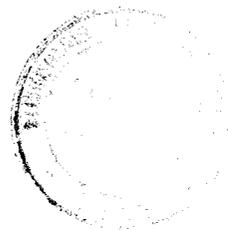


50376  
1994  
219

GEN 20-102-406

50376  
1994  
219

N° d'ordre :



# THESE

*présentée à*

**L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE**

*Pour l'obtention du titre de*

## DOCTEUR

*en Productique : Automatique et Informatique Industrielle*

*par*

**Ruodan ZHANG**

**DETECTION DES IMPURETES DANS UN FLOT DE PARTICULES TRANSPARENTES EN MOUVEMENT CONTINU : CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME CABLE TEMPS-REEL POUR LE TRI OPTIQUE AUTOMATIQUE DU VERRE EN VUE DU RECYCLAGE**

*Soutenue le 16 Juin 1994 devant la commission d'examen :*

*MM.*

<i>P. VIDAL</i>	<i>Président</i>	<i>Professeur à l'U.S.T.L.</i>
<i>H. EMPTOZ</i>	<i>Rapporteur</i>	<i>Professeur de l'I.N.S.A. de Lyon</i>
<i>P.L. WENDEL</i>	<i>Rapporteur</i>	<i>Professeur à l'E.N.S.P. de Strasbourg</i>
<i>J.G. POSTAIRE</i>	<i>Directeur de thèse</i>	<i>Professeur à l'U.S.T.L.</i>
<i>B. de BETTIGNIES</i>	<i>Examineur</i>	<i>Professeur, Directeur de I.U.T.A. de Lille</i>
<i>T. OUGIER</i>	<i>Invité</i>	<i>Responsable M.S.C de BSN Emballage</i>
<i>G. PERIE</i>	<i>Invité</i>	<i>Directeur de REMEX</i>

## REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au Centre d'Automatique de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, en collaboration avec la société de BSN Emballage.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur le Professeur P. VIDAL, Directeur du Centre d'Automatique de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire et me faire l'honneur de présider ce jury.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à Monsieur J.G. POSTAIRE, Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille pour ses précieux conseils, ses constants encouragements, sa grande disponibilité, son soutien permanent tout au long de mes études en France.

Je remercie sincèrement Monsieur H. EMPTOZ, Professeur à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à mon travail en acceptant de participer à mon jury.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à Monsieur P.L. WENDEL, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg pour m'avoir fait l'honneur de juger mon travail.

Je remercie vivement Professeur B. de BETTIGNIES, Directeur de l'I.U.T. "A" de Lille, pour l'intérêt qu'il porte à cette étude en acceptant de participer à mon jury et sa contribution vitale dans la création de l'équipe de vision industrielle.

Que Monsieur T. OUGIER, Responsable du département Machines et Systèmes de Contrôle de BSN Emballage et Monsieur G. PERIE, Directeur de REMEX, trouvent ici l'expression de toute ma gratitude pour leur participation au Jury de Thèse.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un contrat entre les sociétés PROVER de Wingles, BSN Emballage et l'Université des Sciences et Technologies de Lille. Je tiens à remercier Monsieur P.M. PIALAT, Directeur Technique de BSN Emballage, pour la confiance qu'il nous a témoignée durant toute cette étude.

La participation de Monsieur G. CORMAN, Spécialiste du Contrôle de Qualité chez BSN Emballage, a été de la plus grande importance. Ses conseils et sa grande expérience dans les contrôles de l'industrie du verre ont été pour moi une aide inestimable. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

D'autre part, ce travail n'aurait pas abouti sans le concours et la participation des membres de l'équipe "Image et Décision" du Centre d'Automatique de Lille et sans l'appui et le soutien logistique du Département Génie Mécanique et Productique de l'IUT "A" de Lille. Je remercie notamment Messieurs F. CABESTAING, J.L. BRUYELLE, L. DUVIEUBOURG et E. CZESNALOWICZ, pour leur présence amicale et l'aide qu'ils m'ont apporté.

Je suis reconnaissant au Conseil Régional du Nord-Pas-de-Calais pour la contribution qu'il a apportée à ce travail en équipant l'IUT "A" en matériels de vision industrielle dans le cadre du Pôle de Productique Régional.

Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui ont permis la réalisation de ce mémoire, et tout particulièrement ma femme pour son soutien moral tout au long de mes recherches ainsi que toute ma famille.

## **TABLE DES MATIERES**

## **CHAPITRE I : LE RECYCLAGE DU VERRE**

1. LE CONTEXTE ECONOMIQUE .....	1
2. DE LA COLLECTE DU VERRE USAGE AU GROISIL .....	2
2.1. La collecte du groisil brut .....	2
2.2. Le transport .....	3
2.3. Définition de la qualité du verre brut .....	3
3. TRAITEMENT DU GROISIL .....	7
3.1. Installation traditionnelle .....	7
3.2. Le contrôle de la granulométrie .....	9
3.3. Tri manuel .....	9
3.4. Séparation des métaux ferreux .....	12
3.5. Soufflage et aspiration .....	12
3.6. Lavage .....	12
4. L'AUTOMATISATION DU TRI DU VERRE .....	14
5. TRI DU VERRE PAR VISION LINEAIRE .....	15

## **CHAPITRE II : ANALYSE OPTIQUE DES VERRES D'EMBALLAGE**

1. INTRODUCTION .....	17
2. PROPRIETES OPTIQUES DES VERRES D'EMBALLAGE .....	18
2.1. Transmission de la lumière .....	18
2.2. Analyse des caractéristiques des verres d'emballage .....	20
2.3. Transparence du verre .....	27
3. CONCLUSION .....	31

## CHAPITRE III : LE SYSTEME DE TRI AUTOMATIQUE

1. INTRODUCTION .....	33
2. LES FONCTIONS D'UN SYSTEME DE TRI AUTOMATIQUE .....	33
2.1. Les conditions de tri .....	33
2.2. Définition du système de tri automatique .....	34
3. LA CAMERA LINEAIRE .....	36
3.1. Acquisition d'une image par une caméra linéaire .....	36
3.2. Transformation optique d'une image ligne .....	36
3.3. Discrétisation spatiale d'une image ligne .....	38
3.4. Quantification d'une image ligne .....	39
3.5. Séquencement temporel des images lignes .....	39
3.6. Résolution des pixels .....	41
3.7. Sensibilité à la lumière .....	41
3.7.1. Sensibilité de la caméra en fonction de la couleur .....	41
3.7.2. Sensibilité au contraste .....	42
4. LE SYSTEME D'ECLAIRAGE .....	44
4.1. Définition du spectre de fréquence de la source .....	44
4.2. Eclairage direct ou diffus .....	44
4.2.1. Analyse du trajet des rayons lumineux .....	44
4.2.2. Nécessité d'un éclairage diffus .....	46
4.3. Réalisation du dispositif d'éclairage .....	47
4.4. Intégration du système d'éclairage .....	48
5. LE DISPOSITIF D'EJECTION .....	51

5.1. Localisation des objets détectés .....	52
5.2. Choix et définition du système d'éjection .....	55
6. CONCLUSION .....	56

## **CHAPITRE IV : IDENTIFICATION DES IMPURETES PAR ANALYSE DES IMAGES LIGNES**

1. INTRODUCTION .....	57
2. SEGMENTATION DES OBJETS SOMBRES PAR SEUILLAGE .....	58
3. ANALYSE DES IMAGES LIGNES SEGMENTEES .....	61
3.1. Opacité moyenne .....	62
3.2. Opacité en fonction de la taille des segments .....	64
3.3. Stratégie de détection .....	66
4. ANALYSE DES IMAGES LIGNES SUCCESSIVES .....	68
4.1. Comparaison des images lignes successives .....	69
4.2. Choix du nombre de lignes .....	71
5. CONCLUSION .....	71

## **CHAPITRE V : CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME CABLE POUR LE TRI AUTOMATIQUE DU VERRE**

1. INTRODUCTION .....	73
2. ARCHITECTURE SPECIFIQUE .....	74
2.1. Cahier des charges .....	74
2.1.1. Interface caméra - machine .....	74
2.1.2. Traitement temps réel .....	75

2.1.3. Autonomie .....	75
2.1.4. Réglage du système .....	75
2.1.5. Interface utilisateur .....	76
2.2. Décomposition de la procédure de traitement en opérateurs simples .....	76
2.2.1. Parallélisme fonctionnel .....	77
2.2.2. Parallélisme spatial .....	77
2.3. Application à la procédure du traitement pour le tri automatique .....	78
3. REALISATION DU SYSTEME DE TRI AUTOMATIQUE .....	81
3.1. Unité de commande .....	82
3.1.1. Signal de commande (TI) .....	82
3.1.2. Horloge - Ligne (HL) .....	82
3.1.3. Horloge - Pixels (HP) .....	83
3.1.4. Horloge de Lecture d'Image (HLI) .....	83
3.2. Unité d'analyse de 3 images lignes successives .....	84
3.3. Unité d'identification de corps opaques .....	85
3.3.1. Détermination de la longueur des éléments .....	86
3.3.2. Seuillage adapté .....	86
3.4. Unité d'adressage du dispositif d'éjection .....	87
3.5. Unité de commande de marteaux d'éjection .....	88
3.6. Unité de test .....	88
3.7. Unité d'affichage de l'image .....	89
3.8. Unité de commutation entre le calculateur central et les systèmes de tri automatique .....	89
4. CONCLUSION .....	90

## **CHAPITRE VI : INSTALLATION INDUSTRIELLE**

1. INTRODUCTION .....	91
2. INTEGRATION DES SYSTEMES DE TRI AUTOMATIQUE CHEZ PROVER .....	91
2.1. L'installation PROVER .....	91
2.2. Les conditions de tri .....	96
2.3. La procédure d'analyse statistique de la qualité du verre traité .....	97
2.4. Le tri optique .....	99
3. LE RECYCLAGE DU VERRE EN ALLEMAGNE .....	103
3.1. Centre de traitement chez WIEGAND GLAS .....	104
3.2. Qualité du verre traité .....	107
4. CONCLUSION .....	108

## **CHAPITRE VII : CONCLUSION**

1. INTRODUCTION .....	109
2. SEGMENTATION DES OBJETS SOMBRES SUR UN FOND NON UNIFORME PAR FILTRAGE MORPHOLOGIQUE .....	110
2.1. Opérations morphologiques de base .....	112
2.1.1. Erosion et dilatation en niveaux de gris .....	113
2.1.2. Ouverture et fermeture .....	115
2.2. Application à l'extraction des zones sombres .....	116
3. AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES DES IMAGES LIGNES .....	119
3.1. Rank Order Filtrer .....	121
3.2. Filtrage morphologique adapté .....	122

4. CONCLUSION .....	128
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>131</b>
<b>ANNEXE 1 .....</b>	<b>141</b>
<b>ANNEXE 2 .....</b>	<b>148</b>
<b>ANNEXE 3 .....</b>	<b>152</b>
<b>ANNEXE 4 .....</b>	<b>157</b>
<b>ANNEXE 5 .....</b>	<b>161</b>
<b>ANNEXE 6 .....</b>	<b>165</b>

## **CHAPITRE I**

### **LE RECYCLAGE DU VERRE**

## 1. LE CONTEXTE ECONOMIQUE

Le recyclage des déchets, tant ménagers qu'industriels, constitue un enjeu important pour notre société. Le verre, à lui seul, représente environ 6% des déchets produits par l'activité humaine [Bsn87, Bsn91a]. Or, les lois visant à la protection de l'environnement ne tenteront qu'à augmenter cette proportion, le verre étant, à l'encontre des matières plastiques, totalement recyclable. Déjà l'Allemagne, la Hollande et la Suisse ont mis en place une politique visant à limiter l'utilisation des emballages alimentaires en P.V.C. non recyclable. Des Sociétés comme les Eaux d'Evian conditionnent aujourd'hui une partie de leur production dans des bouteilles en verre pour conserver certains marchés européens.

Bien que le verre soit théoriquement intégralement recyclable, sans aucune détérioration de ses propriétés, ce qui en fait un matériau d'emballage idéal, on ne retraits en France qu'un million de tonnes par an, qui ne représentent qu'environ 50% du verre rejeté. Ce recyclage présente pourtant un intérêt écologique indéniable en limitant la pollution de notre environnement par des déchets non biodégradables. D'autre part, les produits verriers incorporant du verre recyclé reviennent moins cher que ceux obtenus à partir de produits neufs. Le verre recyclé peut remplacer des matières premières. De plus, il permet d'économiser de l'énergie. On admet que par ajout de 10% de verre récupéré, on arrive à économiser entre 1.5 et 2.6% de l'énergie nécessaire pour fondre le verre. Autrement dit, on peut économiser entre 22 et 40 kg de fuel par tonne de verre refondu [Bsn91a].

Le climat politique et les divers intérêts économiques ont amené une évolution rapide du recyclage du verre pendant les 10 dernières années (Cf. fig. 1.1). A partir du premier contrat de recyclage signé entre l'industrie verrière et les pouvoirs publics en 1979, nous sommes arrivés à récupérer une bouteille sur quatre en 1984, une sur trois en 1988 et une sur deux en 1992 [Bsn91a, San91]. Aujourd'hui tous les facteurs semblent réunis pour que les déchets verriers soient totalement recyclés. C'est pourquoi les verriers et les traiteurs de verre qui, de la collecte des déchets à la fourniture du verre propre prêt à être recyclé, tentent d'améliorer leur productivité et la qualité de leur produit, investissent parfois lourdement dans ce secteur porteur.

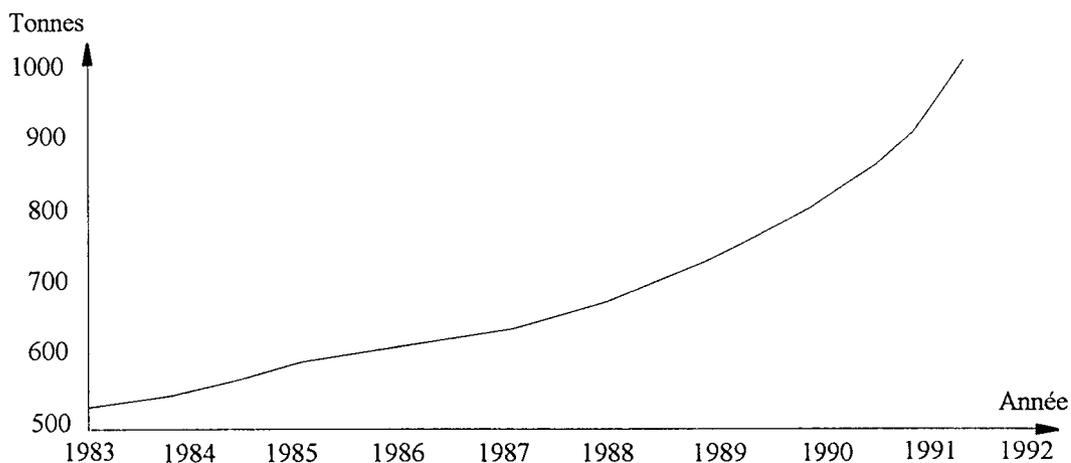


Figure 1.1 Evolution de la quantité de verre recyclé (source C.S.V.M.F.)

C'est dans ce contexte autant politique qu'économique, que la Société PROVER, spécialisée dans la préparation du verre de récupération en vue de son recyclage, et la Société B.S.N. Emballage, grande consommatrice de verre pour la fabrication de bouteilles et de flacons, se sont adressées aux chercheurs de l'Université des Sciences et Technologies de Lille pour améliorer la qualité du groisil, c'est à dire du verre recyclé, tel qu'il est fourni aux fondeurs.

## 2. DE LA COLLECTE DU VERRE USAGE AU GROISIL

Malgré des nombreux avantages qu'il présente, le groisil a deux inconvénients majeurs à cause des impuretés qu'il contient.

### 1). Il diminue la durée de vie de fours verriers

- à cause des impuretés métalliques qui accélèrent la corrosion de la sole des fours.
- à cause des céramiques qui nécessitent une surchauffe des fours pour les faire fondre.

2). Il génère des défauts, essentiellement des grains, qui vont occasionner des rejets de bouteilles au niveau des machines de tri et des risques de réclamations pour les bouteilles avec grains qui n'auraient pas été éliminées à la verrerie.

### 2.1. La collecte du groisil brut

Afin de pouvoir être utilisé par les fabricants de produits verriers, le verre de récupération est collecté auprès des communes, collectivités locales et des industriels désirant se débarrasser de leurs déchets.

De nombreuses campagnes de sensibilisation ont poussé les communes à collecter le verre ménager usagé auprès de leurs habitants. Aujourd'hui 17.000 communes de France participent au recyclage, 32.000 conteneurs sont à la disposition du public, 35.000.000 de français ont le "réflexe verre". Cependant, par manque de conscience et de connaissance on trouve, dans les conteneurs destinés à cette collecte, en plus du verre, des métaux ferreux et non ferreux (capsules, bouchons, papier d'aluminium, etc...), des matériaux plastiques (récipients en PVC, PET, etc...) et des corps très difficilement fusibles (cailloux, graviers, porcelaines, etc...). Ces éléments constituent la première source de pollution du groisil qui devra être débarrassé de ces impuretés pour être apte à être refondu.

## **2.2. Le transport**

Des camions acheminent le verre de récupération industriel et le verre ménager vers les usines de traitement. Ce transport est souvent une nouvelle source de pollution du verre. En particulier, l'utilisation de tractopelles à chenilles pour la manutention du verre sur des aires de stockage non cimentées explique la présence de cailloux et de pierres dans le verre livré chez les traiteurs. Le tableau 1.1 présente une analyse comparative de la qualité du verre brut collecté par différentes méthodes de ramassage [Bsn91a].

## **2.3. Définition de la qualité du verre brut**

De nombreuses normes de qualité du verre traité [Bsn91b, Csv90] sont établies pour réglementer les relations entre les verreries et les traiteurs du verre (Cf. tab. 1.2). Ces normes deviennent de plus en plus sévères à cause d'une augmentation rapide de la proportion de groisil introduite dans les fours verriers (Cf. fig. 1.2). Les objectifs de recyclage du verre en 1993 et 1994 sont de 1.6 MT/an. Des études indiquent qu'il faudrait obtenir un niveau d'impureté de moins de 100 ppm (<100 g/T) pour des productions de 1.3 MT/an. Pour atteindre ce niveau de la qualité, des actions devraient être menées sur:

Méthode de collecte	Evolution des méthodes	Granulométrie groisil brut			Quantité brut d'infusible (ppm)		
		< 10 mm	10 à 40 mm	> 40 mm	< 10 mm	10 à 40 mm	> 40 mm
Porte à porte	en diminution	5 à 20 %	70 %	10 à 20 %	100	1000 à 3000	1000 à 2000
Casse	en disparition	5 à 20 %	60 à 70 %	10 à 20 %	100	1000 à 3000	1000 à 2000
Containers + dépôts interm.	en baisse	5 à 10 %	60 %	30 %	50 à 100	500 à 2500	500 à 2000
Containers livrés directement	en hausse	2 à 5 %	45 %	50 %	< 50	100 à 1500	500 à 2000
TRISELEC (Selection au moment de la collecte)	démarrage	6 à 25 %	80 %	10 %	500 à 1000	1000 à 3000	1000 à 2000

Tableau 1.1 Qualité du verre récupéré par différentes méthodes

Verriers	Pays	Matériaux organiques ( ppm )	Minéraux infusibles ( ppm )	Particules magnétiques ( ppm )	Particules non magnétiques ( ppm )
Vetropack	CH	500	100	100	100
Nienburger glass	D	60 à 200	60	2	5
Oberland glass	D	500	80	1	20
Gerresheim glass	D	100	60	5	20
Ruhr glass	D	500	100	0	15
Stölzle Kristall	D	500	100	100	100
CSVMF	F	500	150	10	150
BSN Emballage	F	500	100	0	100
United glass	GB	2000	20	50	20 à 50
Vetri	I	500 à 1000	50 à 200	20 à 40	20 à 40
United glassworks	N	500	200	0	50
PLM Euroglass	S	5 à 400	20	5	0 à 20

Tableau 1.2 Normes de qualité du verre traité

- 1) La collecte du groisil brut,
- 2) Le traitement du verre.

Pour faciliter son traitement ultérieur, le verre collecté doit correspondre à la définition du verre ménager (Cf. tab. 1.3) et devrait répondre aux spécifications définies dans le tableau 1.4.

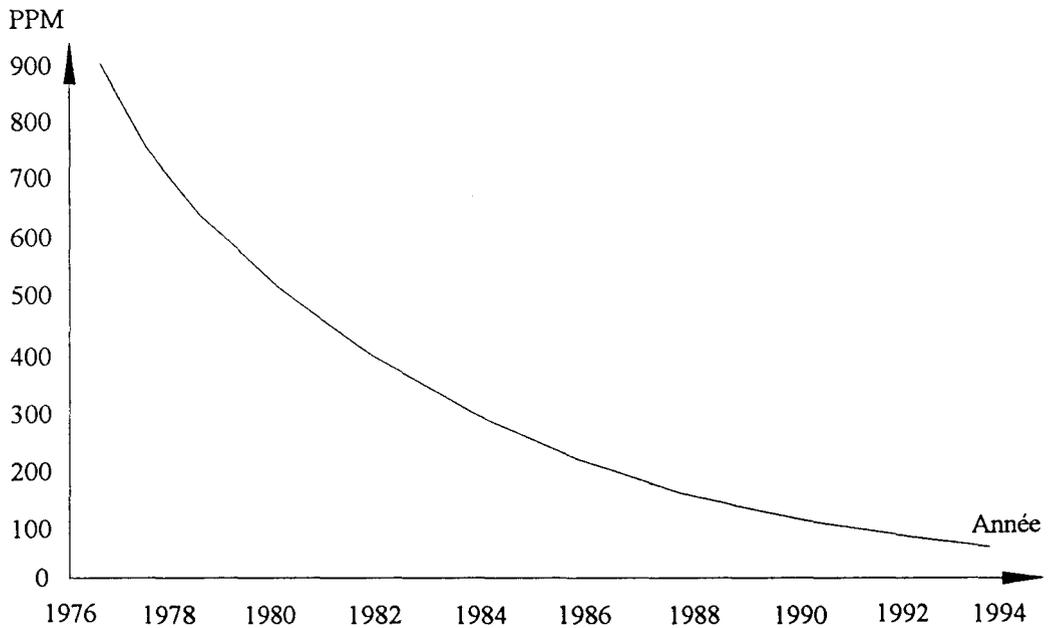


Figure 1.2 Evolution des exigences de pureté du verre traité

Verre d'emballage: bouteilles, bocaux, flacons, pots, vaisselle en verre, verre opaline.	oui
Verre spéciaux: verre armés, pare-bris, écrans de télévision, ampoules lampes cristal, vitrocéramiques, toute verrerie médicale.	non

Tableau 1.3 Définition du verre ménager

Granulométrie du verre	<10 mm		>40 mm
	<10 %		>40 %
Impuretés totales dans verres ménagers	<2 %		
Matériaux infusibles	<10 mm	10 à 40 mm	>40 mm
	100 g/t	1000 g/t	3900 g/t
Total	<5000 g/t		
Gravillon <6 mm	0		
Présence anormale d'impuretés	Non		

Tableau 1.4 Spécification du verre brut

### 3. TRAITEMENT DU GROISIL

Depuis dix ans, les installations de traitement du verre ont beaucoup évolué, passant du traitement artisanal, totalement manuel, à un traitement de type industriel, en partie automatisé [Duo86, Mab87, Man84, Hec89], .

#### 3.1. Installation traditionnelle

Un plan d'une installation traditionnelle simple avec triage manuel est présenté figure 1.3. Cette installation est constituée:

- 1). d'une entrée où une trémie assure l'alimentation en verre de l'installation,
- 2). d'un système de convoyage pour transporter le verre vers différents postes de traitement,
- 3). d'un tri magnétique pour éliminer les métaux ferreux,
- 4). d'un système de soufflage pour éliminer les gravillons,

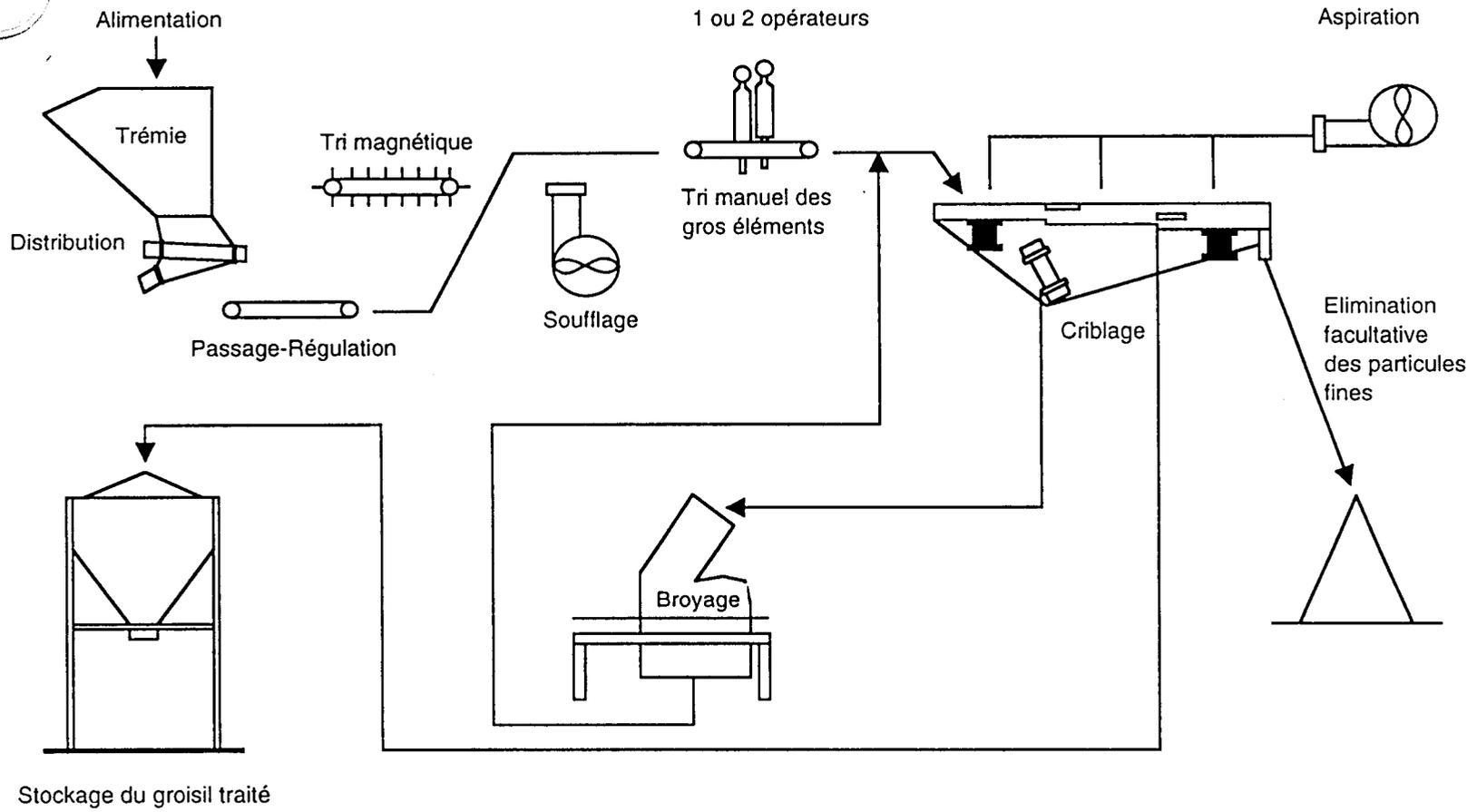


Figure 1.3 Installation traditionnelle simple avec un seul tri manuel

- 5). d'un poste de tri manuel, assuré par un ou deux trieurs, pour éliminer tous les corps étrangers restants,
- 6). d'un système d'aspiration pour enlever les objets légers,
- 7). d'un dispositif de criblage pour sélectionner les dimensions des morceaux de verre,
- 8). d'un système de broyage pour amener les gros morceaux de verre à la taille désirée.

Le verre traité est séparé en verre fin et en verre de plus forte granulométrie. Les résultats présentés dans le tableau 1.5 montrent qu'une installation peut à peine assurer 60% de l'efficacité souhaitée pour le tri [Pro89].

Une amélioration peut être apportée en ajoutant un deuxième poste de tri manuel, assuré par trois autres trieurs, après le criblage (Cf. fig. 1.4). Les résultats atteignent alors environ 80% de l'efficacité recherchée.

### **3.2. Le contrôle de la granulométrie**

Pour être facilement refondu, le verre récupéré doit être enfourné sous la forme de petits morceaux ayant une granulométrie parfaitement contrôlée. Le verre brut est broyé, puis criblé, généralement en trois granulométries différentes. La plage de granulométrie la plus utilisée s'étend de 6 mm à 40 mm, c'est à dire que les morceaux doivent passer à travers un trou de 40 mm de diamètre, mais il ne doit pas rester de morceaux pouvant passer à travers un trou de 6 mm de diamètre.

### **3.3. Tri manuel**

Dans les installations traditionnelles, le verre est trié en continu, sur des bandes transporteuses, par des opérateurs humains. Il s'agit d'éliminer au maximum les éléments étrangers, c'est à dire non en verre. Ce tri manuel est parfois opéré à l'entrée du verre brut dans l'installation, parfois après le broyage et le tri granulométrique. Un double tri manuel, intervenant en même temps aux deux niveaux précités, permet d'affiner la qualité du groisil.

Qualité en entrée (ppm)	Débit T/H	Qualité en sortie (ppm) Installation traditionnelle			Qualité en sortie (ppm) Installation améliorée		
		Très cassée	Normale	Peu cassée	Très cassée	Normale	Peu cassée
750	15	468	375	318	225	163	126
1000	15	625	500	425	303	218	170
1500	15	937	750	637	456	327	255
2000	15	1250	1000	850	608	439	340
2500	15	1562	1250	1062	761	548	425
5000	15	3125	2500	2125	1524	1098	856
10000	15	6250	5000	4250	3051	2199	1714

Tableau 1.5 Résultats du traitement par les installations traditionnelles

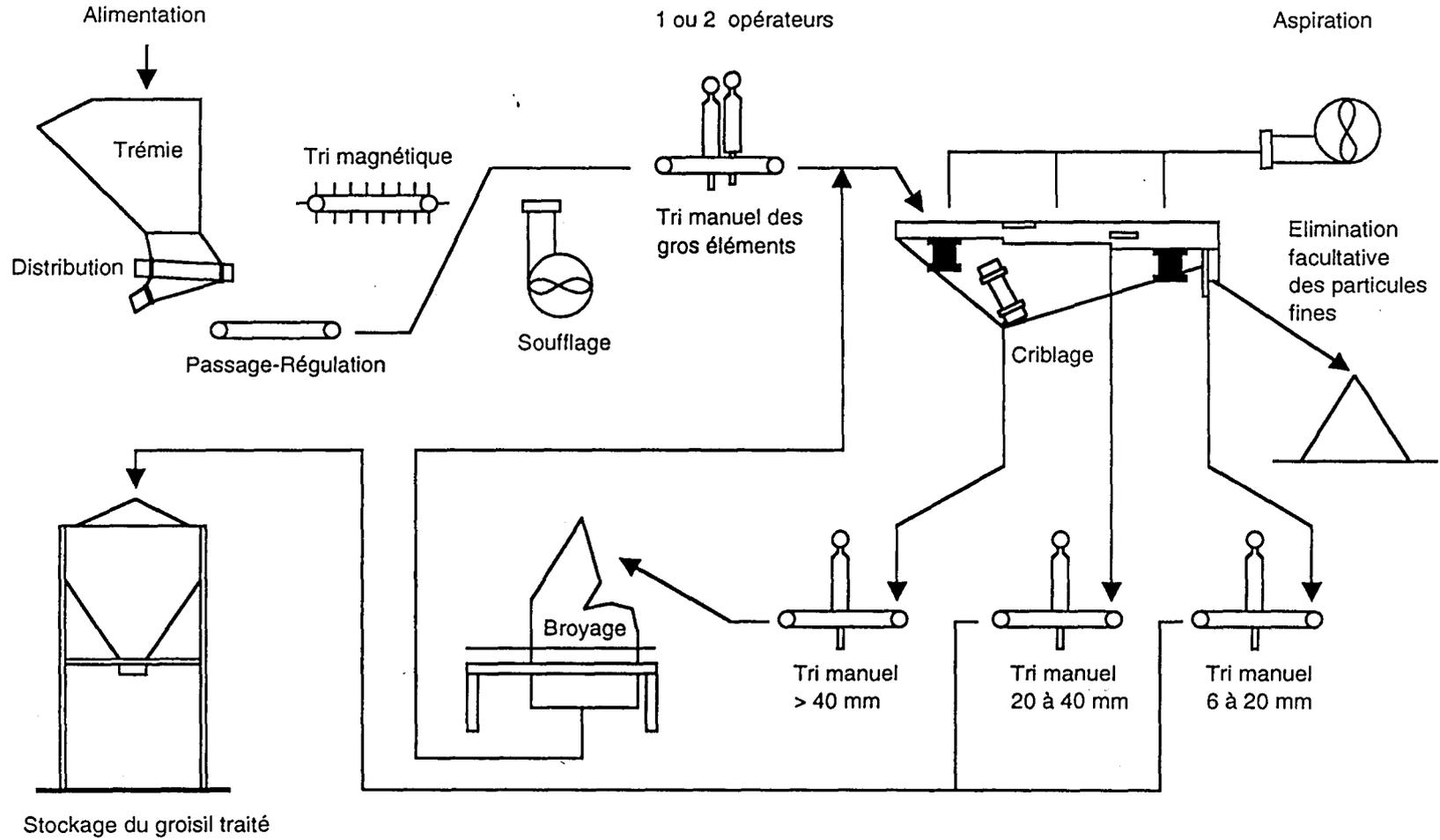


Figure 1.4 Installation traditionnelle améliorée

### **3.4. Séparation des métaux ferreux**

Un dispositif électromagnétique permet d'éliminer tous les métaux ferreux du flux de verre, avec une parfaite fiabilité. Par contre, les métaux non ferreux, avec lesquels on réalise certains bouchons, les collerettes et les emballages, ne peuvent être évacués par ce procédé.

### **3.5. Soufflage et aspiration**

La terre et les objets légers, notamment les papiers, les bouteilles et les bouchons en matière plastique, les collerettes en aluminium, etc..., sont éliminés par ces dispositifs. En revanche, il est difficile de se débarrasser des papiers collés sur le verre, des feuilles d'aluminium et des objets légers mais de forte densité.

### **3.6. Lavage**

Une phase de lavage est parfois nécessaire pour éliminer les étiquettes, les bouchons de liège, les matières plastiques, tous les corps de faible densité ainsi que les boues et le sable. Ce procédé est parfaitement intégré dans les installations modernes (Cf. fig. 1.5) [Hub85, Key86]

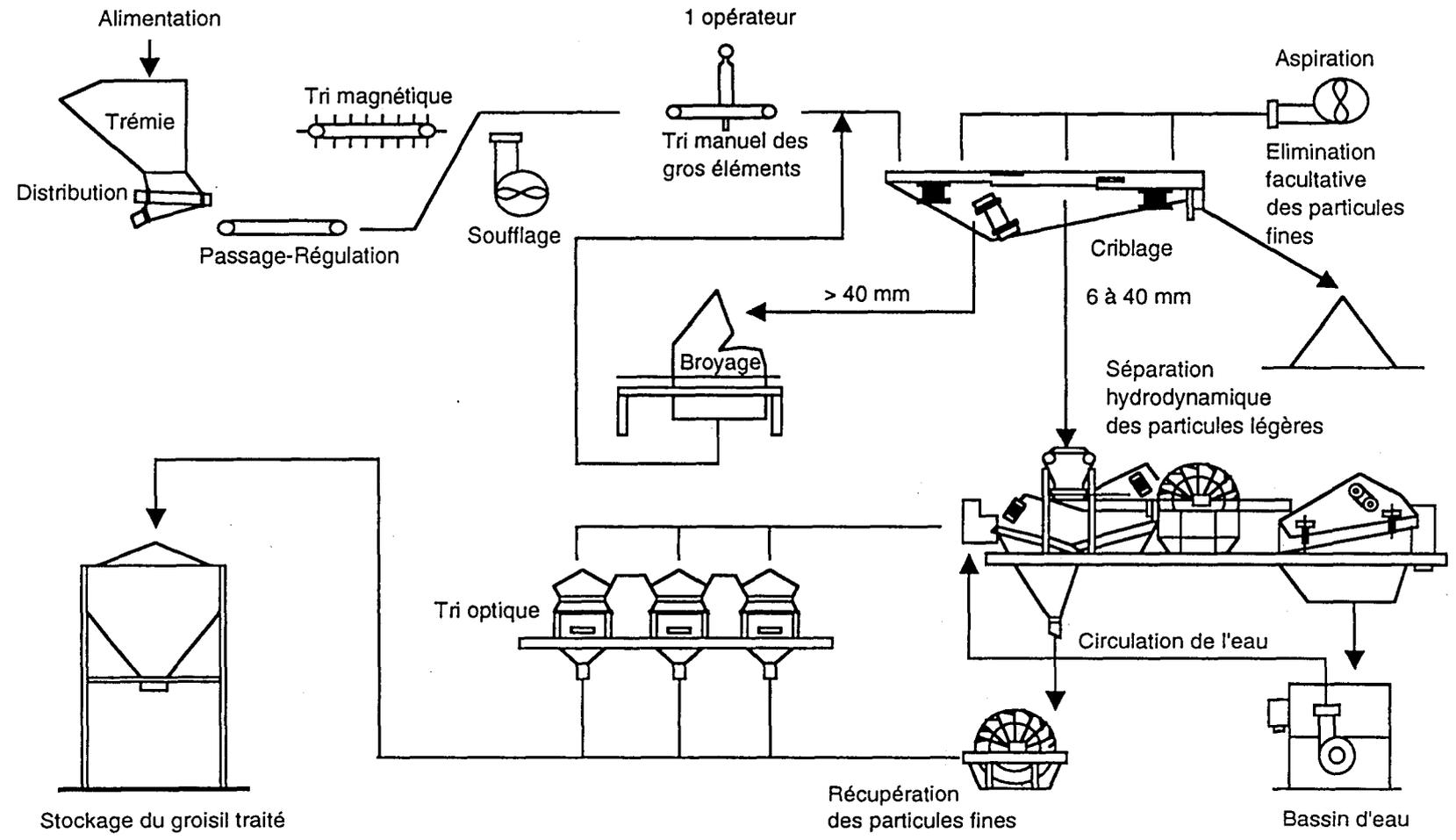


Figure 1.5 Installation automatique de traitement du groisil

## 4. L'AUTOMATISATION DU TRI DU VERRE

Afin d'absorber le volume croissant de verre à traiter et d'améliorer la pureté du groisil livré aux verreries, les traiteurs de verre envisagent de nombreuses automatisations de la fonction la plus importante de leur chaîne de traitement: le tri des impuretés. En effet, si les bandes transporteuses, les trémies, les cribles, les systèmes électromagnétiques de séparation des métaux ferreux et autres stations de lavage fonctionnent en continu avec relativement peu d'interventions humaines, l'élimination des impuretés est encore, dans la plupart des installations, confiée à des opérateurs humains. Cette tâche peu gratifiante, qui est effectuée dans des conditions de travail pénibles et souvent répugnantes, constitue un travail monotone et fastidieux. Dans ces conditions, il est très difficile d'exiger une fiabilité totale de la part des opérateurs. De plus, pour que le verre soit trié avec un débit commercialement rentable, la vitesse sur les bandes transporteuses doit être maintenue à un niveau élevé, ce qui ne va pas dans le sens de l'amélioration de la qualité du groisil. La figure 1.6 présente une analyse statistique de la qualité du verre traité en fonction de la qualité du verre introduit en entrée de l'installation de traitement et de la cadence de ce traitement [Rem92].

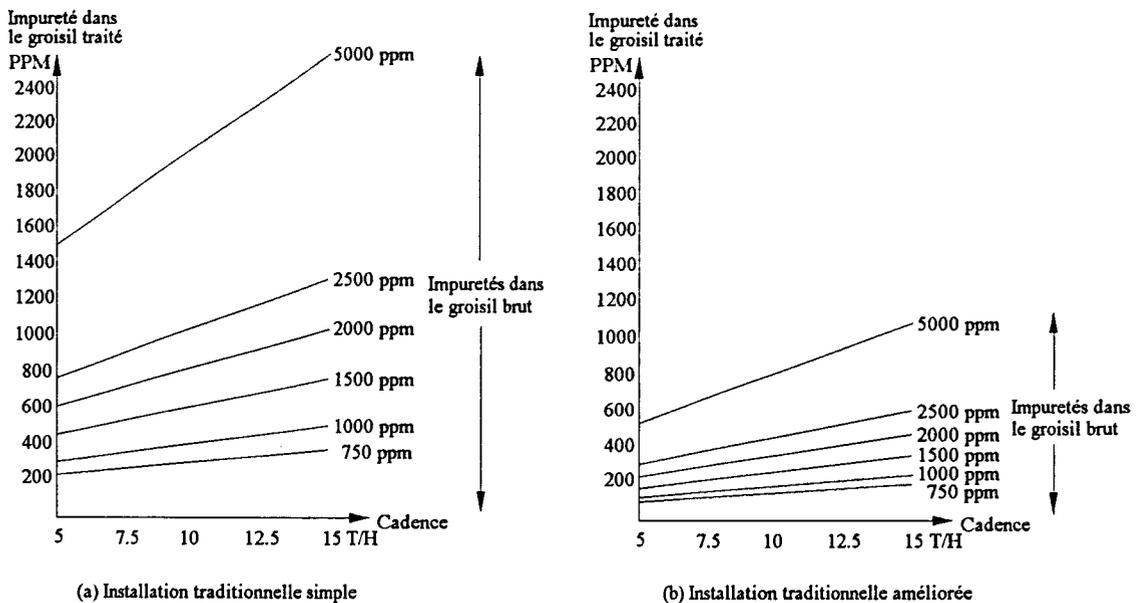


Figure 1.6 Qualité du groisil sortant en fonction de la qualité du groisil brut et de la cadence de traitement

Ces diverses considérations expliquent pourquoi les traiteurs de verre s'intéressent aujourd'hui au tri optique du groisil. Après de nombreuses discussions entre traiteurs

de verre et utilisateurs de groisil, un cahier des charges a été défini avec rigueur. Il s'agit, pour un système de tri automatique placé en fin de la chaîne de traitement, d'éjecter, avec la meilleure fiabilité, tous les corps opaques pouvant subsister dans le groisil tout en minimisant les pertes de verre dues à des éjections intempestives (Cf. fig. 1.5).

Les éléments opaques peuvent être, entre autres, constitués

- de porcelaines, faïences, céramiques, briques, etc.,
- de métaux, ferreux ou non,
- de matières organiques telles que bois, papier, liège, etc.,
- de pierres, graviers, cailloux, terre, etc.

La taille de ces éléments opaques est comprise, compte tenu du criblage, entre 6 mm et 40 mm. Le groisil défile en monocouche, à la vitesse de 1.5 m/s sur une largeur de 1.28 m, ce qui correspond à la production moyenne de 5 tonnes par heure pour une ligne. Les unités de traitement comportent en général plusieurs lignes de ce type, généralement entre 3 et 6.

Les impuretés représentent entre 1 et 5 kg de matière pour chaque tonne de verre brut reçue par l'installation de traitement. On parle de 1000 à 5000 ppm (parties pour mille). Il s'agit de ramener ce taux d'impuretés à moins de 100 ppm, soit 100 grammes par tonne de groisil.

Enfin, le coût et la maintenabilité du système de tri constituent des critères de réussite importants de l'automatisation.

## **5. TRI DU VERRE PAR VISION LINEAIRE**

Dans ce mémoire, nous présentons une solution au problème du tri automatique du groisil faisant appel à des concepts de vision artificielle par caméra linéaire.

La conception générale d'un poste de tri automatique intégrant un système de vision pour détecter les éléments opaques et un système d'éjection mécanique de ces éléments est exposée dans le second et le troisième chapitres. Une attention particulière est portée, dans le deuxième chapitre, au choix des éléments

fondamentaux de ce poste, à savoir la caméra et le dispositif d'éclairage diascopique. En effet, pour différencier de manière fiable les corps opaques des morceaux de verre de tailles, d'épaisseurs et de couleurs très variées, il importe de prendre en compte les caractéristiques photométriques du capteur, de la source lumineuse et des différents types de verres.

Nous analyserons ensuite les images obtenues avec ce système de vision linéaire afin de mettre en évidence des critères fiables pour différencier les morceaux de verre et les corps opaques. Nous montrerons en particulier, dans le quatrième chapitre, que la discrimination entre certains verres très épais, foncés et les corps totalement opaques est parfois délicate. La minimisation du taux de verre rejeté nécessitera la mise en oeuvre de procédures de traitement des images non conventionnelles en temps réel.

La stratégie d'analyse des images lignes ainsi définie est implantée sous la forme d'un processeur spécifique fonctionnant à la vitesse de 1000 lignes par seconde. Pour atteindre ces performances, il était hors de question d'utiliser une architecture informatique classique à base de microprocesseurs. Toutes les fonctions du système de traitement des images ont été réalisées en logique câblée et programmable, ce qui permet de satisfaire simultanément le critère de coût minimum et les contraintes de temps de calcul. Le cinquième chapitre du mémoire est consacré à cette réalisation matérielle originale. Le dernier chapitre expose les problèmes liés à l'intégration de ce système de tri sur les sites industriels de traitement du verre. Un système d'aide à l'installation et à la maintenance a été développé sur un ordinateur banalisé du type compatible IBM-AT. Les résultats obtenus sur les 13 systèmes actuellement opérationnels, installés en France, en Allemagne et en Espagne, montrent l'intérêt de ce système de tri automatique.

## **CHAPITRE II**

### **ANALYSE OPTIQUE DES VERRES D'EMBALLAGE**

## 1. INTRODUCTION

La lumière est constituée de radiations électromagnétiques. Les domaines des longueurs d'onde des radiations visibles et proches du visible sont définis comme suit:

- au-dessous de 10 nm : rayons X - rayon  $\gamma$  - rayons cosmiques
- de 10 à 400 nm : ultraviolet
- de 400 nm à 800 nm : visible
- de 800 nm à 4000 nm: infrarouge
- au-dessus de 4000 nm: ondes hertziennes - ondes radioélectriques.

Dans le domaine des radiations visibles, la lumière peut être différenciée par sa couleur. La couleur d'une lumière dépend de la composition de radiations, représentée par son spectre de fréquence. On peut aussi l'exprimer en longueur d'onde:

- violet : 450 nm
- bleu : 450 nm - 500 nm
- vert : 500 nm - 578 nm
- jaune : 578 nm - 592 nm
- orange: 592 nm - 620 nm
- rouge : 620 nm.

Les objets se comportent différemment lorsqu'ils sont soumis aux radiations émises par une source lumineuse. Certains les absorbent, certains les réfléchissent et certains les transmettent. Un objet noir absorbe toute la lumière. Un objet blanc la réfléchit en totalité. Un objet gris l'absorbe partiellement et dans les mêmes proportions pour toutes les radiations. Un objet coloré absorbe une partie de la lumière et transmet la couleur qui est alors perçue par l'oeil.

Le verre est un matériau exceptionnel. Il réfléchit, absorbe et transmet la lumière. La transmission de la lumière est l'une de ses propriétés fondamentale qui nécessite une analyse particulière avant de procéder à la conception d'un système de tri par vision artificielle.

## 2. PROPRIETES OPTIQUES DES VERRES D'EMBALLAGE

On pense souvent que le verre est transparent. Cependant, il peut aussi être opaque sous certaines conditions d'éclairage. Le verre se comporte comme un filtre, sa capacité de transmission dépend de ses caractéristiques optiques [Mor54].

### 2.1. Transmission de la lumière

Une substance quelconque est en général peu apte à transmettre la lumière à cause de l'interaction entre cette substance et l'énergie lumineuse, ce qui peut se produire dans plusieurs cas [Bsn85]:

- S'il existe dans un matériau des électrons libres, l'interaction est maximale. Les métaux sont des matériaux de ce type qui sont complètement opaques à la lumière.
  
- La lumière peut avoir une interaction non seulement avec les électrons libres, mais aussi avec d'autres électrons; il y a excitation de ceux-ci si l'énergie de la lumière est suffisante. Le plus souvent, l'énergie nécessaire est cependant si grande que les longueurs d'onde correspondantes se situent dans le domaine de l'ultraviolet. C'est le cas pour le verre ordinaire qui, par conséquent, sera opaque dans le domaine de l'ultraviolet.
  
- Dans le domaine de l'infrarouge, on constate que les verres courants de quelques millimètres d'épaisseur présentent d'abord quelques bandes d'absorption pour devenir complètement opaques à partir de 5000 nm environ. La cause de ces bandes d'absorption est l'interaction de la lumière avec les vibrations des constituants du verre.

Les verres contenant les modificateurs de réseaux usuels (alcalins et alcalino-terreux) sont habituellement complètement incolores et transparents dans le domaine du visible. La figure 2.1 montre la courbe de transmission d'une lame de verre incolore [Sch69].

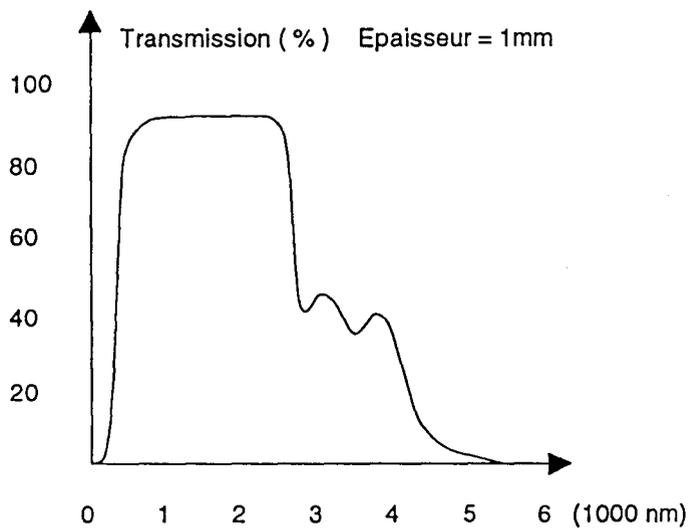


Figure 2.1 Courbe de transmission d'un verre incolore

Ces caractéristiques changent lorsqu'on introduit les éléments des sous-groupes de la classification périodique de la quatrième ligne (Cu, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, et Ni) pour colorer le verre. Cette introduction produit, pour ces éléments, des sauts d'électrons qui génèrent des absorptions des radiations, même sous l'effet d'une lumière de faible énergie. De ce phénomène résulte les colorations dans le domaine du visible. La figure 2.2 montre la fluctuation des indices d'absorption des éléments colorants en fonction de la longueur d'onde [Bsn85].

