développer un réseau de neurones	171

QUATRIEME PARTIE : DE LA THEORIE A LA PRATIQUE : LA MISE EN OEUVRE D'UN SYSTEME DE VISION

I. GENERALITES	174
A. Une technique multi-disciplinaire	174
B. Les différents types de vision industrielle	175
1. Méthode off line	175
2. Méthode on line	175
II. ETUDES PRELIMINAIRES A L'IMPLANTATION D'UN SYSTEME DE VISION INDUSTRIELLE	177
A. Analyse du problème	178
1. Méthodologie d'analyse	179
2. Rédaction du cahier des charges	181
B. Analyse de faisabilité	182
III. LE MATERIEL DE VISION	184
A. Les critères de sélection	184
B. L'éclairage de la scène	186
1. Techniques d'éclairage	186
2. Conseils de mise en oeuvre	190
C. Les choix optiques	194

1. Filtres Optiques	194
2. Les objectifs	196
D. Le choix des caméras	197
E. Le choix du système d'acquisition:	199
F. Le choix du logiciel	201

CINQUIEME PARTIE PARTIE : ANNEXES

I. LES OPTIQUES DE CAMERAS	204
A. Calcul des objectifs	204
B. Calcul de la profondeur de champ	206
II. REDACTION DU CAHIER DES CHARGES	208
III. LES SYSTEMES DE REPRESENTATION COLORIMETRIQUE	214
A. Le système RGB	214
B. Le système CIE	214
C. Le système L-a-b	217
IV. L'OFFRE FRANCAISE	218
V. LES ADRESSES UTILES	260
VI. BIBLIOGRAPHIE	266
VII. LES AUTRES REFERENCES A LIRE	267
VIII. GLOSSAIRE	268

Depuis près de 10 ans, le CEMAGREF de MONTPELLIER pratique et étudie le traitement d'images en étroite collaboration avec le monde industriel.

C'est ce **savoir-faire** que les auteurs souhaitent faire partager avec cet ouvrage.

Les exigences croissantes des consommateurs en matière de qualité, et le besoin de produire mieux et moins cher conduisent tout naturellement les industriels à **améliorer leur outil de production**. La VISION ARTIFICIELLE est un instrument extraordinaire qui permet de remplacer les contrôles visuels par **une nouvelle génération de contrôles automatiques**.

L'objectif de ce livre **pratique et abordable** est de permettre au lecteur d'appréhender les différents problèmes liés à l'usage de ce nouvel outil. Il traite notamment des techniques d'éclairage, des caméras, des unités de numérisation, et de la théorie du traitement d'image.

Regroupant en un seul ouvrage un grand nombre d'informations techniques jusqu'alors difficiles à obtenir, il donne **tous les éléments nécessaires** à une intégration raisonnée d'une machine de vision industrielle (méthode de choix, cahier des charges...).

Pour faciliter la mise en œuvre de cette technologie, les auteurs font le point sur l'offre du marché français et fournissent une liste complète des sociétés travaillant dans ce domaine et ayant traité des applications agro-industrielles.

Véritable guide d'utilisation, ce livre est destiné aux décideurs, intégrateurs, étudiants et à tous ceux qui s'intéressent à l'exploitation de la vision artificielle non seulement **dans l'industrie agro-alimentaire, mais également dans les autres industries**.

2-85362-305-X

