

### AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

### LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4 Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10 <u>http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\_droi.php</u> <u>http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm</u>

#### **ECOLE DOCTORALE:**

"Informatique - Automatique - Électronique - Électrotechnique - Mathématique"

### Département de Formation Doctorale

"Électronique - Électrotechnique"

# Thèse

# présentée à l'Université Henry POINCARÉ NANCY I pour l'obtention du

#### Doctorat de l'Université Henry POINCARÉ NANCY I en Métrologie Électronique

par

#### **M. Martial GRIMM**

#### SUJET :

### Proposition d'une nouvelle méthode de transformation de signaux vidéo RVB -> HSI. Application aux systèmes de vision couleur temps réel

Soutenue publiquement le 10 novembre 1994 devant la commission d'examen :

#### **MEMBRES DU JURY**

Président	: PRIEUR G.	Directeur du L.I.E.N. Directeur de thèse
Rapporteurs	DEMIGNY	Professeur à l'ENSEA
	: DERUTIN	Professeur à LASMEA
Examinateurs	: WEBER Serge	Maître de conférences
	: TISSERAND Etienne	Maître de conférences
Invité	: OLLIVIER Michel	Directeur Technique EDIXIA Docteur de l'Université de Rennes

### **REMERCIEMENTS**

Cette thèse est l'aboutissement de quatre années de recherche réalisées au Laboratoire d'Instrumentation Electronique de NANCY dirigé par Monsieur le professeur G. PRIEUR, à qui j'exprime toute ma gratitude.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur DEMIGNY, professeur à l'ENSEA et Monsieur DERUTIN, professeur à LASMEA pour avoir accepté de rapporter cette thèse.

Je suis particulièrement reconnaissant à Messieurs E. TISSERAND et S. WEBER, maîtres de conférence à l'Université HENRY POINCARE, pour l'encadrement et le soutien qu'ils m'ont apporté tout au long de cette étude.

Mes remerciements vont également à Monsieur M. OLLIVIER, directeur technique de la société EDIXIA, pour les conseils et l'aide qu'il m'a apportée.

Je terminerai en remerciant l'ensemble du personnel et des étudiants du Laboratoire qui, à titre divers ont contribué au bon déroulement de cette thèse.

50 m.

à mes parents

### **INTRODUCTION**

Les espaces colorimétriques permettant une représentation vectorielle des couleurs par trois coordonnées sont nombreux. Le plus connu d'entre eux, le système RVB, est la base adoptée par tous les standards de télévision et de vidéo, de l'acquisition de l'image par caméra, à la restitution par écran cathodique. A part cette adéquation technique, le système RVB n'est pas du plus commode lorsqu'il s'agit d'effectuer l'analyse et le traitement d'image couleur.

En revanche la base psychovisuelle HSI<sup>1</sup> permet une décomposition des couleurs relativement naturelle. En effet le cerveau humain analyse une impression colorée selon des attributs analogues. Ce parallélisme psychovisuel confère à l'espace HSI une souplesse d'utilisation satisfaisante dans des applications (industrielles ou autres) qui exigent des fonctions telles que la détection chromatique, la segmentation simple d'images couleurs.

Ces différentes raisons ont conduit l'équipe I.T.R.<sup>2</sup> du L.I.E.N.<sup>3</sup> à concevoir puis à développer un système complet de vision couleur en mode HSI à vocation industrielle. Ce projet a été soutenu par la société EDIXIA de Rennes dans le cadre d'un double contrat CIFRE. Il a été décomposé en deux parties complémentaires. La première concerne l'acquisition de signaux RVB, leur conversion dans l'espace HSI leur mémorisation sous forme de plans image ainsi que leur visualisation. La transformation RVB -> HSI, les problèmes qu'elle soulève dans le cadre de notre projet font l'objet de cette thèse. La seconde, prise en charge par M. J.P. IGERSHEIM est orientée principalement vers des traitements temps réels sur les données HSI.

Ce mémoire est organisé en cinq chapitres.

Le premier fait un bref tour d'horizon des applications et de l'utilisation des systèmes de vision couleur.