Le CUIVRE, ion bivalent  $\text{Cu}^{2+}$  sous la forme  $(\text{Cu}^{\text{II}}\text{O}_6)$ , colore le verre en bleu pâle. De grandes quantités de TITANE ( $\text{Ti}^{\text{III}}\text{O}_6$ ) colorent le verre en violet par réduction, mais cette coloration peut virer au brun. Pour des teneurs croissantes en oxydes alcalins, en introduisant du VANADIUM par exemple, la couleur vire au vert. Les colorations vert claire et jaune peuvent être obtenues avec le CHROME ( $\text{Cr}^{\text{III}}\text{O}_6$ ) et ( $\text{Cr}^{\text{VI}}\text{O}_4$ ). La couleur violette peut être produite par le MANGANESE. La coloration des verres par le FER est un moyen très largement utilisé. Selon la méthode mise en oeuvre, le fer peut donner des teintes jaune, bleue et grise. Le COBALT peut donner les couleurs bleue, rose et verte selon les verres dans lesquels on l'introduit. Le NICKEL, lui aussi, peut colorer les différents verres en brun, en gris, en jaune ou en bleu [Sch69].

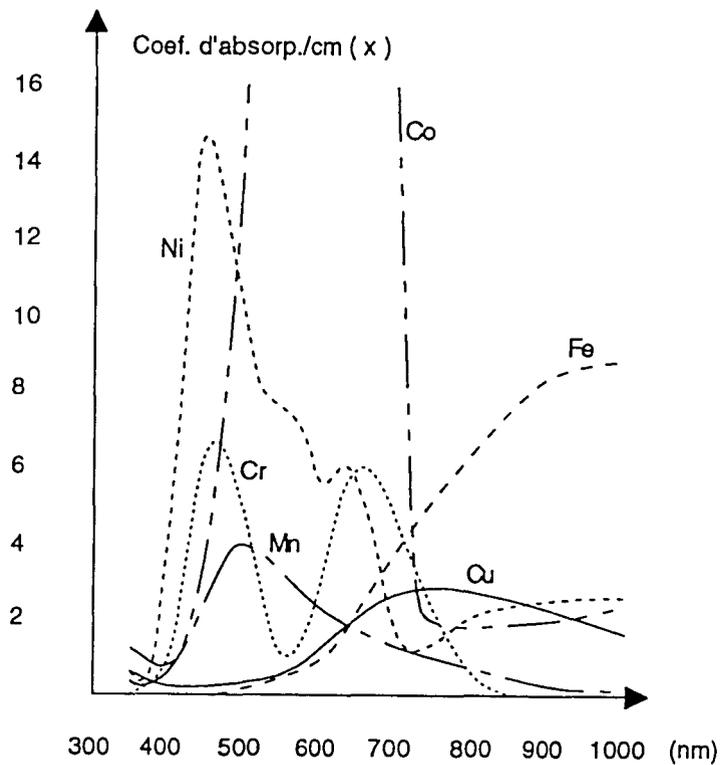


Figure 2.2 Courbes d'indice d'absorption des éléments colorants

## 2.2. Analyse des caractéristiques des verres d'emballage

La couleur résulte des caractéristiques de transmission d'un verre que l'on peut quantifier par la mesure de sa courbe de transmission. Le tableau 2.1 indique les éléments colorants et leurs pourcentages dans les différents verres colorés utilisés pour fabriquer les bouteilles [Bsn85]. La figure 2.3 présente ces caractéristiques pour les principaux verres fabriqués par BSN Emballage.

On constate que les plages de transmission des verres d'emballage commencent toutes vers 300 nm et se terminent autour de 5000 nm. Une atténuation de la transmission est toujours décelable autour de 2600 nm - 2700 nm.

Teintes	Colorants	Etat d'oxydoreduction
Extra-Blanc	$Fe_2C_3 (<0.025\%)$	Oxydé
Blanc	$Fe_2C_3 (0.025-0.040\%)$	Oxydé
Mi-Blanc	$Fe_2C_3 (0.040-0.090\%)$	Oxydé ou peu Réduit
Feuille-Morte	$Fe_2C_3 (0.07\%)$ , $Cr_2C_3 (0.04\%)$ , Polysulfures	Réduit
Vert Clair	$Fe_2C_3 (0.18\%)$ , $Cr_2C_3 (0.04\%)$	Oxydé ou peu Réduit
Champagne	$Fe_2C_3 (0.15\%)$ , $Cr_2C_3 (0.15\%)$ , NiO (0.04%)	Oxydé ou peu Réduit
Dom Pérignon	$Fe_2C_3 (0.27\%)$ , $Cr_2C_3 (0.12\%)$ , Polysulfures	Réduit
Rouge Brun	$Fe_2C_3 (0.07\%)$ , Polysulfures	Réduit
Cognac	$Fe_2C_3 (0.20\%)$	Réduit

Tableau 2.1 Teintes des verres fabriqués par B.S.N. Emballage

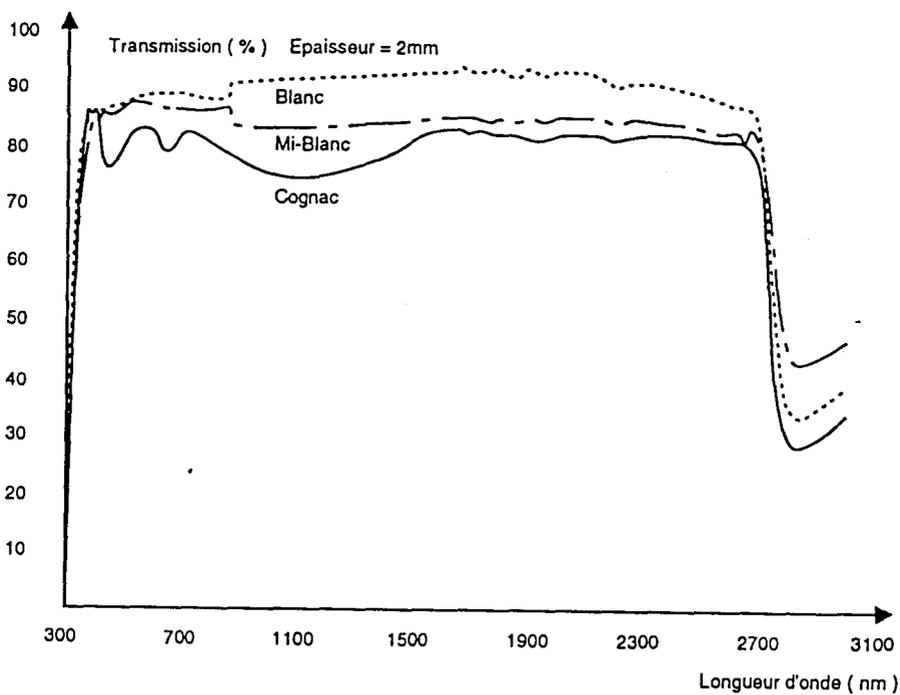


Figure 2.3 (a) Courbes de transmission des verres Blancs et Cognac

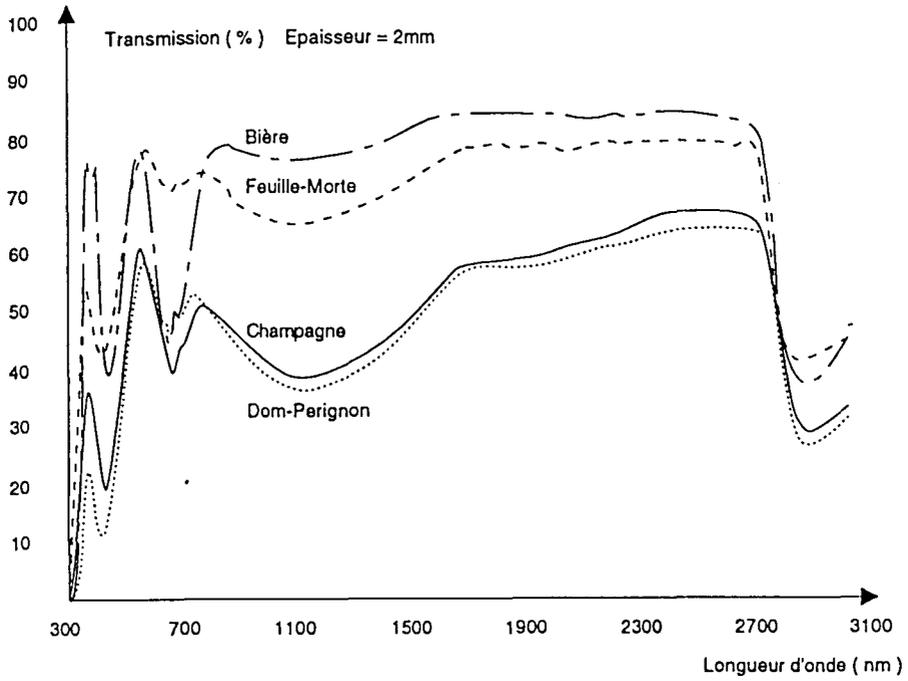


Figure 2.3 (b) Courbes de transmission des verres Verts

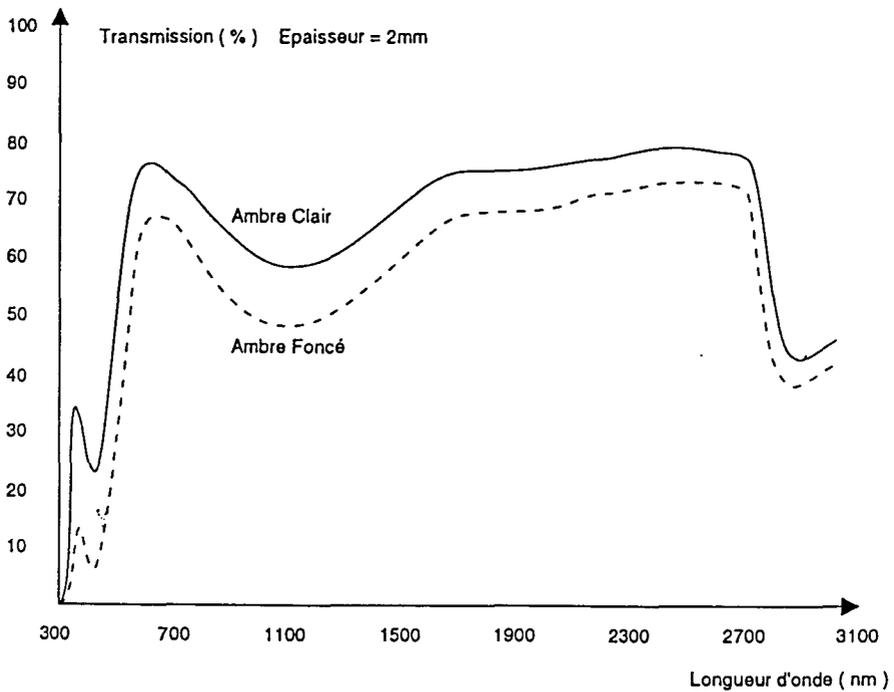


Figure 2.3 (c) Courbes de transmission des verres Bruns

Les verres Blancs et Extra-blancs ont une très bonne transmission entre 360 nm et 2600 nm. A partir de 2600 nm, la courbe de transmission s'atténue de manière significative.

Les verres Mi-blancs ont, eux aussi, une très bonne plage de transmission entre 360 nm et 2600 nm. Par rapport au Blanc et à l'Extra-blanc, pour une même épaisseur, la transmission baisse en moyenne de 10% sur toute la plage et une légère atténuation est sensible autour de 1100 nm. La transmission dans le domaine de l'infrarouge est meilleure mais elle diminue très rapidement à partir de 4377 nm.

Les verres Blancs et Mi-blancs sont très transparents dans le visible et l'infrarouge proche du visible. Mais on peut remarquer que, même pour l'Extra-blanc, ils n'atteignent jamais une transmission de 100%.

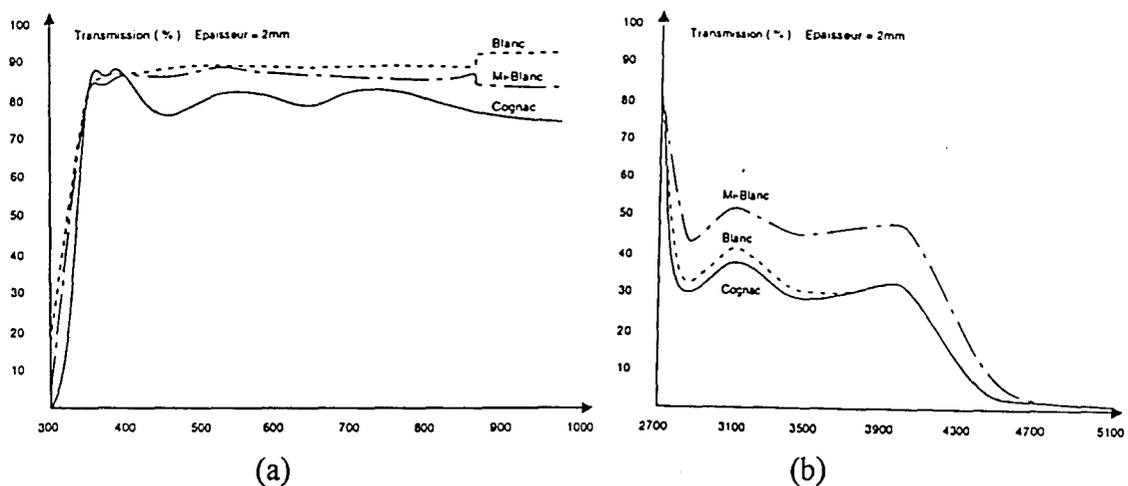


Figure 2.4 Courbes de transmission des verres Blancs et Cognac

(a) dans le domaine spectral du visible.

(b) dans le domaine spectral de l'infrarouge.

Les verres Vert-Jaune et Vert (Feuille Morte, Vert Bière, Champagne, Dom Pérignon, etc...) ont trois points de transmission qui se trouvent autour de 350 nm, 550 nm et 750 nm ainsi que deux points d'absorption à 450 nm et à 650 nm respectivement. On remarque également une plage d'absorption autour de 1100 nm. Les tableaux 2.2(a) et 2.2(b) montrent les pourcentages de transmission et d'absorption des différents verres

en ces points caractéristiques. Ils sont assez transparents dans le domaine du proche infrarouge (850 nm - 2600 nm). En moyenne, la transmission peut atteindre 70% pour le Vert-Jaune, 80% pour le Vert Bière, 55% pour le Champagne et 50% pour le Dom Pérignon. A partir de 2660 nm, les courbes de transmission des verres Verts, des Champagnes et du Dom Pérignon descendent avec la même vitesse que le verre Blanc. Celles de Vert Bière et Feuille Morte diminuent avec la même vitesse que le Mi-Blanc.

Teintes Vertes	Points de transmission		
	350 nm	550 nm	750 nm
Feuille-Morte (Vert Jaune)	75%	78%	78%
Vert Bière (Vert Clair)	55%	79%	74%
Champagne (Vert Foncé)	36%	63%	53%
Dom Pérignon	23%	59%	52%

(a)

Teintes Vertes	Points d'absorption		
	450 nm	650 nm	1100 nm
Feuille-Morte (Vert Jaune)	60%	55%	25%
Vert Bière (Vert Clair)	57%	28%	35%
Champagne (Vert Foncé)	81%	59%	63%
Dom Pérignon	88%	53%	65%

(b)

Tableau 2.2 (a) Caractéristiques de transmission des verres Verts.

(b) Caractéristiques d'absorption des verres Verts.

Les verres Bruns (Ambre Clair et Ambre Foncé) ont deux points de transmission à 350 nm et à 600 nm, un point d'absorption à 430nm et une plage d'absorption autour de 1100nm. Les tableaux 2.3(a) et 2.3(b) présentent les coefficients en ces points caractéristiques.

Teintes Brunes	Points de transmission		Teintes Brunes	Points d'absorption	
	350 nm	600 nm		430 nm	1100 nm
Ambre Clair	35%	76%	Ambre Clair	75%	41%
Ambre Foncé	13%	66%	Ambre Foncé	93%	52%

(a)

(b)

Tableau 2.3 (a) Caractéristiques de transmission des verres Bruns

(b) Caractéristiques d'absorption des verres Bruns

Sur la plage de 1100 nm à 2600 nm, ces verres sont très transparents. Le niveau de transmission peut atteindre 76% pour le verre Ambre Clair et 70% pour l'Ambre Foncé. La transmission diminue avec la même vitesse que celle du verre Mi-Blanc à partir de 2700 nm.

Teinte	Transmission				Absorption		
	370 nm	550 nm	700 nm	Infrarouge	450 nm	650 nm	1100 nm
Cognac	86%	83%	82%	80%	24%	21%	27%

Tableau 2.4 Caractéristiques de transmission et d'absorption du verre Cognac

Le verre Cognac est différent des autres verres. Ses points caractéristiques sont résumés dans le tableau 2.4. Ses propriétés de transmission décroissent comme celles du verre Extra-Blanc à partir de 2700 nm.

Les courbes de transmission des verres colorés se différencient essentiellement dans le domaine visible. A partir de 800 nm (infrarouge), elles ont toutes les mêmes formes: il y a une plage d'absorption à 1100 nm, une plage de transmission de 1600 nm à 2600 nm. Elles chutent à partir d'environ 2700 nm et se terminent vers 5000 nm.

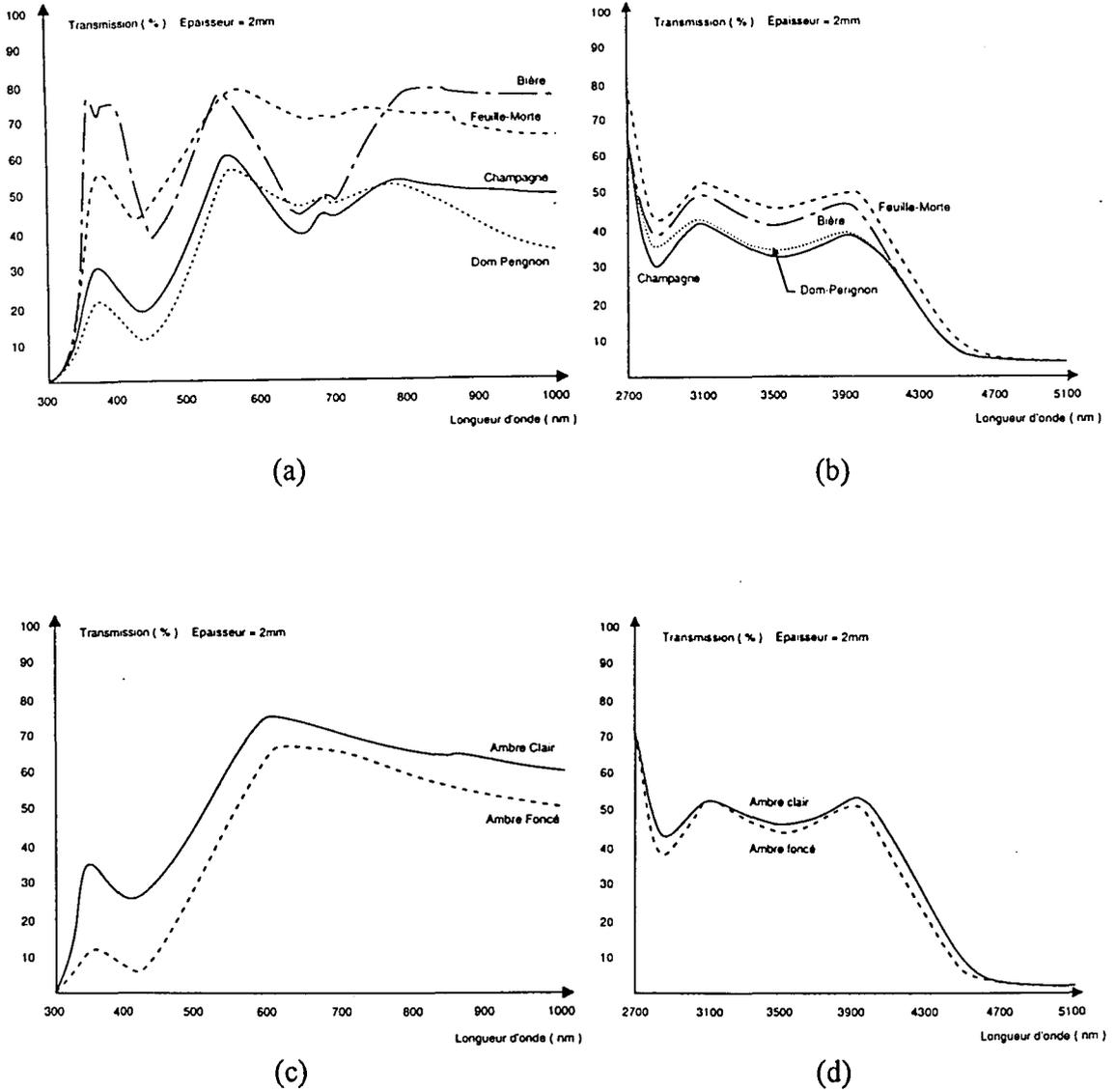


Figure 2.5 (a) Courbes de transmission des verres Verts dans le visible  
 (b) Courbes de transmission des verres Verts dans l'infrarouge  
 (c) Courbes de transmission des verres Bruns dans le visible  
 (d) Courbes de transmission des verres Bruns dans l'infrarouge

## 2.3 Transparence du verre

On observe que, pour un verre extrêmement transparent, la transmission n'est pas de 100%, même dans le domaine où il ne se produit aucune absorption. La transparence d'un verre dépend essentiellement de deux caractéristiques: son épaisseur et la nature du matériau [Bsn88]. On suppose que  $R$  est le coefficient de réflexion et que  $A$  est le facteur d'absorption.

On définit, pour une radiation de longueur d'onde donnée  $\lambda$ , un facteur de transmission  $T$ , qui représente le rapport des intensités lumineuses émergentes  $E_e$  et incidentes  $E_i$ .

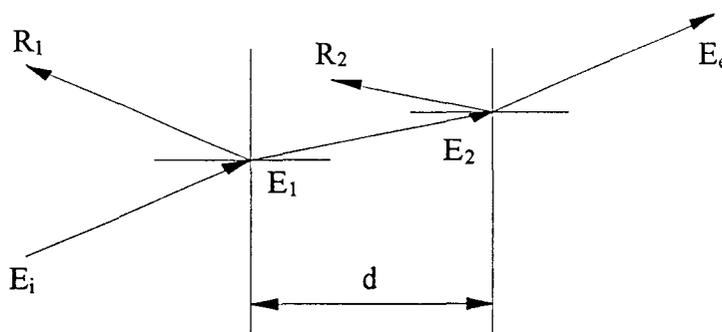


Figure 2.6 Mécanisme de propagation des radiations lumineuses dans le verre

### a) Facteur de Transmission

On peut présenter simplement le mécanisme de la propagation des radiations lumineuses en utilisant une lame en verre (Cf. fig. 2.6).

Il se décompose comme suit:

- 1) Sur la face d'entrée de la lame, une fraction de l'énergie incidente  $E_i$  est réfléchi:

$$R_1 = R \times E_i$$

L'énergie ( $E_1$ ) qui pénètre dans cette lame est donc:

$$E_1 = E_i - R_1 = (1 - R) \times E_i$$

2) Cette énergie est absorbée pendant la traversée de l'épaisseur  $d$  de verre. Au niveau de la face de sortie, l'énergie incidente ( $E_2$ ) est:

$$E_2 = A \times E_1 = (1 - R) \times A \times E_i$$

3) Une nouvelle fraction de  $E_2$  est réfléchi:

$$R_2 = R \times E_2 = R \times (1 - R) \times A \times E_i$$

4) L'énergie émergente est donc:

$$E_e = E_2 - R_2 = (1 - R)^2 \times A \times E_i$$

Le facteur de transmission s'exprime donc de la manière suivante:

$$T = \frac{E_e}{E_i} = (1 - R)^2 \times A$$

## **b) Réflexion**

Le facteur de réflexion  $R$  est directement lié à l'indice de réfraction du verre:

$$n = \frac{c}{v}$$

où  $c$  est la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air et  $v$  est leur vitesse dans le verre.

Suivant la relation de Fresnel, le facteur de réflexion  $R$  est donné, pour une incidence normale, par:

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$$

Le tableau 2.5 donne quelques valeurs des facteurs de réflexion à titre indicatif.

Substance n	eau 1.33	verre 1.53	flint 1.60	flint dense 1.65	diamant 2.24
Facteurs de Réflexion R	0.020	0.044	0.053	0.060	0.172

Tableau 2.5 Valeurs des facteurs de réflexion (incidence normale)

Notons que l'indice de réfraction du verre varie en fonction de la longueur d'onde, et que, par conséquent, les valeurs des facteurs de réflexion sont elles-mêmes légèrement dépendantes de la longueur d'onde.

Pour un verre d'indice de réfraction  $n = 1.5$  ( $R = 0.04$ ), cette analyse nous conduit à estimer les pertes par réflexion à environ 8% (Dans le calcul du facteur de transmission  $T$ , le coefficient  $(1-R)^2$  est égal à 0.92).

### **c) Absorption**

L'intensité  $E_1$  d'un rayon lumineux pénétrant dans une lame de verre subit une diminution suivant la loi de Beer-Lambert:

$$A = \frac{E_2}{E_1} = 10^{-\alpha \times d}$$

On peut la présenter sous la forme:

$$\log A = -\alpha \times d$$

où  $d$  est l'épaisseur de la lame et  $\alpha$  le coefficient d'extinction.

Le coefficient d'extinction  $\alpha$  est la grandeur qui caractérise l'absorption lumineuse pour chaque type de verre. Il varie fortement avec la longueur d'onde des radiations incidentes.

Nous pouvons maintenant définir le facteur de transmission comme une fonction de l'indice de réfraction  $n$  et de l'épaisseur du verre  $d$ :

$$T = \frac{16 \times n^2}{(n+1)^4} \times 10^{-\alpha \times d}$$

Il est important de remarquer que la variation du facteur de transmission en fonction de l'épaisseur est une fonction exponentielle.

Pour des raisons de simplification, on définit la densité optique du milieu, notée  $D$ , par:

$$D = -\log T = -2 \times \log(1 - R) + \alpha \times d$$

$D$  met parfaitement en évidence la double perte due aux réflexions et à l'absorption. Elle varie linéairement avec l'épaisseur du milieu. Un milieu parfaitement transparent ( $n = 1$ ,  $\alpha = 0$ ) aurait une valeur de  $D$  nulle.

Dans toutes les expressions précédentes, les deux facteurs  $R$  et  $A$  dépendent directement de la nature même du verre. Le coefficient de réflexion  $R$  et le coefficient d'extinction  $\alpha$ , pour un verre donné, varient suivant la longueur d'onde, si bien que le facteur de transmission varie également et parfois de façon très notable, dans le domaine de transparence du matériau.

### 3. CONCLUSION

La fonction principale d'un système de tri du verre est l'identification des éléments constitués d'un autre matériau que le verre. Le tableau 2.6 donne une liste de différents déchets que l'on trouve le plus souvent dans le verre récupéré [Bsn87]. La plupart de ces déchets sont les matériaux avec des électrons libres. Ils sont donc très sombres ou mêmes complètement opaques à la lumière.

Déchets	Pourcentage
Infusibles, Céramique Porcelaine, Terre cuite Pierres, Autres minéraux	80%
Métaux magnétiques	2%
Métaux non magnétiques	8%
Papier, Bois, Plastique Caoutchouc et tous éléments réducteurs	10%

Tableau 2.6 Liste des déchets à éjecter par le tri automatique

La transparence à la lumière constitue une des grandes différences entre le verre et les déchets. L'identification des déchets par un procédé de transmission nous semble être une solution valable et simple.

L'analyse des propriétés optiques des verres d'emballage nous montre que selon les caractéristiques de la lumière, le verre peut être transparent mais également opaque. La transparence d'un verre dépend tout d'abord de son facteur de réflexion et de son facteur d'absorption. Ils sont très sélectifs vis à vis des longueurs d'onde de radiations lumineuses. A la suite de l'analyse présentée aux paragraphes 2.1 et 2.2, nous aboutissons aux conclusions suivantes:

1). Les verres d'emballage peuvent être classés en trois catégories selon leurs caractéristiques de transmission:

- Les verres Blancs qui sont transparents sur toute les plages du visible et du proche d'infrarouge (300 nm - 2600 nm),
- Les verres Verts qui transmettent la lumière dans les plages 500 nm - 600 nm et 700 nm - 2600 nm,
- Les verres Bruns qui transmettent la lumière dans la plage 500 nm - 2600 nm.

2). Dans la zone de 300 nm à 500 nm la transmission des verres est, en général, très faible, excepté pour les verres Blancs. Pour certains verres, la transmission n'atteint même pas 10%. Nous ne pouvons donc pas travailler avec ces longueurs d'onde.

3). La plage de 500 nm à 600 nm constitue une zone de bonne transmission des verres Verts (Facteur de transmission supérieur à 50%). Les verres Bruns sont aussi très transparents dans cette plage avec un facteur de transmission du même ordre. On constate donc que, dans cette plage, tous les verres transmettent correctement la lumière.

4). De 600 nm à 700 nm les verres Bruns sont très transparents avec des facteurs de transmission supérieurs à 70%. Mais, pour les verres Verts, il s'agit d'une zone d'absorption avec des facteurs de transmission inférieurs à 40%.

5). Au delà de 700 nm, et jusqu'à 1100 nm, on met également en évidence une zone de transmission favorable à tous les types de verres. Mais nous verrons, dans le prochain chapitre, qu'elle n'est pas adaptée à la prise d'image compte tenu des limites de sensibilité des caméras dans cette zone de longueurs d'ondes.

## **CHAPITRE III**

### **LE SYSTEME DE TRI AUTOMATIQUE**

## 1. INTRODUCTION

Le procédé traditionnel du traitement de verre est présenté dans la figure 1.5 [Duo86]. Le verre est alimenté par une trémie et transporté vers un poste de tri magnétique. En passant par un système de soufflage et un tri manuel, il rentre dans un dispositif de criblage. Le verre est séparé en trois parties: le verre fin ( $<6$  mm), qui sera évacué immédiatement de la chaîne de traitement, les gros morceaux de verre ( $>40$  mm), qui vont au broyage et sont ré-introduits dans le circuit, et le verre de bonne granulométrie (entre 6 mm à 40 mm de diamètre), qui est envoyé vers un système de lavage et transporté éventuellement vers un deuxième poste de tri manuel.

Le système de tri automatique est destiné à éjecter les corps infusibles contenus dans les verres de récupération. Il va remplacer les trieurs du deuxième poste de tri manuel en fin de chaîne de traitement. Il doit garantir une meilleure qualité du produit et une grande vitesse de tri. La performance du système est estimée sur la base de deux critères: la pureté du verre traité et les pertes de verre dues à des éjections intempestives [Bsn91b]. Les objectifs recherchés sont de satisfaire les critères de qualité tout en abaissant le niveau des pertes au minimum possible.

## 2. LES FONCTIONS D'UN SYSTEME DE TRI AUTOMATIQUE

### 2.1. Les conditions de tri

Nous avons montré, dans le chapitre II, que la transparence constitue l'une des caractéristiques les plus importantes du verre. L'analyse de la transparence d'un objet nous permet de différencier les verres des déchets opaques [Hug73, Mue73]. Cependant, ce principe d'inspection nécessite la mesure de la transparence de chaque particule individuellement [Cor90]. Après concassage et lavage, le flux des particules arrive au tri automatique. Nous devons tout d'abord répartir ces particules en un flux monocouche homogène et les amener régulièrement vers la zone d'inspection.

Les tailles des particules sont réparties de façon équilibrée entre 6 mm et 40 mm de diamètre. Cela signifie que la dimension minimale des impuretés à détecter est de 6 mm de diamètre. La cadence de traitement minimale est de 5 Tonnes/Heure, ce qui

correspond à une vitesse de défilement des particules de 1.5 m/s. L'inspection est effectuée en continu sur toute la longueur du flux de produit concassé monocouche.

Les impuretés sont réputées plus opaques que les morceaux de verre. L'analyse de l'intensité lumineuse sur chaque particule doit mettre en évidence tout type de déchets [Mab87, Sor01, Sor02]. Cependant la variabilité des propriétés optiques des différents verres, les conditions d'éclairage prévalant au passage de chaque particule, la variété des déchets (étiquettes, bois, porcelaines, terre, plastiques, etc...) et l'eau sale qui coule en permanence dans la zone d'inspection rendent cette analyse très difficile. L'identification des déchets par analyse d'image est nécessaire afin d'obtenir une haute fiabilité de détection et de faibles pertes de verre.

Le système se trouve à la fin de la chaîne de traitement. Il doit éjecter tous les types d'impureté qui ont échappé aux postes de tri précédents. Il va assurer une fonction de tri automatique 24 h/24, sans aucune intervention humaine dans un environnement industriel hostile (humidité, chaleur, poussière, vibrations, perturbations électromagnétiques, etc...).

L'automatisation du traitement du verre est une révolution pour le monde des traiteurs de verre. L'introduction de procédés de haute technologie dans ce métier se heurte à la complexité de la maîtrise de la chaîne et aux difficultés de maintenance. Ce sont souvent les principaux obstacles à l'intégration de systèmes complexes. Compte tenu du niveau technique des opérateurs, une procédure de réglage de la machine par apprentissage automatique est nécessaire. Une interface simple et interactive doit être envisagée. Un procédé de test automatique du système électronique et mécanique doit être intégré dans la conception générale.

## **2.2. Définition du système de tri automatique**

Les fonctions principales du système peuvent être décomposées comme suit [Bli78, Hec89, Mai80, Ree80]:

- La séparation et la distribution de particules du flux de verre en continu;
- La mesure en temps réel de la transparence de chaque particule;

- L'analyse des informations de transmission de la particule afin d'identifier les impuretés;
- L'évacuation des impuretés;

La configuration du système du tri automatique sera constituée des éléments suivants (Cf. fig. 3.1) [Zha91a]:

- Un couloir vibrant de 2 m de long et de 1.30 m de large permettant de séparer les particules les unes des autres et de former un flux monocouche bien réparti sur toute la largeur du couloir.
- Un dispositif d'éclairage diascopique qui éclaire les particules passant dans la zone de contrôle.
- Une caméra linéaire CCD qui mesure, à haute fréquence, les niveaux de transmission des morceaux de verre et des impuretés au moment de leur passage devant la rampe d'éclairage.
- Une unité de traitement électronique autonome qui analyse les informations recueillies par le capteur pour détecter les impuretés à éjecter.
- Un système d'éjection à marteaux pour évacuer les déchets.

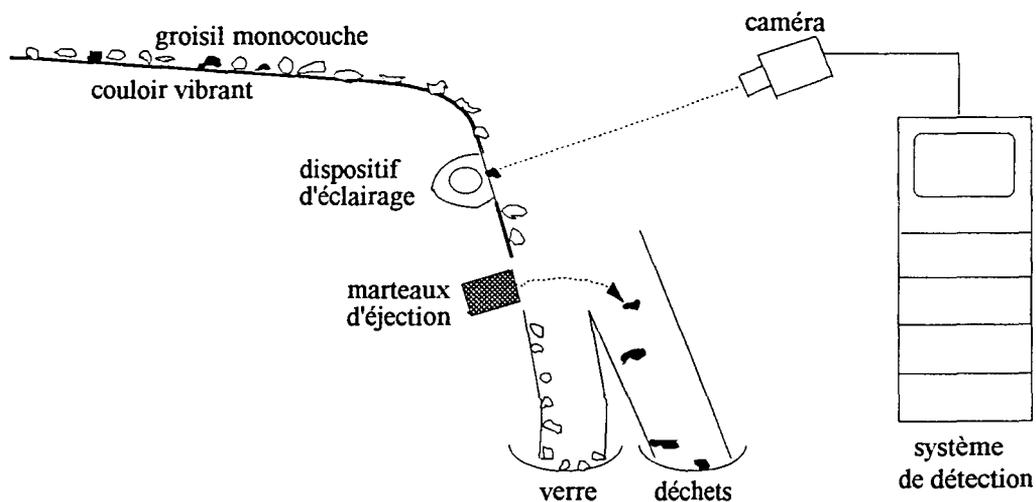


Figure 3.1 Configuration du système de tri automatique

Les réglages et la maintenance de ce dispositif seront effectués par un ordinateur central de type PC ou compatible. Cet ordinateur, qui peut être utilisé pour plusieurs lignes de tri, supportera des logiciels d'aide au positionnement des caméras, d'aide à la

focalisation des images et d'aide à l'ajustement des réglages pour la discrimination entre les morceaux de verre et les déchets infusibles.

### **3. LA CAMERA LINEAIRE**

#### **3.1. Acquisition d'une image par une caméra linéaire**

Le rôle de tout capteur d'images est de transformer la lumière de chaque point d'un objet observé en un signal électrique qui matérialise l'image acquise [Bon89]. Une caméra linéaire est constituée

- d'un système d'éléments photosensibles, organisés sous la forme d'une barrette rectiligne, qui reçoivent les rayonnements pour les transformer en une image électrique.
- d'un dispositif optique qui focalise l'image d'une scène dans le plan de la barrette.
- d'un dispositif électronique qui permet de lire l'image électrique acquise pour la mémoriser.

Lors de la saisie d'une image, chaque élément photosensible reçoit les rayonnements extérieurs, au travers de l'objectif de la caméra, et ceci pendant une période ajustable, appelée temps d'intégration. A la fin de cette période, l'intensité lumineuse captée par chaque élément est transformée en une charge électrique. L'ensemble de ces charges représente les variations de la lumière le long du capteur. Nous allons étudier la formation optique de l'image, sa discrétisation spatiale, sa sensibilité à la lumière ainsi que sa quantification afin de déterminer les caractéristiques de la caméra linéaire à utiliser pour observer le flux de verre concassé en continu.

#### **3.2. Transformation optique d'une image ligne**

La transformation optique d'une image ligne, la transformation perspective, est le résultat de la projection géométrique des points de la scène visée par la caméra sur la droite où sont disposés les éléments photosensibles.

Le repère lié à la caméra  $(O, x, y, z)$  est le suivant: l'image ligne coïncide avec la droite  $Ox$  et l'axe optique passant par le centre de l'objectif avec l'axe  $Oz$  (Cf. fig.3.2). Le

centre de l'image ligne est situé à l'origine O et le centre de l'objectif au point de coordonnées (0,0,f), où f est la distance focale de l'objectif. On suppose également que le système de coordonnées lié à la caméra est identique au repère (O,X,Y,Z) lié à la scène observée, c'est-à-dire à l'espace physique.

Soient (X,Y,Z) les coordonnées d'un point de cet espace, avec  $Z > f$  et soit x l'abscisse de sa projection sur l'image ligne. Cette projection ne sera définie que si  $Y=0$ . Il faut donc que le point appartienne au plan (OX,OZ) pour que son image soit projetée sur le capteur linéaire.

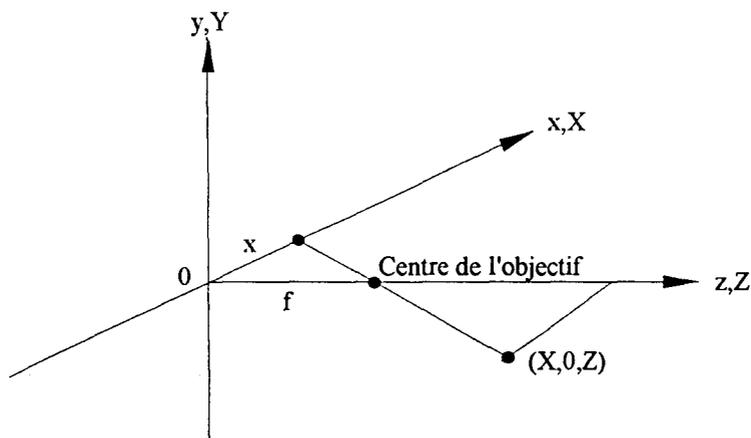


Figure 3.2 Système de coordonnées pour la transformation optique

On peut en déduire la coordonnée x de la projection d'un point du plan visé sur l'image ligne:

$$x = \frac{f \times X}{f - Z}$$

Connaissant la distance focale de l'objectif de la caméra et la taille des pixels du capteur, il est alors possible de calculer la distance séparant la caméra de la zone de détection à inspecter de telle sorte que la totalité de la largeur de la zone soit représentée dans l'image.

### 3.3. Discrétisation spatiale d'une image ligne

Les variations de la lumière le long d'une image ligne peuvent être considérées comme une fonction  $f(x)$  qui représente la luminosité reçue au point de la ligne de coordonnée  $x$ . Cette fonction  $f(x)$ , qui correspond à l'image réelle, est à valeurs continues. Pour représenter l'image numérisée par un capteur linéaire, nous utilisons une fonction à valeurs discrètes. L'image ligne numérisée prend alors la forme discrète  $A(i)$  avec  $i = 1, 2, \dots, N$ , où  $N$  indique le nombre d'éléments photosensibles de la barrette. On repère chaque pixel de la barrette par un indice  $i$  dont la valeur indique la position de l'élément photosensible. Cet échantillonnage spatial revient à conserver un ensemble discret de valeurs de  $f(x)$  aux points d'abscisses  $i\Delta x$ :  $A(i) = f(i\Delta x)$ , où  $\Delta x$  est le pas d'échantillonnage, c'est à dire l'écart entre deux pixels voisins. Dans le cas de la vision linéaire, il y a correspondance entre le point d'échantillonnage de coordonnée  $i\Delta x$  et le pixel de rang  $i$ .

Il se pose le problème du choix de  $\Delta x$ , c'est à dire du pas d'échantillonnage spatial. En effet, ce choix est optimal si aucune information sur  $f(x)$  n'est perdue en ne conservant que le sous-ensemble discret de points  $A(i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . Le théorème de Shannon permet d'évaluer la taille du capteur, à savoir le nombre de pixels nécessaire pour disposer d'une image ligne sans perte théorique d'informations [Dub89]. Soit  $L$  la largeur de la zone à inspecter et  $l_h$  la largeur minimale des impuretés à détecter. On peut calculer, d'après ce théorème, le nombre minimum  $N$  de pixels pour que l'image ligne puisse représenter l'impureté la plus petite.

$$N = \frac{2 \times L}{l_h}$$

Dans notre cas,  $L=1300$  mm et  $l_h=6$  mm. Le nombre de pixels  $N$  devra donc être au moins égal à 216. Théoriquement nous pouvons choisir une caméra linéaire de 256 pixels [Duf90, Mac92].

Mais si ce calcul est bien adapté pour la détection d'impuretés totalement opaques, il ne prend pas en compte les difficultés rencontrées pour différencier les impuretés de certains morceaux du verre très épais et très sombres. Les expériences nous montrent qu'il faut au moins 8 pixels par particule de 6 mm à analyser pour bien différencier une

impureté d'un morceau du verre, ce qui correspond à 1024 pixels par barrette. Nous avons donc choisi une caméra de 1728 pixels. Ainsi, chaque pixel correspond à une longueur de 0.75 mm sur la ligne observée en travers de l'écoulement du flux de verre.

### 3.4. Quantification d'une image ligne

Après avoir échantillonné l'image ligne pour la représenter par une fonction discrète  $A(i)$ , il faut attribuer à chaque pixel une valeur numérique correspondant à l'intensité lumineuse. Cette valeur numérique est appelée niveau de gris.  $A(i)$  est quantifiée pour restituer le niveau de gris du pixel  $i$  dans un intervalle compris entre 0 et  $N_g-1$ . Le résultat de la quantification de  $A(i)$  sur  $N_g$  niveaux de gris est rangé dans un tableau  $I(i)$ ,  $i$  étant le numéro du pixel.  $I(i)$  peut être considéré comme une version discrète de la fonction des niveaux de gris de l'image ligne. Dans notre cas,  $I(i)$  est discrétisé sur 64 niveaux équidistants, compris entre 0 et 63, ce qui autorise un codage de l'intensité lumineuse sur un octet.

### 3.5. Séquencement temporel des images lignes

La prise de vue des particules en défilement est en fait échantillonnée dans le sens du déplacement par les acquisitions successives des images lignes. Le système de tri va analyser la séquence ininterrompue d'images lignes acquises à des instants successifs. Un indice, noté  $k$ , est incrémenté à chaque nouvelle acquisition d'une image ligne. Nous définissons  $I(i,k)$  la fonction des niveaux de gris de l'image ligne formée à la  $k^{\text{ème}}$  acquisition. Nous notons  $P_{i,k}$  le pixel de rang  $i$  de l'image ligne formée à acquisition numéro  $k$ .

Si on suppose que la séquence d'acquisitions commence à l'instant  $t_0$  par l'acquisition de l'image ligne  $I(i,0)$ , l'indice  $k$  étant initialisé à 0, et que le temps séparant deux acquisitions successives est constant et égal à  $T$ , l'image ligne  $I(i,k)$  est alors acquise à l'instant  $t_0+kT$ .

La fréquence d'acquisition des images lignes doit permettre la mise en évidence des impuretés à détecter de taille minimale, à savoir 6 mm. D'après le théorème de Shannon, il est impératif que deux images lignes soient acquises pendant que les

particules défilent devant la caméra afin que les impuretés de taille minimale soient présentes dans ces deux images lignes.

Soient  $V$  la vitesse maximale du défilement des particules et  $l_v$  la taille minimale des impuretés dans le sens du défilement. On calcule la fréquence d'acquisition  $F$  des images lignes par la relation suivante:

$$F = \frac{2 \times V}{l_v}$$

Pour notre application,  $V$  est égale à 1.5 mètre/seconde,  $l_v$  est égale à 6 mm. D'après la relation précédente, la fréquence d'acquisition des images lignes  $F$  doit être au moins égale à 500 Hz. Nous avons multiplié cette fréquence par 2, afin de pouvoir analyser plus précisément les morceaux de verre dont certains éclats sur les bords peuvent renvoyer la lumière hors du champ de la caméra. Ces réflexions et réfractions créent des zones sombres qui pourraient être interprétées comme des corps opaques à éjecter. Dans ce cas, la fréquence d'acquisition doit être égale à 1 KHz et le temps d'intégration  $T$  égal à 1 ms.

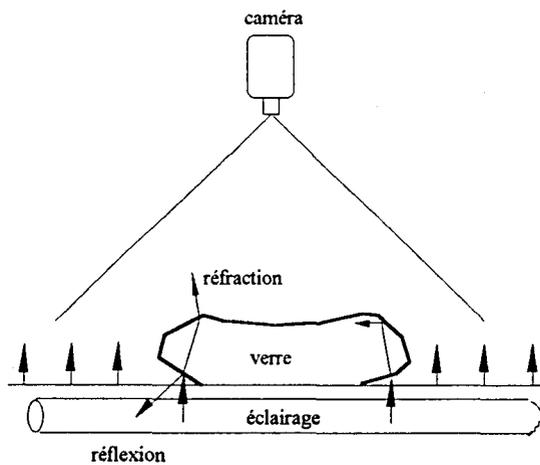


Figure 3.3 Phénomène de réflexion et de réfraction sur les bords d'un morceau de verre

### 3.6. Résolution des pixels

La surface d'un pixel sur la zone du contrôle dépend de la dimension du pixel ( $\Delta x \times \Delta y$ ), du nombre de pixels sur la barrette (N) et de la largeur de la zone (L). La longueur du capteur l est égale à  $N \times \Delta x$ . D'après la relation définie dans le paragraphe 3.2:

$$l = \frac{f \times L}{f - Z}$$

L'agrandissement de l'image est défini comme  $A_g = L/l$ . On peut établir la relation entre la distance focale f et la distance D entre la caméra et la zone observée:

$$D = A_g \times f$$

La distance focale de l'objectif est imposée par la contrainte d'encombrement. Dans notre application, nous avons environ 2 mètres d'espace libre entre la zone d'inspection et la caméra. Nous utilisons une caméra linéaire avec un capteur de type CCD de 1728 pixels, fabriqué par THOMSON. La dimension de chaque élément photosensible est de  $13 \times 13$  microns. La longueur du capteur est égale à 22.464 mm. Comme la zone à contrôler a 1300 mm de large, l'agrandissement de l'image  $A_g$  est égal à 58, ce qui impose une distance focale de 34.56 mm. Nous avons choisi un objectif de distance focale 35 mm, qui donne 2025 mm pour la distance D.

En fonction de l'agrandissement, la surface vue par un pixel sur la zone du contrôle est égale à  $(\Delta x \times A_g) \times (\Delta y \times A_g)$ , c'est à dire  $0.75 \times 0.75$  mm. Chaque pixel de la caméra va intégrer la lumière provenant de sa zone d'inspection pendant le temps d'intégration T.

### 3.7. Sensibilité à la lumière

#### 3.7.1 Sensibilité de la caméra en fonction de la couleur

La caméra, comme l'oeil humain, indépendamment de toute notion qualitative de couleur, ne possède pas une sensibilité égale vis à vis des diverses radiations lumineuses. La définition de la sensibilité  $S_l$  de l'élément photosensible est un rapport entre le nombre NM de photocharges mémorisées et le nombre NI de photons incidents sur un pixel:

$$S_1 = \frac{NM}{NI}$$

Elle dépend de la dimension de l'élément photosensible, de la structure (photo MOS ou photodiode) et de l'épaisseur de la couche photosensible. La figure 3.3 présente les courbes de sensibilité de deux types de capteur (photodiode et photo MOS) en les comparant à celle de l'oeil humain.

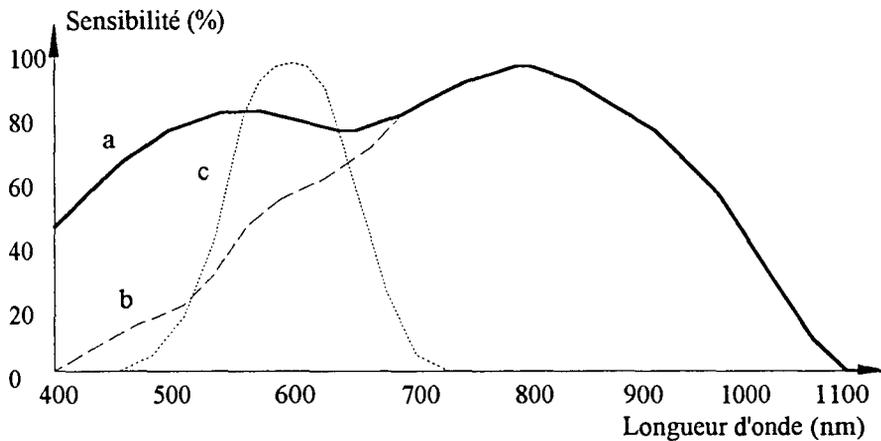


Figure 3.4 Courbes de sensibilité des caméras

- a) Capteur à photodiode (CCD)
- b) Capteur à photo-MOS
- c) Oeil humain

Les caméras avec capteur à photodiodes sont très sensibles aux lumières composées de radiations de longueur d'onde entre 400 nm et 1000 nm. Leurs points de sensibilité maximale se trouvent près de 750 nm. Leurs courbes de sensibilité peuvent s'étendre jusqu'à 1100 nm.

### 3.7.2 Sensibilité au contraste

La caméra réagit de façon non linéaire aux variations spatiales de l'intensité lumineuse. La notion de sensibilité au contraste est présentée par la capacité de réaction des caméras à ces variations. Elle dépend à la fois des conditions d'éclairage et de la structure physique des éléments photosensibles du capteur.

La réponse de la caméra aux variations spatiales de l'intensité lumineuse est tout d'abord une fonction de la luminosité du fond de la scène observée. On peut constater que les images provenant d'une scène sombre ou saturée ont souvent un faible contraste.

Elle est aussi fonction de la fréquence des variations spatiales. Comme nous l'avons définie dans le paragraphe 3.3, la résolution spatiale de la caméra est sa capacité de discrimination des détails spatiaux sur une image par le réseau d'éléments photosensibles. La limite de cette capacité est donnée par la fréquence de Nyquist:

$$FN = \frac{1}{2 \times \Delta x}$$

où  $\Delta x$  est la largeur des pixels.

L'influence de la longueur d'onde des radiations lumineuses est aussi très importante. On peut constater que la caméra suit moins bien les variations de l'intensité lumineuse en lumière rouge qu'en lumière bleue. La cause de cette différence de comportement provient de la diffusion des électrons au coeur du silicium. Certains électrons générés sur un pixel vont être diffusés aux pixels voisins à cause de l'imperfection de la séparation des pixels. Cet effet devient plus important lorsque la longueur d'onde des radiations augmente, car les photons avec une grande longueur d'onde sont absorbés plus profondément dans la couche de silicium.

## **4. LE SYSTEME D'ECLAIRAGE**

La luminosité des particules constitue le critère principal de détection des impuretés dans le verre. L'image acquise ne sera exploitable que si elle met en évidence les différences de transmission de la lumière par les différents éléments passant dans le champ de la caméra. En effet, les éléments photosensibles du capteur accumulent l'énergie apportée par les rayons lumineux issus de la source d'éclairage et traversant les particules. Le spectre de fréquence de la lumière et les caractéristiques de la source lumineuse ont une influence très importante sur la qualité des images recueillies.

### **4.1. Définition du spectre de fréquence de la source**

L'analyse des propriétés optiques de verre présentée dans le chapitre II montre que la qualité de la lumière peut rendre une image de verre plus ou moins claire. Les verres d'emballage colorés ont différentes caractéristiques d'absorption. Le niveau de transmission d'un type de verre dépend essentiellement de la composition spectrale de la source lumineuse (Cf. Chapitre II.2.2 ).

Le spectre de fréquence de la source lumineuse doit satisfaire plusieurs contraintes. Il doit être favorable à la transmission pour tous les types de verre. Il doit correspondre à la zone de sensibilité maximale de la caméra. Il doit également favoriser la sensibilité au contraste des éléments photosensibles de la caméra.

Deux plages de longueurs d'onde des radiations peuvent remplir la contrainte de transmission du verre. Ce sont les zones de 500 nm à 600 nm et de 700 nm à 1100 nm, mais cette dernière est à la limite de sensibilité de la caméra. Par contre, le domaine qui s'étend de 500 nm à 600 nm satisfait la contrainte de sensibilité de la caméra tout en favorisant une bonne sensibilité au contraste.

### **4.2. Eclairage direct ou diffus**

#### **4.2.1. Analyse du trajet des rayons lumineux**

Le comportement optique d'un morceau de verre dans un système d'éclairage diascopique résulte de la superposition de deux phénomènes principaux:

- Un phénomène de transmission.
- Un phénomène de diffusion.

Le phénomène de transmission résulte des lois de l'optique géométrique. Les rayons qui pénètrent dans un morceau de verre sont déviés selon les lois de Descartes et peuvent ressortir avec des directions différentes de celles des rayons incidents.

Plus précisément, lorsque les morceaux de verre peuvent être assimilés à des lames à deux faces parallèles, posées à plat devant la source lumineuse, la quasi totalité de la lumière incidente est reçue par la caméra (Cf. fig. 3.5).

Par contre, sur les bords des morceaux de verre, les éclats dus au broyage donnent des surfaces de réfractons d'orientations très diverses qui peuvent dévier les rayons incidents de telle sorte qu'il ne soient plus visibles par la caméra (Cf. fig. 3.5). Ce phénomène crée des régions sombres sur les pourtours des débris de verre qui peuvent alors être confondus avec des impuretés opaques à la lumière.

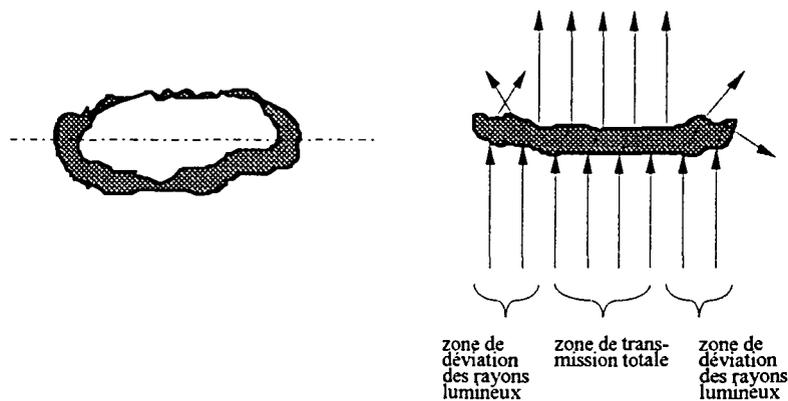


Figure 3.5 Un morceau de verre broyé

Sur ces phénomènes de transmission se superposent des phénomènes de diffusion qui dépendent de l'état de surface du verre. Les rayons incidents sont renvoyés dans toutes les directions, ce qui provoque une dispersion de l'énergie lumineuse autour de la direction théorique de réfraction à chaque interface air/verre. Mais on ne peut compter sur cette diffusion pour que les rayons déviés à la périphérie des morceaux de verre soient visibles par la caméra (Cf. fig. 3.6).

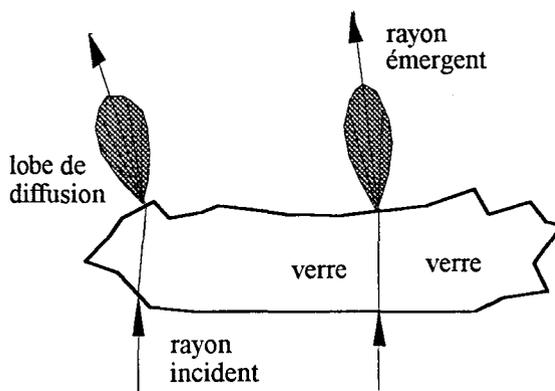


Figure 3.6. Réfraction et diffusion sur un morceau de verre

#### 4.2.2 Nécessité d'un éclairage diffus

L'analyse du comportement des rayons lumineux traversant un morceau de verre montre qu'il faut éviter l'utilisation d'un éclairage direct. En effet, si les rayons incidents ont une direction privilégiée, certains seront déviés par les faces des débris de verre et ne seront pas vus par la caméra.

Cette constatation nous conduit à rejeter tout éclairage à base de rayons laser, que ce soit avec une rampe de diodes laser situées sous le passage des particules, un plan laser, ou avec un système de balayage de la zone inspectée avec des miroirs tournants.

Pourtant, certains systèmes de tri ont adopté ce principe [Alb80, Tos87]. Nous savons que les pertes de verre sont alors importantes, et que ces systèmes sont, de plus, très difficiles à exploiter, car sensibles à tout encrassement de la zone d'inspection.

Nous nous orientons donc vers des sources de lumière diffuses. La réalisation de ce type d'éclairage est relativement aisée. Il suffit d'intercaler une vitre dépolie entre la source lumineuse et le passage du verre. Ainsi, les rayons lumineux traversent le verre avec différents angles incidents. Plus ces angles sont nombreux, moins les risques de déviation totale des rayons par les faces du verre sont importants.

Sous la vitre dépolie, nous avons le choix entre des lampes à halogène et des tubes fluorescents pour réaliser une source uniforme le long de la zone de contrôle avec une intensité lumineuse stable dans le temps et favorable à la détection.

Les lampes à halogène peuvent produire une lumière d'intensité réglable et très stable. Mais elles nécessitent souvent un montage délicat de plusieurs sources se chevauchant pour obtenir une source uniforme de grande longueur. La consommation énergétique est grande, la durée de vie des lampes puissantes est limitée et la maintenance du système est difficile.

Les tubes fluorescents peuvent donner une lumière uniforme sur toute la longueur de la zone de contrôle. L'encombrement réduit permet d'avoir un système d'éclairage compact. Une alimentation en haute fréquence garantit une stabilité temporelle de l'intensité. Un tel dispositif est très favorable à la prise des images par la caméra linéaire de notre application [Mac92].

### 4.3. Réalisation du dispositif d'éclairage

Les spectres de fréquence de certains tubes fluorescents sont donnés fig.3.7. On constate que le type "blanc industriel 33" correspond à nos besoins.

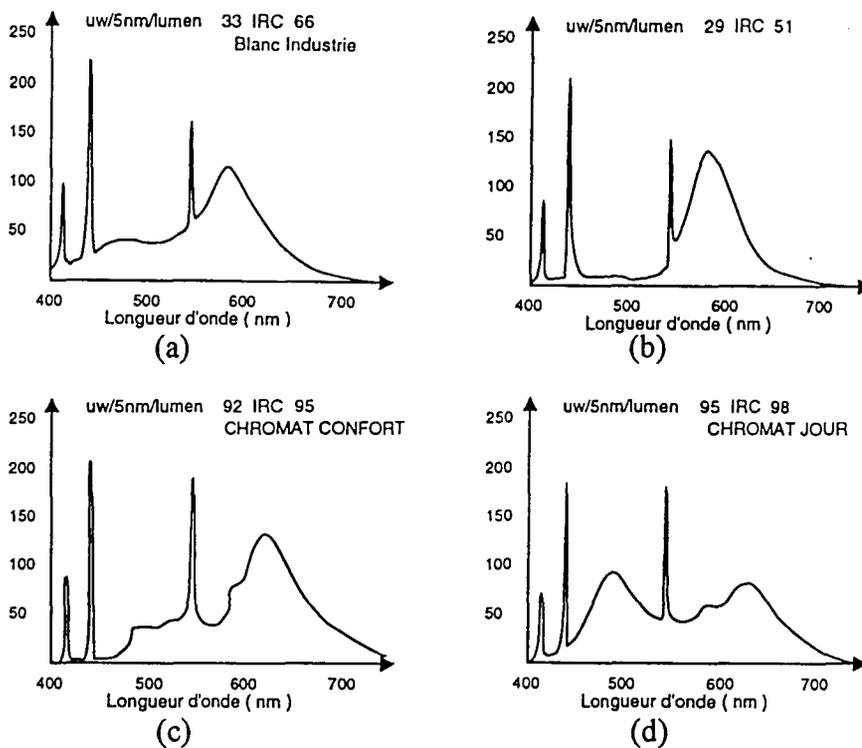


Figure 3.7 Spectres des sources lumineuses

Les tubes de marque PHILIPS, de type TLD 58/33, ont une puissance de 58 watts pour une longueur de 1,50 m. La faible consommation énergétique de ce dispositif d'éclairage et son encombrement réduit permettent de le loger très près du passage du groisil, sans nécessiter de ventilation.

Compte tenu de la fréquence d'acquisition des images (1 KHz), des ballastes de haute fréquence sont utilisées pour alimenter les tubes fluorescents à 28 KHz.

La taille des morceaux de verre varie de 6 mm à 40 mm. L'épaisseur du verre varie entre 0.8 mm et 4 mm. Nous avons choisi, après de multiples essais, une vitre dépolie de 100 mm de large contre laquelle on place deux tubes fluorescents parallèles accolés. La caméra vise l'axe de ce système d'éclairage. Un réflecteur en aluminium concentre la lumière vers la vitre dépolie. Cette vitre protège le système d'éclairage tout en assurant une diffusion de la lumière émise par la source. Cette configuration assure un éclairage des morceaux de verre tout à fait satisfaisant sans perturber la détection des objets opaques de petite dimension (Cf. fig. 3.8).

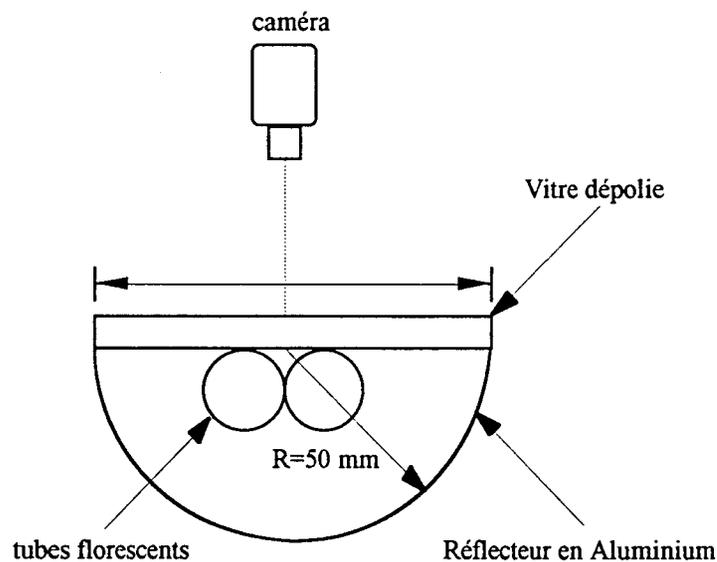


Figure 3.8 Dispositif d'éclairage

#### 4.4. Intégration du système d'éclairage

Les particules doivent être éclairées le mieux possible lors de leur passage devant la caméra [Anz85, Hil83]. Nous pourrions installer le dispositif d'éclairage en dessous du

tapis transporteur à l'extrémité du couloir vibrant, où les particules sont bien séparées et réparties sur toute la largeur [Bli78, Ree80]. On disposerait alors d'un espace libre important au-dessus de la source d'éclairage pour installer la caméra (Cf. fig. 3.9). Avec cette configuration, il y aurait peu de risques d'avoir des intrusions d'opérateurs dans la zone de détection. Mais cette configuration est peu favorable à l'intégration du système d'éjection. En effet, il est difficile de prévoir le mouvement des particules sur le couloir vibrant après leur détection par le système de vision, ce qui rend leur éjection problématique. De plus, cette position de la source ne favorise pas la protection du dispositif d'éclairage, en particulier vis à vis de l'eau qui circule avec le flux de verre. Des saletés telles que des papiers, des traces d'eau sale, peuvent également rester sur la vitre, ce qui provoquerait de fausses détections.

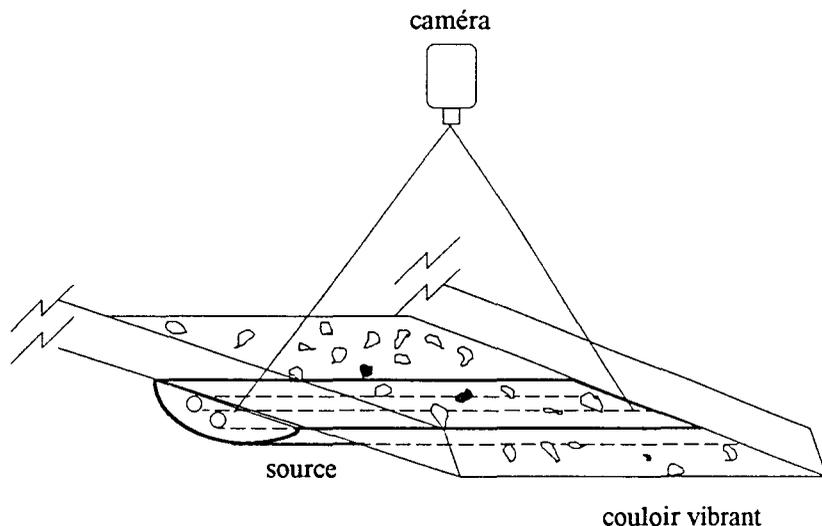


Figure 3.9 Intégration du dispositif d'éclairage sous le couloir vibrant

Nous avons décidé d'installer le système d'éclairage sur un dispositif mobile incliné, situé en sortie du couloir vibrant (Cf. fig. 3.10). Nous appellerons "plan d'inspection" le plan incliné le long duquel chute le flux de verre en passant d'abord devant le système d'éclairage, puis devant le système d'éjection.

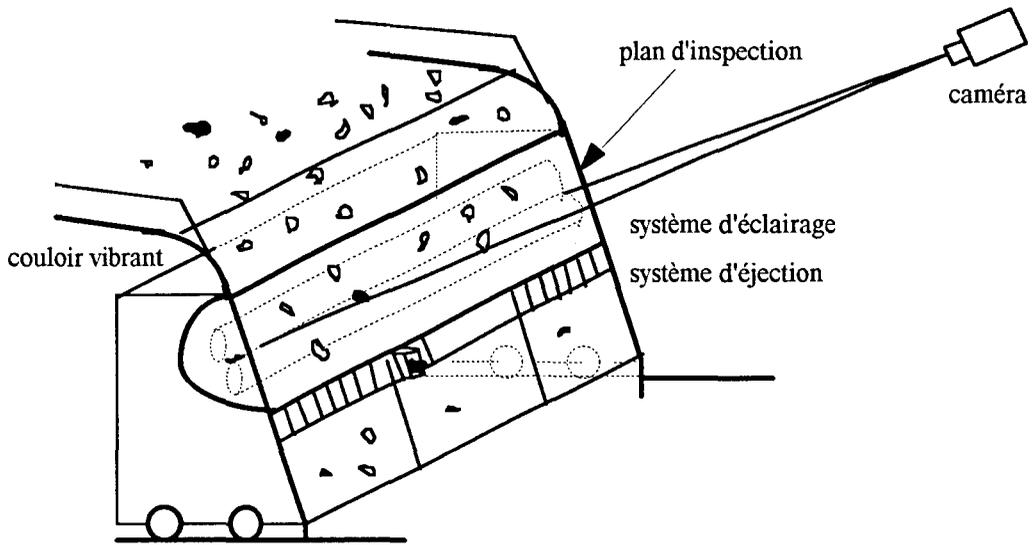


Figure 3.10 Intégration du système d'éclairage dans un dispositif mobile incliné

Ce dispositif incliné peut être désolidarisé du couloir vibrant pour assurer sa maintenance et être remis facilement en place grâce à son guidage sur des rails.

La liaison du couloir avec ce plan et son inclinaison sont calculées de telle sorte qu'il épouse la trajectoire initiale des particules quand elles quittent le couloir vibrant. Dans ce dernier, elles avancent à la vitesse de 1,5 m/s, selon une direction quasiment horizontale. Sans le plan d'inspection, leur chute à la sortie du couloir serait régie par les deux équations (Cf. fig. 3.11):

$$\begin{cases} x = v_0 \times t \\ y = \frac{1}{2} \times g \times t^2 \end{cases}$$

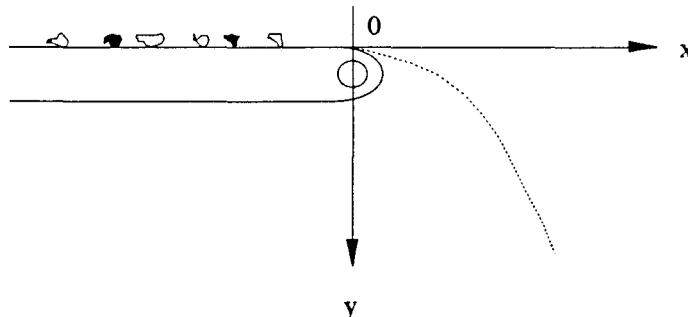


Figure 3.11. Représentation de la chute libre des particules à l'extrémité du couloir sans plan d'inspection

La trajectoire est donc décrite par l'équation:

$$y = \frac{g \times x^2}{2 \times v_0^2}$$

Une plaque d'acier inoxydable forgée permet de suivre cette trajectoire jusqu'à  $x=0,4$  m. Au delà, la trajectoire est assimilée à une droite de pente  $60^\circ$ , qui est très proche de la trajectoire en chute libre (Cf. fig. 3.12).

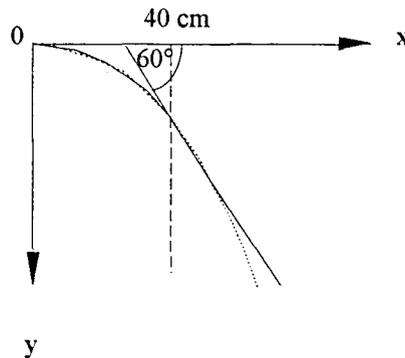


Figure 3.12. Profil du plan d'inspection

Les particules passent au-dessus de l'éclairage et la caméra vise perpendiculairement la zone de détection avec un recul de 2 m. Il y a très peu de chance que des saletés restent collées sur la vitre et que l'eau pénètre dans le système. Les objets sont quasiment en chute libre. Si la distance parcourue entre la détection et l'éjection est faible, on peut considérer la vitesse des impuretés indépendante de leur masse. Le seul inconvénient de cette configuration résulte du fait qu'il est difficile de protéger le champ de la caméra qui peut être traversé par des opérateurs.

## 5 DISPOSITIF D'EJECTION

Indépendamment du problème d'identification des déchets, l'efficacité et la fiabilité du système vont être finalement mis en évidence lors de l'évacuation des impuretés. Supposons le système de détection en parfait état de fonctionnement, l'élimination des impuretés dépend alors de la localisation précise de l'objet détecté et de l'instant où est actionné le dispositif d'éjection. Un dysfonctionnement de cette partie peut augmenter le nombre d'impuretés restant dans le verre traité ou introduire une lourde perte du produit.

### 5.1. Localisation des objets détectés

Les impuretés pourraient être détectées sous la forme de traces noires sur les image recueillies au niveau de la zone d'inspection. A l'instant d'acquisition  $t_0$ , le système de vision peut fournir des informations précises sur la position de telles traces laissées par des corps opaques sous la forme d'adresses de pixels. En général les formes des impuretés sont globulaires. On peut donc actionner un éjecteur de telle sorte qu'il frappe chaque impureté en un point qui correspond au milieu de la trace laissée sur l'image ligne.

A quel moment doit-on actionner l'éjection pour évacuer les impuretés avec le maximum d'efficacité? C'est une question difficile. Il s'agit de déterminer le temps  $\tau$  qui sépare le passage d'une impureté devant la caméra et devant le dispositif d'éjection. Nous notons  $D$  cette distance fixe. Pendant la descente le long du plan d'inspection, l'impureté est soumise à l'attraction de la pesanteur et à des forces de frottement (Cf. fig. 3.13).

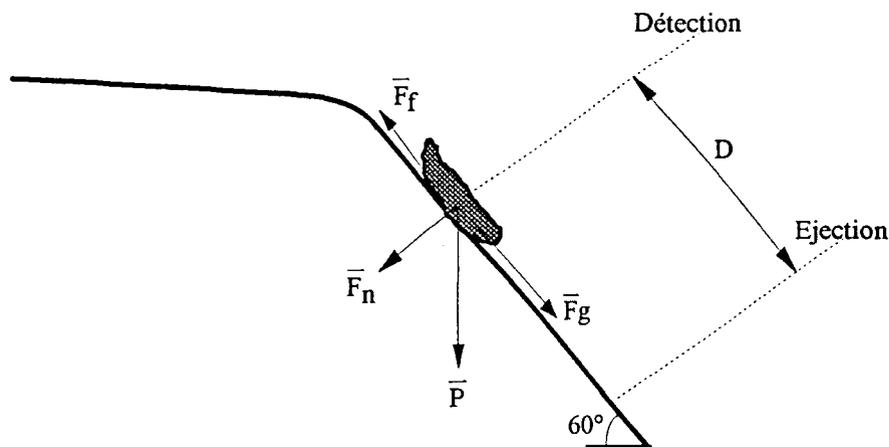


Figure 3.13 Mouvement d'une particule sur le plan d'inspection incliné

Les forces de frottement dépendent de la forme, de l'état de surface de chaque particule et de l'état de surface du plan d'inspection. Elles sont donc difficilement prévisibles, ce qui fait que la durée de la chute entre la ligne d'inspection et la ligne d'éjection n'est pas constante.

Pour préciser ce phénomène, on calcule les composantes  $\bar{F}_n$  et  $\bar{F}_g$  du poids  $\bar{P}$  entraînant la particule dans sa chute le long du plan incliné, on a:

$$\bar{F}_n = \cos(60^\circ) \times P = \frac{1}{2} \times P \quad \text{et} \quad F_g = \sin(60^\circ) \times P = \frac{\sqrt{3}}{2} \times P$$

où  $\bar{P} = m \times \bar{g}$ ,  $m$  étant la masse de l'objet et  $g$  l'accélération de la pesanteur, égale à  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

La force de frottement  $F_f$  est définie par le coefficient de frottement dynamique  $\mu$ , qui est lié à l'état de surface de l'objet, à sa nature et à sa forme. On a:

$$F_f = \mu \times F_n$$

Nous pouvons obtenir la force réelle qui entraîne l'objet le long du plan d'inspection comme suit:

$$F = F_g - F_f = \frac{\sqrt{3} - \mu}{2} \times m \times g = m \times \alpha$$

où  $\alpha$  est l'accélération du mouvement.

La vitesse d'une particule à l'instant  $t$  est ainsi définie par:

$$v(t) = \alpha \times t + v_0 = \frac{\sqrt{3} - \mu}{2} \times g \times t + v_0$$

Pour un objet donné, la durée  $\tau$  de la chute est déterminée par:

$$\tau = \frac{\sqrt{v_0^2 + D \times (\sqrt{3} - \mu) \times g} - v_0}{(\sqrt{3} - \mu) \times g} \times 2$$

Il est impossible d'adapter  $\tau$  à chaque objet détecté, puisque  $\tau$  dépend du coefficient  $\mu$  qui est étroitement lié à la nature des particules. On sait par exemple que les

céramiques ont des coefficients très faibles alors que la terre mouillée présente un coefficient très élevé.

Soient  $\tau_{\max}$  le temps correspondant à la chute de la terre pour laquelle le coefficient  $\mu$  est maximum et égal à  $\mu_{\max}$  et  $\tau_{\min}$  celui correspondant à la chute de la céramique pour laquelle le coefficient  $\mu$  est minimum et égal à  $\mu_{\min}$ . Soit  $\bar{\tau}$  la moyenne de ces deux temps extrêmes:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_{\max} + \tau_{\min}}{2}$$

Si on fixe l'instant d'éjection à  $\bar{\tau}$  secondes après l'instant de détection, certaines particules n'auront pas parcouru la distance  $D$  en  $\bar{\tau}$  secondes et d'autres l'auront dépassée. La plus lente aura parcouru la distance

$$D_{\min} = \int_{t_0}^{t_0 + \bar{\tau}} v_{\min}(t) \cdot dt$$

où  $v_{\min}(t)$  est donnée par la formule:

$$v_{\min}(t) = \frac{\sqrt{3} - \mu_{\max}}{2} \times g \times t + v_0.$$

La particule la plus rapide aura parcouru:

$$D_{\max} = \int_{t_0}^{t_0 + \bar{\tau}} v_{\max}(t) \cdot dt$$

où  $v_{\max}(t)$  est donnée par la formule:

$$v_{\max}(t) = \frac{\sqrt{3} - \mu_{\min}}{2} \times g \times t + v_0.$$

Afin de ne pas manquer une particule opaque, le système d'éjection devra couvrir une zone centrée en  $D$  et de largeur  $D_{\text{dif}} = D_{\max} - D_{\min}$ .

On remarque que  $D_{\text{dif}}$  est proportionnel à  $D$ . Plus  $D$  est grand, plus la zone d'éjection doit être large, ce qui conduit à des contraintes de réalisation difficiles à respecter.

Dans notre application nous prenons donc une faible distance  $D$ , égale 50 mm. Des essais observés avec une caméra vidéo ultra rapide ont permis de filmer les chutes au ralenti et d'estimer  $D_{\text{max}}$  et  $D_{\text{min}}$ . L'analyse des séquences ainsi recueillies a permis de fixer les limites de la zone d'éjection et le temps  $\bar{\tau}$ . Pour  $D=50$  mm,  $D_{\text{dif}}$  est égal à 20mm pour un temps  $\bar{\tau}=0,025$  s.

## 5.2. Choix et définition du système d'éjection

Il y a deux types de systèmes d'éjection susceptibles d'être intéressants [Bli78, Cro81, Gec78, Per84]:

- l'éjection par soufflage
- l'éjection par marteaux.

Un système de soufflage se compose d'une série de buses alimentées en air comprimé. On place ces buses sous le plan d'inspection, 50 mm après la ligne de détection. Au moment du passage sur la zone d'éjection, l'objet détecté est soufflé par l'air comprimé, commandé par un électrovanne, et évacué de la chaîne de traitement. Les zones actives des buses voisines se chevauchent.

La commande d'un tel système est simple et précise. L'établissement des jets d'air comprimé est rapide, ce qui permet d'avoir un temps d'éjection court et de diminuer les pertes de verre. La zone d'éjection peut être ajustée en modifiant la taille des trous des buses ou leur forme.

Sur le plan technique, un système à air comprimé est très avantageux par rapport à d'autres, mais il consomme beaucoup d'énergie et son coût de fonctionnement est prohibitif pour un traiteur de verre.

L'éjection par des marteaux est une solution plus économique. Le système est présenté figure 3.14. 64 marteaux sont logés côte à côte pour former une rampe en travers du plan d'inspection. Au repos, les marteaux sont rentrés et leur face active est

confondue avec le plan d'inspection. 8 blocs d'électrovannes commandent chacun 8 marteaux d'éjection. La hauteur des marteaux correspond à la largeur nécessaire de la zone d'éjection, soit 20 mm. En prenant des marteaux carrés de 20 mm sur 20 mm, on couvre les 1280 mm de largeur du flux de verre et on respecte la taille moyenne des particules.

Ce système très robuste peut travailler dans un environnement hostile et peut être facilement intégré dans la machine. Par contre, il est possible que les phénomènes d'abrasion dûs aux poussières de verre entraînent une usure prématurée du dispositif. Nous ne disposons pas d'assez de recul pour évaluer cette tenue des marteaux au cours de longues périodes de fonctionnement.

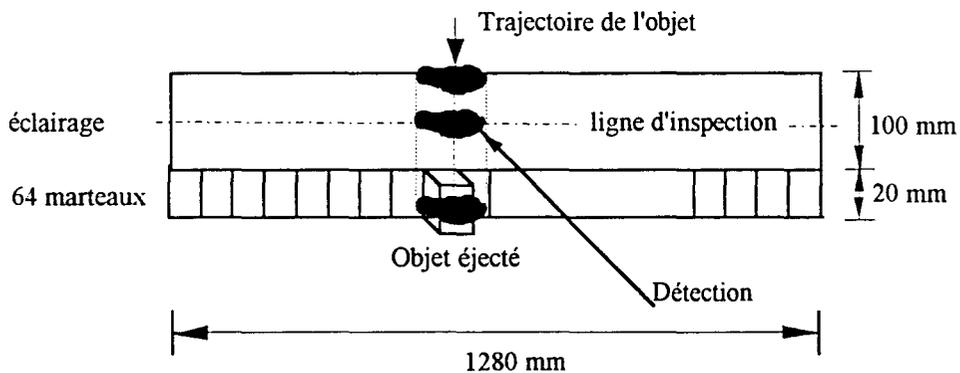


Figure 3.14 Système d'éjection à marteaux

## 6. CONCLUSION

Le système de tri automatique du verre développé dans le cadre de ce travail se compose d'une caméra linéaire, d'un dispositif d'éclairage et d'un système d'éjection mécanique. La source lumineuse apporte un éclairage diffus, homogène et d'intensité constante. Sa largeur et son spectre de fréquence sont choisis de telle façon que l'on puisse différencier les impuretés et les verres par la quantité de lumière qu'ils laissent passer vers la caméra. Le dispositif d'éclairage est logé sous un plan incliné le long duquel passent les particules. La caméra est placée perpendiculairement à cette zone d'éclairage. La vitesse de balayage et la résolution de la caméra sont définies afin d'obtenir les informations nécessaires à l'analyse des images. Un système d'éjection composé de 8 blocs d'électrovannes qui pilotent 64 marteaux est intégré en dessous de la source d'éclairage. La précision de la commande des marteaux est la garantie de l'efficacité de l'élimination des déchets et de la limitation des pertes de verre.

## **CHAPITRE IV**

### **IDENTIFICATION DES IMPURETES PAR ANALYSE DES IMAGES LIGNES**

## 1. INTRODUCTION

Le système d'acquisition d'image défini dans le chapitre III permet d'obtenir des informations sur la transparence des particules. Les niveaux de gris des pixels indiquent instantanément l'intensité lumineuse sur toute la ligne d'inspection. L'image d'une particule peut être reconstituée par les images successives acquises au cours de sa chute à travers le champ de la caméra. Nous pouvons considérer que les images lignes acquises fournissent une image de dimension infinie dans le sens de la progression du flux de groisil. Nous allons maintenant aborder les procédures de traitement des images lignes afin de différencier les impuretés des morceaux de verre.

Le flux de particules passe devant la caméra en permanence. A tout moment, des objets peuvent entrer dans le champ de caméra. En chaque point d'une image ligne, la présence d'une particule est un processus aléatoire sur lequel nous n'avons aucune information car l'instant d'entrée d'une particule dans le champ de la caméra, la forme de cette particule et sa vitesse de chute sont totalement imprévisibles. A un instant donné, chaque pixel peut recueillir une information sur le fond de l'image, c'est à dire sur la vitre dépolie ou une information sur une particule.

Malgré l'existence d'une certaine homogénéité entre les pixels du fond, les fluctuations spatiales de l'éclairage et du degré de propreté de la vitre dépolie produisent généralement une image du fond non uniforme.

Les images des impuretés sont toujours opaques, comme le sont d'ailleurs les images de certains morceaux de verre très sombres. Dans le but de détecter les impuretés, il n'y a pas intérêt à analyser les zones des images qui ont des niveaux de gris élevés. La première partie de ce chapitre est consacrée à l'extraction des zones sombres des images qui correspondent à la présence d'objets dans le champ de la caméra. Nous discutons ensuite les critères pour différencier et identifier les impuretés dans la dernière partie du chapitre.

## 2. SEGMENTATION DES OBJETS SOMBRES PAR SEUILLAGE

L'image acquise pourrait être séparée en trois types de zones distinctes:

Les zones correspondant au fond.

Les zones correspondant aux traces laissées sur le capteur par les morceaux de verre clair.

Les zones correspondant à des impuretés et des morceaux de verre foncé à identifier.

Pour l'identification des impuretés, les informations susceptibles d'être intéressantes à analyser sont les niveaux de gris des pixels les plus sombres des images.

La segmentation d'une image peut être considérée comme un problème de classification des pixels selon des critères d'homogénéité. Dans ce paragraphe, nous étudions ces critères et les méthodes de segmentation d'images lignes susceptibles de mettre en évidence les zones occultées par des impuretés.

Avec le système d'éclairage présenté dans le chapitre précédent, les parties des images associées au fond et aux morceaux de verre transparents sont claires. Un simple seuillage nous permet de différencier les zones à analyser finement, qui correspondent aux morceaux de verre et aux objets opaques.

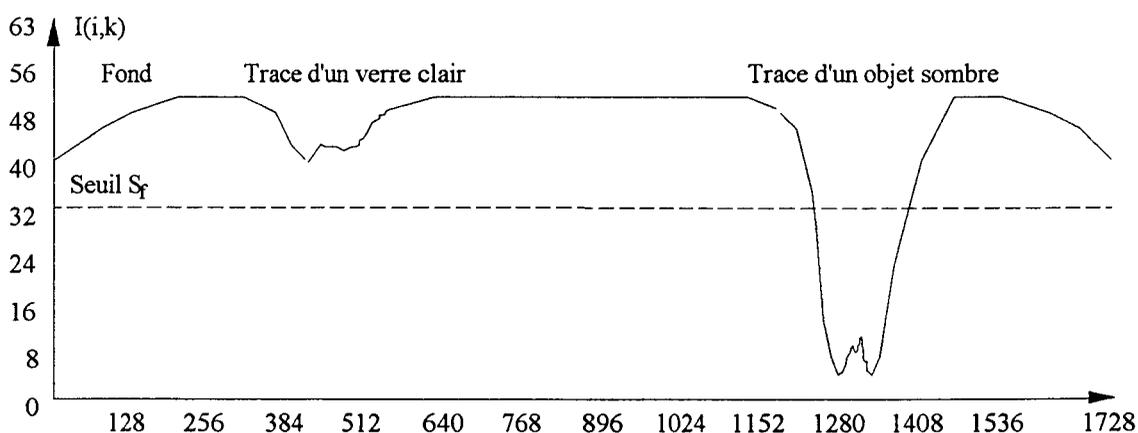


Figure 4.1 Image ligne d'un objet sombre et d'un verre clair sur un fond propre

Nous pouvons définir l'ensemble C des pixels qui correspondent aux parties sombres de l'image ligne. Soit une image ligne acquise à l'instant  $t_0+kT$  notée  $I(i,k)$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, 1728$ . Supposons que  $S_f$  est la valeur du seuil, comprise entre 0 et 63. Chaque pixel de l'image peut être affecté ou non à l'ensemble C selon que la valeur du niveau de gris  $I(i,k)$  est supérieure ou égale, ou inférieure, à  $S_f$ .

$$\begin{aligned} P_{i,k} \in C & \quad \text{si} \quad I(i,k) \leq S_f \\ P_{i,k} \notin C & \quad \text{si} \quad I(i,k) > S_f \end{aligned}$$

Nous pouvons considérer que l'opération de seuillage est une opération de prétraitement juste destinée à isoler les zones de l'image qui seront soumises à une analyse fine. Sur un fond uniforme, un seuil correctement ajusté peut isoler ces zones à analyser de tout le reste de l'image [Ame87, Har85, Sah88, Tan87]. Une nouvelle image ligne est ainsi obtenue. Elle est définie par:

$$\begin{aligned} I^*(i,k) = I(i,k) & \quad \text{si} \quad I(i,k) \leq S_f \\ I^*(i,k) = N_g & \quad \text{si} \quad I(i,k) > S_f \end{aligned}$$

$N_g$  est le niveau de gris du fond après ce prétraitement. Il est forcé à la valeur maximum de l'échelle des niveaux de gris. La détermination du seuil  $S_f$  pourrait être basée sur l'analyse de l'histogramme des niveaux de gris [Ots78, Rob91, Ros83].

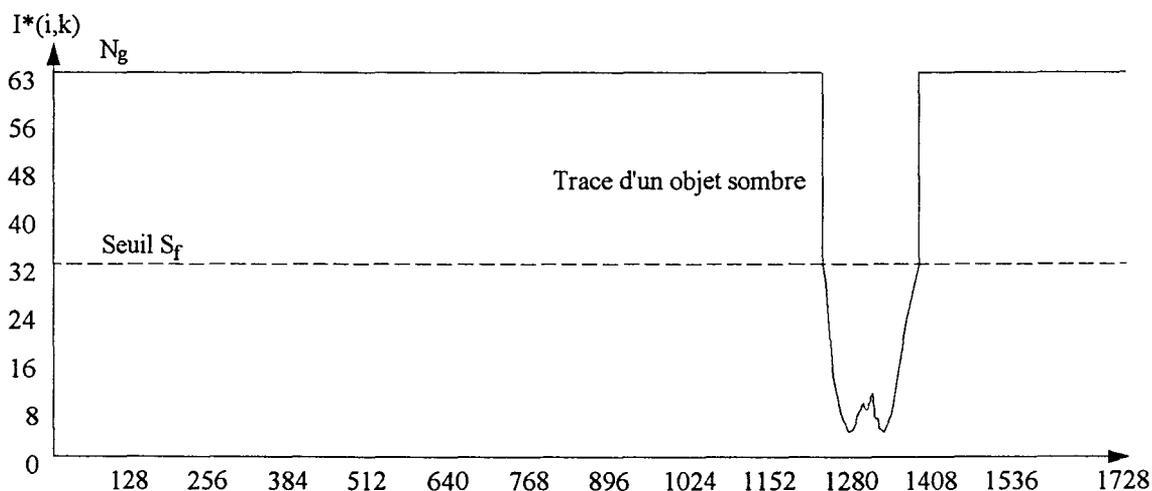


Figure 4.2 L'image prétraitée par seuillage

Une image présentant un histogramme bimodal est facile à segmenter. Il suffit de choisir la valeur  $S_f$  au creux de la vallée pour séparer la partie de l'image sombre de la partie claire. Si on suppose que les fonctions de distribution des deux modes obéissent aux lois gaussiennes  $\mathcal{N}(\mu_1, \sigma_1)$  et  $\mathcal{N}(\mu_2, \sigma_2)$ , le seuil optimal  $S_f$  est alors défini par [Dou90, Kit86]:

$$\frac{1}{\sigma_1} e^{-\frac{(S_f - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}} = \frac{1}{\sigma_2} e^{-\frac{(S_f - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}}$$

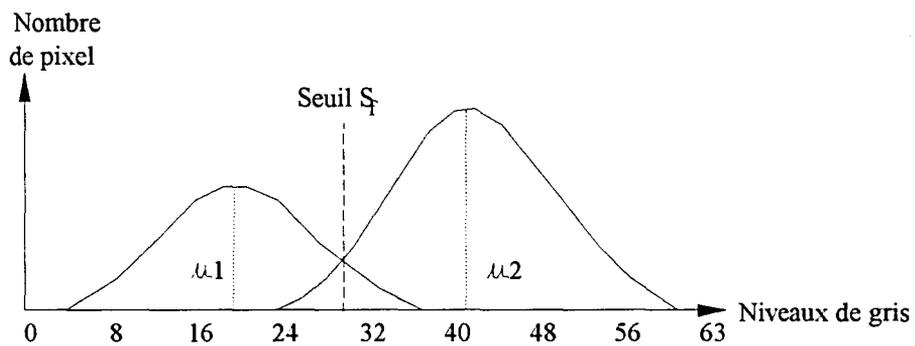


Figure 4.3 Histogramme bimodal

De petites variances  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  et un grand écart entre  $\mu_1$  et  $\mu_2$  favorisent la discrimination entre les pixels des différentes zones. Grâce à la construction soignée du système d'inspection présenté au chapitre précédent, les deux distributions  $\mathcal{N}(\mu_1, \sigma_1), \mathcal{N}(\mu_2, \sigma_2)$  sont, en pratique, très éloignées l'une de l'autre. Dans ces conditions, un simple seuillage à niveau fixe permet de différencier le fond de tous les éléments présents dans le champ de la caméra. Après ce seuillage, toujours réalisé au niveau de gris 20 sur l'échelle  $[0, 63]$ , on obtient une image segmentée telle que celle de la figure 4.4. Les parties non nulles de cette image ligne représentent soit des morceaux de verre sombre, soit des déchets opaques. Il s'agit maintenant de les différencier avec le maximum de fiabilité.

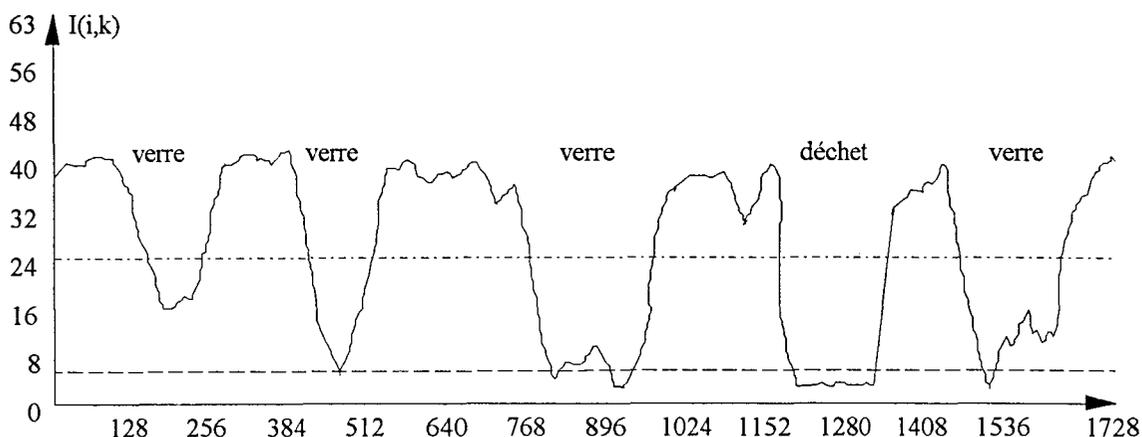


Figure 4.4 Image ligne  $I(i,k)$

Si, pour diverses raisons, l'homogénéité de l'illumination du fond ne pouvait être assurée, nous proposons, à titre prospectif, diverses solutions logicielles dans le chapitre VII de ce mémoire. Ces procédures n'ont pas été implantées sur les 13 machines de tri actuellement opérationnelles car les conditions d'éclairage ont toujours été parfaitement satisfaisantes.

### 3. ANALYSE DES IMAGES LIGNES SEGMENTEES

La figure 4.4 montre que l'opacité de certains morceaux de verre très épais et de couleur sombre peut être, localement, comparable à celle de corps infusibles opaques. Ce phénomène est très visible au niveau des pixels de rangs 900 et 1500 de la figure 4.4.

En remarque cependant que ces chutes importantes du niveau de luminance occasionnées par le passage de morceaux de verre épais et sombres au travers de la rampe d'inspection restent très localisées et ne concernent en général qu'une faible fraction de la trace sombre laissée par chaque morceau de verre sur l'image ligne. Au contraire de la trace d'un morceau de verre sur l'image, la baisse du niveau de gris dû au passage d'une impureté présente une grande homogénéité.

On pourrait penser différencier ces niveaux de gris faibles par une analyse de leur gradient, le module de ce dernier étant en général plus élevé quand il s'agit d'un morceau de verre plutôt que d'un corps opaque. En effet, on serait tenté de penser

que la non homogénéité du verre au niveau de la transmission de la lumière induit des variations de niveau de gris que l'on ne retrouve pas quand le corps est opaque.

En fait, nous avons comparé les moyennes des modules des gradients sur différents segments des images lignes correspondant à du verre et à des corps opaques. On constate que certains morceaux de verre très propres et très réguliers ne créent pas de variations locales du niveau de gris significatives le long des segments extraits des images. Sur la base d'un critère différentiel, ils seraient confondus avec des objets opaques.

### 3.1. Opacité moyenne

L'intégration de l'intensité lumineuse sur les zones extraites donne une description complète du comportement en transmission de la particule à chaque instant d'acquisition. Il nous semble plus logique de baser notre décision sur cette information globale plutôt que sur des paramètres locaux comme ceux évoqués ci dessus. L'opacité moyenne d'un segment  $S_j$  est calculée comme suite:

$$OP(j) = \frac{\int_{S_j} I(s) ds}{S_j}$$

Dans le cas de calcul discret,  $OP(j)$  est égale à:

$$OP(j) = \frac{\sum_{i \in S_j} I(i, k)}{N(j)}$$

où  $I(i, k)$  est le niveau de gris du pixel de rang  $i$  et où  $N(j)$  est le nombre de pixels constituant le segment  $S_j$ .

Nous avons représenté cette opération sur la figure 4.5. Les zones sombres irrégulières sont transformées en zones rectangulaires dont les hauteurs indiquent l'opacité moyenne correspondante. La discrimination entre les verres et les impuretés est mise en évidence par les différences des niveaux d'opacité moyens  $OP(j)$ .

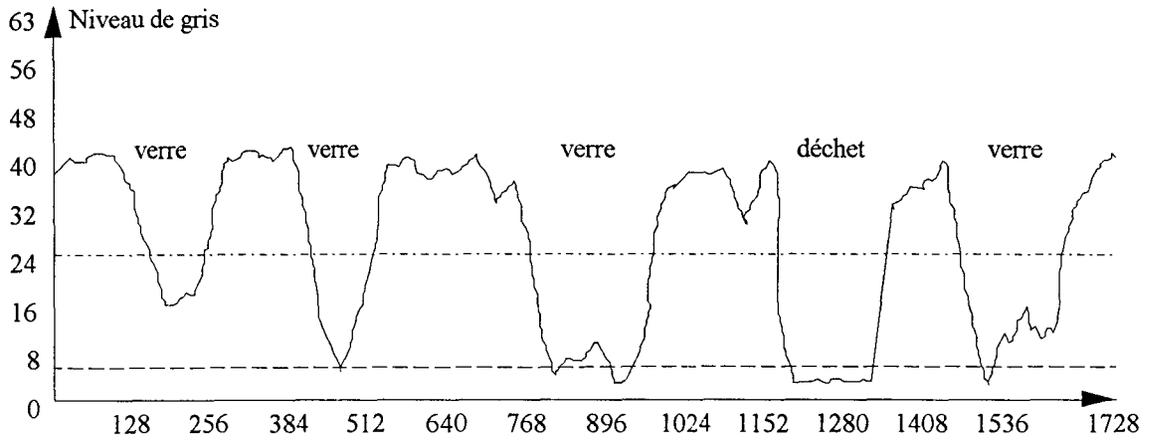
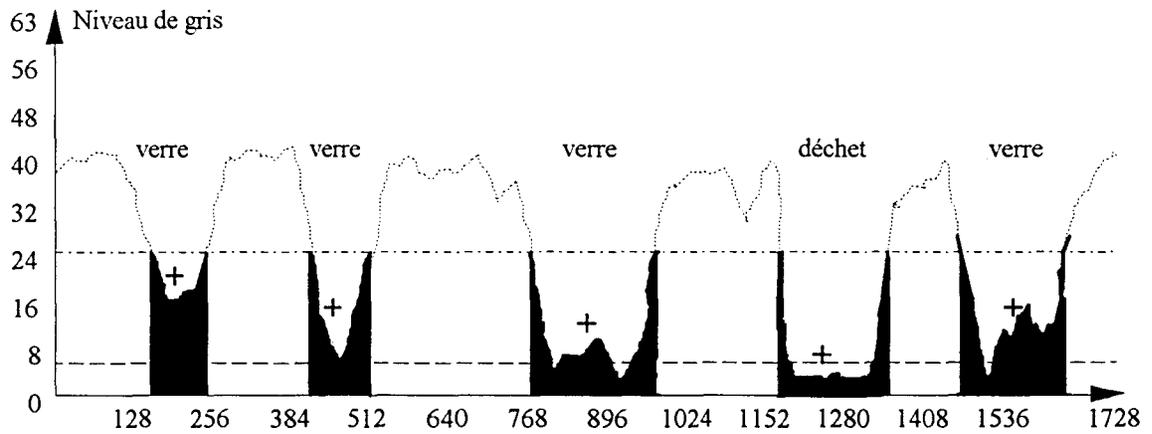
Figure 4.5 (a) Image ligne  $I(i,k)$ 

Figure 4.5 (b) Traces des éléments

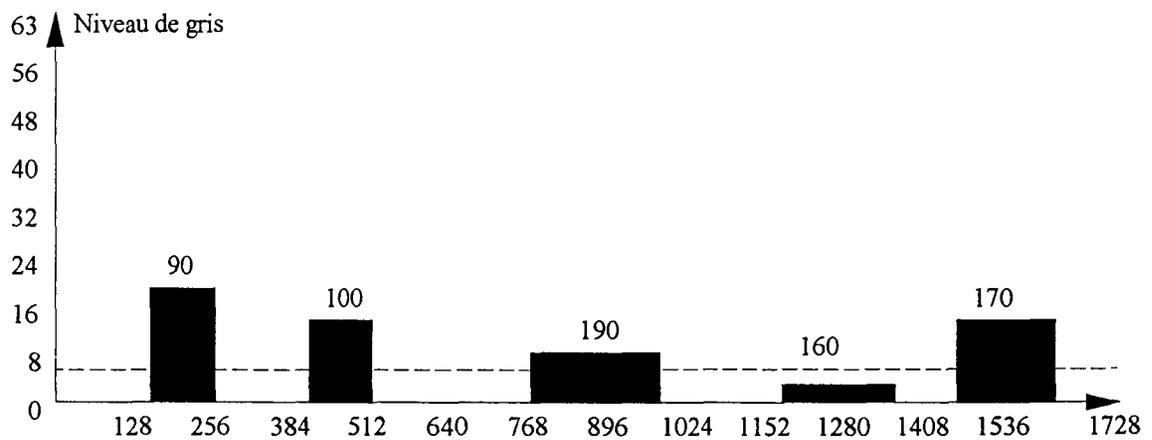


Figure 4.5 (c) Opacités moyennes des éléments

### 3.2. Opacité en fonction de taille des segments

Il apparaît cependant qu'un paramètre influe sur le niveau moyen de la luminosité de chaque objet. En effet, pour les éléments opaques de petite dimension, la valeur moyenne de la luminance est fonction de la longueur de la trace.

Il y a trois raisons qui expliquent ce phénomène:

a). Cause optique:

La diffraction et la diffusion au bord de l'élément éclairent les pixels du contour de l'objet et entraînent un niveau de gris élevé pour ces pixels. Plus la source est large et diffuse, plus l'effet se manifeste. Parfois, cet effet peut s'étendre à plusieurs pixels à l'intérieur de la trace.

b). Cause électronique:

L'imperfection de la séparation entre les pixels sur le réseau photosensible donne une chute de niveau de gris au bord d'un élément opaque relativement progressive et non nette et brutale. Les photons vont pénétrer dans la couche de silicium du capteur et se disperser vers leurs voisins si la séparation n'est pas parfaite. Plus le point se trouve au fond de la couche de silicium, plus il est difficile d'avoir une séparation parfaite et plus ce phénomène est important. C'est le cas pour une lumière composée de rayonnements de grande longueur d'onde.

c). Cause physique

Les pixels correspondant aux bords des éléments peuvent être plus ou moins éclairés compte tenu des phénomènes de bord présentes aux paragraphes 3.5 et 4.2.1, ce qui crée une imprécision sur la luminosité réelle du bord. Si une telle imprécision a peu d'influence sur le niveau de gris moyen d'un élément de taille importante, vu par plusieurs dizaines de pixels, il n'en est pas de même pour de petits éléments de 8 ou 10 pixels.

Pour mettre ces phénomènes en évidence, nous avons procédé à une étude expérimentale. Nous avons fabriqué une série de pièces rondes de tailles s'étageant de 3 mm à 15 mm de diamètre, peintes en blanc. La forme et la couleur des pièces nous placent dans les conditions les plus difficiles. Ces pièces de taille croissante sont disposées côte à côte sur la rampe d'inspection un même temps qu'un morceau de

verre sombre. On les lâche tous en même temps. L'image ligne correspondant à l'instant  $t_0+kT$  est tracée sur la figure 4.6.(a).

On constate que la chute de luminance est d'autant plus accentuée que la trace de l'élément est de taille importante. L'analyse des valeurs moyennes des luminances associées à ces éléments opaques de taille croissante confirme cette observation. La valeur moyenne de petits éléments opaques pourrait être plus grande que celle d'un morceau de verre épais.

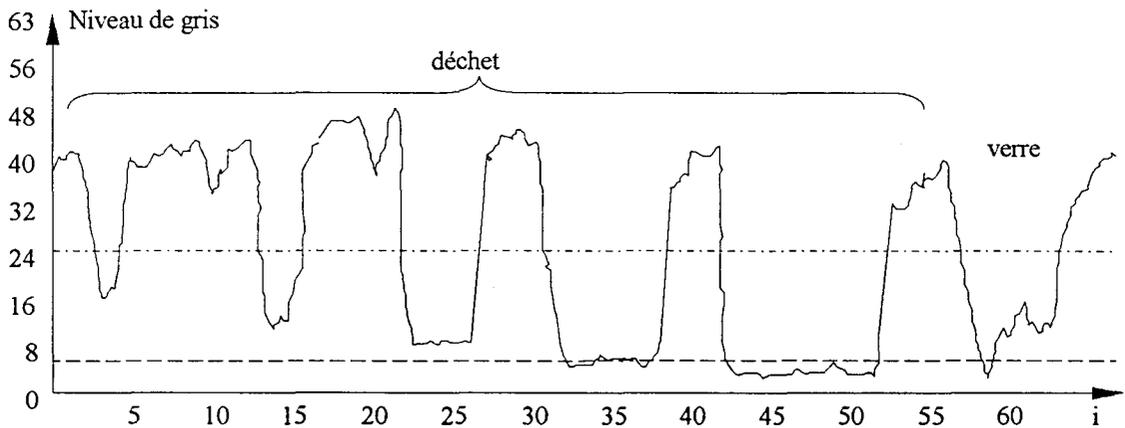


Figure 4.6 (a) Image ligne brut  $I(i,k)$

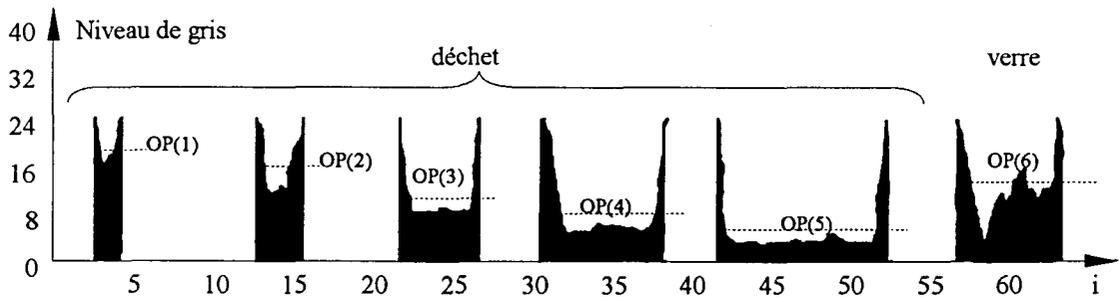


Figure 4.6 (b) Traces des éléments et leurs luminances moyennes

Afin de différencier les déchets opaques des morceaux de verre, il faudra donc tenir compte de ce phénomène. La stratégie de détection présentée dans le paragraphe suivant illustre cette démarche.

### 3.3. Stratégie de détection

Une autre analyse expérimentale a été effectuée. On a placé dans le champ de la caméra des couples d'éléments constitués d'un morceau de verre très foncé et d'un corps infusible opaque de mêmes tailles. La figure 4.7.(a) indique la luminance reçue par la caméra pour 4 couples d'éléments de taille croissante.

On constate qu'à longueurs de traces égales, le niveau de luminance moyen correspondant à un morceau de verre est plus élevé que celui correspondant à un corps opaque.

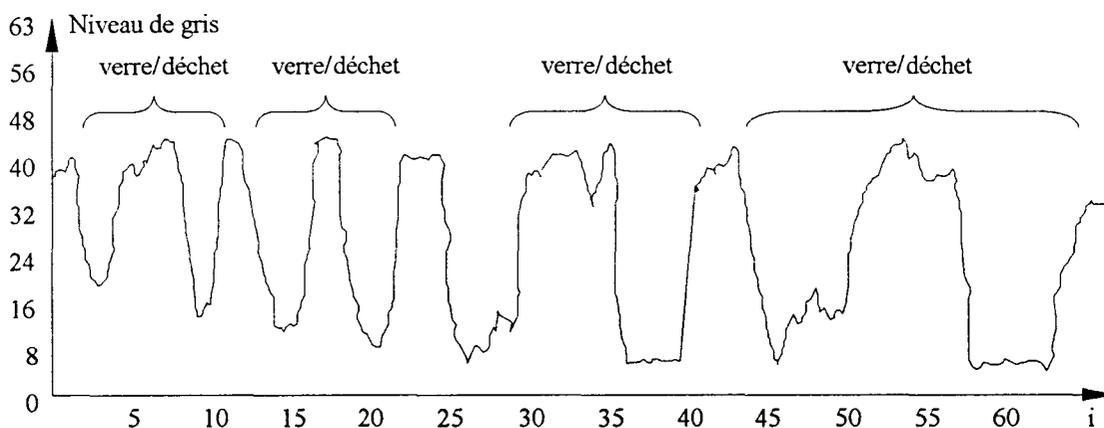


Figure 4.7.(a) 4 couples d'éléments de taille croissante

La figure 4.7.(b) montre cependant clairement que l'effet de la taille des éléments interdit l'emploi d'un seuil fixe et unique pour la discrimination entre verre et déchets opaques. Pour chaque longueur de trace, il faudra prévoir un seuil de valeur différente. Cette valeur sera une fonction décroissante de la longueur de la trace de l'élément. Elle tendra vers une valeur fixe au-delà d'une certaine dimension des éléments.

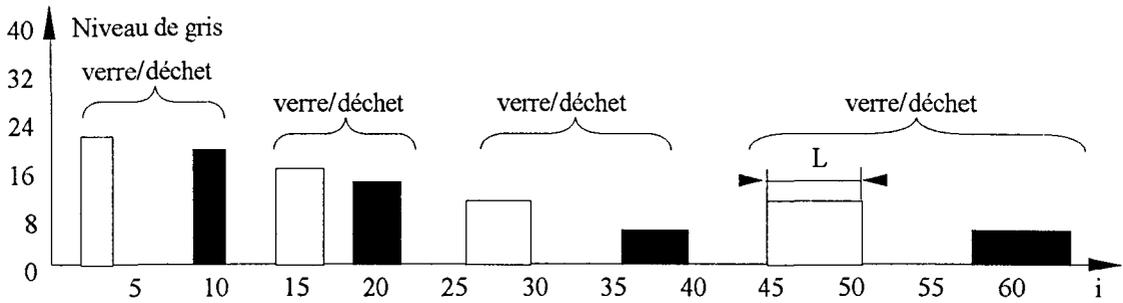


Figure 4.7.(b) Luminances moyennes de traces claires et opaques

De nombreuses expériences ont été menées pour obtenir la relation entre le seuil et la taille des éléments. La figure 4.8 montre la courbe du seuil minimum obtenue par l'essai en laboratoire avec les corps opaques de différentes dimensions. On peut modéliser cette loi  $S(L)$  par une fonction exponentielle dont les trois paramètres sont ajustés par la méthode des moindres carrés:

$$S(L) = \alpha \times e^{-\beta \times L} + d$$

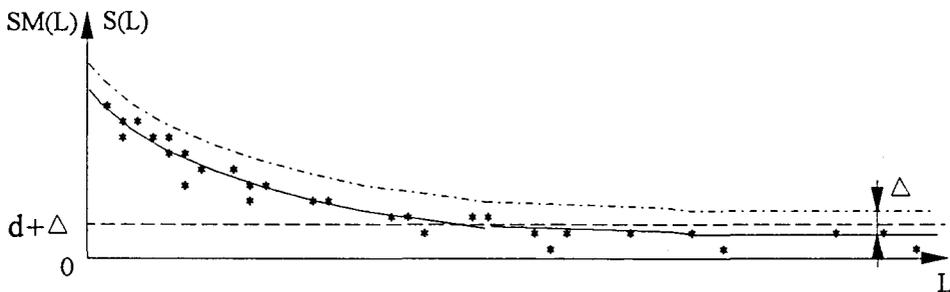


Figure 4.8 Courbe du seuil minimum

Une fois la fonction ajustée, celle-ci est translatée de la valeur  $\Delta$  minimale qui assure que tous les points expérimentaux sont situés en dessous de la courbe représentative de cette nouvelle fonction, appelée courbe de seuil minimum, d'équation:

$$SM(L) = S(L) + \Delta$$

#### 4. ANALYSE DES IMAGES LIGNES SUCCESSIVES

Les bords des morceaux de verre sont généralement beaucoup plus opaques que leur centre à cause des phénomènes de diffraction et de réflexion totale. Ces contours des particules en verre peuvent laisser des traces très sombres sur les images lignes alors que les traces laissées au cours de leur chute sur les images lignes précédentes ou suivantes sont plus claires. Avec la procédure d'identification décrite dans les parties précédentes, ce phénomène risquerait de provoquer de fausses détections de corps opaques. Toutes les méthodes développées auparavant correspondent à une analyse unidirectionnelle. Elles ne peuvent éliminer, ni diminuer, ces effets.

La figure 4.9 illustre ce phénomène. Les traces laissées par l'élément sur la première et la troisième image ligne acquises au cours de sa chute sont très sombres. Par contre, la valeur de l'opacité moyenne de la trace laissée sur la seconde image ligne serait au-dessus du seuil de rejet. Cet effet, qui est probablement la source principale des pertes de verre, nous conduit logiquement vers une analyse des images lignes successives. L'objectif recherché est donc d'éliminer les effets de bord sans pénaliser la détection des objets opaques.

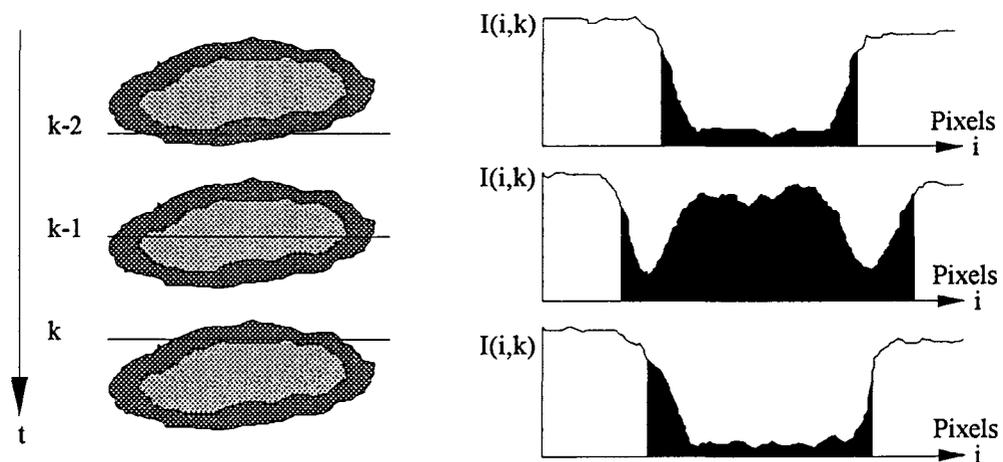


Figure 4.9 Trois images successives d'un morceau de verre

## 4.1. Comparaison des images lignes successives

Dans le but d'éliminer l'effet de la trace noire laissée par les bords des morceaux de verre, nous pouvons ne prendre en compte que les parties les plus claires des traces successives laissées par un élément sur les images lignes brutes avant les traitements explicités ci-dessus. Pour effectuer ce prétraitement, on mémorise  $n$  images lignes brutes successives, dès leurs acquisition, dans une mémoire de type FIFO (First In First Out).

Soit  $I(i,k)$  le niveau du gris du pixel de rang  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 1728$ , de l'image courante d'indice  $k$ , saisie à l'instant  $t_0+kT$ .

Soit:

$$U(i, k) = \text{SUP}\{I(i, k - n + 1), I(i, k - n + 2), \dots, I(i, k)\}$$

le maximum des niveaux de luminance des  $n$  pixels de positions identiques sur les  $n$  images lignes acquises successivement avant l'image ligne  $I(i,k)$ . En déterminant  $U(i,k)$  pour  $i = 1, 2, \dots, 1728$ , on obtient une nouvelle image ligne où la luminance du pixel de rang  $i$  est égale au maximum des luminances des pixels de même adresse sur les  $n$  lignes mémorisées.

La figure 4.10. illustre la procédure d'analyse des images lignes  $U(i,k)$  obtenues pour  $n=3$ . Cette procédure est en tout point identique à l'analyse d'une image ligne courante brute  $I(i,k)$ .

La figure 4.10 représente le passage d'un morceau de verre. Aucune des images lignes  $U(i,k)$  obtenues pour  $n=3$  ne conduira à une détection car les traces  $y$  sont très lumineuses. Par contre, l'analyse des images lignes  $I(i,k-5)$ ,  $I(i,k-4)$  ou  $I(i,k-1)$  indépendamment des autres déclencherait inévitablement l'éjection du morceau de verre car les traces  $y$  sont très sombres.

La figure 4.11 représente la chute d'un corps opaque. Dans ce cas, l'analyse de la luminance moyenne des traces sur les images lignes  $U(i,k-4)$ ,  $U(i,k-3)$  et  $U(i,k-2)$  conduira infailliblement à l'éjection du corps opaque.

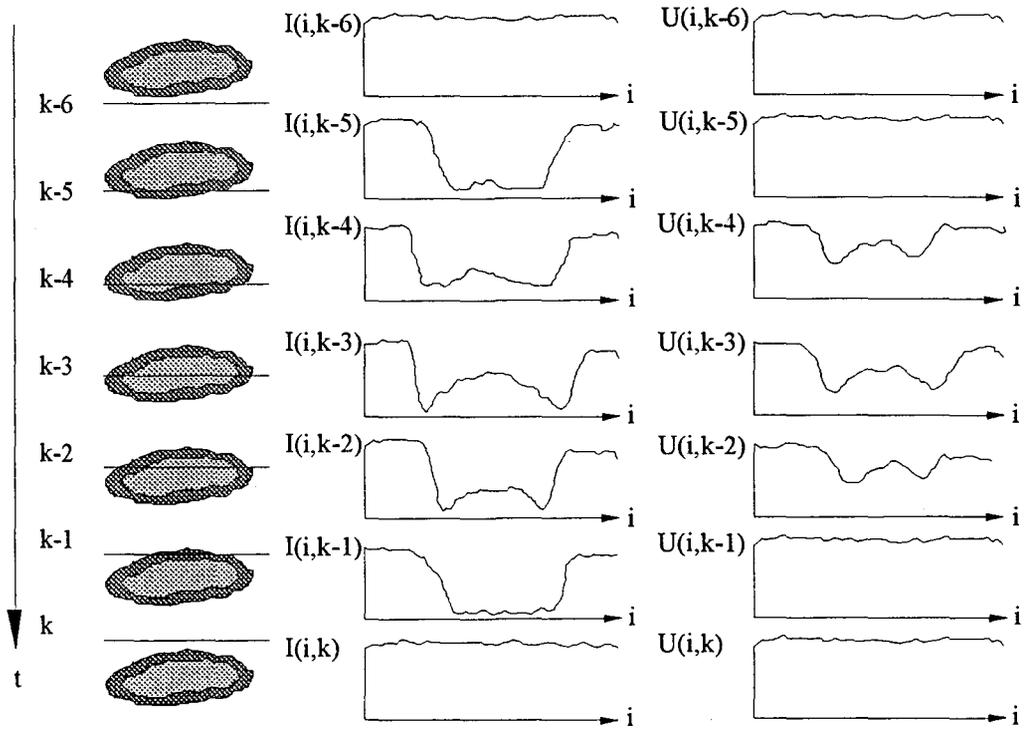


Figure 4.10 Analyse des trois images successives d'un morceau de verre

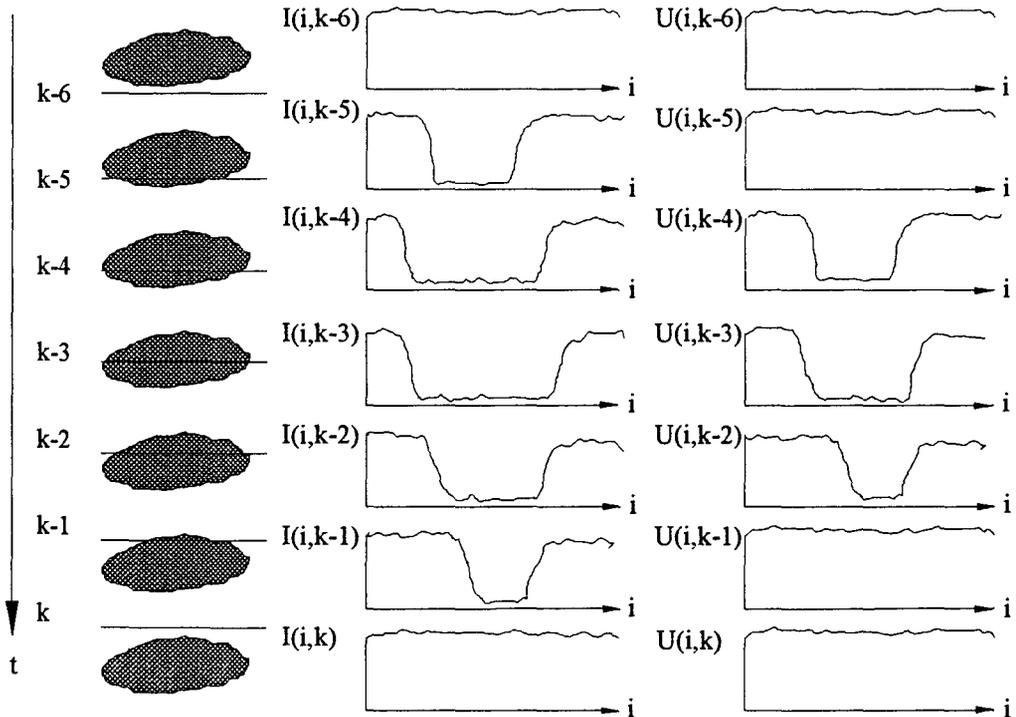


Figure 4.11 Analyse des trois images successives d'un objet opaque



## 4.2. Choix du nombre de lignes

Nous pouvons remarquer qu'il existe un risque de détection manquée en choisissant de mémoriser un grand nombre de lignes. En effet, les traces laissées par un petit élément opaque pourraient être complètement éliminées par cette méthode car les niveaux de gris du fond viendraient remplacer ceux des éléments opaques. Par contre, une petite valeur de  $n$  limite l'effet de cette procédure. Le choix du nombre de lignes  $n$  doit satisfaire les deux conditions suivantes:

- a). L'épaisseur représentée par  $n$  images lignes successives doit être plus grande que celle du bord d'un morceau de verre.
- b). L'épaisseur représentée par  $n$  images lignes ne doit pas dépasser la dimension du plus petit élément opaque à détecter.

La vitesse des particules tombant au travers du champ de la caméra étant d'environ 1,5 m/s, l'intervalle de temps séparant deux acquisitions successives étant de 1 ms, le déplacement d'une particule correspondant à cet intervalle de temps est de 1,5 mm. Tous les éléments triés sont préalablement criblés, de telle sorte que leur dimension minimale est de l'ordre de 6 mm. Les plus petits éléments du groisil traité laissent une trace sur au moins quatre images lignes successives, puisqu'en 4 ms, ils chutent d'environ 6 mm.

Nous avons choisi  $n$  égal à 3. L'expérience montre qu'il est rare d'avoir un bord de 4,5 mm d'épaisseur et que chaque objet sera vu sur au moins trois lignes successives.

## 5. CONCLUSION

Ce chapitre est consacré à la définition de la procédure d'identification des impuretés à partir des images lignes acquises en temps réel par le système défini dans le chapitre III. L'analyse des images lignes est divisée en deux phases. Une première phase consiste à extraire les segments sombres apparaissant sur un fond clair. Ce prétraitement nous permet de centrer directement l'analyse sur les zones qui nécessitent une discrimination entre le verre et les déchets.

La seconde phase consiste à analyser l'opacité de chaque segment ainsi extrait des images lignes. La différence entre les morceaux de verre et les corps infusibles est leur niveau de luminance moyen. Cependant, sur certains morceaux de verre sombres et épais, les niveaux de luminance de certains pixels peuvent être comparables à ceux d'un corps opaque.

La luminance moyenne des segments présente un intérêt exceptionnel pour différencier les verres des déchets. Pour une taille donnée, la valeur moyenne du niveau de gris d'un verre est très supérieure à celle d'un corps opaque. Nous pouvons identifier les verres et les impuretés par un seuillage opérant sur cette opacité moyenne.

De nombreux essais en laboratoire ont montré l'existence d'une relation étroite entre cette valeur moyenne et la taille de l'élément analysé. Nous avons modélisé cette relation par une fonction exponentielle. La détection est non seulement basée sur l'analyse de l'opacité moyenne, mais elle prend également en compte la taille des éléments.

Finalement, il est apparu nécessaire d'analyser plusieurs images lignes successives afin d'éliminer les effets de bord sur les morceaux de verre. La détection du maximum de luminosité sur trois lignes consécutives permet d'éliminer certains artefacts dûs à ces bords.

Les fortes contraintes en temps réel et la simplicité de la procédure proposée nous conduisent maintenant à développer un système électronique entièrement câblé pour automatiser le tri du verre.

## **CHAPITRE V**

### **CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME CABLE POUR LE TRI AUTOMATIQUE DU VERRE**

## 1. INTRODUCTION

Nous avons défini la configuration d'un système de tri automatique dans le chapitre III. Une caméra linéaire inspecte en haute fréquence le flux des particules. Un système de détection analyse en temps réel les images acquises. Une unité de commande pilote les 64 marteaux pour assurer l'éjection des corps opaques. Un système central permet les dialogues avec l'utilisateur (Cf. fig. 5.1).

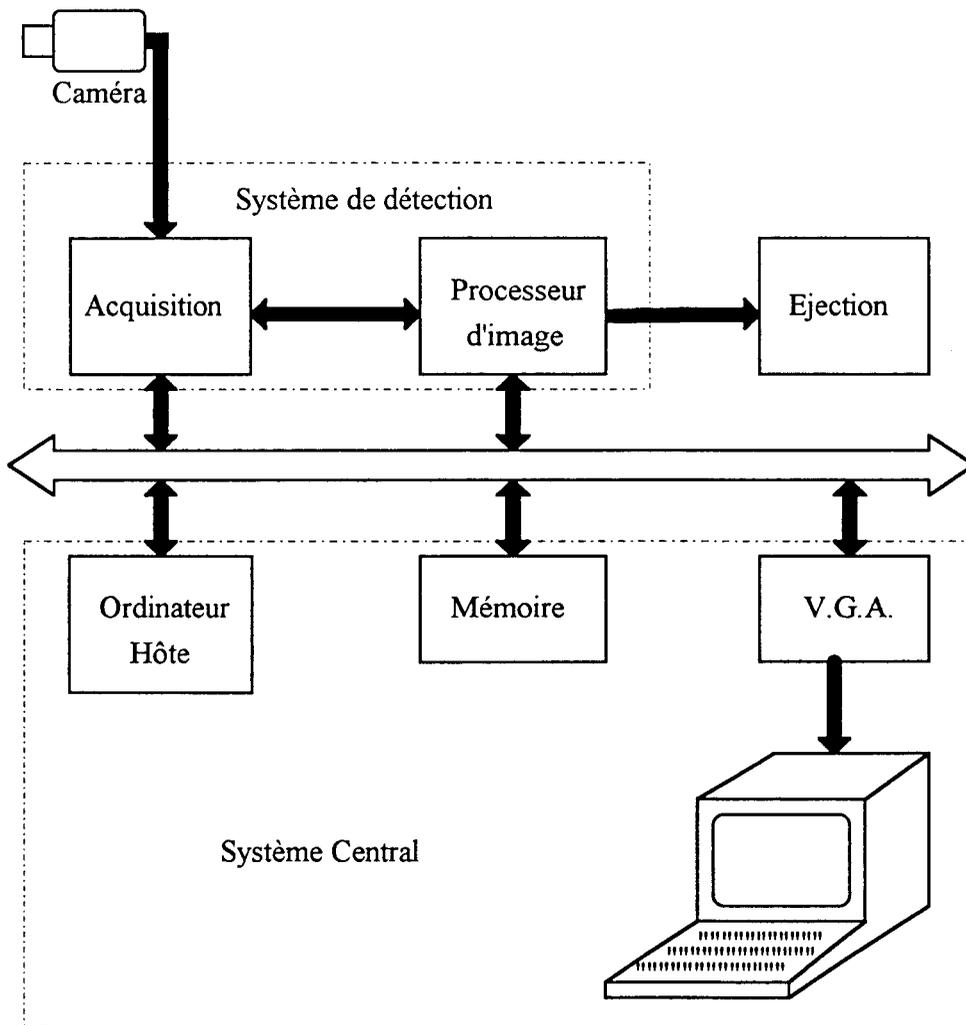


Figure 5.1 La configuration du système de tri automatique

La procédure de détection définie dans le chapitre IV nécessite le traitement de trois images lignes successives à chaque acquisition. Comme nous l'avons précisé dans le

chapitre III, on exige non seulement une très bonne fiabilité de fonctionnement, mais aussi une vitesse de traitement très élevée. Ces contraintes nous conduisent à étudier un processeur spécifique pour analyser les images en temps réel.

Dans cette partie du mémoire, nous présentons tout d'abord l'architecture de la machine. Nous montrons ensuite comment la procédure a été implantée sur une unité de prétraitement, une unité d'analyse et une unité de détection réalisées spécifiquement pour cette application. Nous terminons par la description d'un processeur câblé permettant d'identifier les déchets à éjecter en temps réel.

## **2. ARCHITECTURE SPECIFIQUE.**

### **2.1 Cahier des charges**

Le cahier des charges est défini pour le tri automatique du verre dans un environnement industriel particulièrement hostile. La fiabilité, la simplicité de mise en oeuvre et le faible coût de réalisation constituent les critères de conception primordiaux de ce système.

#### **2.1.1. Interface caméra - machine**

Pour respecter la résolution transversale nécessaire, nous avons choisi une caméra linéaire de 1728 pixels. Le court temps d'intégration imposé par la fréquence de prise de vue nécessaire pour respecter la résolution dans le sens de l'écoulement du verre nécessite un capteur de haute sensibilité. 64 niveaux de gris sont nécessaires pour l'analyse fine des luminances. La caméra doit supporter de grandes variations de température et un fort degré d'humidité.

Les systèmes de traitement pouvant être loin de la caméra, la liaison pour la transmission des images doit être protégée contre toutes sortes de bruits électromagnétiques. Le moyen le plus sûr pour satisfaire cette condition est de transmettre le signal vidéo numérisé sous forme différentielle avec un câble blindé.

### **2.1.2. Traitement temps réel**

La vitesse de traitement doit permettre de suivre la cadence imposée par la fréquence d'acquisition. Le processeur doit pouvoir traiter une image de 1728 pixels associée aux deux images lignes précédentes utilisées par l'algorithme de détection durant l'intervalle de temps séparant deux acquisition successives, c'est à dire une milliseconde. Les résultats de la détection doivent être exploités pour piloter le système d'éjection juste à la fin du passage de chaque élément détecté dans le champ de la caméra.

### **2.1.3. Autonomie**

Le système doit fonctionner de façon autonome, sans support informatique particulier. Le système d'analyse d'image doit autant que possible être réalisé avec des circuits simples, autorisant une maintenance aisée du matériel et un faible coût de système.

Un dispositif d'aide à la maintenance est nécessaire. Les procédures de réglage ne doivent pas perturber le bon fonctionnement du système. Une alerte doit être signalée en cas de mauvais fonctionnement. Un dispositif de test du système d'éjection doit être intégré.

Dans une unité de traitement du verre, on a besoin de plusieurs systèmes de tri en parallèle pour assurer la cadence de traitement. Le nombre des systèmes varie en général entre 3 et 6. Il faut donc un moyen informatique pour commuter un ordinateur central avec chaque système dans le but d'effectuer les réglages et la surveillance du bon fonctionnement de l'ensemble.

### **2.1.4. Réglage du système**

Le système doit nécessiter un minimum de réglages pour les utilisateurs tout en offrant une flexibilité maximum pour l'exploitation. Le réglage de la position de la caméra et des éjecteurs est obligatoire, mais peut être effectué une fois pour toutes. Par contre, on a besoin d'au moins deux autres réglages en permanence: la sensibilité de la détection et le retard de la commande d'éjection. Ces réglages doivent être réalisés d'une façon simple, sans perturber le fonctionnement du système.

### 2.1.5. Interface utilisateur.

L'interface utilisateur doit être la plus simple possible car elle est entre les mains d'opérateurs souvent peu qualifiés. Un logiciel interactif d'aide aux réglages doit intégrer les fonctions essentielles qui doivent être accessibles à partir d'un seul écran avec le moins de sous menus possible.

## 2.2. Décomposition de la procédure de traitement en opérations simples

Le partitionnement d'un algorithme de traitement d'images en fonctions simples permettant une implantation optimale sur une architecture parallèle est un problème très complexe. Ce problème a été bien étudié par F. Cabestaing [Cab92] et une littérature importante est consacrée à ce sujet [Pra86, Pra87, Ros87, Yal85]. La plupart des méthodes proposées permettent l'affectation optimale des procédures à un certain nombre d'unités de traitement, la structure et le nombre de ces unités étant connus a priori ou pouvant être ajusté en fonction de la complexité de l'application [Has94].

Lee et Aggarwal ont proposé une méthode permettant de déterminer une structure de calcul adaptée à la résolution d'un problème particulier [Lee85, Lee90]. Ils montrent que l'implantation d'un algorithme sur une structure de calcul rapide peut être envisagée de deux façons différentes, selon les contraintes retenues par le concepteur:

- Dans un premier cas, le type de machine utilisé est connu a priori ("architecture-driven approach"). Le partitionnement de l'algorithme en fonctions simples est alors réalisé afin de minimiser le temps de calcul global. Cette approche suppose une flexibilité importante du matériel correspondant, et s'accompagne souvent de performances relativement modestes.
- Une autre possibilité consiste en la mise au point d'une structure de calcul spécifique ("Problem-driven approach"). L'architecture dédiée correspondante sera bien adaptée au problème, mais en contrepartie moins évolutive. Cette approche est très intéressante quand il s'agit d'implanter des algorithmes pour lesquels le temps de calcul est un point crucial.

Lee et Aggarwal [Lee85, Lee90] proposent une méthode de partitionnement d'un algorithme adaptée à la mise en place d'architectures dédiées. Cette méthode permet d'introduire des notions d'indivisibilité spatiale et temporelle des fonctions.

### 2.2.1. Parallélisme fonctionnel

La suite d'opérations constituant le traitement à implanter en parallèle est tout d'abord scindée en fonctions indivisibles temporellement. Par fonction indivisible, les auteurs entendent un traitement ne pouvant plus être partitionné en sous fonctions agissant successivement sur les données et communiquant entre elles par un certain nombre de résultats intermédiaires. Un problème se représente alors de la façon suivante:

$$O = f_n \circ f_{n-1} \circ \dots \circ f_2 \circ f_1(I)$$

où  $I$  est l'entrée du système,  $O$  sa sortie, et où les  $f_i$  représentent la série de fonctions indivisibles caractérisant l'algorithme à implanter ( $\circ$  est l'opérateur de combinaison de fonctions). Cette première simplification permet alors d'envisager l'utilisation du parallélisme de fonctions, ou parallélisme temporel (pipeline). Chaque fonction  $f_i$  est implantée sur une unité de traitement individuelle, les données circulant d'une unité à la suivante, depuis l'entrée jusque la sortie:

$$I \Rightarrow f_1 \Rightarrow f_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow f_{n-1} \Rightarrow f_n \Rightarrow O$$

### 2.2.2. Parallélisme spatial

L'étape suivante consiste en un fractionnement de chacune des fonctions  $f_i$  en sous fonctions indivisibles spatialement, lorsque cela est possible. Une fonction est indivisible spatialement lorsqu'elle ne peut pas être divisée en deux sous fonctions agissant de manière identique sur des ensembles de données différents. En fait, en traitement d'images, la notion d'indivisibilité spatiale est très liée à la possibilité de localiser le traitement sur des voisinages de chaque pixel de l'image.

Une fonction  $f_i$  divisible spatialement est alors remplacée par un ensemble de sous fonctions identiques agissant chacune sur un groupe de données différentes:

$$I_i \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_i^1 \Rightarrow f_i^1 \Rightarrow E_i^1 \\ I_i^2 \Rightarrow f_i^2 \Rightarrow E_i^2 \\ \dots \\ I_i^m \Rightarrow f_i^m \Rightarrow E_i^m \end{array} \right\} \Rightarrow O_i$$

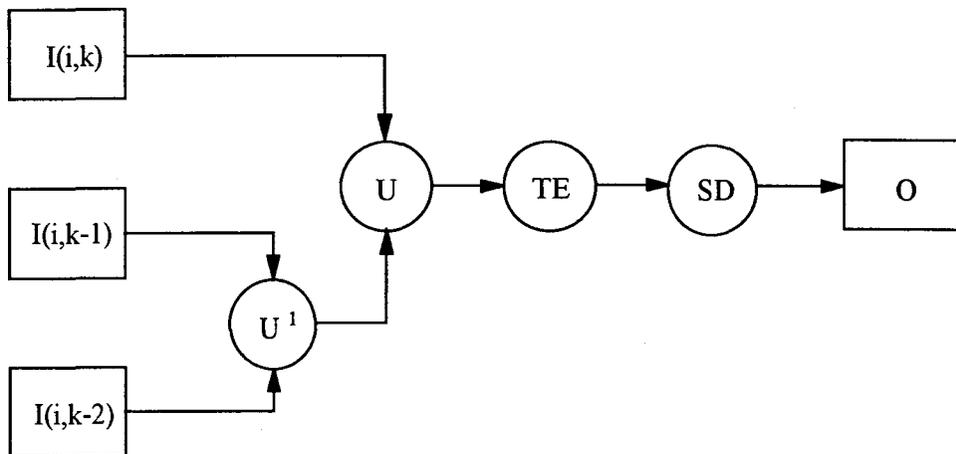
Il est alors possible de faire intervenir une unité de traitement pour chacune des sous fonctions  $f_i^j$ , ce qui correspond à un traitement par des méthodes de parallélisme spatial (structure de "Single Instruction Stream", "Multiple Data Stream"). La représentation finale de l'algorithme est donc la suivante:

$$O = \left\{ \begin{array}{l} f_1^1 \\ f_1^2 \\ \dots \\ f_1^m \end{array} \right\} \circ \left\{ \begin{array}{l} f_2^1 \\ f_2^2 \\ \dots \\ f_2^m \end{array} \right\} \circ \dots \circ \left\{ \begin{array}{l} f_n^1 \\ f_n^2 \\ \dots \\ f_n^m \end{array} \right\} \quad (I)$$

où chacune des fonctions  $f_i^j$  est réalisée par une unité de traitement individuelle. Dans la pratique, il n'est pas nécessaire de fractionner les fonctions jusqu'à les rendre indivisibles, car le gain de temps apporté par un partitionnement est parfois très faible vis à vis de l'augmentation de complexité qu'il entraîne.

### 2.3. Application à la procédure du traitement pour le tri automatique

Nous avons appliqué la méthode de décomposition des algorithmes décrite précédemment à la procédure du traitement pour le tri. Les données d'entrée sont constituées de trois images lignes successives. La sortie est constituée des adresses des marteaux à actionner pour éjecter les corps opaques. Une première décomposition est réalisée de la façon suivante:



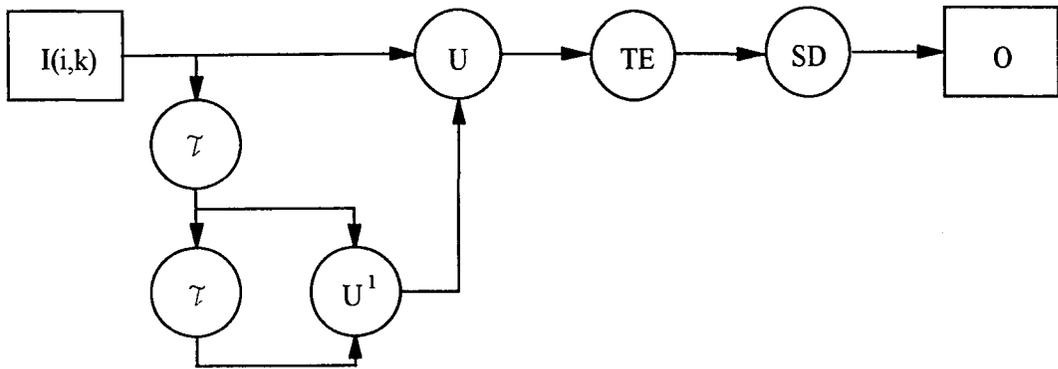
où  $I(i,k)$ ,  $I(i,k-1)$  et  $I(i,k-2)$  sont les trois images lignes successives,  $U^1$  et  $U$  les deux opérateurs de comparaison des niveaux de gris agissant respectivement sur  $(I(i,k-1), I(i,k-2))$  et  $(I(i,k), U^1(i,k))$ ,  $TE$  l'opérateur de seuillage pour segmenter les éléments sombres dans  $U(i,k)$ , et  $SD$  l'opérateur d'identification des déchets dont la sortie  $O$  sert à piloter l'éjection.

Ce partitionnement, bien qu'il soit tout à fait réalisable, ne tient pas compte du fait que les images opérandes se succèdent à l'intérieur d'une séquence. En fait, en prenant en compte cet aspect, on peut considérer qu'une image de la séquence est le résultat d'une fonction de retard appliquée à une autre image de la même séquence. En numérotant les images successives, on peut définir cette fonction retard image de la façon suivante:

$$I(i,k-1) = \tau (I(i,k))$$

où  $I(i,k)$  représente la  $k^{\text{ème}}$  image d'entrée.

La procédure de détection peut alors être représentée de la façon suivante:



Nous pouvons continuer la procédure de partitionnement de l'algorithme en sous fonctions indivisibles spatialement. Afin de paralléliser le traitement au niveau spatial, il conviendrait d'affecter une unité de calcul à chacun des pixels de l'image. Cette augmentation de la complexité n'est ici aucunement justifiable, et ce pour deux raisons.

La première concerne le cahier de charges que nous avons retenu. Nous avons décidé de favoriser la simplicité globale et de minimiser le coût de l'implantation au détriment d'autres critères tels que l'optimalité de la solution.

Ensuite, la division des opérateurs fonctionnels en éléments simples et localisés ne se justifie que si elle apporte un gain de temps. Dans le cas particulier de l'algorithme qui nous intéresse, les opérateurs mis en jeu restent simples et peuvent parfaitement être implantés sous forme de circuits pipeline tout en respectant les contraintes dues au traitement en temps réel.

L'architecture globale du système de type pipeline est présentée par le synoptique de la figure 5.2.

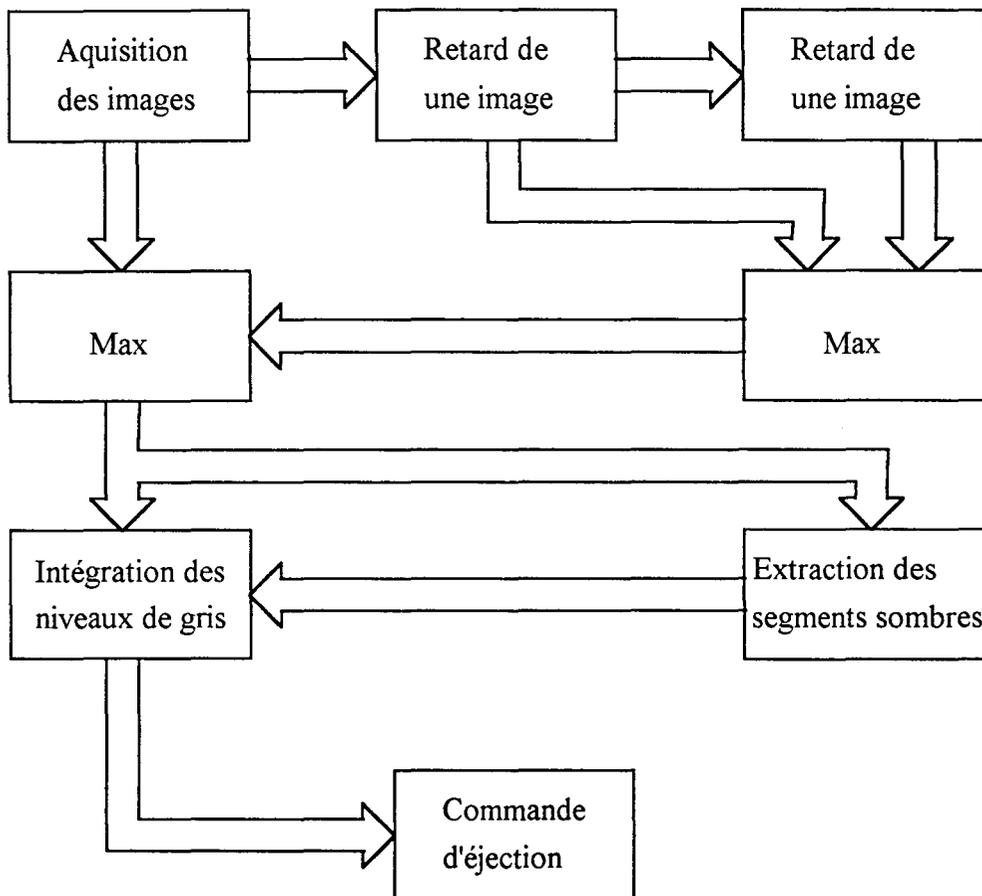


Figure 5.2 Synoptique du système pipeline

### 3. REALISATION DU SYSTEME DE TRI AUTOMATIQUE

Les différents opérateurs du système ont été regroupés pour être implantés sur une série de cartes électroniques. Pour toute la procédure, il y a 5 cartes principales et 3 cartes secondaires. Chaque carte réalise un traitement élémentaire, et les différentes unités sont reliées des unes aux autres par un bus spécifique permettant de transmettre le flot de données. Les cartes principales réalisent la fonction de tri automatique des déchets sans support informatique et les cartes secondaires assurent la communication entre l'ordinateur central et le système et la surveillance. Les schémas électroniques des cartes réalisées sont donnés en annexe. Nous allons d'abord présenter les fonctions essentielles des unités principales, ensuite celles des unités secondaires.

### 3.1. Unité de commande

Le fonctionnement du système complet de détection est piloté par différents signaux qui synchronisent le déroulement des opérations élémentaires. Tous les signaux de commande sont générés par cette unité.

La caméra linéaire travaille en mode esclave. Elle est pilotée par l'unité extérieure qui fournit les signaux de synchronisation nécessaires. La résolution spatiale de l'image-ligne numérique traitée a été fixée à 1728 pixels, ce qui correspond à un compromis entre la quantité de données à traiter pendant chaque itération et la précision des résultats obtenus. Le niveau de gris de chaque pixel est codé sur 6 bits, ce qui permet de disposer d'une dynamique de 64 valeurs.

#### 3.1.1. Signal de commande (TI)

Afin d'effectuer les traitements à la vitesse maximale, on ajuste la période des prises de vues successives sur la durée du temps d'intégration nécessaire pour obtenir des images de bonne qualité. La limite inférieure du temps d'intégration est de 960  $\mu$ s, c'est à dire le temps nécessaire de la lecture d'une image ligne. Nous avons donc fixé le temps d'intégration à 1 ms et la fréquence des prises de vues est alors fixée au maximum possible, c'est à dire 1 KHz car le temps d'intégration conditionne le temps minimum séparant la saisie de deux images lignes successives.

Pour déclencher les prises de vues, on utilise un signal de commande noté **TI** de période 1 ms. Le processeur temps réel réalisé traite l'information relative à une image ligne pendant la période d'intégration de l'image ligne suivante et le temps du traitement est toujours inférieur au temps d'intégration. Ce traitement en temps masqué constitue l'un des grands avantages du système développé.

#### 3.1.2. Horloge-Ligne (HL)

A la réception du signal de commande **TI**, la caméra émet un signal appelé "horloge-ligne" et noté **HL**, synchrone de **TI**, qui déclenche le début de chaque acquisition. Cette horloge-ligne est utilisée pour synchroniser toutes les phases de traitement de l'information sur la vitesse d'acquisition des images. Il est remis en forme TTL

compatible.

### 3.1.3. Horloge-Pixels (HP)

Parallèlement aux deux signaux **TI** et **HL**, on utilise un signal généré de manière continue par la caméra pour lire séquentiellement les niveaux de gris des 1728 pixels du capteur linéaire. Cette horloge-pixel, notée **HP**, bat à la fréquence de 1.8 MHz, ce qui signifie que la lecture d'une image-ligne complète nécessite 960  $\mu$ s. Ce temps de lecture, fixe, définit la limite inférieure du temps d'intégration. Si les conditions d'éclairage le nécessitent, ce temps d'intégration peut être plus long que le temps de lecture.

### 3.1.4. Horloge de Lecture d'Image (HLI)

Du fait que les images-lignes comportent 1728 pixels, les traitements sont effectués sur des séries de 1728 valeurs de niveaux de gris, lues séquentiellement par la caméra. Il faut donc disposer d'une horloge, notée **HLI**, délivrant des trains de 1728 périodes, synchrones avec la lecture des images-lignes. Pour ce faire, on compte 1728 fronts descendants de l'horloge-pixel **HP** à partir de chaque front descendant du signal **HL**.

Ce comptage est effectué en deux temps, afin de respecter la structure de la commande des marteaux d'éjection. En effet, les 64 marteaux de la ligne d'éjection correspondent aux 1728 pixels de la ligne observée. Les pixels peuvent donc être considérés par groupes de 27, chaque groupe recueillant l'image du verre tombant à l'aplomb d'un des marteaux (Cf. fig. 5.3).

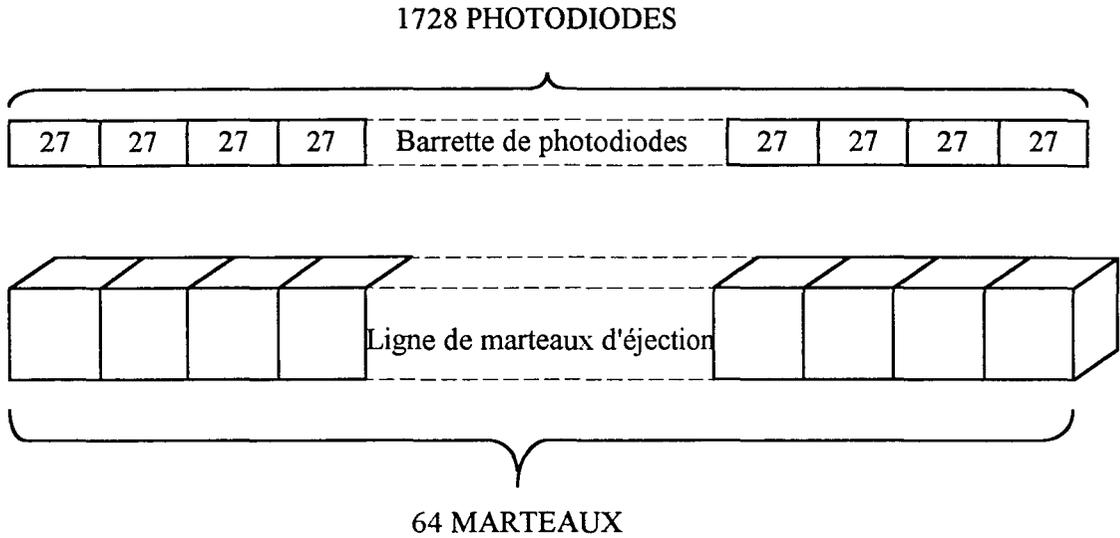


Figure 5.3 Structure de la commande des marteaux

Le schéma électronique correspondant à cette unité de commande est présenté dans l'annexe 1.

### 3.2. Unité d'analyse de 3 images lignes successives

Les opérateurs de retard et les opérateurs de comparaison sont implantés sur cette seconde carte. Ils servent à réaliser la fonction d'analyse des trois images-lignes. Comme nous l'avons vu précédemment, deux opérateurs de retard et deux opérateurs de comparaison sont nécessaires.

Le traitement réalisé par cette unité est une comparaison point à point portant sur trois images successives. Il s'agit de conserver le plus élevé des niveaux de gris des trois pixels de même rang:

$$U(i, k) = \text{SUP}\{I(i, k-2), I(i, k-1), I(i, k)\}$$

Ce traitement est décomposé en deux opérations en cascade:

$$U^1(i, k-1) = \text{SUP}\{I(i, k-2), I(i, k-1)\}$$

$$U(i, k) = \text{SUP}\{U^1(i, k-1), I(i, k)\}$$

Les images  $I(i,k-2)$  et  $I(i,k-1)$  sont les deux images précédentes retardées.

Les deux opérateurs de retard sont réalisés par l'utilisation de deux mémoires balayées en continu, qui sont utilisées pour stocker les images  $I(i,k-1)$  et  $I(i,k-2)$  respectivement. Ils sont strictement identiques. Cela correspond en fait à une structure FIFO (First In, First Out) de grande taille. L'adresse de la mémoire est incrémentée à chaque battement de l'horloge pixel, et le pixel  $P_{i,k}$  de rang  $i$  de l'image  $I(i,k)$  situé à l'entrée de l'unité va d'abord participer à l'opération de comparaison avec les pixels de rang  $i$  des images  $I(i,k-1)$  et  $I(i,k-2)$ . Ensuite  $I(i,k)$  prend la place de  $I(i,k-2)$ . Ce dernier, qui avait participé aux opérations de comparaison n'est plus d'utilité. Il est effacé par  $I(i,k)$  de pixel  $P_{i,k}$  qui devient un pixel de l'image  $I(i,k-1)$ . Par conséquent,  $I(i,k-1)$  devient  $I(i,k-2)$ .

L'opération de comparaison est implantée par l'intermédiaire d'une table de correspondance [Ull81], ou Look Up Table (LUT). Les deux opérandes arrivant à l'entrée de la table sont groupés afin de constituer une adresse de 12 bits permettant de sélectionner le résultat de l'opération parmi les  $2^{12}$  combinaisons possibles. Nous avons défini ces tables de telle façon que le résultat soit la valeur la plus grande parmi les deux opérandes. Nous avons choisi ce principe de fonctionnement autant pour sa simplicité de mise en oeuvre (utilisation de mémoires EPROM de grande taille), que pour sa rapidité de calcul.

Toutes les opérations sont réalisées pendant un temps de cycle, c'est à dire 555 ns. Lorsque l'on rentre séquentiellement les pixels, l'image-ligne originale est transformée en une image où le niveau de gris de chaque pixel de rang  $i$  est remplacé par le niveau maximum rencontré sur les trois pixels de même rang dans les trois images consécutives  $I(i,k)$ ,  $I(i,k-1)$  et  $I(i,k-2)$ . Les effets du bord sont ainsi minimisés, sinon effacés. La description électronique de cette unité fait l'objet de l'annexe 2.

### 3.3. Unité d'identification de corps opaques

Tous les éléments détectés sur les images-lignes par l'unité précédente ne correspondent pas aux corps opaques devant être éjectés. Certains éléments résultent du passage de morceaux de verre particulièrement sombres qu'un simple seuil fixe n'est pas capable de différencier d'un corps réellement opaque.

L'unité d'identification des corps opaques va procéder à une analyse plus fine des éléments détectés sur les images-lignes, en prenant en compte leur taille pour ajuster un seuil variable auquel sera comparé le niveau de la luminance moyen, comme il a été précisé au chapitre IV.

### 3.3.1. Détermination de la longueur des éléments

Afin de déterminer la longueur de chaque élément mis en évidence par l'unité de détection des éléments sombres et opaques, on compte le nombre de pixels présents durant chaque intervalle de temps pendant lequel le signal  $TE(i,k)$ , qui indique la présence des éléments, est au niveau "1". Le résultat est disponible à la sorti d'un compteur appelé "compteur longueur".  $TE(i,k)$  est la sortie d'un comparateur qui réalise la fonction de simple seuillage sur  $U(i,k)$ :

$$TE(i,k) = \begin{cases} 0 & \text{si } U(i,k) < S_f \\ 1 & \text{si } U(i,k) \geq S_f \end{cases}$$

La remise à zéro de ce "compteur longueur" est effectuée à chaque début d'élément, c'est à dire à chaque front montant du signal  $TE(i,k)$ . A la fin de chaque élément, c'est à dire en synchronisme avec les fronts descendants du signal  $TE(i,k)$ , la sortie du "compteur longueur" indique la longueur  $L$ , en pixel, de l'élément correspondant.

### 3.3.2. Seuillage adapté

La longueur  $L$  de chaque élément est multipliée par le facteur de pondération ajustable  $S_m(L)$ , grâce à une mémoire programmable de type EPROM. Le résultat de cette multiplication constitue le seuil adapté auquel on compare la luminance totale de la trace, c'est à dire la quantité de lumière transmise par le corps foncé ou opaque vers le capteur.

En effet, pour des raisons d'implantation matérielle, il est plus facile de considérer les luminances totales des traces, plutôt que leurs luminances moyennes  $OP$  dont le calcul nécessiterait des divisions par le nombre de pixels comptés sur chaque trace.

La règle de décision qui, dans le chapitre IV, était présentée sous la forme:

Si  $OP > S_m(L)$ ,                      la trace est due à du verre sombre.  
 Si  $OP \leq S_m(L)$ ,                      la trace est due à un corps opaque.

devient:

Si  $OP \times L > S_m(L) \times L$ ,        la trace est due à du verre sombre.  
 Si  $OP \times L \leq S_m(L) \times L$ ,        la trace est due à un corps opaque.

où le produit  $OP \times L$  du niveau de luminance moyen par la longueur  $L$  de la trace n'est autre que la **Luminance Totale** de la trace, notée **LT**. Cette quantité est très facile à déterminer en accumulant les niveaux de luminance élémentaires de chacun des pixels constituant la trace considérée.

L'accumulateur de niveau de gris est réalisé avec trois additionneur de 4 bits et leurs registres associés. Il est remise à zéro à chaque début de trace et le résultat est validé à la fin de la trace. La somme maximum est à  $2^{12}$ , soit 4096. Sachant que les traces détectées sont constituées des parties sombres des images-lignes, dont le niveau de gris ne dépasse pas, en général, la valeur 20, l'accumulateur permet de calculer la luminance totale de traces pouvant atteindre 200 pixels. En effet, 200 pixels consécutifs de niveau 20 donnent une luminance totale de 4000. Ces 200 pixels consécutifs seraient la trace laissée par un corps sombre ou opaque de 150 mm de longueur. On dispose donc d'une marge de sécurité importante puisque les dimensions des particules ne dépassent pas 40 mm après le criblage.

La description électronique de cette carte est présentée dans l'annexe 3.

### **3.4. Unité d'adressage du dispositif d'éjection**

La fonction d'adressage des marteaux, réalisée sur la même carte que l'unité de commande, fonctionne en parallèle avec la procédure d'analyse des niveaux de gris des images-lignes. Ce parfait synchronisme des deux procédures permet d'activer les marteaux sans aucun retard par rapport à l'identification d'un corps opaque à éjecter.

Quand on détecte le début d'une trace, par l'arrivée d'un front montant du signal  $TE(i,k)$ , le compteur d'adresse des marteaux est chargé avec l'adresse correspondant à la position du début de la trace. Il s'incrémente ensuite avec une fréquence 2 fois moins élevée que celle de l'horloge-pixel, ce qui permet d'avoir l'adresse correspondant à celle de point milieu de la trace, quand arrive le front descendant de  $TE(i,k)$ .

Le compteur d'adresse a 6 bits, qui correspond à 64 marteaux, les trois bits de poids faibles sont envoyés directement vers les unités de commande des marteaux par le bus du système, les trois bits de poids fort sont décodés par un multiplexeur afin de valider parmi les 8 cartes d'électrovannes, celle qui pilote le marteau devant lequel passera le centre de la particule en cas de détection. Nous avons détaillé la réalisation de cette carte dans l'annexe 1.

### **3.5. Unités de commande de marteaux d'éjection**

Les 64 marteaux sont pilotés par 8 cartes associées à des groupes de 8 électrovannes. Chaque carte pilote donc 8 marteaux. En cas d'éjection, l'une des 8 cartes est activée par l'unité d'adressage et les trois bits de poids faible adressés à cette unité sont décodés pour actionner l'un de 8 marteaux associés à la carte.

Pour chaque commande de marteaux, nous introduisons une temporisation de l'ordre de quelques dizaines de millisecondes, ce qui correspond à la durée moyenne de la chute des particules le long du plan d'inspection entre la ligne d'inspection et le centre des marteaux. Ce retard de la commande, réalisé avec un registre de décalage, est réglable (Cf. annexe 4).

### **3.6. Unité de test**

Les marteaux sont les parties fragiles du système. Comme de nombreux organes mécaniques travaillant en milieu hostile, ils tombent parfois en panne. Il faut donc avoir un moyen rapide pour détecter toute défaillance de ces marteaux. L'unité de test est conçue pour répondre à ce besoin.

L'unité de test envoie les signaux de commande à chaque marteau avec une fréquence

réglable. Nous pouvons choisir de tester un marteau d'adresse X, ou 8 marteaux sur la carte numéro X ou tous les 64 marteaux. L'unité de test commande les marteaux les uns après les autres. En cas de panne, on repère les marteaux défaillants par leur absence de réactions (Cf. annexe 5).

### **3.7. Unité d'affichage de l'image**

Indépendamment de l'unité de commande, l'unité d'affichage de l'image fournit aussi les signaux de synchronisation pour la caméra. Sa fonction principale est la mémorisation des images dans une mémoire statique et la fourniture de données vidéo numérique au PC central en cas de besoin d'affichage de l'image sur un écran VGA. Cette fonction aide à surveiller le système et à régler la caméra. Elle est implantée sous la forme d'une carte au format PC, réalisée par la société Optronix et commercialisée par Micronix.

Le temps d'intégration et la fréquence d'horloge sont programmables. Les signaux vidéo numériques différentiels en prévenance de la caméra sont transformés sous la forme TTL et mémorisés dans les mémoires statiques de la carte en travers une LUT d'entrée, qui peut réaliser éventuellement une transformation des niveaux de gris. La mémoire locale occupe la plage de la mémoire du calculateur hôte de type PC non utilisée. Elle est totalement transparente vis à vis du PC. Nous pouvons transférer une image soit par un adressage direct de la mémoire, soit via le système DMA.

Cette carte ne sert qu'à assurer les réglages et à contrôler l'état de fonctionnement de la caméra. Elle n'intervient dans aucun cas dans les procédures de détection en temps réel. C'est un outil d'aide à l'exploitation. C'est donc une unité secondaire.

### **3.8. Unité de commutation entre le calculateur central et les systèmes de tri automatique**

Lorsque plusieurs systèmes de tri fonctionnent en parallèle, cette unité permet de commuter la caméra de l'un d'eux à l'unité d'affichage. Elle est implantée sur une carte au format PC et pilotée par un logiciel écrit en langage assembleur. Le schéma est donnée dans l'annexe 6.

## 4. CONCLUSION

La procédure de détection des corps opaques à été décomposée en unités de calcul indépendantes organisées en structure pipeline. Nous avons implanté ces unités de traitement sur différentes cartes électroniques, chacune d'elles réalisant un traitement spécifique.

Toutes ces unités travaillent en temps réel en parfait synchronisme. Les corps opaques identifiés par analyse de leur opacité moyenne sont éjectés du flot de verre en actionnant les marteaux qui se trouvent au milieu de leurs centres de gravité.

L'utilisation d'une mémoire de type EPROM pour effectuer le seuillage adapté offre une grande flexibilité d'utilisation et de réglage. L'architecture du système présente une grande simplicité de réalisation.

## **CHAPITRE VI**

# **INSTALLATION INDUSTRIELLE**

## **1. INTRODUCTION**

Le développement du premier système de tri automatique et les essais sur site ont été effectués chez la société PROVER, le traiteur du verre et le fournisseur unique de l'usine de fabrication de bouteilles de BSN à WINGLES. La première installation de tri automatique industriel a été mise en service en mars 1991. Cette installation, composée de 4 systèmes de tri optique opérant en parallèle, est entièrement automatisée [Zha91a]. Elle devient la vitrine de groupe BSN dans les actions de protection de l'environnement et la référence des installations automatiques de récupération du verre en FRANCE.

Trois systèmes ont depuis été commercialisés et installés chez WIEGAND GLAS en Allemagne. Une usine moderne de récupération de verre a été construite pour répondre aux besoins en groisil de toutes les usines de fabrication de ce groupe. Quatre systèmes sont installés chez BRIANE à ALBI pour la modernisation d'une installation ancienne et deux autres systèmes sont commercialisés en Espagne.

Dans ce chapitre nous présentons seulement les résultats industriels obtenus chez PROVER et chez WIEGAND GLAS.

## **2. INTEGRATION DES SYSTEMES DE TRI AUTOMATIQUE CHEZ PROVER.**

La société PROVER est un centre de traitement du verre récupéré au nord de la FRANCE. Elle travaille avec les villes, les communes ainsi qu'avec la société "Tri-Select". Les verres ménagers sont récupérés dans les départements du Nord, du Pas-de-Calais et en Belgique. PROVER est le fournisseur unique de l'usine BSN à WINGLES. Sa capacité de traitement est de 100 000 tonnes de verre par an.

Depuis sa création en 1986, ce centre de traitement a été partiellement automatisé. L'exigence de qualité au niveau de la fabrication et du rendement des usines verrières a accéléré cette automatisation.

### **2.1. L'installation PROVER**

Le centre de la Société PROVER est une installation de traitement classique améliorée. Il se compose essentiellement:

- d'une trémie pour l'alimentation de l'installation en verre brut (Cf. fig. 6.1.a).
- d'un tri magnétique pour éliminer les métaux (Cf. fig. 6.1.b).
- d'un système de soufflage pour éliminer les gravillons.
- d'un premier poste de tri manuel pour trier les gros éléments (Cf. fig. 6.1.c).
- d'un système pour broyer les gros morceaux de verre et les amener à des tailles comprises entre 6 mm et 40 mm (Cf. fig. 6.1.d).
- d'un crible pour sélectionner les dimensions des morceaux de verre broyés (Cf. fig. 6.1.e).
- d'un système hydrodynamique pour séparer les objets légers (Cf. fig. 6.1.f).
- d'un deuxième poste de tri manuel pour éliminer tous les objets non en verre. (Cf. fig. 6.1.g)

La trémie transporte le verre vers le système de tri magnétique. En passant par le système de soufflage, il arrive au poste de tri manuel où les grands éléments sont éliminés. Il est ensuite envoyé au broyage. Les éléments de bonne granulométrie sont transportés vers le système hydrodynamique et sont séparés en quatre parties pour être transportés vers les quatre postes de tri manuel final.



Figure 6.1 (a) La trémie de l'installation



Figure 6.1 (b) Le tri magnétique



Figure 6.1 (c) Le premier poste de tri manuel



Figure 6.1 (d) Le système de broyage

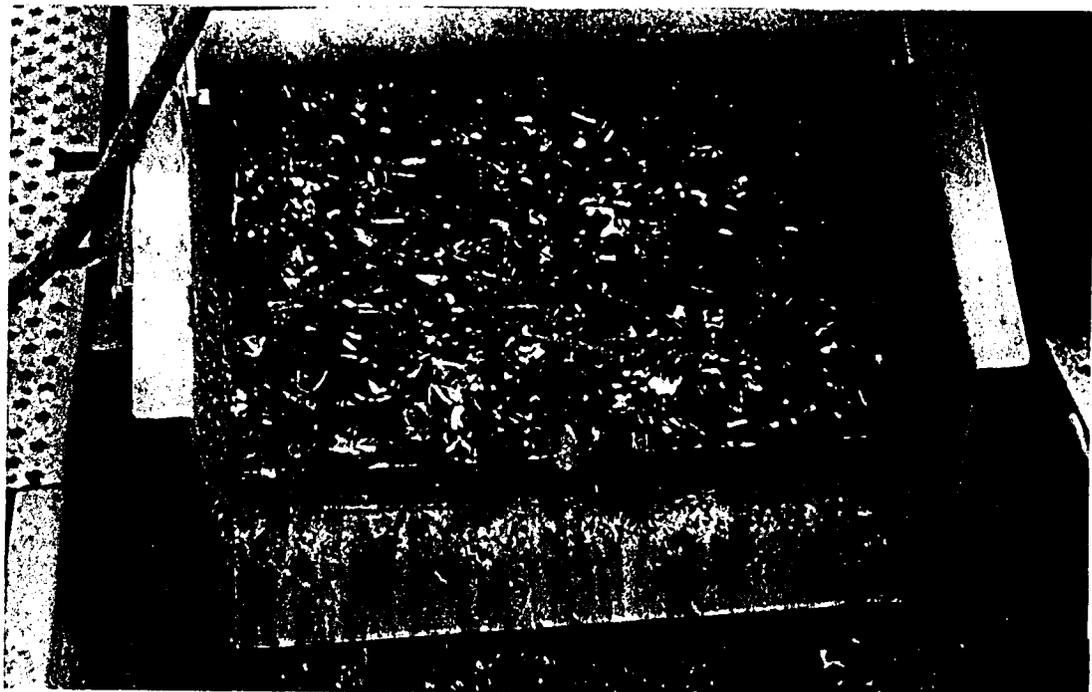


Figure 6.1 (e) Le dispositif de criblage



Figure 6.1 (f) Le système hydrodynamique



Figure 6.1 (g) Le deuxième poste de tri manuel



## 2.2. Les conditions de tri

La qualité du verre brut et la vitesse de traitement jouent un rôle très important au niveau de la qualité du verre traité. L'une des grandes caractéristiques de l'installation chez PROVER est sa capacité de traitement du verre pollué (Cf. fig. 6.2). Cette installation a la réputation d'être celle qui trie le verre le plus pollué en FRANCE [Bsn90]. Il y a deux raisons à cela. Premièrement, le système mis en place par la société "Tri-Select" facilite énormément la collecte du verre. Mais un tel système n'a pas pris en compte les problèmes spécifiques du traitement. La société "Tri-Select" propose aux familles du Nord et du Pas-de-Calais d'avoir deux poubelles de déchets, l'une pour les ordures biodégradables et l'autre réservée à tous les matériaux récupérables (papier, plastique, carton, verre, métaux, etc...). Cette deuxième poubelle est ensuite collectée par la société pour récupérer le papier et les plastiques. Tout le reste est envoyé vers le centre de tri de verre. Nous trouvons donc dans les verres bruts tous les types d'objets infusibles (pierres, cailloux, briques, céramiques, etc...) (Cf. fig. 6.3.). Ce phénomène augmente considérablement les difficultés du traitement. La deuxième source de pollution vient du verre importé de Belgique où il est entreposé sur des espaces mal aménagés et où il est manipulé sans précautions.

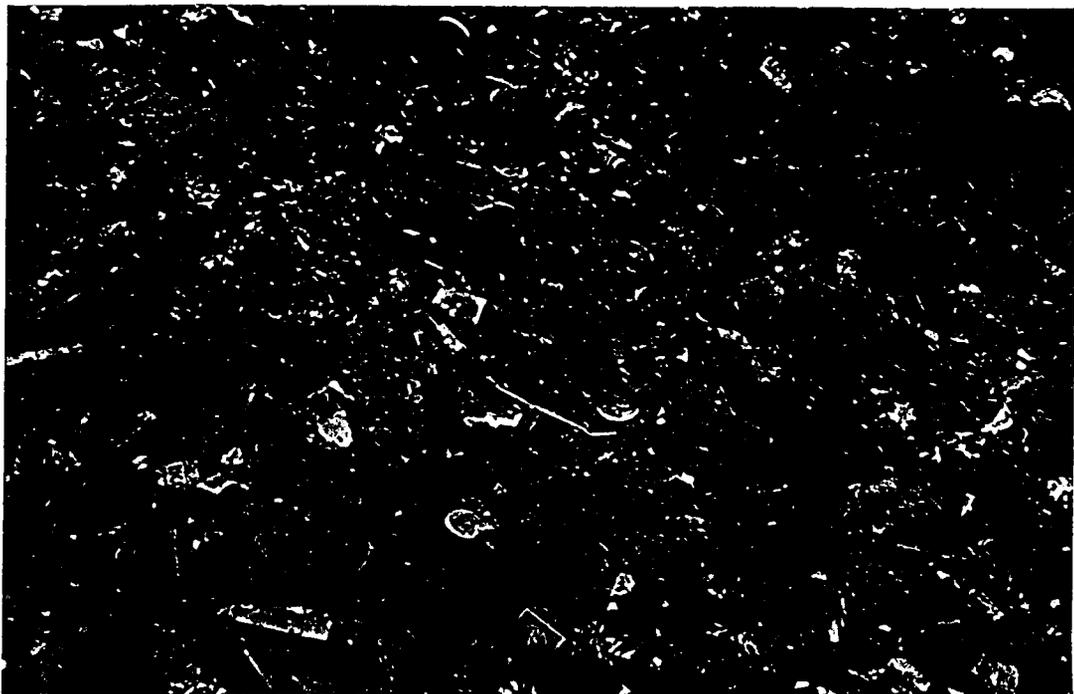


Figure 6.2 Le verre pollué



Figure 6.3 Les objets non en verres

L'analyse statistique du verre brut montre que la pureté du verre de l'entrée de l'installation est en moyenne de 5000 ppm, c'est à dire qu'il y a 5 kg de déchets non en verre dans une tonne de verre. Après tous les traitements, le verre arrive au dernier poste de tri manuel avec une pollution variant entre 1000 ppm et 2000 ppm.

La vitesse de traitement est de 5 t/h par poste. Il est très difficile d'exiger, de la part des opérateurs, une qualité parfaite à une telle vitesse. Les contrôles statistiques indiquent que l'on peut à peine atteindre une qualité située entre 200 ppm et 400 ppm, c'est à dire que l'efficacité maximum de l'installation ne peut dépasser 80%.

### **2.3. La procédure d'analyse statistique de la qualité du verre traité**

Avant livraison à la société BSN, le verre traité est soumis systématiquement à un sévère contrôle statistique de qualité. Pour éviter qu'une livraison de mauvaise qualité entre dans le circuit de fabrication et pour obtenir une qualité moyenne de groisil ménager conforme aux spécifications, la société BSN a mis en place une procédure de contrôle statistique [Bsn91b]. Elle consiste en un double échantillonnage du verre traité.

- Pour une quantité de verres traités inférieure à 100 tonnes, on prélève un lot de 120 kg de verres représentatifs.
- On prélève ensuite 2 fois de 30 kg de verres dans ce lot pour effectuer le contrôle.

La procédure du contrôle est la suivante:

1). Contrôle sur le premier échantillon

Soit  $PI^1$  le poids total d'impuretés trouvées.

Si  $PI^1 \leq A^1 \Rightarrow$  Qualité acceptée.

Si  $PI^1 > R^1 \Rightarrow$  Qualité non-acceptée.

Si  $A^1 < PI^1 \leq R^1 \Rightarrow$  Second contrôle.

2). Contrôle sur le deuxième échantillon en cas de doute

Soit  $PI^2$  le poids total d'impuretés trouvées dans ce second échantillon.

Si  $PI^1 + PI^2 \leq A^2 \Rightarrow$  Qualité acceptée.

Si  $PI^1 + PI^2 > R^2 \Rightarrow$  Qualité non-acceptée.

Les seuils définissant les niveaux de pureté acceptables sont donnés dans le tableau 6.1.

1 er contrôle	$A^1 = 2 \text{ g}$	$R^1 = 7 \text{ g}$
2 ème contrôle	$A^2 = 9 \text{ g}$	$R^2 = 10 \text{ g}$

Tableau 6.1 Les seuils du contrôle de qualité

Lors du premier échantillonnage, on accepte donc le verre si le poids des impuretés est inférieur ou égal à  $A^1$ ; on le refuse si ce poids est supérieur à  $R^1$ . Dans le cas où on se trouve entre  $A^1$  et  $R^1$ , on contrôle le second échantillon et on additionne les poids des impuretés trouvées lors de ces 2 contrôles. La décision d'accepter ou de refuser la qualité du verre dépend alors de la valeur de  $PI^1 + PI^2$ .

Cette méthode permet d'identifier rapidement la qualité du verre. Le contrôle de deux échantillons, soit 60 kg de verre, est nécessaire seulement pour les lots de qualité

moyenne ou douteuse.

Pour atteindre une qualité du verre de 100 ppm, la société BSN a décidé de développer le système de tri automatique faisant l'objet de ce travail et de l'installer chez PROVER.

## 2.4. Le tri optique

Quatre systèmes de tri automatique sont aujourd'hui installés chez PROVER, juste après le lavage (Cf. fig. 6.5). Après lavage et criblage, le flot principal est divisé en 4 flots de granulométries différentes. Chaque flot alimente un système de tri. Les systèmes sont réglés selon la granulométrie du flot correspondant. Plus la granulométrie est petite, plus on augmente la sensibilité de la machine. La vitesse du tri de l'installation est à 20 t/h, ce qui signifie que chaque système a une cadence de traitement de 5 t/h.

Les systèmes câblés et l'ordinateur hôte sont intégrés dans une armoire électrique qui est placée près de l'installation (Cf. fig. 6.6). Le flot de particules est emporté par un couloir vibrant (Cf. fig. 6.7) qui forme un flux de particules monocouche tombant devant la caméra. Les impuretés détectées sont éjectées par les marteaux (Cf. fig. 6.8). Deux bandes transporteuses envoient respectivement les verres propres vers le lieu de stockage et les impuretés vers une benne [Zha90]. Sur la figure 6.9 (a), on voit le verre brut prêt à être traité et la figure 6.9 (b) montre un tas de verre traité.





Figure 6.5 L'installation de tri automatique

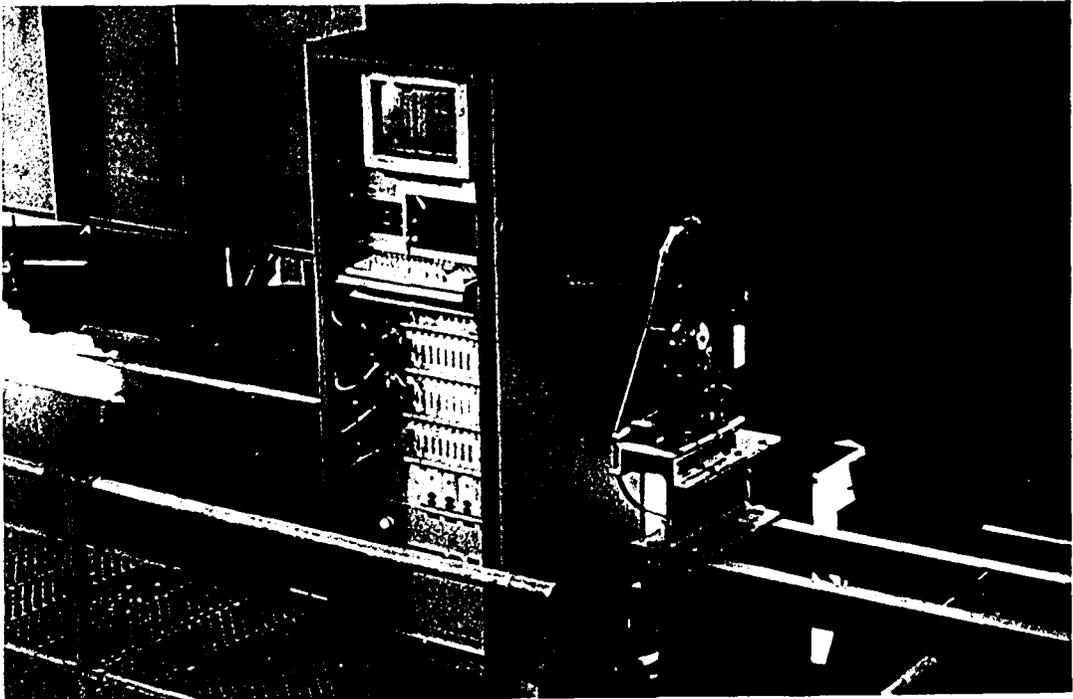


Figure 6.6 Les systèmes de tri automatique



Figure 6.7 Le couloir vibrant

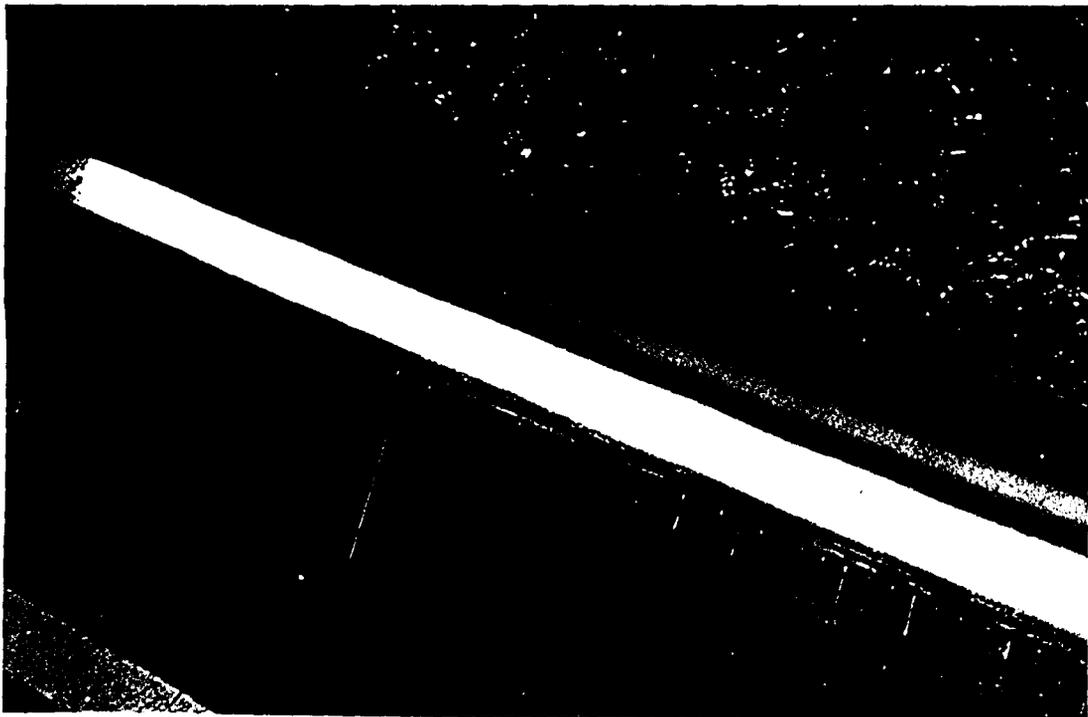


Figure 6.8 Les marteaux d'éjection



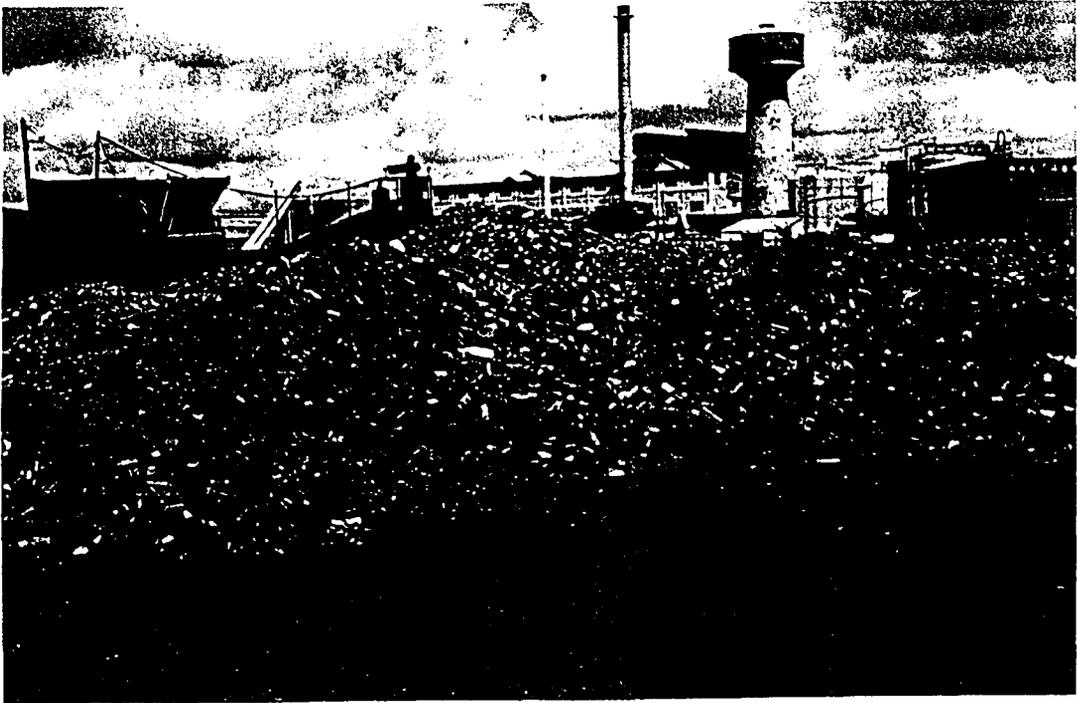


Figure 6.9 (a) Les verres bruts



Figure 6.9 (b) Les verres traités



Les résultats des contrôles du verre traité sont présentés dans le tableau 6.2. Nous constatons que l'installation peut garantir une efficacité de détection de 95% et un taux de perte de verre inférieur à 3%. Elle nous donne donc entièrement satisfaction [Tri90].

Numéro de l'essai	Quantité de verre brut	Quantité de déchets à l'entrée		Quantité de déchets détectés		Quantité de déchets non détectés		Effacité de détection	Pertes en verre	
	(Kg)	(g)	(ppm)	(g)	(ppm)	(g)	(ppm)	%	(g)	%
1	17.4	40.51	2328	38.49	2212	2.02	116	95	400.2	2.3
2	16.8	26.05	1551	25.33	1508	0.72	43	97	218.4	1.3
3	60	105.8	1763	101.06	1684	4.74	79	95.5	942	1.57

Tableau 6.2 Résultats des essais industriels

### 3. LE RECYCLAGE DU VERRE EN ALLEMAGNE

"Whoever produces something also has to take care of its disposal after usage! ". Ce slogan devient l'idée centrale de la nouvelle réglementation sur l'emballage en Allemagne depuis 1991. Face à cette réglementation, l'industrie verrière allemande a réagi activement.

Cependant ces dispositions ne sont que transitoires. L'idée clé est d'intégrer les produits dans le processus de production. Par rapport à l'idée de l'utilisation d'emballages consignés, le système de recyclage est la solution du futur pour répondre à ce nouveau besoin.

Depuis très longtemps, les verriers allemands ont compris que les verres usés ne doivent pas être considérés comme une perte mais comme une matière première de valeur. Un premier centre de traitement du verre couvrant tout le pays a été créé en 1973. Il a eu un succès énorme autant sous l'aspect économique que sous l'aspect écologique. Les facteurs de cette réussite sont les suivants:

- L'utilisation de bouteilles à usage unique
- La bonne compréhension des problèmes d'environnement et les réglementations visant à limiter les déchets.

- L'augmentation du prix de l'énergie et des matières premières.

La quantité de verre récupéré annuellement augmente rapidement, passant de 60 tonnes en 1973 à 2.2 million de tonnes en 1991. Dans ce contexte favorable, la société allemande EME, spécialisée dans le domaine mécanique, a été chargée de commercialiser le système de tri automatique dont la première installation en Allemagne a été réalisée chez WIEGAND GLAS (Cf. fig. 6.10) [Ros91].

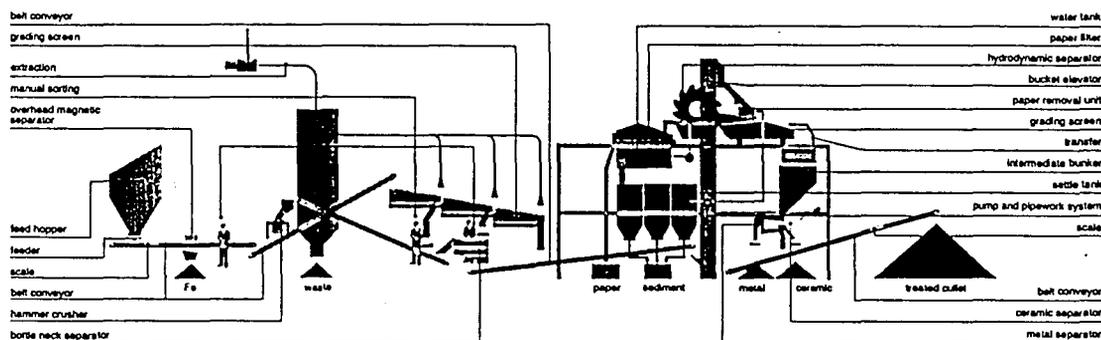


Figure 6.10 Le plan de l'usine en Allemagne

### 3.1. Centre de traitement chez WIEGAND GLAS

L'usine de recyclage de WIEGAND GLAS est une usine très moderne (Cf. fig. 6.11).



Figure 6.11 L'usine à WIEGAND GLAS



Figure 6.12 Les verres entreposés

Les verres bruts (Cf. fig. 6.12), entreposés dans une trémie, sont déversés dans l'installation par l'intermédiaire d'une gouttière vibrante. La quantité de verre ainsi déversée est soumise à un dosage. Après la séparation des matières ferromagnétiques, au moyen d'un séparateur magnétique positionné au-dessus de la chaîne, a lieu un tri préliminaire manuel. Ensuite les verres bruts sont répartis par un crible séparateur selon les différents calibres (Cf. fig. 6.13). Des impuretés volumineuses sont de nouveau retirées à la main.

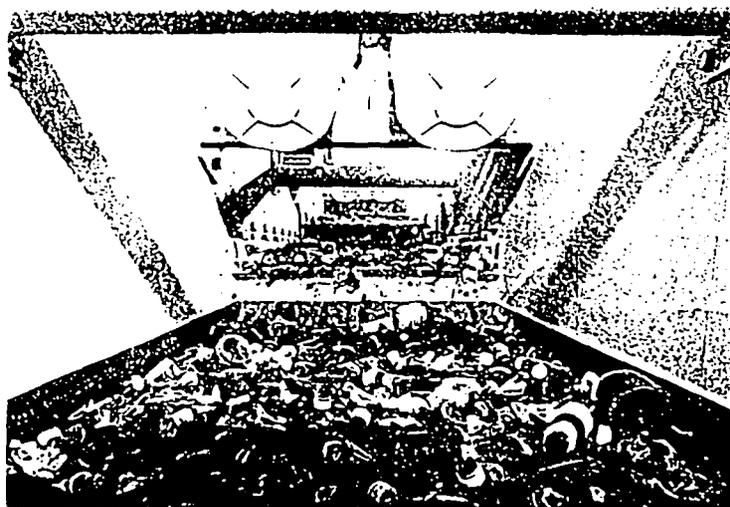


Figure 6.13 Le crible séparateur

Les particules d'un calibre supérieur à 40 mm ainsi que les goulots de bouteille sont acheminés vers un broyeur-concasseur à percussion et à marteaux. Un dispositif d'aspiration est placé au-dessus du crible séparateur: les matières légères, telles que le papier, les sacs de plastique sont ainsi retirées du flux de verre. Les grains d'un calibre inférieur à 6 mm sont criblés et ne subissent pas de traitement ultérieur car, dans l'état actuel de la technique, il est plus avantageux de continuer à broyer ces grains pour obtenir de la poudre de verre plutôt que d'effectuer une séparation automatique des objets opaques.

Après le criblage, les flux de verre subissent une nouvelle opération dans l'épurateur d'étiquettes et de papier. Il s'agit ici d'un tube de transport vibrant, revêtu de basalte. L'apport d'eau et les frottements entre les morceaux de verre permettent de détacher les étiquettes. Cette étape est nécessaire pour éviter l'éjection des verres revêtus d'une

étiquette.

Les verres ainsi traités parviennent ensuite au séparateur hydrodynamique, constitué d'un bassin dans lequel 1000 m<sup>3</sup> d'eau sont pompés à l'heure. La vitesse du courant est d'environ 0.8 m/s. Grâce à cette vitesse élevée, les matières légères sont séparées avec un filtre à mailles fines. Les particules denses tombent au fond du bassin et sont acheminées vers un autre crible par une roue à godets (Cf. fig. 6.14).

Les particules débarrassées de toutes les impuretés et de toutes les étiquettes sont rincées dans ce crible (Cf. fig. 6.15). Elles sont ensuite séchées puis, selon leur calibre, conduites aux séparateurs combinés céramiques et tous métaux.

Le séparateur tous métaux sert à faire le tri entre les métaux magnétiques et les métaux non magnétiques (Cf. fig. 6.16). Les verres débarrassés de l'ensemble des éléments métalliques parviennent ensuite au système de tri automatique dont le rôle principal est de séparer les céramiques (Cf. 6.17).



Figure 6.14 Le séparateur hydrodynamique

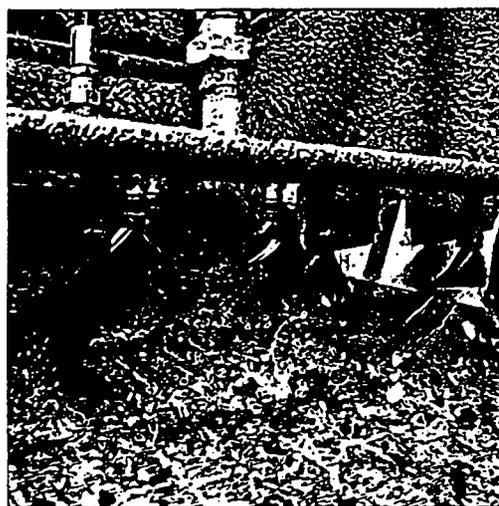


Figure 6.15 Le crible

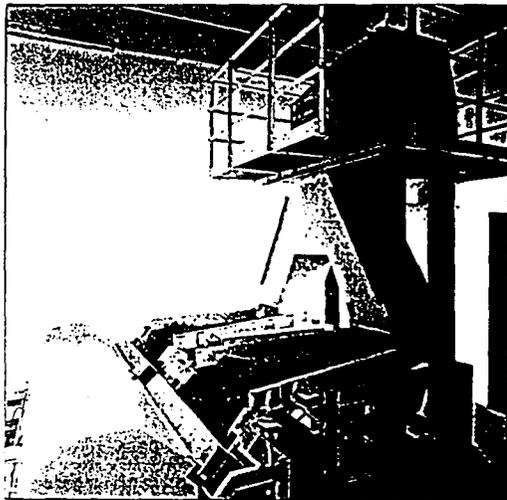


Figure 6.16 Le séparateur tous métaux

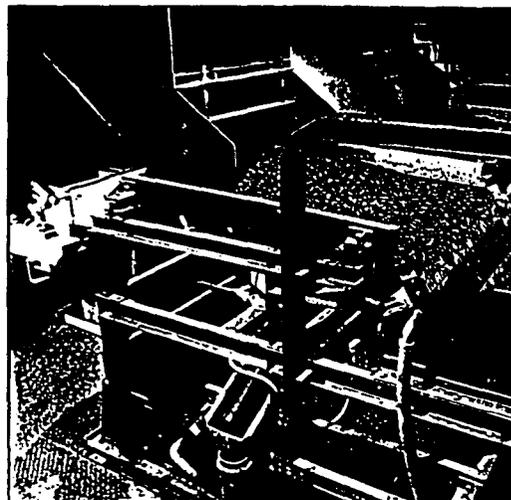


Figure 6.17 Le séparateur des céramiques

Le nettoyage automatique du verre récupéré permettant l'élimination des métaux, du papier, du plastique, des déchets adhésifs et autres éléments indésirables permet de trier un verre relativement plus propre que chez PROVER.

### 3.2. Qualité du verre traité

De nombreux contrôles de qualité ont été effectués au cours de l'installation du système de tri et de son exploitation. Le tableau 6.3 indique la pureté du verre traité. Une analyse suivie a été effectuée au cours de la première année de production. Elle montre que le système de détection des déchets opaques est en mesure de trier de 97.5 à 99.5% des impuretés. La quantité de verre perdue dépend du degré de pollution des verres bruts. Elle oscille entre 0.5 et 3 % de la masse de verre traité [Eme91].

Type des impuretés	Impuretés non détectées
Impuretés organiques (papier, plastique, liège, etc...)	< 15 g/t
Métaux magétiques	env. 0 g/t
Métaux non magnétiques	< 5 g/t
Plomb	< 2 g/t
Céramique, cailloux, pierres, etc...	< 30 g/t

Tableau 6.3 Le degré de pureté du verre traité

## 4. CONCLUSION

Une nouvelle expérience a été menée par M. BRIANE à ALBI, le principal fournisseur de groisil au sud de la France. Il a installé deux systèmes de tri automatique en cascade (Cf. fig. 6.18). La pureté du verre à la sortie de l'installation atteinte à 50 ppm.

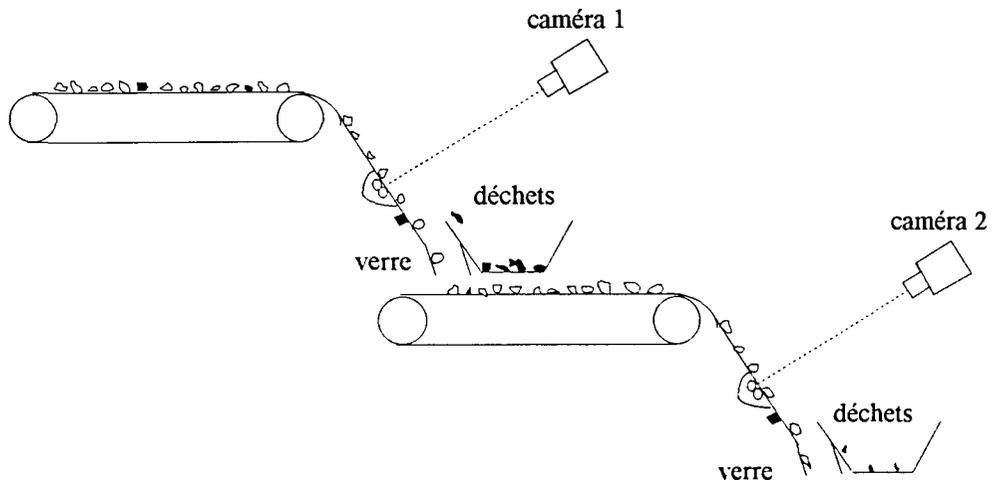


Figure 6.18 Installation chez BRIANE

Le système de détection des déchets opaques a été bien intégré dans différentes installations de récupération de verre. Il devient indispensable pour maintenir les cadences de production exigées et la qualité de produit souhaitée.

De nombreuses installations ont été réalisées ces dernières années. Les résultats montrent que nous sommes en mesure de répondre aux exigences des nouveaux cahiers des charges, grâce à cette nouvelle technologie. Ce système accélère la procédure de récupération du verre vers son objectif final: la récupération totale du verre usagé!

## **CHAPITRE VII**

## **CONCLUSION**

## 1. INTRODUCTION

Nous avons défini, dans le chapitre IV, une procédure d'analyse des images lignes sous l'hypothèse qu'on travaille sur un fond d'image assez uniforme afin de faciliter la réalisation du système de tri automatique. Cette procédure est parfaitement efficace dans les exploitations normales où les consignes de nettoyage et de maintenance du système d'éclairage sont bien respectées.

Or il arrive des cas où cette hypothèse n'est plus valable. Le vieillissement des tubes fluorescents peut créer une variation de la luminance du fond sur toute sa longueur: le centre de la zone d'inspection devient alors plus lumineux que les deux extrémités. Cette image du fond peut être, de plus, considérablement dégradée quand des saletés pénètrent dans le système d'éclairage ou quand la vitre dépolie s'encrasse (Cf. fig. 7.1).

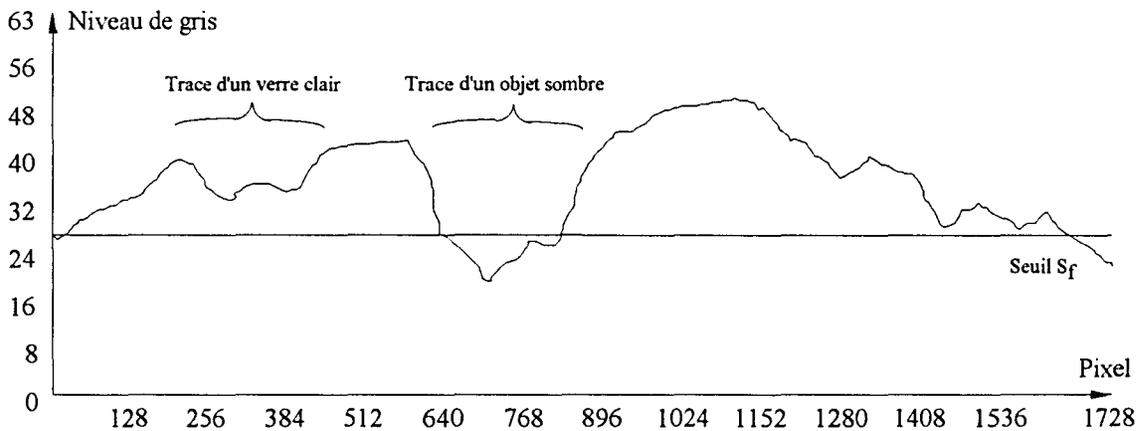


Figure 7.1 Traces de particules sur un fond non uniforme

Dans ce dernier chapitre nous allons proposer des solutions pour l'analyse des images lignes sur un fond non uniforme. Les solutions proposées, qui n'ont pas encore été intégrées sur les installations industrielles décrites dans le chapitre précédent, s'appuient sur les concepts de la morphologie mathématique

## 2. SEGMENTATION DES OBJETS SOMBRES SUR UN FOND NON UNIFORME PAR FILTRAGE MORPHOLOGIQUE

Les limites de la méthode de seuillage à niveau fixe ne sont pas dues aux irrégularités du fond elles-même, mais à ses variations aléatoires. Nous ne pouvons pas seuiller l'image avec la même valeur sur tous les points en tout le temps. Le seuil doit être une fonction de l'image ligne considérée et, dans cette image, du rang du pixel auquel il s'applique. Soient  $I(i,k)$ ,  $i=1,2,\dots,1728$ , les 1728 niveaux de gris des pixels constituant la ligne saisie à l'instant  $k$  et soient  $S_a(i,k)$ ,  $i=1,2,\dots,1728$ , les 1728 seuils associés à cette image ligne. Le fond d'image  $F(i,k)$ ,  $i=1,2,\dots,1728$ , sont des niveaux de gris de l'image sans objets.

Si on peut extraire le fond  $F(i,k)$  de chaque image ligne  $I(i,k)$ , on peut facilement segmenter les images lignes par une fonction  $S_a(i,k)$  de seuil adaptée (Cf. fig. 7.2).

$$S_a(i,k)=g(F(i,k))$$

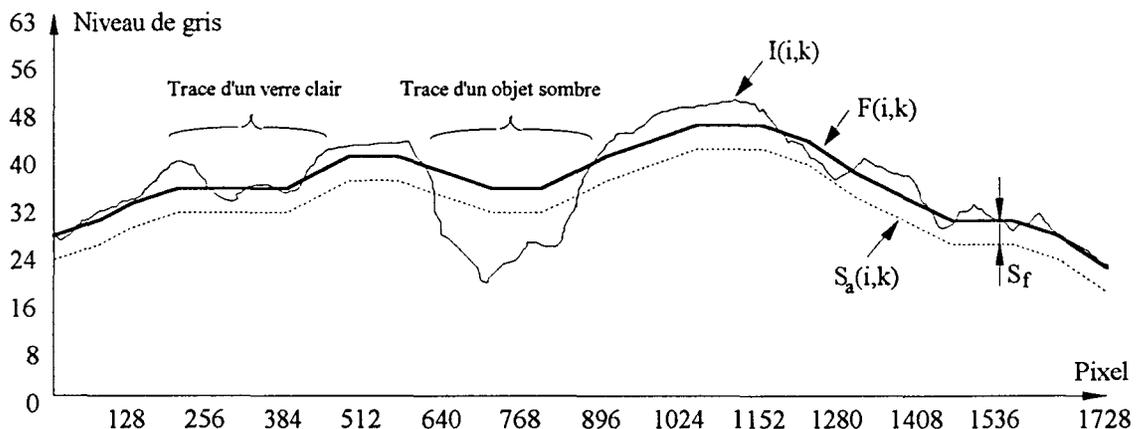


Figure 7.2 Image du fond extrait

Cette procédure de seuillage adaptatif pourrait être réalisée en deux étapes:

- Une soustraction de l'image du fond de l'image originale.
- Un seuillage à niveau fixe  $S_f$ .

Pour être plus explicite, on aurait:

$$S(i, k) = |I(i, k) - F(i, k)| \quad (1)$$

$$I^*(i, k) = \begin{cases} 0 & \text{si } S(i, k) < S_f \\ S(i, k) & \text{si } S(i, k) \geq S_f \end{cases} \quad (2)$$

où  $S(i, k)$  est l'image ligne obtenue après l'opération de soustraction et où  $I^*(i, k)$  est l'image ligne segmentée. Les différentes étapes de cette procédure sont présentées dans la figure 7.3.

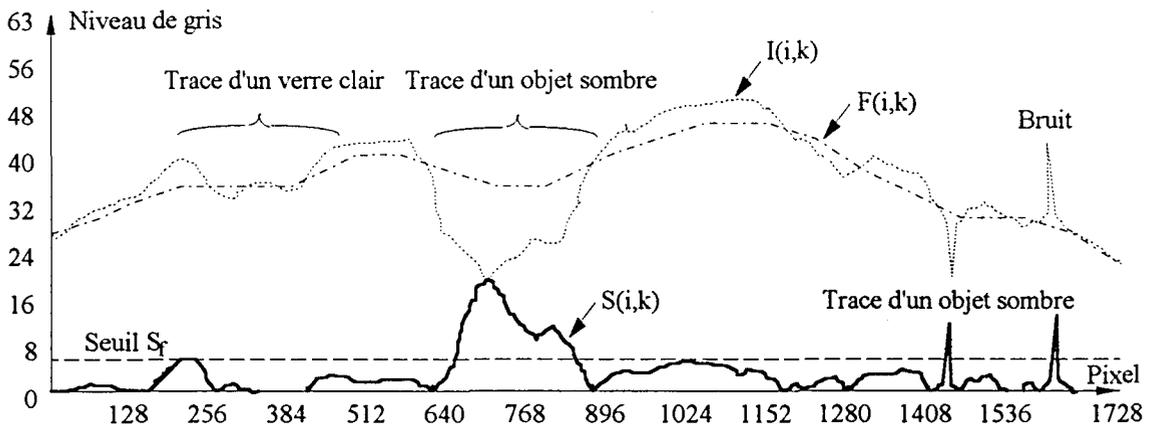


Figure 7.3 (a). Image après l'opération de soustraction du fond  $F(i, k)$

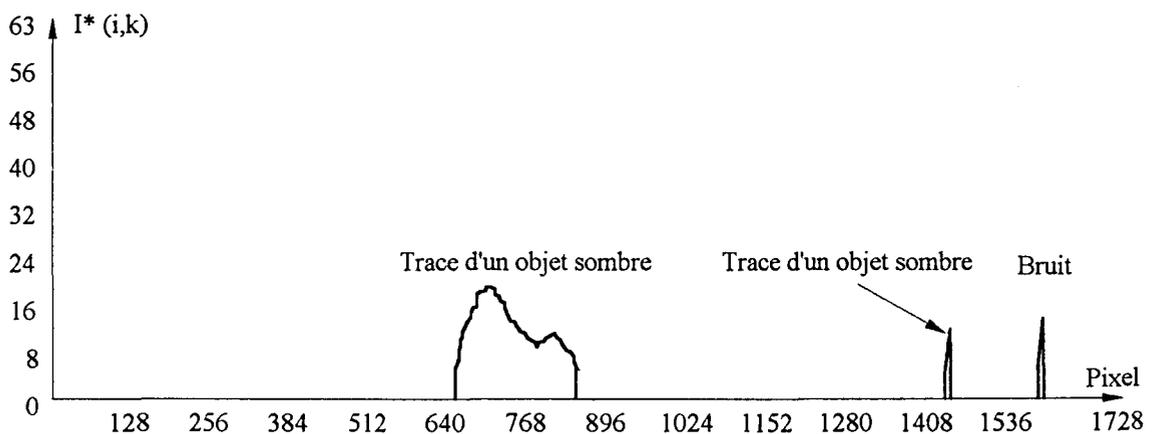


Figure 7.3 (b) Image segmentée  $I^*(i, k)$

L'opération essentielle dans cette procédure est l'extraction du fond de l'image originale. Nous pouvons constater qu'il existe parfois des bruits sur le fond de l'image, ceux-ci pouvant être extrêmement gênants pour le seuillage. Pour extraire ce fond sans imposer de procédure de prise de vue particulière, nous faisons appel à la morphologie mathématique. Cette discipline s'est développée comme un ensemble de transformations de données dans des espaces Euclidiens pour une interprétation quantitative de leurs structures géométriques [Ser82]. Introduite par Matheron et Serra, cette approche est couramment utilisée en l'analyse d'image [Cos89, Dau89].

Les opérations morphologiques réduisent de façon notable la quantité d'information contenue dans une image, en éliminant les détails non significatifs tout en préservant leur caractéristiques essentielles [Har87, Mar87a, Mar87b, Pos93]. Les premiers traitements issus de la morphologie mathématique ont été appliqués à des images binaires. Les opérateurs morphologiques binaires agissent sur des ensembles de pixels auxquels sont associées les valeurs 0 ou 1 selon qu'ils appartiennent respectivement au fond ou aux objets contenus dans l'image.

L'introduction de la notion d'ombre a permis d'étendre cette théorie à l'analyse d'images en niveau de gris [Har87, Shi87]. Une image de 2 dimension peut être considérée comme un ensemble de trois attributs  $\{(i,k,I(i,k))\}$ . Les opérations morphologiques binaires sont alors adaptées à cet ensemble de données à 3 dimensions.

## 2.1. Opérations morphologiques de base

Nous n'avons pas la prétention de présenter tous les aspects de la morphologie mathématique, leurs applications au traitement d'image étant profondément développées dans les travaux publiés par Serra et Maragos [Ser82, Mar87a, Mar87b, Mar89]. Nous nous contenterons d'introduire les définitions de base nécessaires au développement de la méthode que nous proposons. L'élément structurant dans les applications monodimensionnelles se réduit à un segment. Ce dernier peut être centré ou non. On le choisit centré.

### 2.1.1. Erosion et dilatation en niveaux de gris

La dilatation de  $I(i,k)$  avec l'élément structurant  $E$ , notée  $I(i,k) \oplus E$ , consiste à centrer l'élément structurant  $E$  sur chaque pixel  $P_{i,k}$  et à chercher le maximum local de  $I(i,k)$  sur ce domaine particulier, noté  $E_j$ . L'érosion est une transformation duale de la dilatation, notée  $I(i,k) \ominus E$ , qui consiste à chercher la valeur minimum locale de  $I(i,k)$  sur  $E_j$ .

$$I(i,k) \oplus E = \max_j \{ I(j,k) | P_{j,k} \in E_j \} \quad i = 0, 1, 2, \dots, 1728$$

$$I(i,k) \ominus E = \min_j \{ I(j,k) | P_{j,k} \in E_j \} \quad i = 0, 1, 2, \dots, 1728$$

Pour illustrer l'effet de ces deux opérations morphologiques, nous utilisons l'image ligne  $I(i,k)$  de la figure 7.4. Nous interprétons les transformations de  $I(i,k)$  par ces opérations morphologiques en considérant l'ombre de  $I(i,k)$  comme le profil de la surface définie par les niveaux de gris (Cf. fig. 7.4.). Si en observant l'ombre de  $I(i,k)$  de gauche à droite, le niveau de gris décroît puis augmente dans une zone de l'image ligne, nous dirons que cette zone correspond à une vallée. Si le niveau de gris augmente avant de décroître, cette zone indique alors la présence d'un pic. Une zone dans laquelle les niveaux de gris ne varient pas de façon significative est appelée un plateau. La taille, ou la largeur, d'un pic ou d'une vallée est indiquée par le nombre de pixels de la zone considérée.

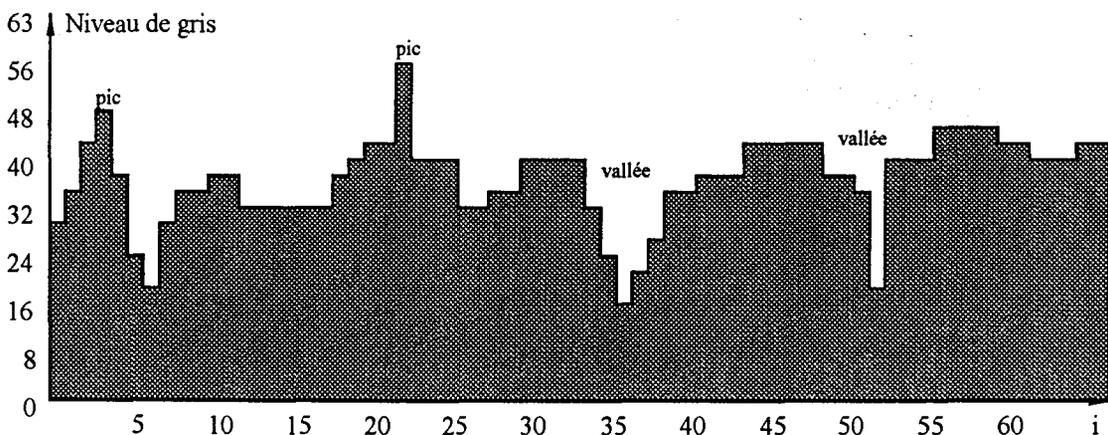


Figure 7.4 Image  $I(i,k)$  et son ombre

La dilatation comble les vallées de taille inférieure à celle de l'élément structurant et épaissit les pics des niveaux de gris (Cf. fig. 7.5 (a)). Par contre, l'érosion élimine les pics de largeur inférieure à la taille de l'élément structurant et élargit les vallées (Cf. fig. 7.5 (b)). Les propriétés de ces opérateurs sont utilisées pour éliminer certaines composantes du bruit, de type pic et vallée, présentes dans l'image. Il faut noter que le résultat d'une érosion abaisse le niveau de gris général d'une image, tandis que la dilatation l'augmente. Ces deux opérations sont les opérations morphologiques de base, elles peuvent être utilisées itérativement pour des opérations plus complexes, telles que l'ouverture et la fermeture.

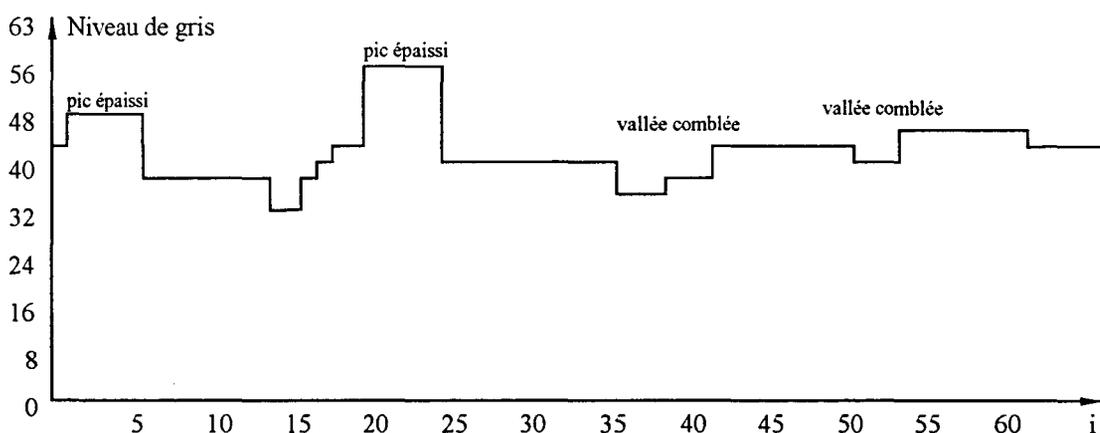


Figure 7.5 (a) Dilatation de  $I(i,k)$  par  $E=11111$

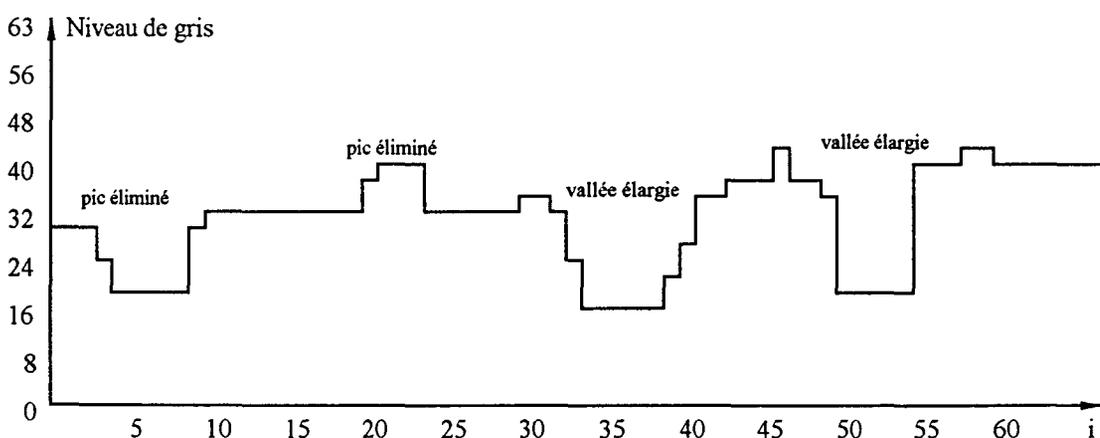


Figure 7.5 (b) Erosion de  $I(i,k)$  par  $E=11111$

### 2.1.2. Ouverture et fermeture

L'ouverture et la fermeture sont des compositions de l'érosion et de la dilatation. Notons  $I(i,k) \Delta E$ , l'ouverture de l'image ligne  $I(i,k)$  avec l'élément structurant  $E$ , et  $I(i,k) \nabla E$ , sa fermeture par  $E$ . Lorsque l'élément structurant  $E$  est symétrique, les opérations d'ouverture et de fermeture prennent les formes simples suivantes:

$$I(i,k) \Delta E = (I(i,k) \ominus E) \oplus E$$

$$I(i,k) \nabla E = (I(i,k) \oplus E) \ominus E$$

A la différence de l'érosion et de la dilatation, ces opérateurs ne modifient les niveaux de gris qu'en certains points [Zha91b, Zha94a]. L'ouverture élimine les pics dont la largeur est inférieure à la taille de l'élément structurant (Cf. fig. 7.6 (a)). La fermeture comble les vallées des niveaux de gris de largeur inférieure à celle de l'élément structurant (Cf. fig. 7.6 (b)).

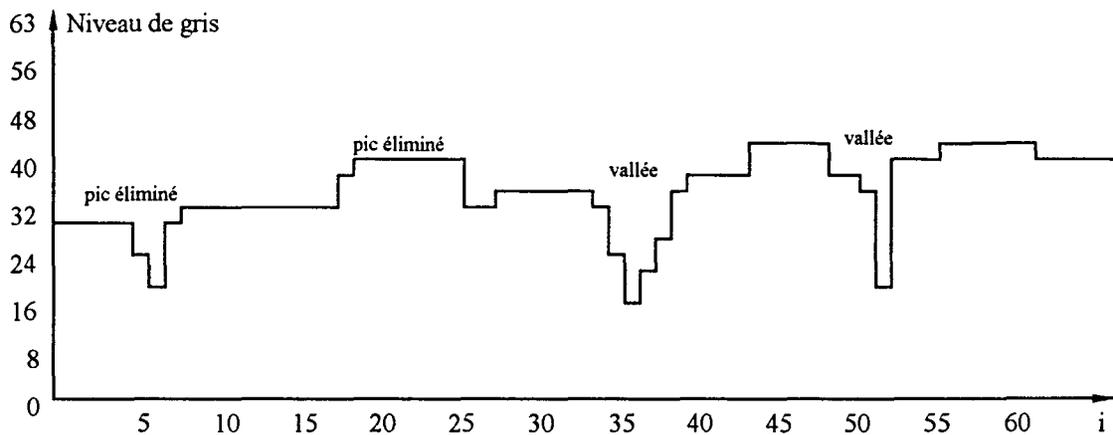
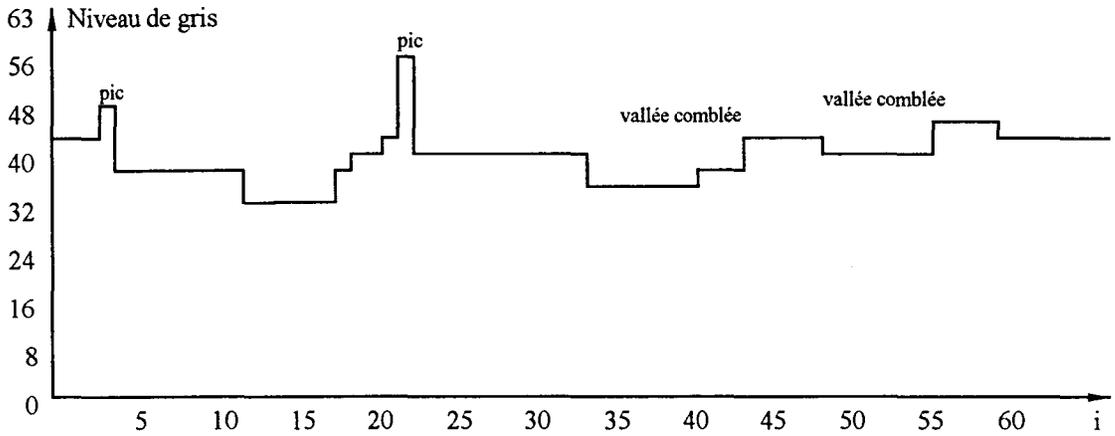
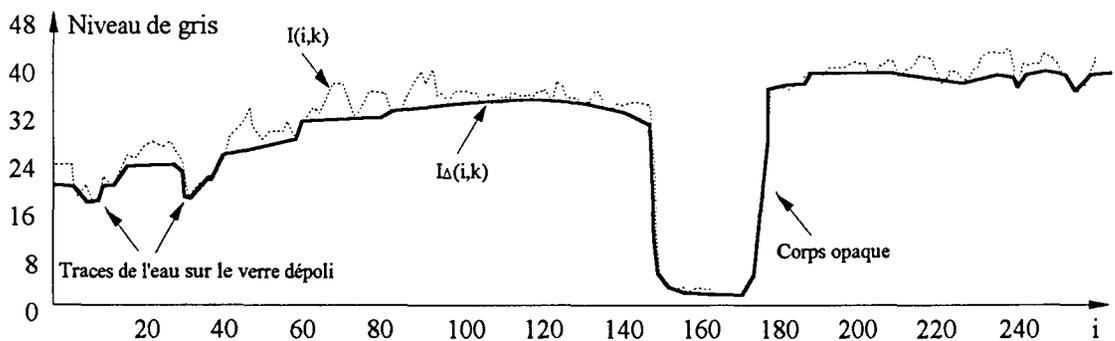


Figure 7.6 (a) Ouverture de  $I(i,k)$  par  $E=11111$

Figure 7.6 (b) Fermeture de  $I(i,k)$  par  $E=11111$ 

## 2.2. Application à l'extraction des zones sombres

Les traces des impuretés sont identifiées comme des vallées sur les images lignes alors que les pics ne présentent aucun intérêt au niveau de l'analyse. L'opération d'ouverture est donc retenue pour éliminer ce type de bruit. Notons l'image originale  $I(i,k)$  et l'image traitée  $I_{\Delta}(i,k)$ . La figure 7.7(a) présente l'image filtrée par l'opération d'ouverture avec un élément structurant de taille 10.

Figure 7.7(a) Image  $I(i,k)$  et sa ouverture  $I_{\Delta}(i,k)$ 

La propriété de la fermeture est de combler les vallées des images lignes. Cette caractéristique pourrait être utilisée pour extraire le fond de l'image en filtrant les zones sombres créées par les particules. La différence entre l'image fermée et l'image

originale donne une image des vallées à extraire. C'est l'opération dite de chapeau bas de forme, notée  $I(i,k) \odot E$ .

$$I(i,k) \odot E = (I(i,k) \nabla E) - I(i,k)$$

Nous appliquons cette opération sur  $I_{\Delta}(i,k)$  pour segmenter l'image. La fermeture de  $I_{\Delta}(i,k)$ , notée  $I_{\nabla}(i,k)$ , est présentée figure 7.7 (b) et le résultat final  $I_{\odot}(i,k)$  est montré dans la figure 7.7 (c). Un simple seuillage permet alors d'extraire les parties de l'image à analyser.

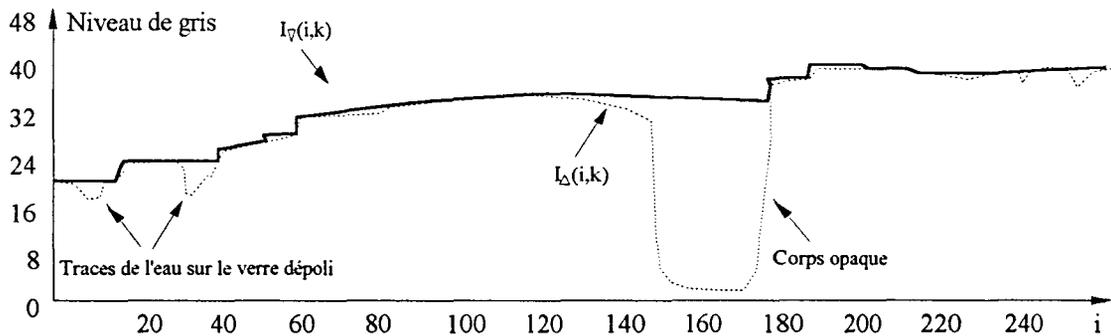


Figure 7.7 (b) Fermeture de l'image  $I_{\Delta}(i,k)$  avec  $E=53$

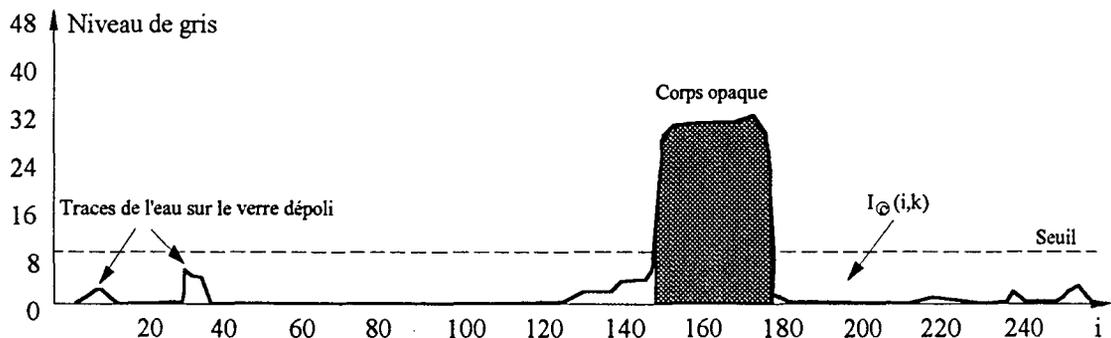


Figure 7.7 (c) Opération de chapeau bas de forme et seuillage

La taille d'un élément structurant peut avoir une conséquence importante sur l'image traitée. La figure 7.8 montre les résultats de la transformation d'une même image ligne avec des éléments structurants de trois tailles différentes: 25, 27 et 53. Plus la taille

augmente, mieux on extrait les traces des objets, mais plus la procédure est sensible au bruit. Dans notre application, la taille d'un élément structurant est définie par  $N = (2 \times n + 1)$ . Comme la dimension maximale des particules est de 40 mm, nous pouvons calculer la taille N en nombre de pixels pour que les particules de plus grande dimension puissent être extraites par cette opération.

$N = \text{Largeur max} \div \text{Dimension pixel}$ :

$$N = 40 \div 0.75 \approx 53$$

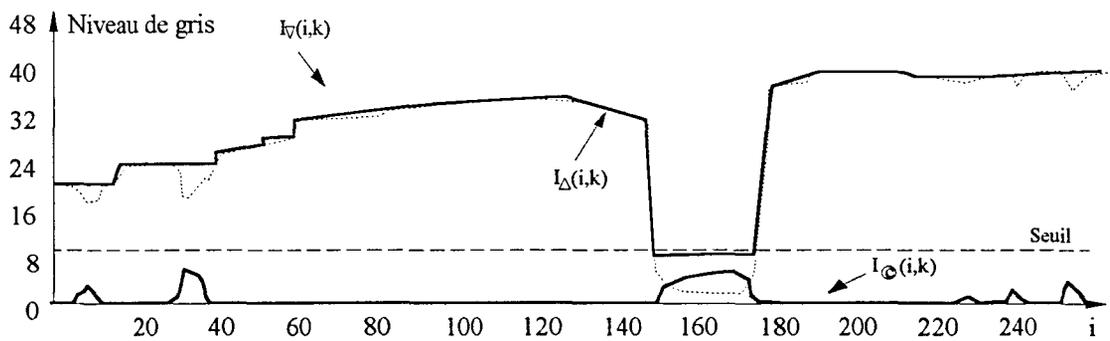


Figure 7.8 (a) Opération de chapeau bas de forme avec  $N=25$

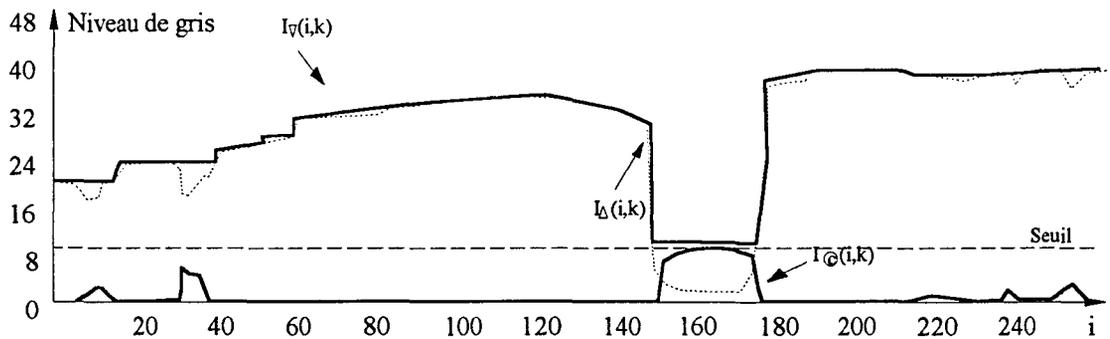


Figure 7.8 (b) Opération de chapeau bas de forme avec  $N=27$

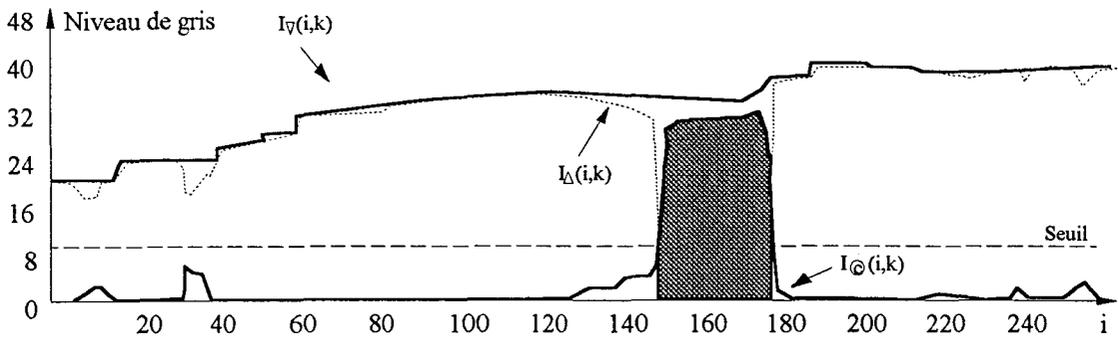


Figure 7.8 (c) Opération de chapeau bas de forme avec  $N=53$

### 3. AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES DES IMAGES LIGNES

Il serait simple d'analyser les traces extraites par l'opération de chapeau bas de forme. Malheureusement cette information, qui est liée à la transparence des objets, n'est pas fiable à cause des variations du fond de l'image. La figure 7.9(a) montre les traces d'un même objet opaque obtenues en deux endroits différents de la ligne d'inspection. Les segments extraits dépendent fortement des conditions d'éclairage locales (Cf. fig. 7.9(b)). Cependant, les niveaux d'opacité absolus des objets opaques varient peu en fonction des conditions d'éclairage (Cf. fig. 7.9 (c)).

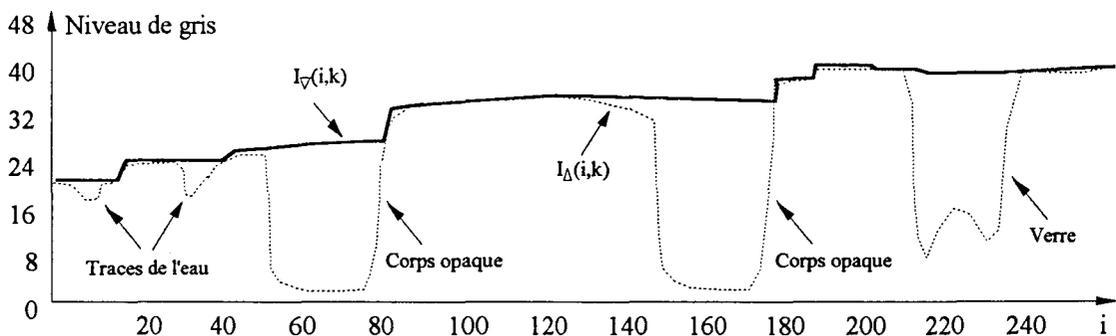


Figure 7.9 (a) Images de deux objets identiques traversant le champ de la caméra en deux endroits différents et fermeture de l'image avec  $N=53$

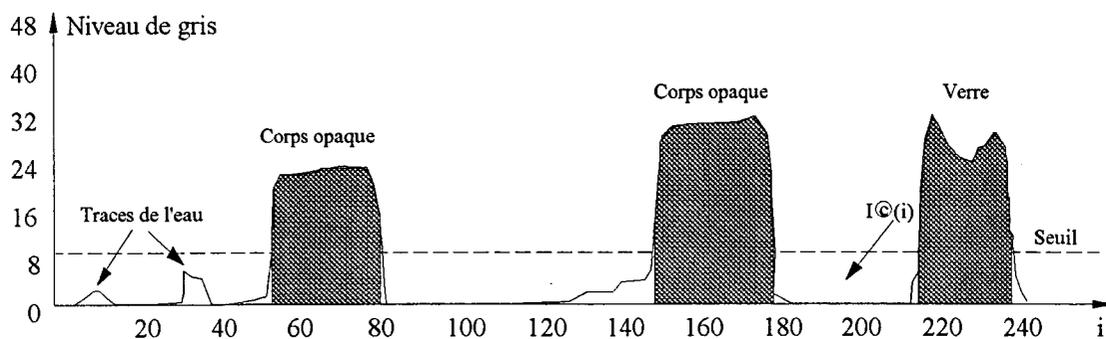


Figure 7.9 (b) Traces extraites de l'image de la figure 7.9 (a)

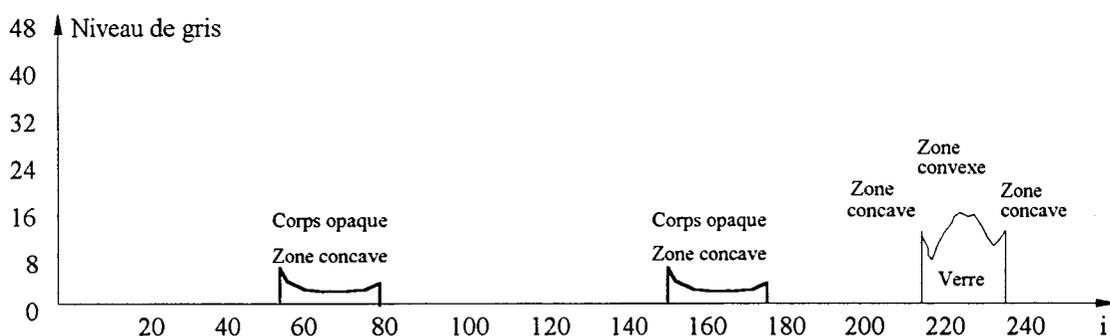


Figure 7.9 (c) Niveaux d'opacité de divers objets

Les niveaux d'opacité absolu des traces extraites sont obtenus:

$$IO(i, k) = \begin{cases} 0 & \text{si } I_{\ominus}(i, k) < \text{seuil} \\ I(i, k) & \text{si } I_{\ominus}(i, k) \geq \text{seuil} \end{cases}$$

Nous avons vu dans le chapitre IV que la caractéristique essentielle de la trace d'un morceau de verre sur une image ligne est son niveau d'opacité. Les niveaux de gris au centre des traces sont souvent plus élevés qu'aux deux extrémités à cause des effets de bord. L'image ligne du niveau de la trace laissée par un morceau de verre peut donc avoir une forme complexe, telle celle de la figure 7.9(c), où la fonction de niveau de gris est alternativement concave, convexe puis concave. Contrairement à cette caractéristique, l'image ligne d'un corps opaque a une forme concave (Cf. fig. 7.10). Ces caractéristiques pourront être renforcées par la morphologie dépendant de la convexité.

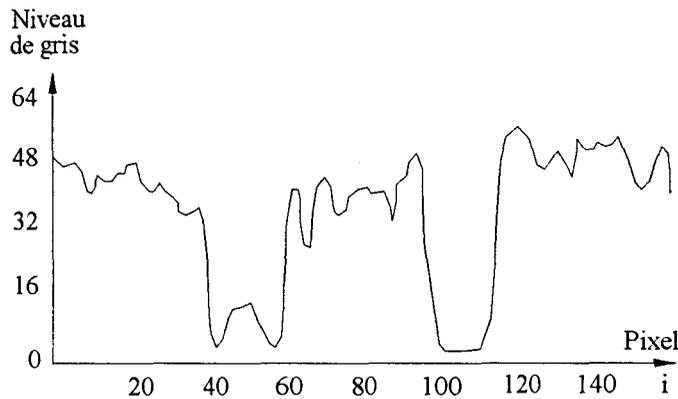


Figure 7.10 Les images lignes d'un morceau de verre et d'un corps opaque

### 3.1. Rank Order Filtrer

Nous avons défini les opérations morphologiques de base au paragraphe 7.2.1. Elles sont très efficaces pour le filtrage du bruit sur le fond de l'image. Nous pouvons les présenter d'une façon plus générale en utilisant la notion de "Rank Order Filtrer", notée ROF [Mar89].

La transformation d'une image  $I(i,k)$  par un ROF de  $R^{\text{ème}}$  ordre avec l'élément structurant  $E$ , notée  $I(i,k) \circledast E$ , consiste à centrer l'élément structurant  $E$  sur le pixel  $P_{i,k}$  et à chercher la  $R^{\text{ème}}$  plus grande valeur du niveau de gris sur ce domaine particulier, noté  $E_i$ . L'élément structurant  $E$  est une fenêtre de  $N$  pixels et l'ordre  $R$  peut varier de 1 jusqu'à  $N$  ( $R=1,2,\dots,N$ ).

$$I(i,k) \circledast E = \max_{\substack{A \subseteq E \\ |A|=R}} \left[ \min_{j \in A} \{I(i+j,k)\} \right]$$

ou

$$I(i,k) \circledast E = \min_{\substack{B \subseteq E \\ |B|=N-R+1}} \left[ \max_{j \in B} \{I(i+j,k)\} \right]$$

L'érosion est un ROF d'ordre un ( $R=1$ ) et la dilatation est un ROF de dernier ordre ( $R=N$ ). Le filtre médian est un "rank order filtrer" d'ordre  $R=N/2$  (Cf. fig. 7.11).

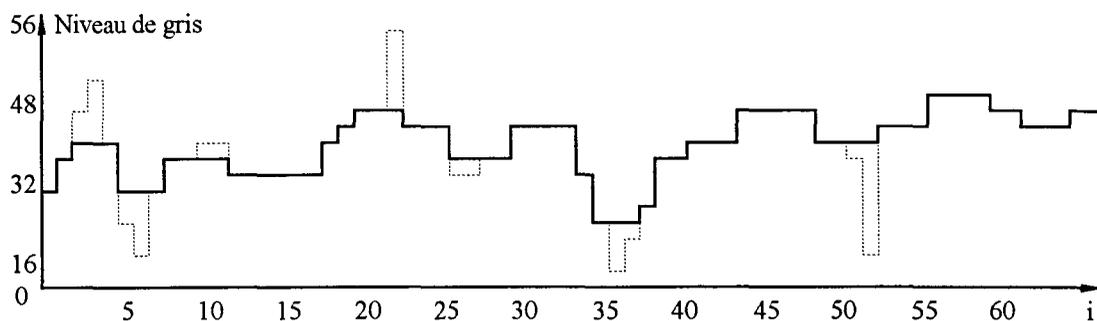


Figure 7.11 Reponse d'un filtre médian avec  $E=11111$

La dualité des opérations morphologiques est beaucoup utilisée pour nettoyer les images et pour extraire les informations géométriques qu'elle contiennent [Zha91b, Zha94a]. Mais on pense peu à les utiliser pour renforcer les structures géométriques locales sur une image.

Ce type d'opérations pourrait être réalisé par une application des transformations morphologiques adaptée aux structures géométriques locales. Nous avons développé une nouvelle approche de filtrage morphologique dépendant de la convexité, pour l'extraction des modes en analyse des données [Zha94b]. Elle est aussi très efficace pour l'analyse des images.

### 3.2. Filtrage morphologique adapté

Les structures géométriques locales peuvent, en effet, être nettement renforcées lorsque l'ordre du ROF varie en fonction de la convexité de la fonction de niveau de gris sur chaque pixel. Plus la concavité de cette fonction est marquée, plus on érode l'image. Plus elle est convexe, plus on la dilate. Nous pouvons définir  $R$  comme une fonction d'un certain degré de convexité. Chaque pixel sera ainsi filtré avec un  $R$  différent.

La convexité locale d'une fonction  $f(\mathbf{x})$  de la variable  $\mathbf{x}$  en un point  $\mathbf{x}_0$  peut être déterminée par une analyse des variations de valeur moyenne de cette fonction calculées sur une série de domaines de taille croissante centré sur le point  $\mathbf{x}_0$  [Pos78, Pos82, Pos83, Vas79, Vas80,]. Ces domaines sont homothétiques à un domaine de la référence, centré en  $\mathbf{x}_0$ . La transformation homothétique est définie par son centre  $\mathbf{x}_0$  et par un rapport positif  $\rho$ . Le domaine ainsi obtenu est fonction de  $\rho$ . Il est appelé le domaine d'observation et est noté  $D(\mathbf{x}_0, \rho)$ .

Supposons que  $M(\mathbf{x}_0, \rho)$  soit la valeur moyenne de  $f(\mathbf{x})$  sur le domaine  $D(\mathbf{x}_0, \rho)$ . Nous avons:

$$M(\mathbf{x}_0, \rho) = \frac{\int_{D(\mathbf{x}_0, \rho)} f(\mathbf{v}) d\mathbf{v}}{\int_{D(\mathbf{x}_0, \rho)} d\mathbf{v}}$$

Il a été prouvé que pour un point  $\mathbf{x}_0$  donné, cette valeur moyenne est une fonction monotone décroissante (respectivement croissante) de  $\rho$  quand la série de domaines d'observation  $D(\mathbf{x}_0, \rho)$  associés s'étend dans une région concave (respectivement convexe) de  $f(\mathbf{x})$ .

Un test de convexité d'une fonction est basé sur cette propriété fondamentale. Il peut être adapté au cas de l'analyse des images monodimensionnelles. Pour une image monodimensionnelle  $I(i, k)$ , le domaine  $D(i_0, \rho)$  devient une fenêtre de taille  $\rho$  centrée sur le pixel  $P_{i_0, k}$ . La valeur moyenne  $M(i_0, \rho)$  de  $I(i, k)$  sur cette fenêtre de taille  $\rho$  est calculée selon le schéma suivant:

$$M(i_0, \rho) = \frac{1}{\rho} \sum_{i=-\frac{\rho}{2}}^{\frac{\rho}{2}} I(i_0 + i, k)$$

Ainsi les moyennes  $M(i_0, 1)$  et  $M(i_0, 5)$  de  $I(i, k)$  sont estimées comme:

$$M(i_0, 1) = I(i_0, k)$$

et

$$M(i_0, 5) = \frac{1}{5} \sum_{i=-2}^2 I(i_0 + i, k)$$

Supposons que le pixel du rang  $i_0$  se trouve entièrement à l'intérieur d'une région où la convexité de la fonction représentant le niveau de gris reste de même sens. La moyenne de  $I(i, k)$  est alors soit une fonction décroissante si la fonction  $I(i, k)$  est concave (Cf. fig. 7.12(a)), soit une fonction croissante de la taille  $\rho$  si la fonction est convexe (Cf. fig. 7.12(b)).

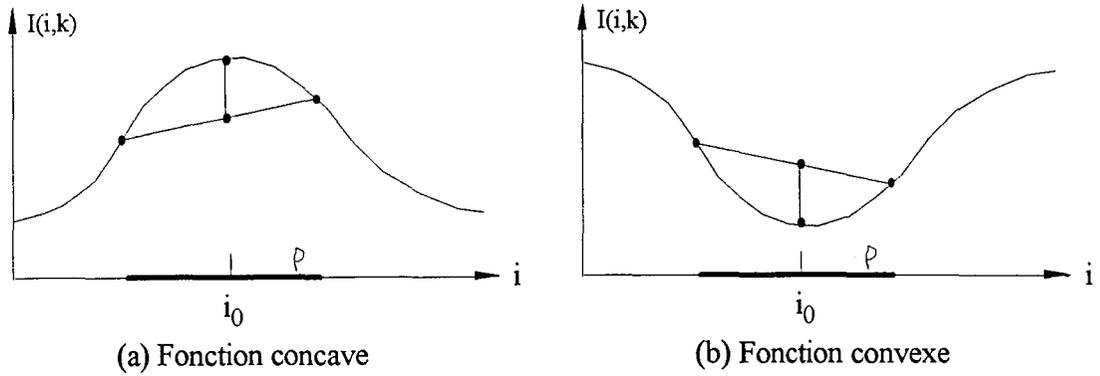


Figure 7.12 La convexité d'une fonction monodimensionnelle

Le signe de  $\eta(i_0)$ , défini par:

$$\eta(i_0) = M(i_0, 1) - M(i_0, 5)$$

est utilisé pour déterminer la convexité de la fonction  $I(i,k)$  au niveau du pixel de rang  $i_0$ . Si  $\eta(i_0) > 0$ , la moyenne estimée est une fonction décroissante de la taille du domaine d'observation. On assigne une étiquette "concave" au pixel de rang  $i_0$ . Sinon, on lui assigne une étiquette "convexe".

Il est important de noter que le domaine d'observation pourrait se trouver à la frontière entre une région concave et une région convexe. L'hypothèse du test de convexité n'est alors plus vérifiée puisque le sens de la convexité de la fonction n'est pas constant à l'intérieur du domaine d'observation. Certains résultats du test peuvent donc être erronés au niveau des frontières entre des régions de convexités différentes.

Nous pouvons définir une variable qui représente un certain "degré de convexité"  $\delta(i_0)$  en chaque pixel de rang  $i_0$ . Cette variable telle que:

$$\delta(i_0) = \frac{M(i_0, 1)}{M(i_0, 5)}$$

$\delta(i_0)$  a une valeur comprise entre 0 et 5. Nous pouvons déterminer la convexité de  $I(i,k)$  au pixel  $P_{i_0,k}$  comme suit:

$P_{i_0,k} \in \text{région concave si } \delta(i_0) < 1$

$P_{i_0,k} \in \text{région convexe si } \delta(i_0) \geq 1$

Il ne s'agit en fait que d'une présentation légèrement différente du test de convexité proposé en paragraphe précédent. Mais l'introduction de ce "degré de convexité"  $\delta(i_0)$  permet d'ajuster l'ordre du ROF en fonction de ce degré.

Notons que l'érosion peut renforcer la structure géométrique des vallées en les élargissant, mais elle est peu adaptée aux zones où il y a des bosses. La dilatation a tendance à renforcer les zones de bosse, mais elle est mal adaptée aux vallées. Contrairement à l'application systématique d'une seule transformation morphologique sur toute l'image, on adapte les opérations de dilatation et d'érosion à la structure géométrique locale. La dilatation est employée sur les pixels où la fonction du niveau de gris  $I(i,k)$  est concave et l'érosion est appliquée sur ceux où  $I(i,k)$  est convexe (Cf. fig. 7.13). On peut l'appliquer de manière itérative jusqu'à ce que le résultat se stabilise, c'est à dire jusqu'à ce que la différence  $\mu(m)$  entre l'image à la  $m+1$  ème itération et celle à la  $m$  ème itération du filtrage soit suffisamment petite:

$$\mu(m) = \sum_{i=0}^{1728} |I^{(m+1)}(i, k) - I^m(i, k)| \leq \epsilon$$

où  $\epsilon$  est un paramètre positif ajustable.

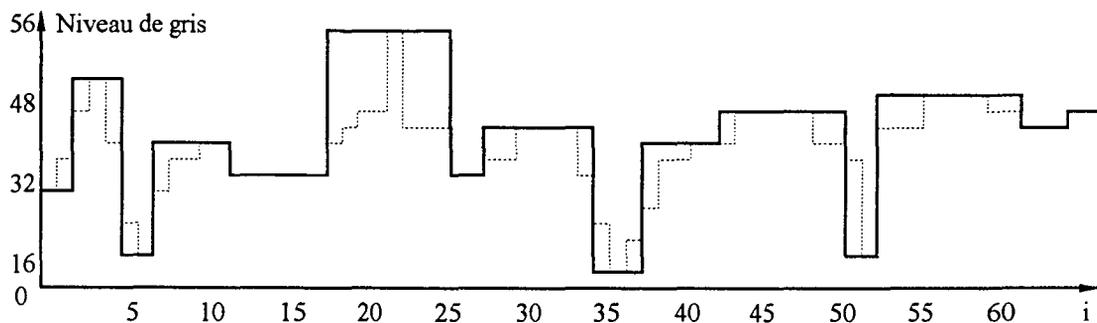


Figure 7.13 Morphologie adaptée à la convexité

Cette transformation morphologique dépendant de la convexité est suivie systématiquement d'une ouverture classique. Cette procédure filtre les bruits de l'image  $I(i,k)$  par élimination des pics isolés. Elle diminue les irrégularités et rend le test de convexité plus fiable.

Nous avons appliqué cette méthode itérativement sur l'image  $I(i,k)$  présentée sur la figure 7.14(a). A chaque étape, la convexité de l'image modifiée est testée afin de déterminer quelle opération doit être appliquée sur chaque pixel. Supposons que  $I^{(m)}(i,k)$  est l'image obtenue à la  $m$  ème itération. Si le test de convexité indique que  $I^{(m)}(i,k)$  est concave sur le pixel de rang  $i_0$ , alors l'élément structurant  $E$  est transféré au pixel  $P_{i_0,k}$  et  $I^{(m)}(i_0,k)$  est remplacée par la valeur maximum de  $I^{(m)}(i,k)$  sur cet élément structurant transféré  $E_{i_0}$ . Pour un élément structurant de taille de 5,  $I^{(m+1)}(i,k)$  est donné par:

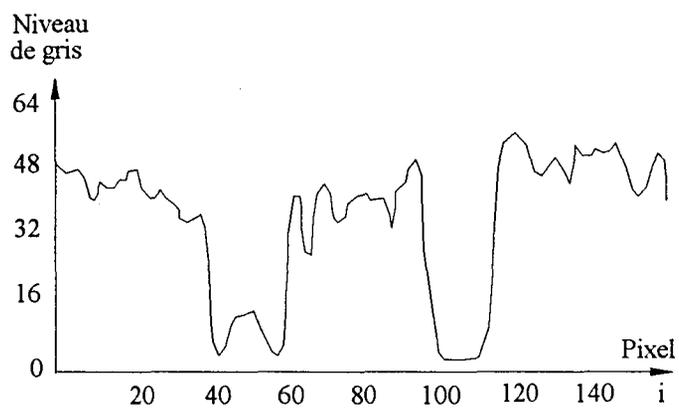
$$I^{(m+1)}(i, k) = \max_{i-2 \leq j \leq i+2} \{I^{(m)}(j, k)\}$$

D'une façon similaire, l'érosion de  $I^{(m)}(i,k)$  au niveau du pixel de rang  $i$ , où la fonction est convexe, est définie par:

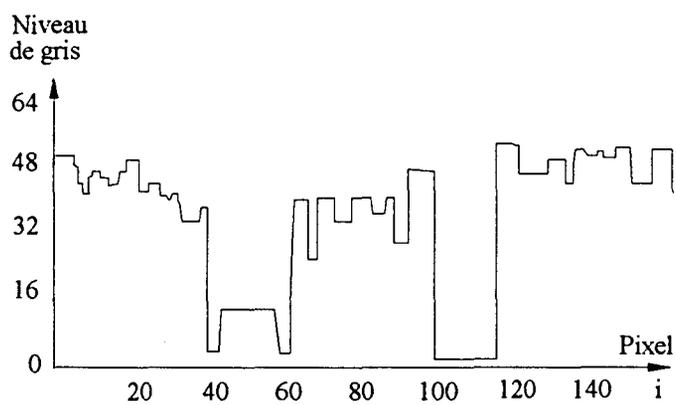
$$I^{(m+1)}(i, k) = \min_{i-2 \leq j \leq i+2} \{I^{(m)}(j, k)\}$$

Quand cette transformation est itérée,  $I(i,k)$  atteint son maximum local dans les zones concaves et son minimum local dans les vallées (Cf. fig. 7.14(b)).

La stabilisation est atteinte au bout de 3 itérations. Nous constatons que le niveau de transmission à l'intérieur du verre est nettement renforcé par rapport à celui observé sur l'image originale (Cf. fig. 7.14). Le traitement de cette image filtrée, en particulier le calcul des valeurs moyennes des niveaux de gris pour chaque élément sera aussi plus discriminant pour différencier le verre des particules à ejecter.



(a) Image originale



(b) Image traitée

Figure 7.14 Amélioration des caractéristiques des images lignes

## 4. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons présenté la conception et la réalisation d'un système spécifique dédié pour détecter les déchets opaques dans le procédé de récupération des verres d'emballage. Ce système permet le tri automatique du verre à haute vitesse avec une meilleure qualité que celle obtenue avec des systèmes de tri manuel.

La double importance du recyclage de verre, tant par l'aspect écologique que par l'aspect économique, a amené un développement rapide de la filière de récupération. Nous avons présenté l'évolution du procédé de recyclage dans la première partie de ce mémoire, montrant qu'il était inévitable d'envisager son automatisation pour répondre à un besoin en groisil de plus en plus important avec des exigences de qualité de plus en plus sévères. Les difficultés du traitement ont été évoquées et analysées. Parmi les divers problèmes à résoudre, le tri des déchets opaques restait l'étape la plus importante pour assurer la qualité du produit en maintenant des cadences de production économiquement viables. Nous avons décidé de développer un système automatique de tri des objets opaques, juste avant la livraison du groisil chez les verriers.

La différence fondamentale entre le verre et les autres objets trouvés dans les emballages récupérés est la transparence. Les impuretés sont souvent constitués de matériaux opaques. L'identification des déchets par analyse de leur transparence a été retenue comme principe de base pour développer le système. Nous avons montré que les verres se comportent différemment selon l'éclairage auquel ils sont soumis, les niveaux de transmission de la lumière dépendant essentiellement des propriétés optiques de chaque type de verre. Une analyse approfondie des caractéristiques de transmission des verres est présentée dans le deuxième chapitre. Elle nous permet de réaliser un système d'éclairage bien adapté au problème et de choisir un capteur en mesure de quantifier cette transparence.

Les fonctions du système et les conditions de son exploitation ont été définies avec les industriels concernés. Pour satisfaire ces conditions et remplir toutes ces fonctions, nous avons défini la configuration d'un système de tri de verre. Il est composé d'une caméra linéaire de haute résolution, d'un système d'analyse de l'image, d'un couloir

vibrant, d'une source d'éclairage dédié et d'un système mécanique d'éjection. Les problèmes liés à chacune de ces parties sont étudiés en détail.

L'identification des impuretés par analyse des images lignes est le point le plus délicat, compte-tenu des conditions difficiles de l'inspection dues à la présence des saletés, de l'eau qui s'écoule etc. Les conditions optiques dans lesquelles on capte les images des morceaux de verre pendant leur chute devant une rampe lumineuse ne permettent pas toujours d'obtenir des images mettant fidèlement en évidence la transparence du verre. Différentes méthodes du traitement d'image sont proposées afin de renforcer les caractéristiques de transmission du verre sur les images. La procédure de détection est définie ainsi: une analyse de trois images lignes successives afin d'éliminer les effets du bord; une extraction des éléments sombres et opaques afin d'effectuer la procédure d'identification; une mesure d'opacité moyenne par l'intégration du niveau de gris sur les éléments détectés et, finalement, un seuillage adapté pour différencier les verres sombres des impuretés.

Nous avons ensuite conçu un processeur spécifique permettant la détection des déchets en temps réel selon cette procédure. L'algorithme a été partitionné en opérateurs simples organisés en structure pipeline, qui ont été ensuite implantés sur une série de cartes électroniques. Les impuretés identifiées en opacité et en position sont évacuées par 64 marteaux d'éjection pilotés par le système.

L'efficacité et la fiabilité du système ont été testées et vérifiées sur plusieurs sites industriels. Nous avons présenté certains résultats obtenus dans deux centres de traitement représentatifs: PROVER et WIEGAND GLAS. Il y a deux critères de jugement pour un système de tri. Le premier concerne l'efficacité du tri, qui est traduite par le pourcentage d'impuretés évacuées par rapport au total des impuretés présentes dans les verres bruts. Le second critère concerne la fiabilité du système, qui est mesurée sous la forme du pourcentage de pertes de verre par rapport à la quantité totale de verre traité. Selon le degré de pollution du verre d'entrée, le système de tri automatique peut garantir une efficacité d'élimination de déchets supérieurs à 90% et une perte de verre de 0.5 à 3 %. Il peut travailler au moins à la cadence de 5 t/h. Des essais expérimentaux ont montré que l'on peut trier le verre avec une vitesse de l'ordre de 8 t/h.

Un tel système a beaucoup amélioré la qualité du verre traité et les conditions de travail des opérateurs. Il donne grande satisfaction aux consommateurs de verre. Il a accéléré la procédure d'automatisation de la récupération du verre et ouvert la voie à des possibilités de tri du verre par couleurs [Git91].

La capacité d'absorption du verre coloré pour tous les verriers français va atteindre sa limite quand la quantité de récupération de verre atteindra 76%. La solution pour atteindre l'objectif de 100% de récupération est d'alimenter les fours en verre blanc. La seule condition pour cette solution dépend de la séparation du verre blanc et des verres d'autres couleurs. Ce problème devient de plus en plus urgent. Nous sommes en train d'étudier la possibilité de séparer le verre par couleurs.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**[Alb80]**

ALBERT, PETER, HAWKINS

"Appareil de balayage d'objets en mouvement par des radiations électromagnétiques"

Brevet République Sud-Africaine 2459472, SPHERE INVESTMENTS LIMITED

Juin 1980

**[Ame87]**

AMEZIANE M.

"Segmentation des images numériques par seuillages multiples: Application à la découpe automatique dans les ateliers flexibles"

Thèse de doctorat

Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois. Février 1987

**[Anz85]**

ANZAI K., SHIBAYAMA A.

"Dispositif d'appréciation, de sélection et de rejet d'une substance étrangère incluse dans un mélange"

Brevet Japonais 2579115, DE BEERS CONSOLIDATED MINES LIMITED

Août 1985

**[Bli78]**

BLITZ ELECTRICITE

"Procédé et dispositif pour la détection de corps étrangers dans un produit divisé"

Brevet Français 2430272

Juillet 1978

**[Bon89]**

BONNET P.

"Cours de traitements d'image"

Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois

1989

**[Bsn85]**

BSN Emballage

"Propriétés Optiques des Verres"

Rapport interne, Centre de Recherche de BSN Emballage

1985

**[Bsn87]**

BSN Emballage

"L'usine de wingles et le recyclage du verre"

Rapport interne, BSN Wingles

1987

**[Bsn88]**

BSN Emballage

"Etude de la couleur des verres transparents"

Rapport interne, Centre de Recherche de BSN Emballage

1988

**[Bsn90]**

BSN Emballage  
 "QUALITE GROISIL BRUT 1990"  
 Rapport interne, BSN Emballage  
 1990

**[Bsn91a]**

BSN Emballage  
 "Verre Recyclé"  
 Rapport interne, Centre de Recherche de BSN Emballage  
 1991

**[Bsn91b]**

BSN Emballage  
 "CHARTE QUALITE DU CALCIN MENAGER TRAITE"  
 Rapport interne, BSN Emballage  
 1991

**[Cab92]**

CABESTAING F.  
 "Detection de contours en mouvement dans une séquence d'image - Conception et réalisation d'un processeur câblé temps-réel"  
 Thèse de doctorat  
 Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois. Janvier 1992

**[Cor90]**

CORMAN G.  
 "Tri Optique de Groisil"  
 Rapport interne, Centre de Recherche de BSN Emballage  
 1990

**[Cos89]**

COSTER M., CHERMANT J.L.,  
 "Précis d'analyse d'image"  
 Edition Press du CNRS, Paris  
 1989

**[Cro81]**

CROWLEY K.H.  
 "Sorting machine construction - has light passed through translucent viewing area carrying material to be sorted by ejector after viewing"  
 Brevet U.S.A. 271966, Gunsons Sortex LTD.  
 Juin 1986

**[Csv90]**

C.S.V.M.F - Commission Recyclage  
 "Charte qualité du calcin ménager brut"  
 Rapport interne, C.S.V.M.F. - Commission Recyclage, Paris  
 1990

- [Dau89]**  
DAUT D.G., ZAHO D.  
"Mathematical morphology and its application in machine vision"  
SPIE Visual Communications and Image Processing IV  
Vol. 1199, pp 181-191, 1989
- [Dou90]**  
M.C. DOUCHEZ., J-G. POSTAIRE  
"Segmentation automatique d'images multimodales par classification optimale des niveaux de gris"  
23èmes Journées de Statistique, Tours, pp 67-69, Mai 1990
- [Dub89]**  
DUBUISSON B.  
"Traitements d'image"  
Université de Technologie de Compiègne  
1989
- [Duf90]**  
DUFLOT A.  
"Le contrôle qualité dans la production de verres plans"  
Thèse de doctorat  
Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres-Artois, 1990
- [Duo86]**  
DUONG J.C.  
"Dispositif de tri optique du groisil"  
Brevet Français 2604377, BSN Emballage  
Septembre 1986
- [Eme91]**  
EME Maschinenfabrik Clasen GmbH  
"Installation de traitement des déchets de verre"  
Rapport interne  
1991
- [Gec78]**  
GEC MEDICAL EQUIPMENT LIMITED  
"Mécanisme de séparation"  
Brevet Anglais 2381572  
Février 1978
- [Git91]**  
GITZHOFER K.H.  
"Construction of an experimental unit for the mechanical color sorting of non-crushed recycled container glass"  
Clastech. Ber 64  
Nr. 1, pp 9-15, 1991

**[Har85]**

HARALICK R.M., SHAPIRO L.G.  
 "Image segmentation techniques"  
 Comp. Graph. Image processing  
 Vol. 67, pp 100-132, 1985

**[Har87]**

HARALICK., STERNBERG S.R., ZHUANG X.  
 "Image analyse using mathematical morphology"  
 IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence  
 Vol. PAMI-9, N°4, pp 532-550, July 1987

**[Has94]**

HASSINE K  
 "Contribution à l'élaboration d'une approche de parallélisation des traitements itératifs sur architectures MIMD - Application aux traitements de séquences d'images sur réseau de transputers"  
 Thèse de doctorat  
 Université de Valenciennes et du Thainaut Cambresis, 1994

**[Hec89]**

HECHT  
 "Procédé et dispositif de tri de verre récupéré"  
 Brevet Européen 0342389  
 Novembre 1989

**[Hil83]**

HILTON P.G., WYATT N.P.G., HAWKINS A.P.  
 "Procédé et appareil de tri d'objets"  
 Brevet République Sud-Africaine 2527947, ANGLO AMERICAN CORPORATION OF SOUTH AFRICA LIMITED  
 Mai 1983

**[Hub85]**

HUBERT.  
 "Procédé de séparation hydrodynamique d'un mélange de produits concassés solides et séparateur pour la mise en oeuvre du procédé"  
 Brevet Français 2584946, BSN Emballage  
 Juillet 1985

**[Hug73]**

HUGH R., GRAND R.  
 "Refuse Sorting and Transparency Sorting"  
 Brevet U.S.A 347 184, Sortex Company of North America, Inc.  
 Avril 1973

**[Key86]**

Gérard de KEYSER  
 "Appareil pour séparer hydrodynamiquement en deux fractions un mélange de produits concassés"  
 Brevet Français 2599277, BSN Emballage  
 Mai 1986

**[Kit86]**

KITTLER J., ILLINGWORTH J.

"Minimum error thresholding"

Pattern Recognition

Vol. 19, pp 41-47, 1986

**[Lee85]**

LEE S. Y., AGGARWAL J. K.

"A problem-driven approach to parallel image processing: system design and scheduling"

Proc. IEEE Int. Conf. On System Man and Cybernetics

Tucson, AZ, pp 680-686, November 1985

**[Lee90]**

LEE S. Y., AGGARWAL J. K.

"A system Design/Scheduling stratgy for parallel image processing"

IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence

Vol. PAMI-12, N°2, pp 271-277, February 1990

**[Mab87]**

MABEG M.

"Dispositif pour la séparation de déchets en verre, en particulier de bouteilles en verre transparent et en verre coloré"

Brevet Européen 3528069

Février 1987

**[Mac92]**

MACAIRE L.

"Inspection d'états de surfaces métalliques par vision linéaire. Application au contrôle qualité continu en siderurgie"

Thèse de doctorat

Université des Sciences et Technologies de Lille, 1992

**[Man84]**

MANHES C.

"Procédé pour la récupération du verre, installation et granulés pour sa mise en oeuvre"

Brevet Français 2568488

Juillet 1984

**[Mar87a]**

MARAGOS P., SCHAFER R. W.

"Morphological filters: part 1: their set-theoric analysis and relations to linear shift invariant filters"

IEEE Trans. on Acoustics Speech and Signal Processing

Vol. ASSP-35, N° 8, pp 1153-1168, 1987

**[Mar87b]**

MARAGOS P., SCHAFER R. W.

"Morphological filters: part 2: their relations to median, order-statistic and stack filters"

IEEE Trans. on Acoustics Speech and Signal Processing

Vol. ASSP-35, N° 8, pp 1153-1168, 1987

**[Mar89]**

MARAGOS P.

"A Representation Theory for Morphological Image and Signal Processing"

IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence

Vol. PAMI 11, N° 6, pp 586-599, June 1989

**[Mor54]**

MOREY G.W.

"The Properties of GLASS"

American Chemical Society, New-York

1954

**[Mue73]**

MUEHLETHALER U., GERLAFINGEN

"Translucency/Opaque Sorting"

Brevet U.S.A 424 729, Sortex Company of North America, Inc.

Decembre 1973

**[Ots78]**

OTSU N.

"A threshold selection methode frome gray level histogram"

IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.

Vol. SMC-9, pp 62-66, 1978

**[Per84]**

PERKINS J.R., WOODLAND S.L.

"Rejection system for automatic sorting machine - has inclined surface along which scanned objects pass with section of surface movable outwardly to reject unacceptable objects"

Brevet Européen 33211, Gunsons Sortex LTD.

Avril 1984

**[Pos78]**

POSTAIRE J-G.

"The convexity concept in cluster analysis"

4th Int. Joint conf. on Pattern Recog.

Kyoto, Japon, 1978

**[Pos82]**

POSTAIRE J-G.

"Fonctions convexes et optimisation du processus de classification automatique: I. Identification des mélanges gaussiens par estimation de la convexité des fonctions de densité multivariables"

RAIRO Automatique/System Analysis and Control

Vol. 16, N° 4, pp 357-379, 1982

**[Pos83]**

POSTAIRE J-G.

"Fonctions convexes et optimisation du processus de classification automatique: II. Identification de mélanges gaussiens à partir de petits échantillons par estimation de la convexité des fonctions de densité marginales"

RAIRO Automatique/System Analysis and Control

Vol. 17, N° 1, pp 39-59, 1983

**[Pos93]**

POSTAIRE J-G., ZHANG R.D., LECOCQ-BOTTE C.  
 "Cluster Analysis by Binary Morphology"  
 IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence  
 Vol. 15, N° 2, pp 170-180, February 1993

**[Pra86]**

PRATT W.K.  
 "Algorithmic-Based Machine Vision Computing"  
 Digital Design  
 pp 56-58, October 1986

**[Pra87]**

PRATT W.K.  
 "Review of Machine Vision Architectures"  
 Proc. SPIE, Image Pattern Recognition: Algorithm Implementations, Techniques and  
 Technology  
 Vol. 755, pp 2-12, 1987

**[Pro89]**

PROVER S.A.  
 "L'installation de traitement de SCHIEDAM de la société Maltha"  
 Rapport interne, PROVER S.A.  
 1989

**[Ree80]**

REEMTSMA GmbH & Co.  
 "Procédé et dispositif pour enlever des corps étrangers d'une matière se  
 trouvant sur un transporteur en mouvement"  
 Brevet Allemand 2446685, H.F. & Ph.F  
 Janvier 1980

**[Rem92]**

REMEX  
 "Analyse de performance de différentes installations de tri du groisil"  
 Rapport interne, Société REMEX  
 1992

**[Rob91]**

ROBE C., POSTAIRE J-G.  
 "Une transformation de l'histogramme des niveaux de gris pour la selection  
 automatique de seuils en segmentation d'image"  
 13ème colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images  
 Juan les Pins, 1991

**[Ros83]**

ROSENFELD A., DE LA TORRE P.  
 "Histogram concavity analysis as an aid in threshold selection"  
 IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.  
 Vol. 13, N° 3, pp 231-235, 1983

**[Ros87]**

ROSENFELD A.  
 "A note on Shrinking and Expanding operations in Pyramids"  
 Pattern Recognition Letters  
 Vol. 6, pp 241-244, September 1987

**[Ros91]**

ROSENTHAL J.  
 "GLASS RECYCLING DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY UPDATE -  
 EME Recycled Glass treatment Plant with Ceramic Separator"  
 Rapport interne, EME Maschinenfabrik Clasen GmbH  
 1991

**[Sah88]**

SAHOO P.K., SOLTANI S., WONG A.K.C.  
 "A study of thresholding techniques"  
 Comp. Graph. Image Process.  
 Vol. 42, pp 233-260, 1988

**[San91]**

SANSOU C.  
 "Etude Débouches Groisil"  
 Rapport interne, Centre de Recherche de BSN Emballage  
 Août 1991

**[Sch69]**

SCHOLZE H.  
 "LE VERRE"  
 Institut du Verre, Paris  
 1969

**[Ser82]**

SERRA J.  
 "Image analysis and mathematical morphology"  
 Academic Press, London  
 1982

**[Shi87]**

SHIH F.Y., MICHELL O.R.  
 "Threshold decomposition of gray-scale morphology into binary morphology"  
 IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence  
 Vol. PAMI-11, N° 1, pp 31-42, January 1989

**[Sor01]**

Sortex LTD  
 "Sorting of particles for light transmission - uses multiple scan photosensors for  
 'black' and 'grey' areas on shadow pattern"  
 Brevet U.S.A. 3890221, Gunsons Sortex LTD.

**[Sor02]**

Sortex LTD

"Sorting transparent and opaque refuse - by passing refuse particles through photo-metric zone and sorting according to transparency"

Brevet U.S.A. 3802558, Gunsons Sortex LTD.

**[Tan87]**

TANCREZ P.M.

"Un système de vision linéaire pour l'inspection et la caractérisation en temps réel de produits plats en défilement continu"

Thèse de doctorat

Université des Sciences et Technologies de Lille, 1987

**[Tos87]**

TOSHIBA K.K.

"Appareil pour l'investigation de la transmittivité de lumière"

Brevet Japonais 0231027, Toyo Glass Company Limited

Août 1987

**[Tri90]**

TRICOT P.

"Rapport d'essais de tri optique numérique"

Rapport interne, Société PROVER S.A.

1990

**[Ull81]**

ULLMANN J.R.

"Video-Rate Digital Imag Analysis Equipment"

Pattern Recognition

Vol. 14, N° 6, pp 305-318, 1981

**[Vas79]**

VASSEUR C., POSTAIRE J-G

"Convexité des fonctions de densité - Application à la détection des modes en reconnaissance des formes"

RAIRO Automatique

Vol. 13, N° 2, pp 171-188, 1979

**[Vas80]**

VASSEUR C., POSTAIRE J-G

"A convexity testing method for cluster analysis"

IEEE Trans. on Syst. Man Cybern.

Vol. SMC-10, N° 3, pp 145-149, 1980

**[Yal88]**

YALAMANCHI S., PALEM K.V., DAVIS L.S., WELCH A.J., AGGARWAL J.K.

"Image Processing Architecture: A Taxonomy and Survey"

Progress in Pattern Recognition, II

North-Holland, 1985, pp 1-37

**[Zha90]**

ZHANG R.D., TRICOT P.

"Procédé et Dispositif de Tri Optique Numérique d'une Masse de Particules, telle que notamment, du Groisil"

Brevet Européen 9004978, BSN Emballage

Avril 1990

**[Zha91a]**

ZHANG R.D.

"Tri Optique Numérique du Groisil"

Symposium technique du verre d'emballage, BSN Emballage

Octobre 1991

**[Zha91b]**

ZHANG R.D., BOTTE LECOCQ C., POSTAIRE J-G.

"Mode boundary extraction by binary morphology for cluster analysis"

3 rd Conf. of Int. Fed. Classification Societies

Edinburgh, Scotland, 1991

**[Zha94a]**

ZHANG R.D., POSTAIRE J-G.

"Transformations morphologiques des fonctions de densité de probabilité: Application à la détection des contours des modes en classification automatique"

9ème congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle

RFIA'94, Paris, 1994

**[Zha94b]**

ZHANG R.D., POSTAIRE J-G

"Convexity dependent morphological transformations for mode detection in cluster analysis"

Pattern Recognition

Vol 1, N°1, 1994

## **ANNEXE 1**

### **CARTE DE COMMANDE ET D'ADRESSAGE**

## **CARTE DE COMMANDE ET D'ADRESSAGE**

La carte de commande et d'adressage est constituée de trois modules spécifiques :

- Module de commande:

Il génère les signaux de commande pour la caméra et les signaux de synchronisation destinés aux différents modules de traitement du système.

- Module d'adressage des marteaux d'éjection:

Il assure la localisation, en temps réel, des objets détectés sur la rampe des marteaux d'éjection.

- Module de comptage de longueur:

Il détermine la longueur de l'objet détecté afin d'adapter le seuil de détection.

## I) MODULE DE COMMANDE

### 1) DESCRIPTION

Ce module regroupe trois fonctions principales:

- Génération du signal de commande pour la caméra (ajustement du temps d'exposition).
- Adaptation des signaux venus de la caméra pour les rendre compatibles TTL.
- Génération des signaux de synchronisation à partir des signaux horloge fournis par la caméra.

### 2) FONCTIONNEMENT

#### 2.1) COMMANDE DE LA CAMERA

La caméra est pilotée par une horloge qui contrôle le temps d'exposition (exposure control clock), appelé "signal de commande" et noté **TI**. Ce signal définit à la fois le rythme des prises d'images et le temps d'intégration de la caméra. Au front descendant de **TI**, la caméra transfère l'image précédente vers la sortie et recommence un nouveau cycle d'intégration. Nous devons fournir ce signal sous la forme normalisée RS422. Le temps du cycle de cette horloge doit être supérieur au temps nécessaire pour le transfert d'une image ligne. La vitesse du transfert est définie par l'horloge-pixel, qui a une fréquence de 1.8 MHz. Pour une image ligne de 1728 pixels, cette période est égale à 960  $\mu$ s.

Un circuit intégré LM555 associé à des composants résistifs et capacitifs réalise un oscillateur à 1 KHz (temps d'exposition 1 ms). L'horloge générée par cet oscillateur est ensuite convertie sous forme RS422 par un circuit intégré AM26LS31CN.

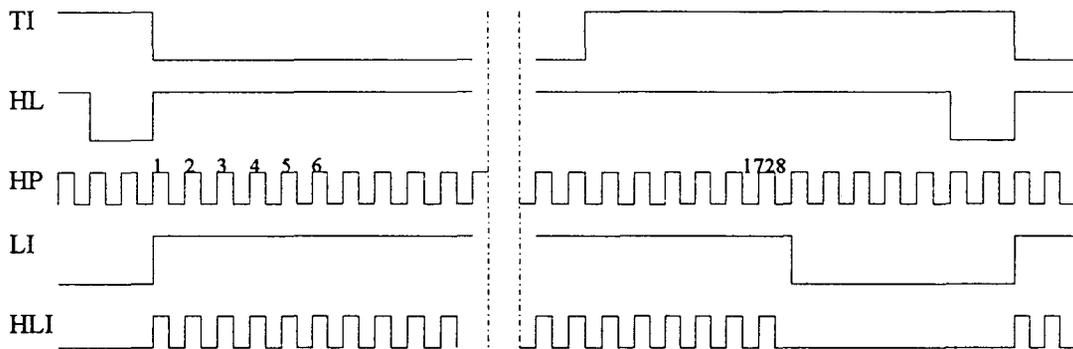
#### 2.2) HORLOGES CAMERA

Synchronisés avec le signal vidéo et le signal de commande **TI**, la caméra nous fournit deux signaux de synchronisation: l'horloge pixel, notée **HP**, qui oscille à 1.8 MHz et l'horloge d'image ligne, notée **HL**, qui oscille à 1 KHz. Ces horloges sont disponibles

sous forme RS422 et nous pouvons les convertir en signaux compatibles TTL avec un circuit AM26LS32CN.

### 2.3) SYNCHRONISATION DU SYSTEME

Deux signaux de synchronisation du système sont générés à partir de l'horloge pixel **HP** et de l'horloge d'image ligne **HL**. Il s'agit du signal "lecture d'image valide", noté **LI** et de l'horloge pixel d'image valable, notée **HLI**. Ces deux signaux sont générés par un compteur général constitué d'un compteur modulo 27 et d'un compteur modulo 64 (n°1) en cascade. Les positions temporelles relatives des différents signaux sont représentées sur le synoptique 1:



Synoptique 1 Signaux de synchronisation

## II) MODULE D'ADRESSAGE DES MARTEAUX D'EJECTION

### 1) DESCRIPTION

Ce module détermine les adresses de marteaux d'éjection correspondants aux objets opaques détectés.

### 2) FONCTIONNEMENT

L'adressage des marteaux fonctionne en parallèle avec la procédure d'analyse des niveaux de gris des images lignes. Ce parfait synchronisme des deux procédures permet d'activer les marteaux sans aucun retard par rapport à l'identification d'un corps opaque à éjecter.

## 2.1) DETERMINATION DU MILIEU D'UNE TRACE

Deux compteurs en série (compteur 54 et compteur 64 (n°2)) permettent de connaître l'adresse du pixel situé au milieu d'une trace, en temps réel, pendant la lecture de l'image ligne.

Dès l'arrivée d'un front montant d'un signal **TE**, qui indique la présence de traces d'éléments sombres de l'image ligne en cours d'analyse, les deux compteurs 54 et 64 (n°2) sont initialisés à la valeur de l'adresse du pixel en cours de lecture sur l'image ligne (compteur 27 et 64 (n°1)). A partir de cet instant, le compteur 54 compte les blocs de 54 pixels consécutifs, et à chaque bloc, incrémente le compteur 64 (n°2). Ce dernier compteur est donc incrémenté, durant la présence d'une trace, deux fois moins vite que le compteur 64 (n°1). A la fin de la trace, qui est repérée par un front descendant du signal **TE**, la sortie du compteur 64 (n°2) indique donc le rang du marteau situé au milieu de la trace qui vient d'être lue, alors que la sortie du compteur 64 (n°1) indique le rang du dernier pixel de cette trace.

## 2.2) COMMANDE DU MARTEAU SITUE AU MILIEU D'UN CORPS OPAQUE

En mémorisant, à la fin d'une trace, la sortie du compteur 64 (n°2) dans le second registre du circuit 74LS273, on connaît l'adresse du marteau situé au milieu de cette trace.

Un décodeur permet alors d'envoyer la commande vers le marteau correspondant. Cette commande n'est évidemment effective que si la trace a été identifiée comme celle d'un corps opaque. Pour ce faire, la sortie du décodeur (74LS138) n'est envoyée sur les cartes de commande des marteaux que si le décodeur est activé par la procédure de seuillage adapté.

## III) MODULE DE COMPTAGE DE LONGUEUR

### 1) DESCRIPTION

Ce module détermine la longueur d'une trace détectée.

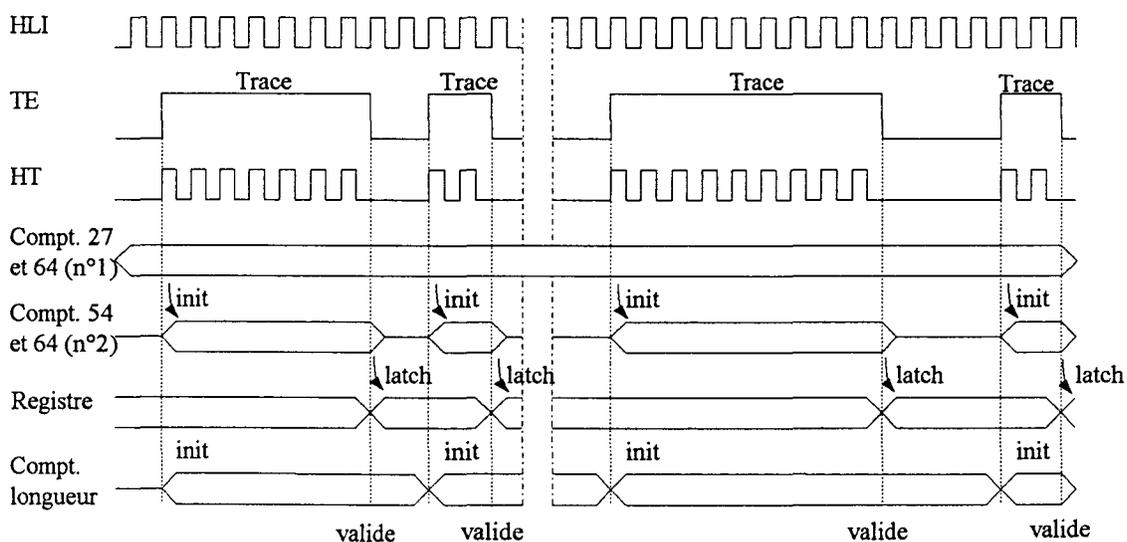
## 2) FONCTIONNEMENT

Afin de déterminer la longueur de chacune des traces mises en évidence par la procédure de seuillage à niveau fixe, on compte les périodes d'horloge-pixels présentes durant chaque intervalle de temps pendant lequel le signal **TE** est au niveau 1.

En combinant le signal "trace des éléments" **TE** avec l'horloge de lecture d'image **HLI**, on obtient l'Horloge-Trace, notée **HT** (Cf. syn. 2). Il s'agit d'un signal présentant des trains de périodes d'horloge-pixels uniquement durant la lecture d'une trace d'élément, c'est à dire quand le signal **TE** est au niveau logique 1.

Les battements d'horloge de ces trains sont comptés par un circuit LS393, désigné par "compteur longueur". La remise à zéro de ce compteur est effectuée à chaque début de trace, c'est à dire à chaque front montant du signal **TE** (Cf. syn. 2).

A la fin de la trace de chaque élément, c'est à dire en synchronisme avec le front descendant correspondant du signal **TE**, la sortie du "compteur longueur" indique la longueur **L**, en pixels, de cet élément (Cf. syn. 2).



Synoptique 2 Timing des compteurs

## IV) LISTE DES COMPOSANTS

### Circuits Intégrés:

U1	74LS138
U2	74LS273
U3, U4	74LS163
U5, U6	74LS161
U7, U17	74LS393
U8, U23, U24	74LS123
U9, U12	74LS00
U10, U13, U22	74LS08
U11	LM555CN
U14, U15	74LS191
U16, U18	74LS30
U19	74LS540
U20	74LS74
U21	74LS32

### Condensateurs:

C1, C2, C4, C5, C6, C7	10 pF
C3	100 nF

### Condensateurs de découplage:

C8, C9, C10, C11	22 nF
C12, C13, C14, C15	22 nF
C16, C17, C18, C19	22 uF
C20, C21, C22, C23	22 uF

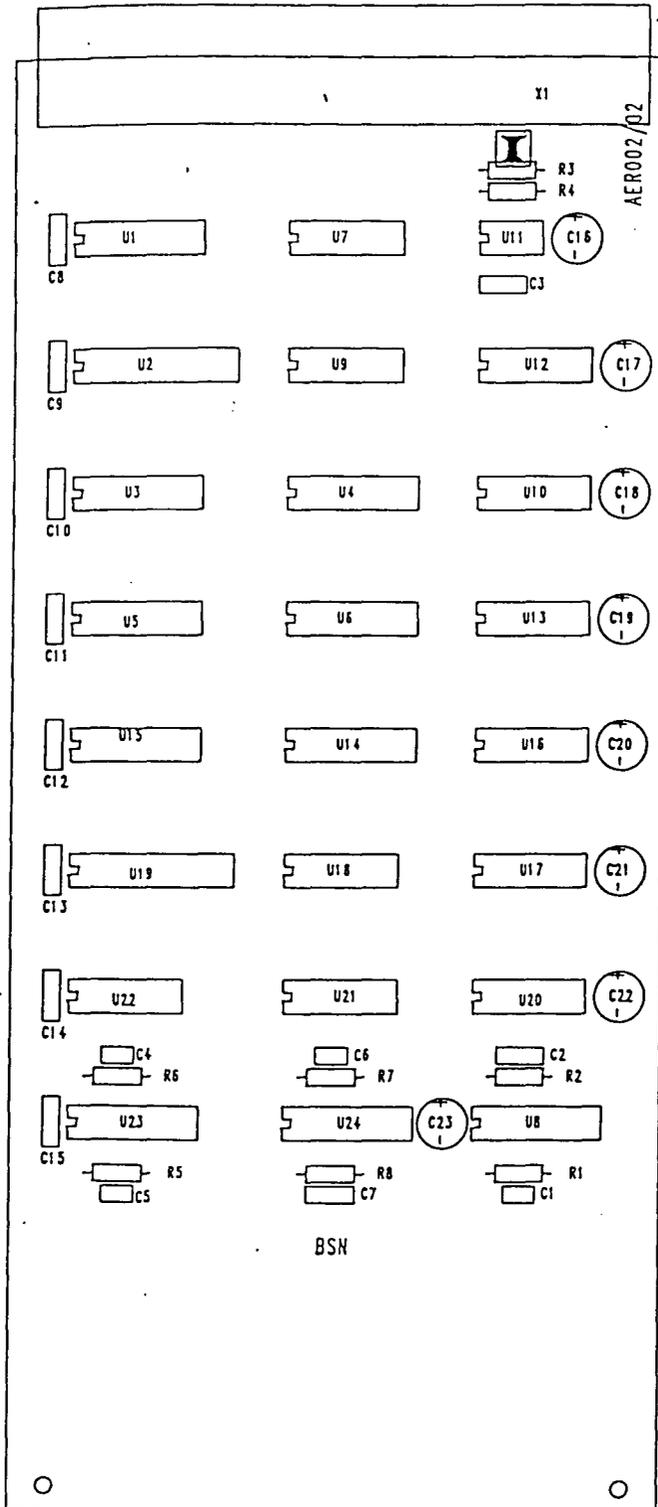
### Résistances:

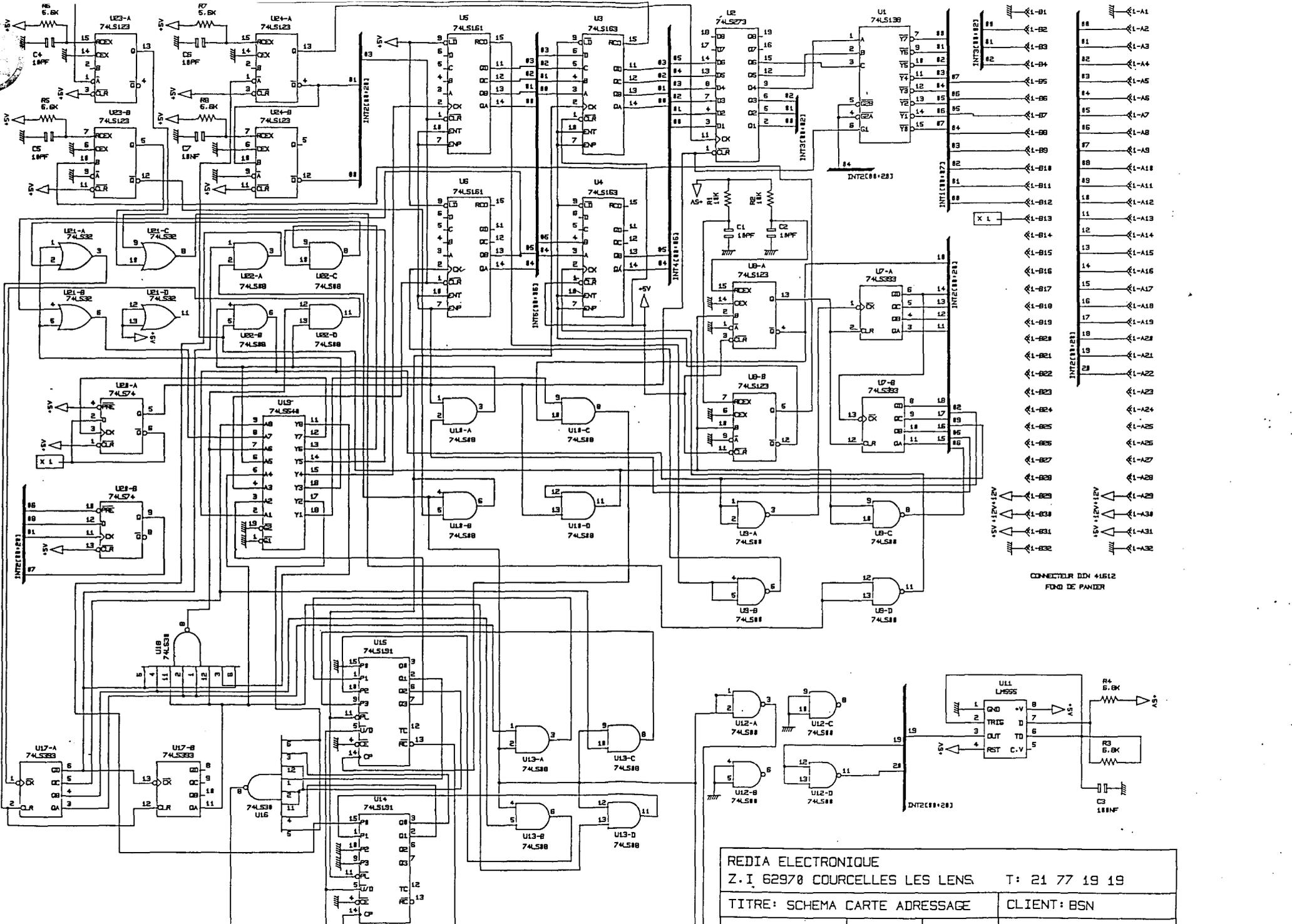
R1, R2	10 K
R3, R4	6 K
R5, R6, R7, R8	5,6 K

### Connecteurs:

X1	Con. 64 P male
----	----------------

# V) IMPLANTATION DES COMPOSANTS





REDIA ELECTRONIQUE  
 Z.I. 62970 COURCELLES LES LENS T: 21 77 19 19  
 TITRE: SCHEMA CARTE ADRESSAGE CLIENT: BSN  
 DATE: 11/02/81

## **ANNEXE 2**

### **CARTE D'ANALYSE DE 3 IMAGES LIGNES**

## CARTE D'ANALYSE DE 3 IMAGES LIGNES

La carte d'analyse de 3 images lignes permet de conserver en mémoire les 3 images lignes successives utilisées dans l'algorithme d'analyse. Ces images lignes sont restituées en synchronisme avec l'image courante en cours d'acquisition. Parallèlement, l'opération de maximum sur les 3 images lignes génère une nouvelle image, simultanément avec l'acquisition.

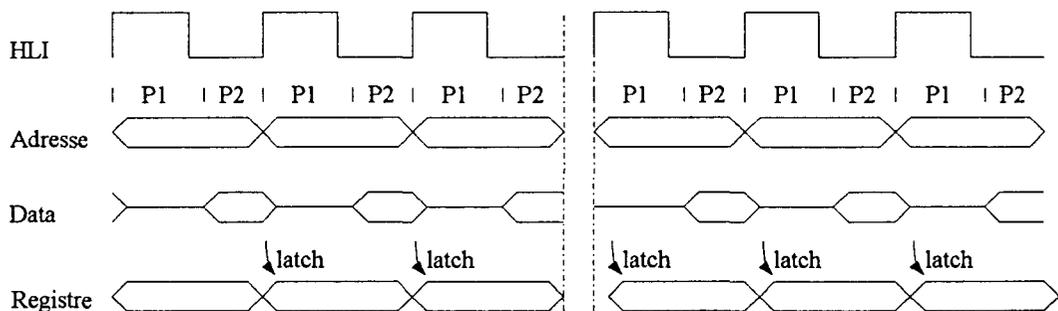
## 1) DESCRIPTION

Les données constituant l'image ligne courante sont stockées dans l'une de 3 mémoires de 2048 octets ( $2k \times 8$  bits) organisées en FIFO. L'écriture d'un pixel sur la carte entraîne la lecture des pixels situés au même rang dans les deux dernières images lignes mémorisées et la restitution simultanée du pixel qui occupait sa place dans la mémoire d'écriture. L'opération de maximum s'effectue simultanément entre le pixel courant et les deux pixels des images lignes précédentes

## 2) FONCTIONNEMENT

Un compteur modulo 3, activé par l'horloge ligne avec un multiplexeur permet de sélectionner l'une de 3 RAMs en mode "écriture". Ce mode est en fait activé pour chacun des octets de la séquence de 1728 pixels constituant l'image ligne à mémoriser.

Les adresses mémoire sont générées par deux compteurs 8 bits synchrones. Le cycle d'accès mémoire élémentaire est explicité sur le synoptique 3 :



Synoptique 3 Synchronisation des accès aux mémoires

Les adresses mémoire sont incrémentées au début du cycle. Le temps d'accès des RAMs étant de 150 ns, les données deviennent valides durant la P2. Les niveaux de gris des trois pixels des images lignes mémorisées sont stockés en même temps dans des registres pour la détermination de maximum.

Deux EPROMs sont utilisées pour sélectionner le maximum de ces 3 niveaux de gris.

La première EPROM est utilisée pour détecter le maximum de deux premiers niveaux. Ce premier maximum est ensuite comparé au troisième niveau grâce à la seconde EPROM. Le début du cycle suivant mémorise le maximum final dans un registre et il est prêt à être envoyé à l'entrée de la carte de détection.

### 3) LISTE DES COMPOSANTS

#### RAM et EPROM

U13,U15,U16	RAM 6116-15
U18,U19	EPROM 27C512

#### Circuits Intégrés:

U1	74LS139
U2	74LS163
U3,	74LS00
U4, U5	AM26LS32
U6	74LS74
U7	74LS32
U8	74LS123
U9, U10	74LS393
U11	74LS30
U12,U14,U17	74LS541
U20,U21,U22	74LS541
U23	74LS273
U24,U25	AM26LS31

#### Condensateurs:

C1	22 pF
----	-------

#### Condensateurs de découplage:

C2, C3, C7	22 nF
C10,C12,C14	22 nF
C4, C5, C9	22 uF
C11,C13,C15	22 uF

#### Résistances:

R1	10 K
R2	Reseau de 4R 10 K
R3,R4	Reseau de 4R 680

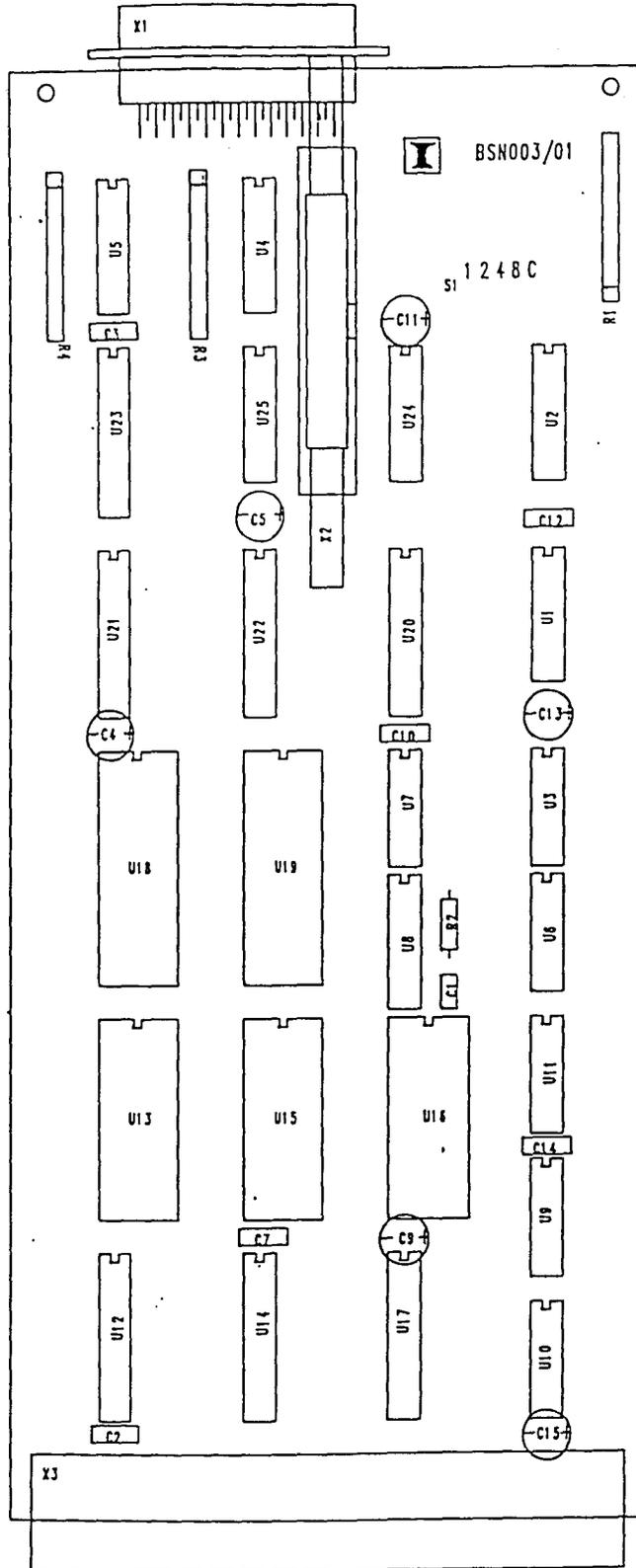
#### Connecteurs:

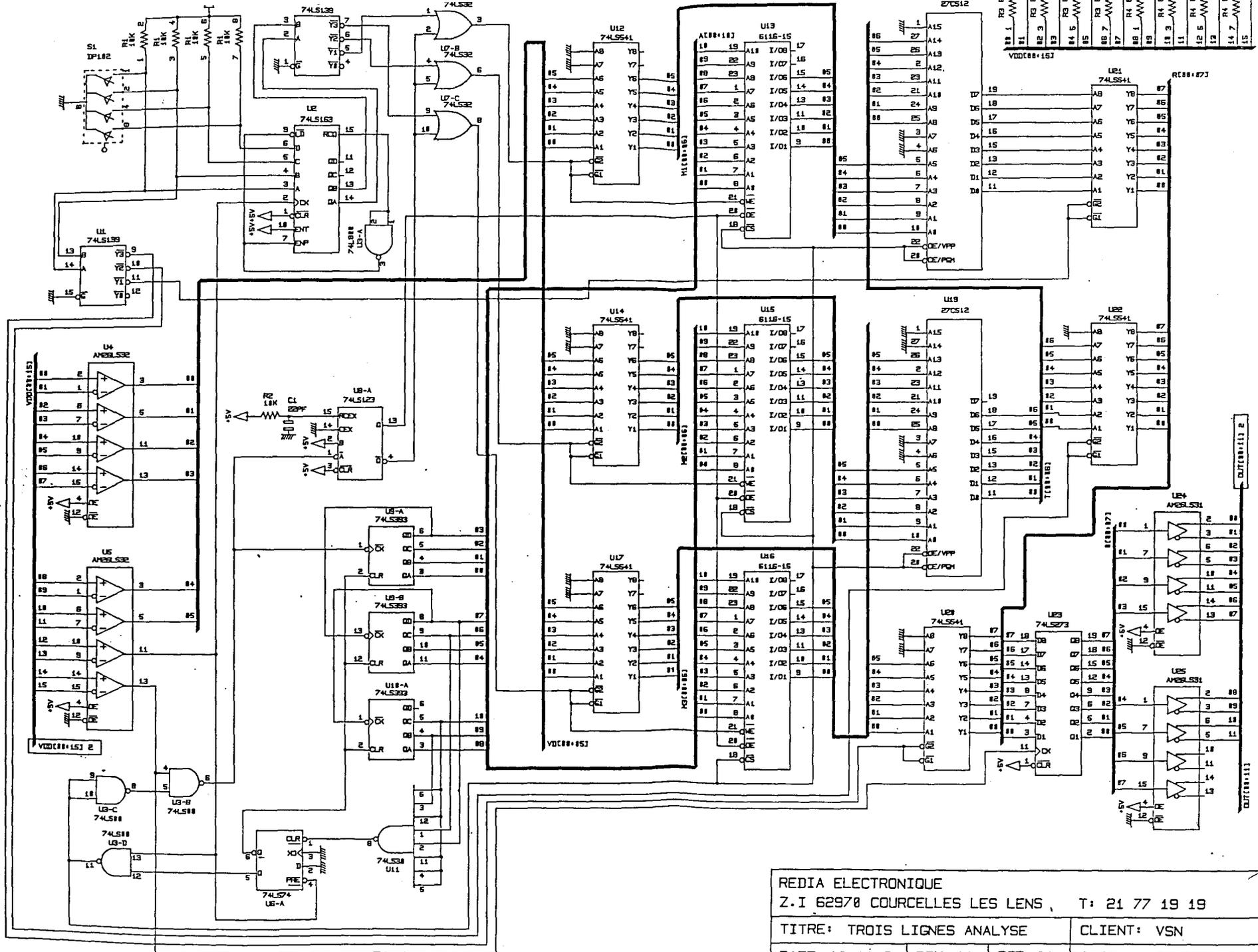
X1	SUB B 25
X2	Con. 26 P
X3	Con. 64 P
X4	Con. 26 P Femelle
X5	Con. 26 P Male

#### Divers

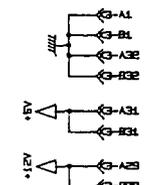
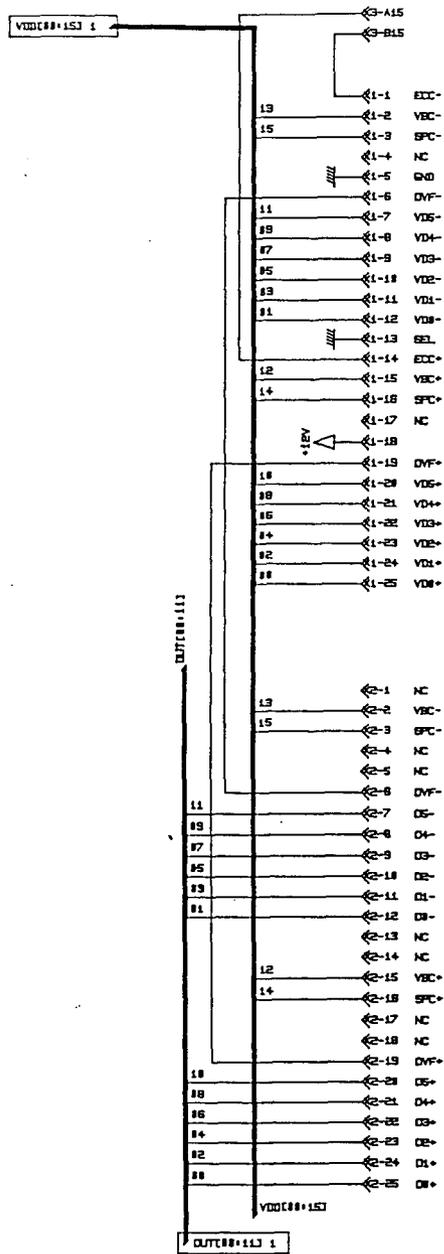
S1	Roue codeuse decimale
----	-----------------------

4) IMPLANTATION DES COMPOSANTS





REDIA ELECTRONIQUE  
 Z.I 62970 COURCELLES LES LENS , T: 21 77 19 19  
 TITRE: TROIS LIGNES ANALYSE CLIENT: VSN  
 DATE: 10 10 91 REV: 01 PGE: 01 CODE: BSN003/01



REDIA ELECTRONIQUE			
Z.I 62970 COURCELLES LES LENS T: 21 77 19 19			
TITRE: TROIS LIGNES ANALYSE		CLIENT: VSN	
DATE: 10 10 91	REV: 01	PGE: 02	CODE: BSN003/R1

**ANNEXE 3**

**CARTE DE DETECTION**

## CARTE DE DETECTION

Cette carte permet de différencier les verres sombres des corps opaques. Elle est constituée de trois modules spécifiques :

- Module de seuillage à niveau fixe:

Il génère le signal TE pour indiquer la présence d'une trace sombre et pour déclencher la procédure d'analyse.

- Module d'intégration:

Il calcule la luminance totale de chaque trace pour obtenir l'opacité moyenne.

- Module de seuillage adapté:

Il adapte le seuil de détection selon la longueur de chaque trace et identifie les corps opaques.

## **I) MODULE DE SEUILLAGE A NIVEAU FIXE**

### **1) DESCRIPTION**

Ce module permet de détecter la présence des traces sombres et de ne conserver sur les images lignes que les traces des corps opaques et des morceaux de verre très foncés. Le niveau du seuil est réglable.

### **2) FONCTIONNEMENT**

Pour effectuer l'opération de seuillage, on compare le niveau de gris des pixels codé sur 6 bits à un seuil fixe, codé sur 8 bits, au moyen d'un comparateur (74LS682).

Le codage du seuil fixe sur 8 bits permettrait, le cas échéant, de travailler avec des caméra numérisant la luminance sur 256 niveaux de gris. La valeur  $S_f$  du Seuil Fixe est ajustée par l'opérateur au moyen de roues codeuses.

Le passage d'un corps sombre ou opaque dans le champ de la caméra est détecté au niveau de la sortie du comparateur. Le signal **TE** qui indique les positions et les longueurs des traces laissées par les éléments sombres et opaques sur le capteur est ainsi généré.

## **II) MODULE D'INTEGRATION**

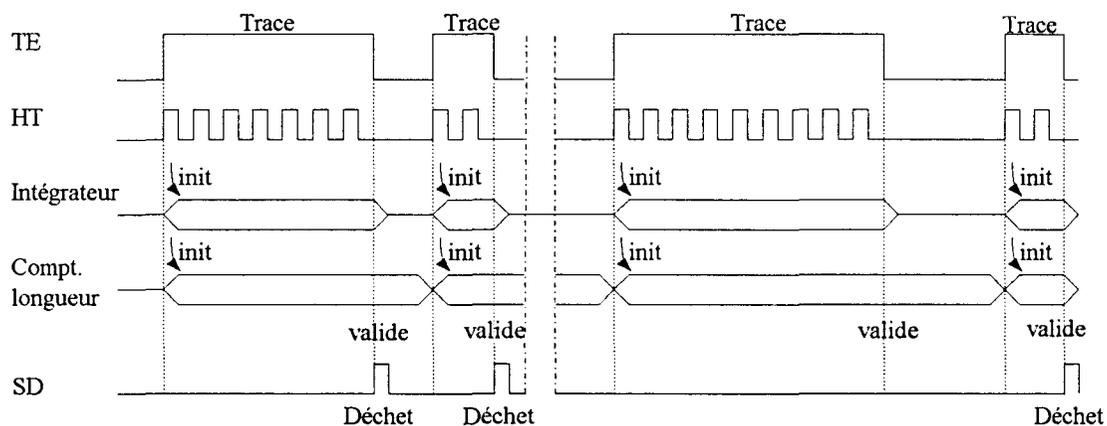
### **1) DESCRIPTION**

Ce module intègre les niveaux de gris sur chaque pixel pendant la présence de la trace détectée afin d'obtenir la luminance totale de cette trace. Cette valeur est ensuite utilisée pour identifier les corps opaques.

### **2) FONCTIONNEMENT**

Le calcul de la luminance totale de chaque trace est obtenu par un intégrateur numérique réalisé au moyen d'un additionneur (74LS283) bouclé sur lui-même par l'intermédiaire du registre de mémorisation (74LS273). Au début de la trace d'un

élément, le registre est initialisé à zéro. Les valeurs des niveaux de gris des pixels du train de l'Horloge-Trace sont alors sommées par l'additionneur. Le résultat de cette sommation est disponible dans le registre dont le contenu s'incrémente de la valeur du dernier pixel lu à chaque période d'horloge du signal HT. Au front descendant du signal HT, qui signifie la fin de cette trace, la valeur dans le registre représente la luminance totale de la trace (Cf. syn. 4). L'additionneur est constitué de trois additionneurs élémentaires à 4 bits, ce qui limite les sommes calculées à  $2^{12}$ , soit 4096.



Synoptique 4 Synchronisation de la détection

### III) MODULE DE SEUILLAGE ADAPTE

#### 1) DESCRIPTION

Ce module détermine un seuil de détection en fonction de la longueur des traces. Ce seuil est la limite d'acceptation d'une trace de verre sur la luminance totale. Quand la luminance totale est en-dessous de ce seuil, la trace est identifiée comme une trace laissée par un corps opaque. Le seuil est réglable.

#### 2) FONCTIONNEMENT

La longueur de chaque trace, fournie par la carte de commande, est multipliée par un

facteur de pondération ajustable, grâce à une mémoire programmable de type EPROM. Le résultat de cette multiplication constitue le seuil adapté auquel on compare la luminance totale de la trace obtenue par le module précédent. La comparaison est réalisée par l'intermédiaire d'un comparateur (74LS682) qui est formé de deux comparateurs élémentaires de 8 bits chacun. La sortie de ce comparateur (SD) autorise ou bloque la commande des marteaux d'éjection en contrôlant le fonctionnement du décodeur d'adresse (74LS138) implanté sur la carte de commande.

#### IV) LISTE DES COMPOSANTS

##### EPROM

U1, U2 27512

##### Circuits Intégrés:

U3, U4, U10 74LS682  
 U5, U6 74LS273  
 U3, U4 74LS163  
 U7, U8, U9 74LS283  
 U11, U12 AM26LS32  
 U13 74LS174  
 U14 74LS74  
 U15 74LS08  
 U16 74LS32  
 U17, U18 74174  
 U19 7404  
 U20 74195

##### Condensateurs de découplage:

C1, C2, C3, C4 22 nF  
 C5, C6, C14 22 nF  
 C7, C8, C9, C10 22 uF  
 C11, C12, C15 22 uF  
 C13 220 uF

##### Réseaux de Résistances:

R1 SIL9.8 10 K  
 R2 SIL9.8 470 OHMS  
 R3, R4 L8-35 680 OHMS

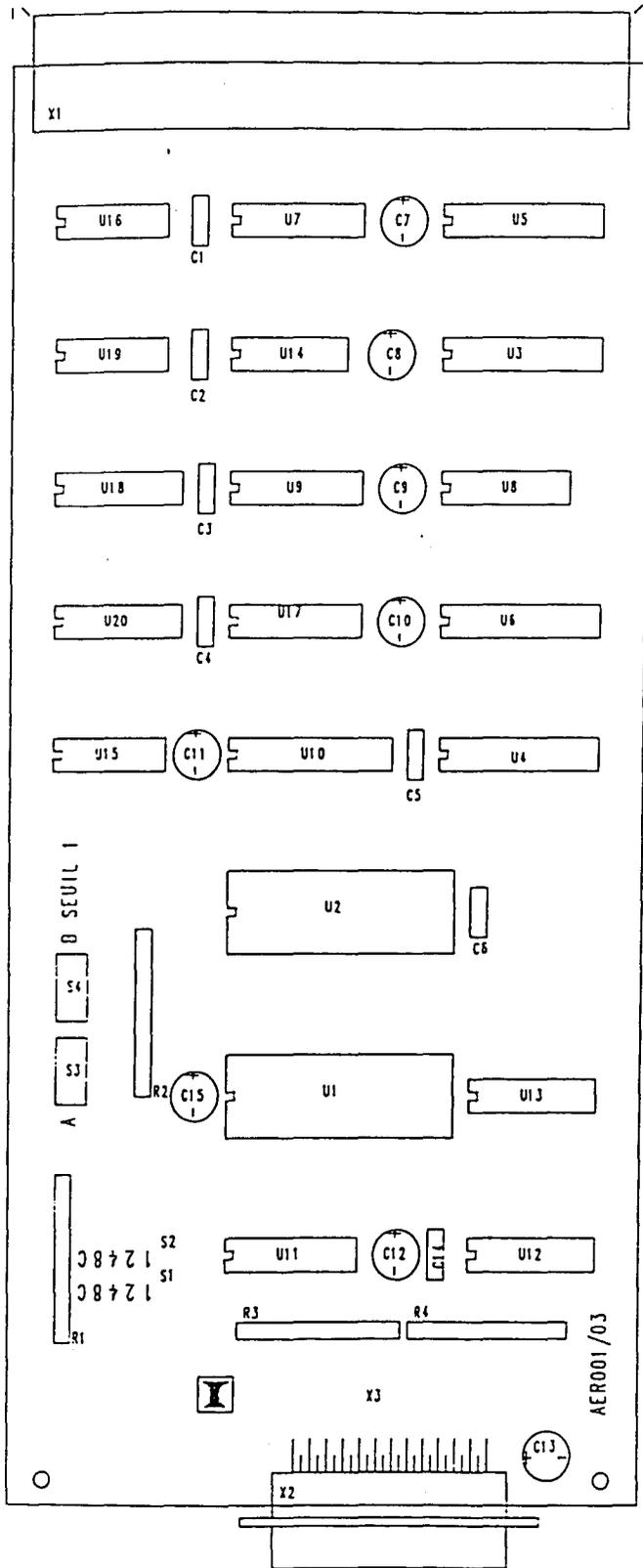
##### Connecteurs:

X1 DIN41612  
 X2, X3 SDB25 S

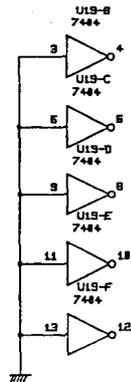
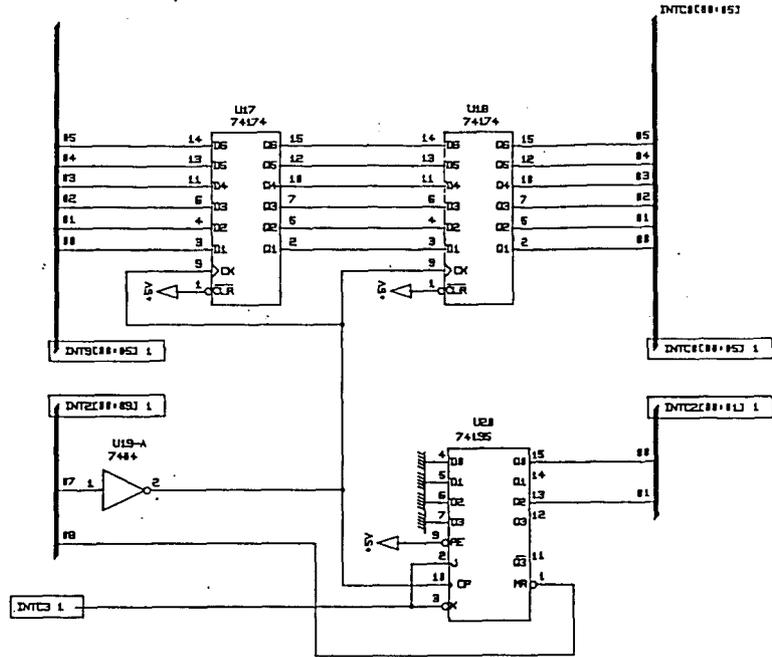
##### Divers

S1, S2 Interrupteur T56  
 S3, S4 Roue codeuse 331041GS

### V) IMPLANTATION DES COMPOSANTS







REDIA ELECTRONIQUE			
Z.I 62970 COURCELLES LES LENS		T: 21 77 19 19	
TITRE: MODIF.CARTE ALGORITHME		CLIENT: B.S.N	
DATE: 22 11 91	REV: 04	PGE: 03	CODE: AER001/03

**ANNEXE 4**

**CARTE D'EJECTION**

## CARTE D'EJECTION

Il y a 8 cartes d'éjection dans le système de tri automatique. Chaque carte commande 8 électrovannes qui pilotent les marteaux d'éjection correspondants. Une carte d'éjection est constituée de 8 modules de pilotage identiques.

## 1) DESCRIPTION

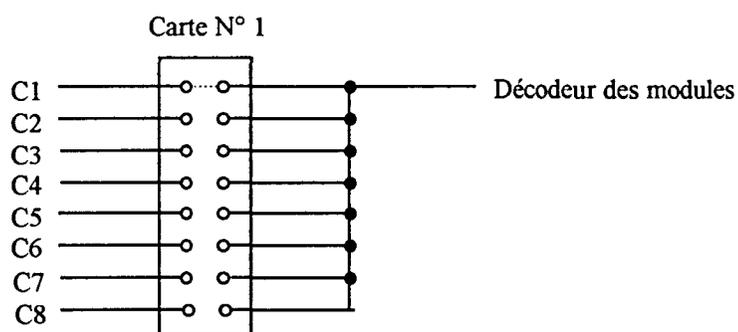
A l'instant d'éjection, l'adresse envoyée par la carte de commande sélectionne l'un des modules sur la carte d'éjection correspondante. Le signal de commande est temporisé afin d'avoir un retard entre la détection et l'éjection. Une impulsion d'une durée de 30 ms, qui correspond du temps nécessaire pour un parcours complet de marteau, est générée pour piloter l'électrovanne.

## 2) FONCTIONNEMENT

La sélection du module d'éjection est effectuée en deux parties:

- Les 3 bits de poids fort de l'adresse des marteaux sont décodés sur la carte de commande et envoyés par le fond de panier pour choisir la carte d'éjection.
- Les 3 bits de poids faible sont envoyés directement vers les cartes d'éjection par le fond de panier. Un décodeur de la carte activée permet de sélectionner le module du marteau à activer.

La désignation de la carte est faite par 8 straps associés avec les signaux de commande de carte.



Les 3 bits de poids faible de l'adresse sont décodés par un multiplexeur et le signal d'éjection est mémorisée dans le registre. Un registre à décalage de longueur variable temporise le signal d'éjection. Il est synchronisé sur l'Horloge Ligne. Le paramètre de retard est envoyé par le fond de panier et peut être ajusté grâce à une carte de test décrite ci-après. A la sortie du registre à décalage correspondant, une impulsion de 30 ms est créée par un monostable et envoyée vers un photocoupleur pour piloter

l'électrovanne. Pendant le temps de l'éjection (30 ms), ce module est bloqué.

### 3) LISTE DES COMPOSANTS

#### Circuits Intégrés:

U1, U2, U3, U4	74LS74
U5, U6	HEF4050
U7, U8, U13,U14	74LS32
U9, U10,U11,U12	74LS123
U15,U16,U17,U27	74LS123
U18,U19,U20,U21	HEF4557
U22,U23,U24,U25	HEF4557
U26	74LS138
U28	ULN2803

#### Condensateurs:

C1, C2, C3, C4	10 uF
C5, C6, C7, C15	10 uF
C8, C9, C10,C11	10 uF
C12,C13,C14,C16	10 uF

#### Condensateurs de découplage:

C17	470 uF
C18,C19,C20,C21	22 nF
C22,C23,C24,C25,C26	22 nF
C27,C28,C29,C30	22 uF
C31,C32,C33,C34,C35	22 nF

#### Connecteurs:

X1	Con. 64 P male
----	----------------

#### Résistances:

R1, R2, R3, R4	15 K
R5, R6, R7, R15	15 K
R8, R9, R10,R11	10 K
R12,R13,R14,R16	10 K
R17,R18	Reseau de 4R 470
R19,R20,R21,R22	2.2 K
R23,R24,R25,R26	2.2 K

#### Photocoupleurs:

F1, F2, F3, F4	CNX35
F5, F6, F7, F8	CNX35

#### Diodes:

CR1,CR2,CR3,CR4	1N4004
CR5,CR6,CR7,CR15	1N4004
CR8,CR9,CR10,CR11	HLMP1002
CR12,CR13,CR14,CR16	HLMP1002

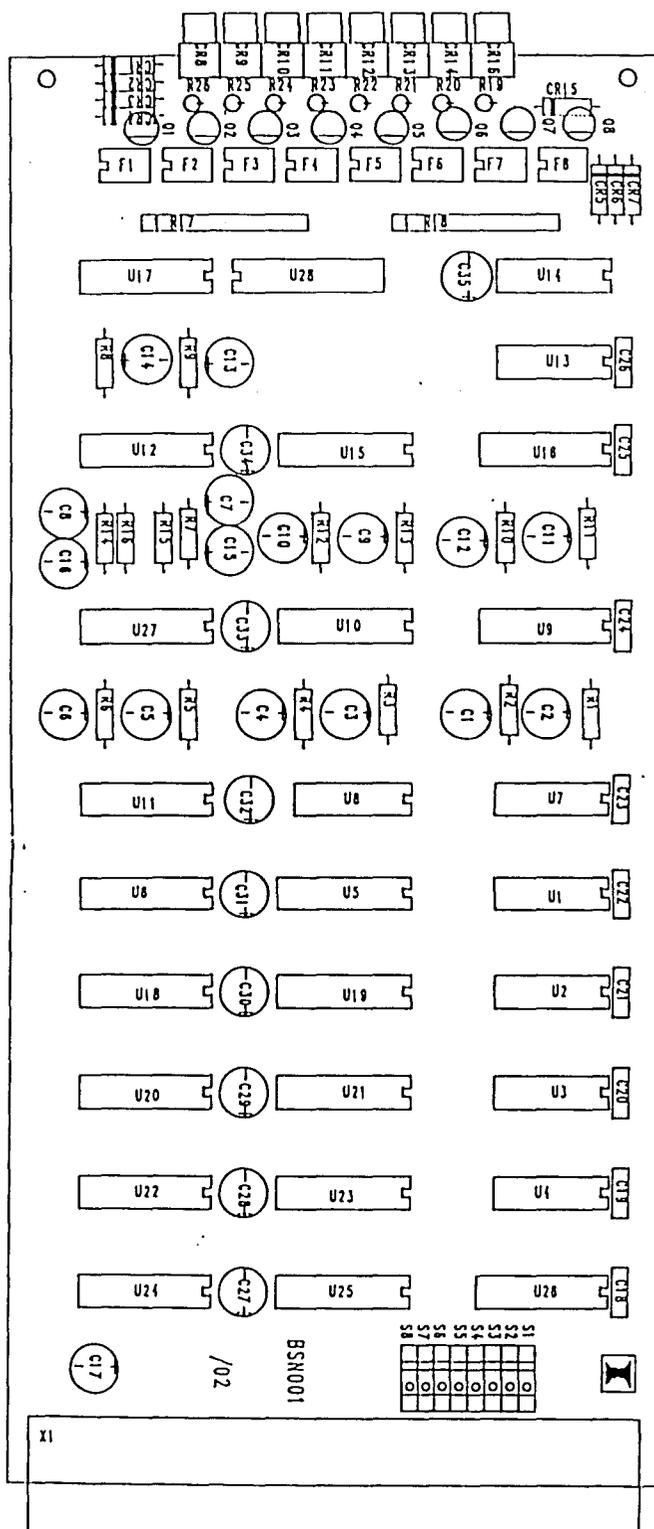
#### Transistors NPN

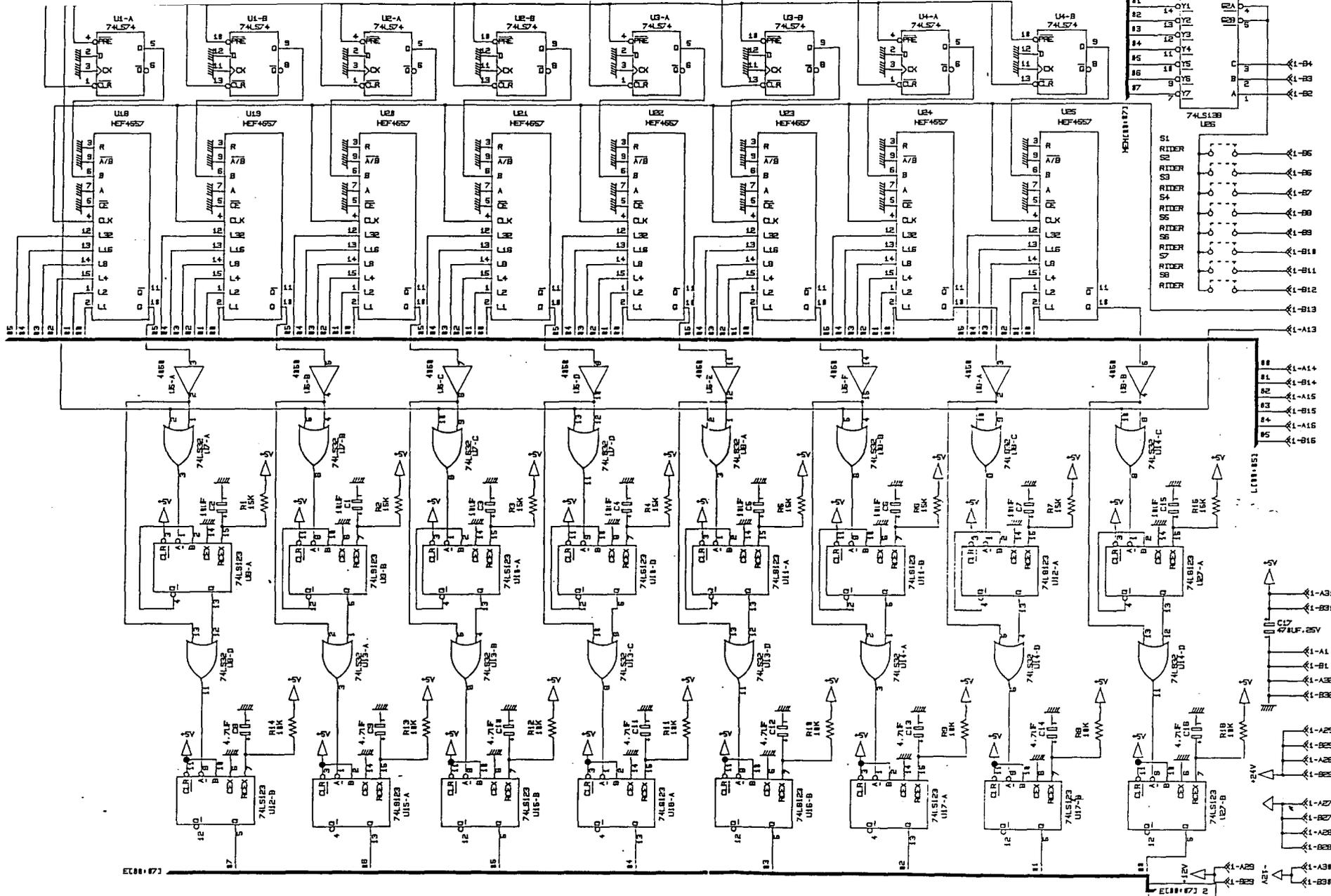
Q1,Q2,Q3,Q4	PH2222A
Q5,Q6,Q7,Q8	PH2222A

#### Interrupteurs:

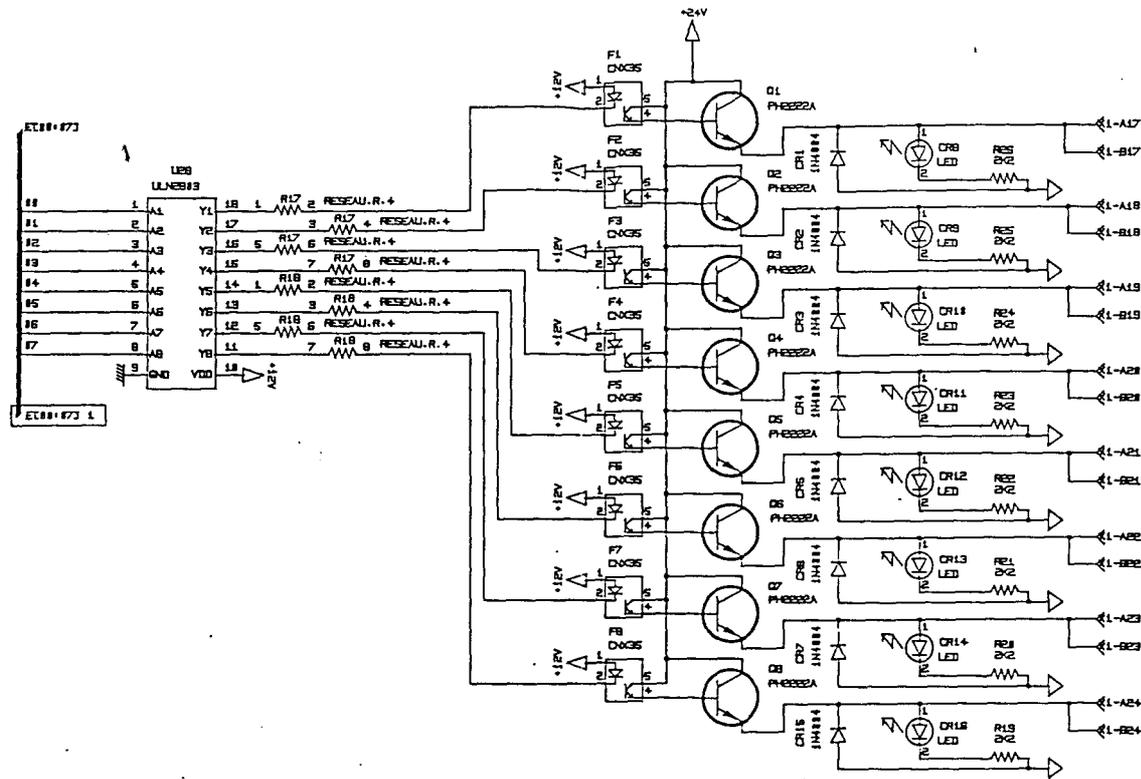
S1,S2,S3,S4	
S5,S6,S7,S8	

### 4) IMPLANTATION DES COMPOSANTS





REDIA ELECTRONIQUE			
Z.I 62970 COURCELLES LES LENS		T: 21 77 19 19	
TITRE: CARTE ELECTROVANNE		CLIENT: BSN	
DATE: 28 03 91	REV: 02	PG: 01	CODE: BSN001/02



REDIA ELECTRONIQUE		
Z.I 62970 COURCELLES LES LENS		T: 21 77 19 19
TITRE: CARTE ELECTROVANNE		CLIENT: BSN
DATE: 28 03 91	REV: 02	PGE: 02
CODE: BSN001/02		

**ANNEXE 5**  
**CARTE DE TEST**

## CARTE DE TEST

La carte de test est constituée de 3 parties qui assurent les 3 fonctions suivantes:

- Génération du signal de commande pour tester les marteaux d'éjection.
- Paramétrage de la temporisation de commande.
- Génération d'alarmes de saturation de la caméra.

## **1) DESCRIPTION**

Un signal de commande est généré par un timer. Ce signal est envoyé périodiquement vers les modules de commande des marteaux.

Le paramètre de retard est réglé par une roue codeuse heximale. Nous pouvons programmer un temps de retard de 1 à 64 cycles de l'horloge-ligne (de 1 ms à 64 ms).

Le signal de saturation fourni par la caméra est utilisé pour allumer la DEL d'alarme en cas d'anomalie.

## **2) FONCTIONNEMENT**

Une horloge de fréquence 1 KHz est générée par un timer. Cette fréquence est divisée par un diviseur réalisé avec un compteur pour constituer le signal de commande d'éjection. Nous pouvons choisir la fréquence du signal à l'aide d'un cavalier. Un compteur de 6 bits génère les adresses des marteaux. A l'aide d'un interrupteur et d'un cavalier, nous pouvons envoyer successivement le signal de commande, soit aux 64 marteaux complets, soit uniquement aux 8 marteaux d'une carte, soit à un seul marteau.

Deux roues codeuses heximales permettent de générer une donnée de 1 à 64. Cette donnée est envoyée par le fond de panier vers les registres à décalage implantés sur les cartes d'éjection. Elle permet d'introduire un temps de retard entre la détection et l'éjection. Les deux bits du poids fort des roues codeuses restent inutilisés.

Les signaux de saturation disponible sous forme RS422 en sortie de caméra sont convertis en signaux compatibles TTL et génèrent un signal de commande pour alimenter une diode. La diode s'allume en cas de saturation.

### 3) LISTE DES COMPOSANTS

#### Circuits Intégrés:

U1	LM555CN
U2,U4	74LS393
U3,U6	74LS123
U5	AM26LS32
U7	74LS540
U8	74LS138
U9,U10,U11,U12	74LS541

#### Condensateurs:

C1, C2	100 nF
C3	4.6 uF
C4	10 nF

#### Condensateurs de découplage:

C5, C6, C7, C8	22 uF
C9,C10,C11,C12,C13	22 nF

#### Connecteurs:

X1	Con. 64 P male
----	----------------

#### Résistances:

R1, R2, R3	4.87 K
R4, R8, R9	470
R5, R7	10 K
R6	Reseau de 8R 10 K

#### Cavaliers de codage:

S0,S1,S2,S3,S4
S5,S6,S7,S8,S23

#### Inverseurs:

S11,S12,S13,S17,S18,S19
-------------------------

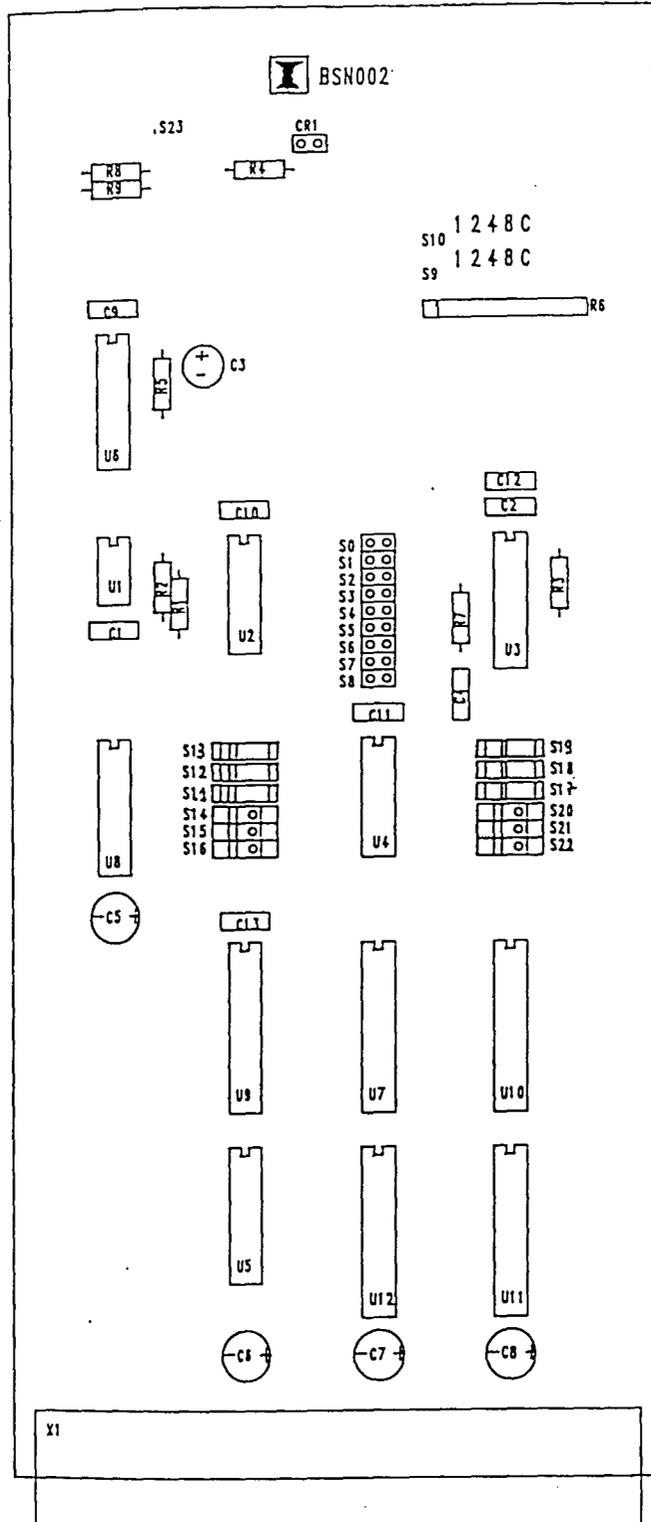
#### Interrupteurs:

S14,S15,S16,S20,S21,S22
-------------------------

#### Divers:

CR1	LED
S9, S10	Roue codeuse

4) IMPLANTATION DES COMPOSANTS





**ANNEXE 6**

**CARTE DE COMMUTATION**

## CARTE DE COMMUTATION

La carte de commutation permet de connecter l'un des 4 systèmes de tri automatique avec l'ordinateur central. Elle est constituée de 4 modules identiques de commutation et de la partie de décodage du bus PC.

## 1) DESCRIPTION

4 systèmes de tri automatique peuvent être connectés à un ordinateur de type IBM AT avec cette carte au format PC via 4 câbles plats. Le numéro du système choisi par l'opérateur est envoyé par l'ordinateur central. Le module de commutation correspondant est ainsi activé. Nous pouvons alors visualiser sur écran les images lignes de la caméra choisie pour le réglage du système ou l'affichage.

## 2) FONCTIONNEMENT

La carte est placée dans l'espace mémoire I/O du PC. Le numéro du système rentré par l'opérateur à l'aide d'un clavier est envoyé par PC au registre de sélection de système placé à l'adresse 300H. Il est décodé par un multiplexeur et ensuite utilisé pour activer le port d'entrée du système correspondant. La sortie vidéo numérique de la caméra choisie est ainsi connectée à la carte d'affichage.

## 3) LISTE DES COMPOSANTS

### Circuits Intégrés:

U1,U2,U3,U4	AM26LS32
U5,U6,U7,U8	AM26LS32
U9,U10,U11,U13	AM26LS32
U12	74LS04
U14,U15,U16	AM26LS31
U17,U18,U21	74LS138
U19	74LS273
U20,U23,U24	74ALS244
U22,U25	74LS245
U26	74LS139
U27	74S10
U28	74S00

### Connecteurs:

X1,X2,X3,X4,X5	Con. 26 P
----------------	-----------

### Résistances:

R1,R2,R4,R5	Reseau de 4R	680
R7,R8,R10,R11	Reseau de 4R	680
R3,R6,R9,R12,R13		680

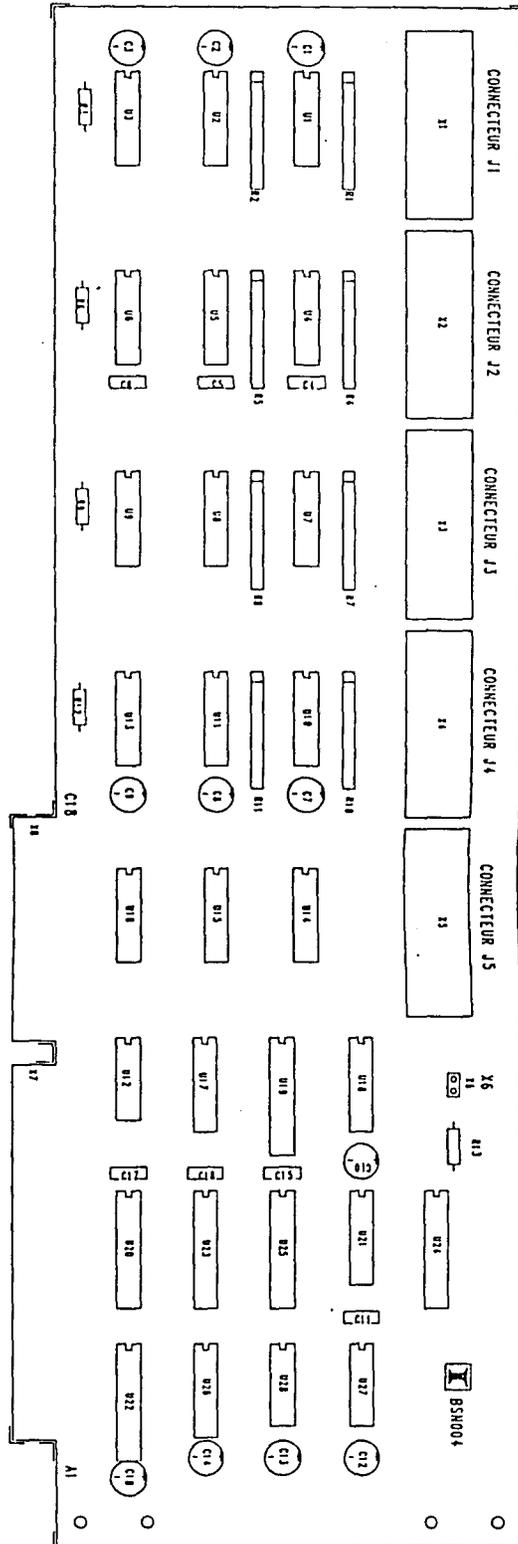
### Condensateurs de découplage:

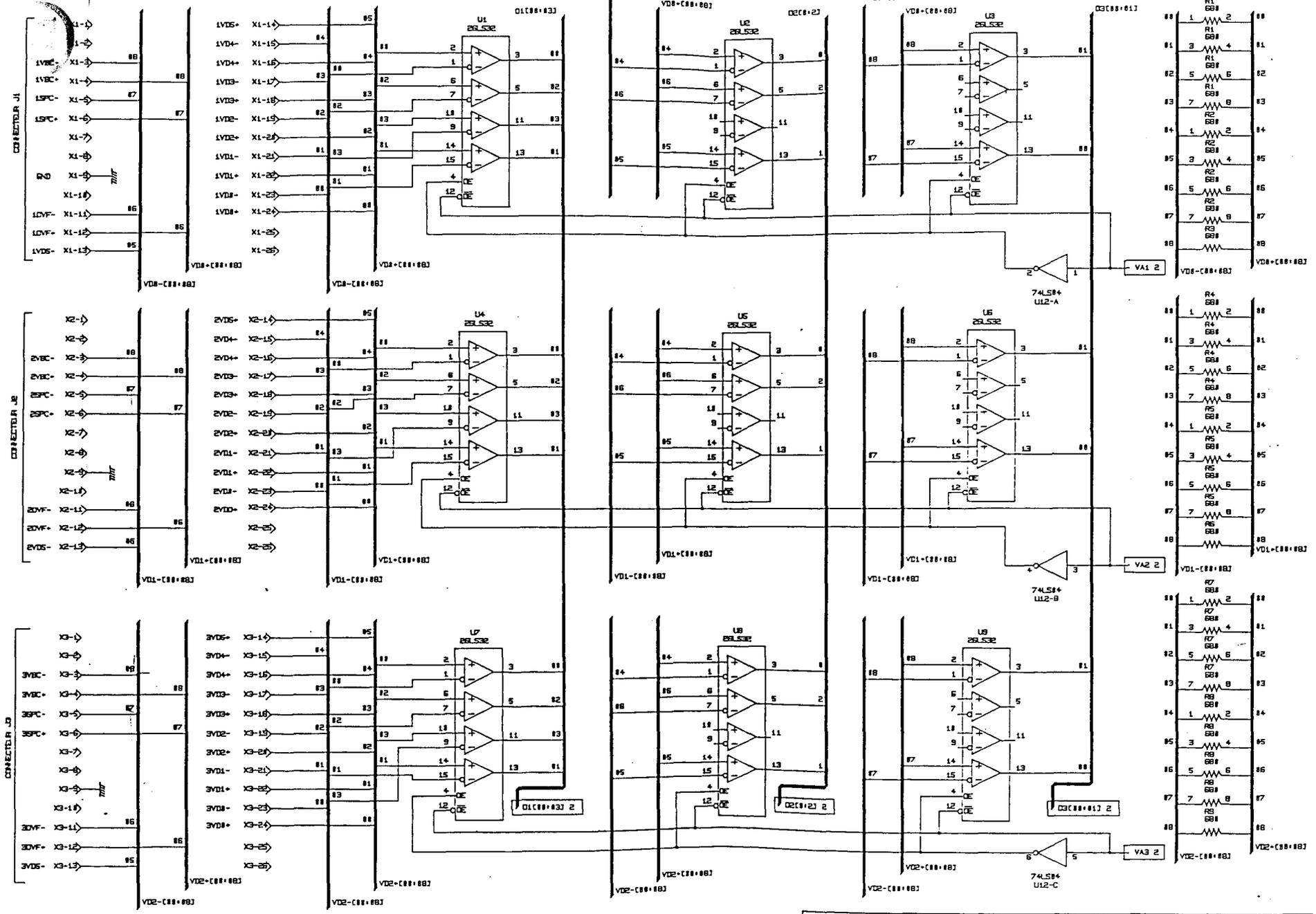
C1,C2,C3,C7,C8,C9	22 uF
C10,C12,C13,C14,C18	22 uF
C4,C5,C6,C11	22 nF
C15,C16,C17	22 nF

### Divers:

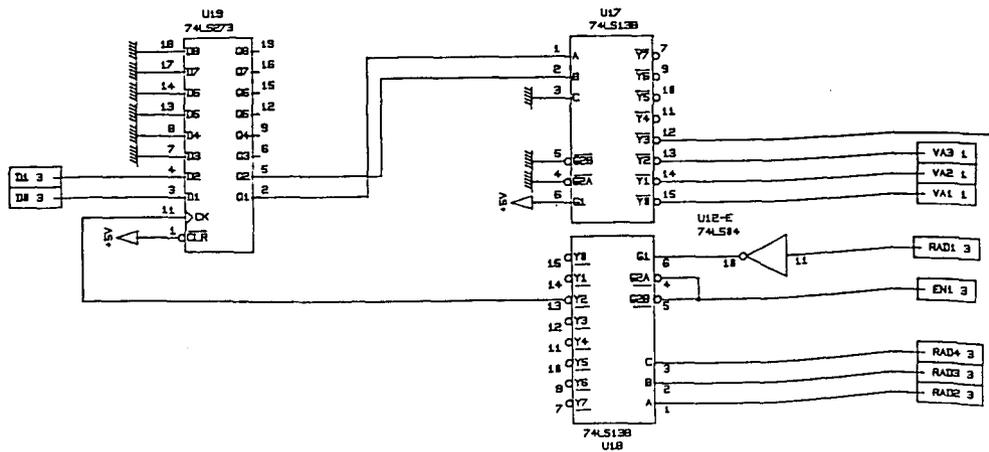
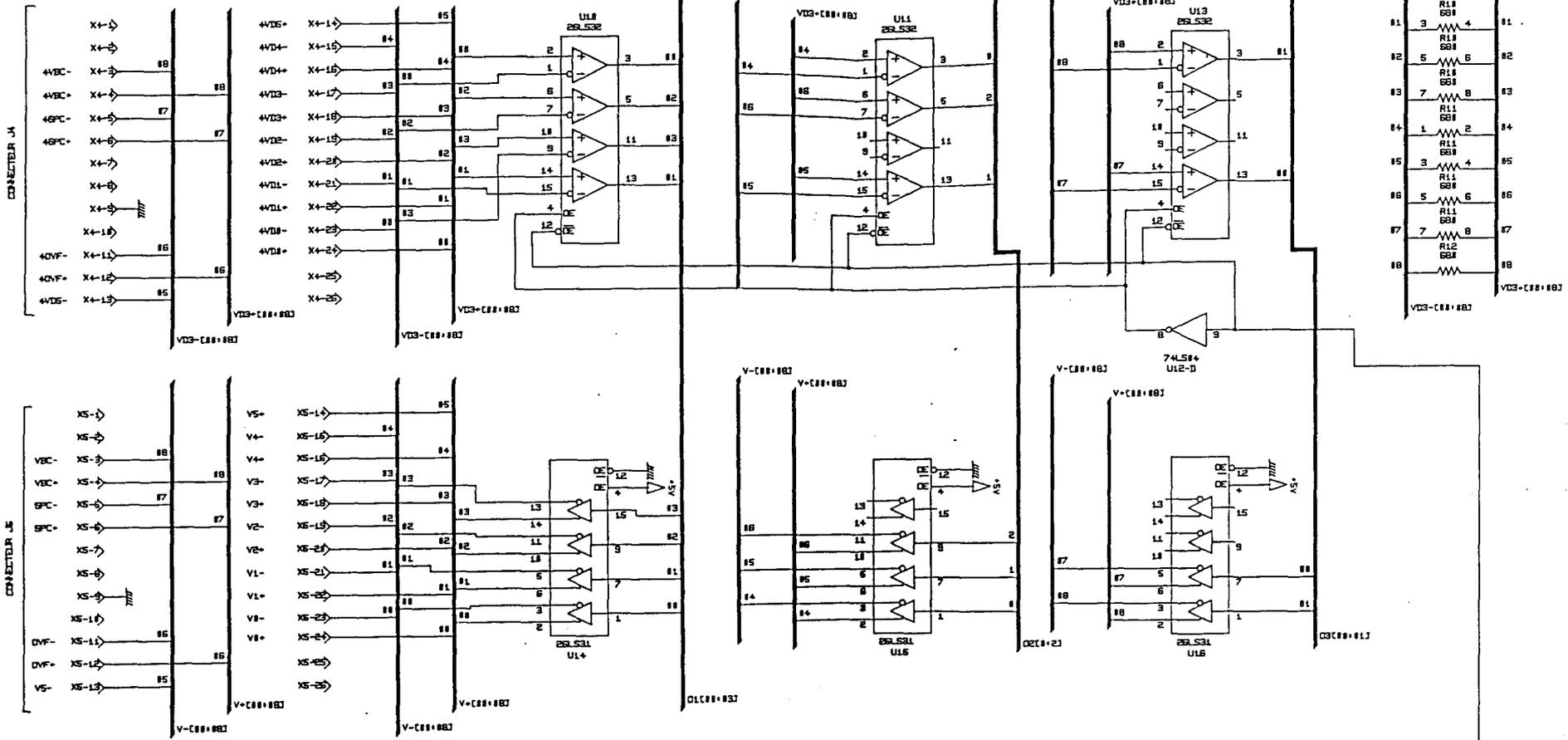
X6	Cavalier
----	----------

### 4) IMPLANTATION DES COMPOSANTS



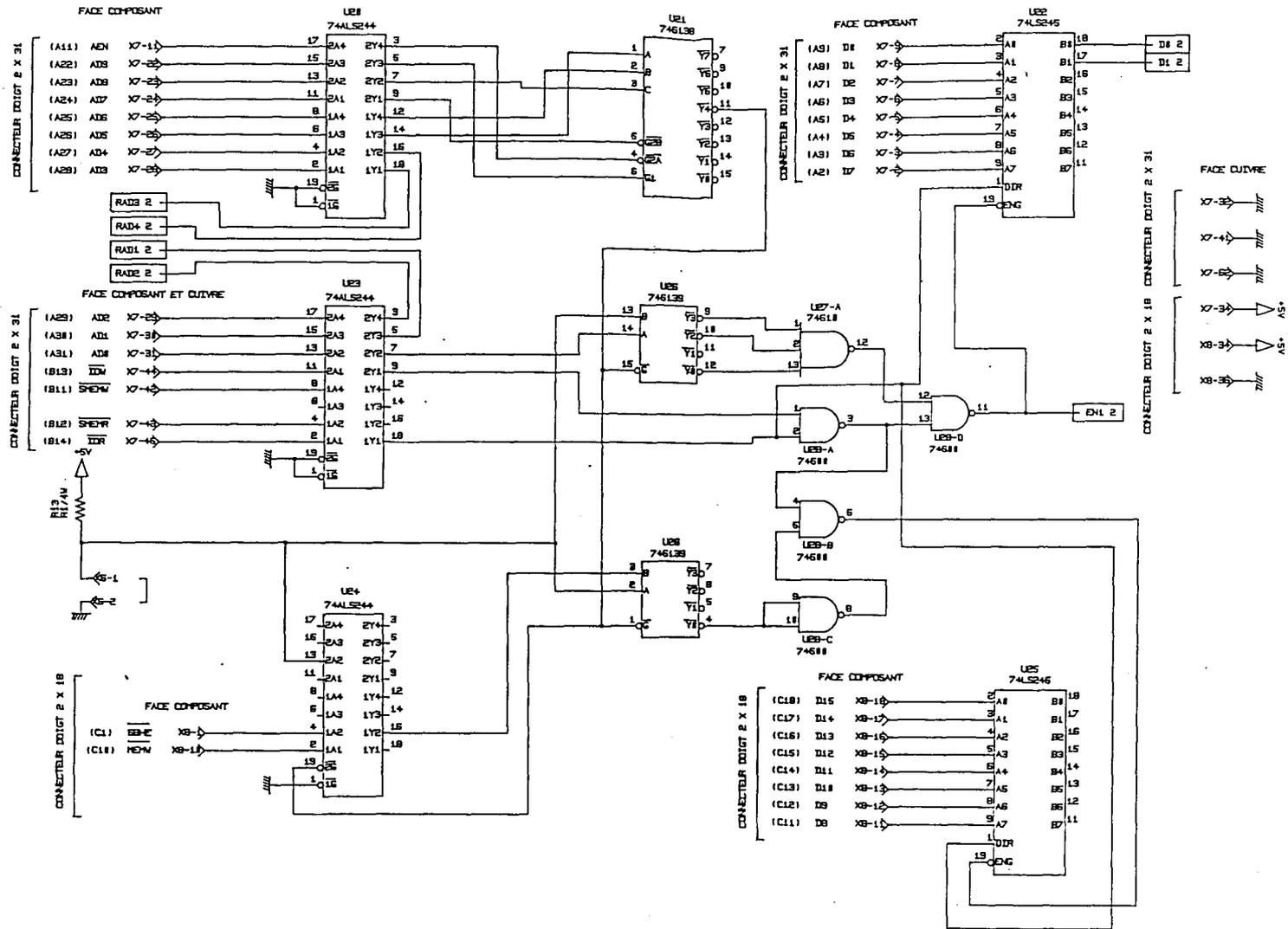


REDIA ELECTRONIQUE		T.COPIE: 21 77 12 52	
Z.I 62970 COURCELLES LES LENS		T: 21 77 19 19	
TITRE: CARTE BSN RESEAU		CLIENT: BSN	
DATE: 30 10 91	REV:	PGE: 01	CONF: BSN004



REDIA ELECTRONIQUE		T.COPIE: 21 77 12 52	
Z.I.62970 COURCELLES LES LENS		T: 21 77 19 19	
TITRE: SCHEMA CARTE RESEAU		CLIENT: BSN	
DATE: 30 10 91	REV:	PGE: 02	CODE: BSN004





REDIA ELECTRONIQUE		T.COPIE: 21 77 12 52	
Z.I 62970 COURCELLES LES LENS		T: 21 77 19 19	
TITRE: SCHEMA CARTE RESEAU		CLIENT: BSN	
DATE: 30 10 91	REV:	PGE: 03	CODE: BSN004