Le second résume les propriétés et les particularités des principaux espaces colorimétriques.

Le troisième chapitre pose le problème de la transformation RVB/ HSI en termes mathématiques. Nous analysons particulièrement les défauts engendrés par la quantification des signaux sur la précision de la conversion.

Nous proposons dans le quatrième chapitre, une méthode originale de conversion RVB/ HSI contournant les problèmes évoqués précédemment. Nous montrons pourquoi la solution la meilleure passe par l'utilisation de fonctions purement analogiques combinées à des calculs numériques et comment synthétiser électroniquement cet ensemble mixte. La solution technique est présentée et ses performances testées et mesurées.

Enfin le cinquième chapitre présente la carte IA512C qui synthétise l'ensemble de ces recherches.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Hue, Saturation and Intensity

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Instrumentation temps Réel

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Laboratoire d'Instrumentation Electronique de NANCY

# SOMMAIRE

1. L'INFORMATION COULEUR EN VISION ARTIFICIELLE	10
1.1 INTERET DE LA COULEUR PAR RAPPORT AU N&B	10
1.1.1 Utilité de l'information couleur à la prise de décision	10
1.1.2 Extension des outils de la prise de décision d'image N&B vers l'image couleur	11
1.2 DIFFICULTES ET CONTRAINTES SUPPLEMENTAIRES	11
1.2.1 Capteurs et caméras	11
1.2.1.1 Le tube photosensible	12
1.2.1.2 Le système CCD	12
1.2.1.3 Les capteurs mono-CCD	13
1.2.1.4 Les capteurs tri-CCD	14
1.2.2 Augmentation de la quantité d'informations.	14
1.3 ORGANISATION GENERALE DU SYSTEME DE VISION COULEUR DEVELOPPE AU L.I.E.N	15
1.4 CONCLUSIONS	16
BIBLIOGRAPHIE	17
2 I A COULEUR	10
2. LA COULEUR	18
2.1 INTRODUCTION	18
2.2 FONCTIONNEMENT DE L'OEIL	18
2.2.1 Sensibilité de l'oeil	19
2.2.2 Efficacité lumineuse	20
2.3 BASES DE LA COLORIMETRIE	20
2.3.1 Première loi de GRASSMAN	21
2.3.2 Deuxième loi de GRASSMAN	21
2.3.3 Troisième loi de GRASSMAN	21
2.4 SYNTHESE DES COULEURS	22
2.4.1 Synthèse additive	22
2.4.2 Synthèse soustractive	23
2.4.3 Comparaisons	23
2.5 SYSTEMES COLORIMETRIQUES RVB	24
2.5.1 Primaires réelles	24
2.5.2 Primaires irréelles	25
2.6 SYSTEMES COLORIMETRIQUE DE LA CIE	25
2.6.1 Observateur de référence XYZ CIE 1931	25
2.6.2 Diagrammes chromatiques uniformes	27
2.6.2.1 Transformation UCS CIE 1960 en u, v	27
2.6.2.2 Transformation UCS CIE 1976 en u', v'	28
2.6.2.3 Diagramme uniforme de MAC ADAM	29
2.6.3 Espaces approximativement uniformes	29
2.6.3.1 Espace W*, u*, v* CIE 1964	29
2.6.3.2 Espace L*, u*, v* CIE 1976	29
2.6.3.3 Espace L*, a*, b* CIE 1976	29
2.7 ESPACE CHROMATIQUE DE MUNSELL.	30
2.7.1 Les teintes	30
2.7.2 La luminosité	30
2.7.3 La saturation	30
2.8 ESPACE HSI OU TSL	31

2.8.1 Définitions	
2.8.1.1 La teinte	
2.8.1.2 La saturation	
2.8.1.3 La luminance	
2 8 2 Equations	
2 9 CONCLUSIONS	
BIBLIOGRAPHIE	
3. LIMITES DE LA TRANSFORMATION NUMERIOUE RVB -> HSI	
3.1 INTRODUCTION	
3.2 ASPECT MATHEMATIOUE	
3.2.1 Calcul de H	
3.2.2 Calcul de S	
3 2 3 Calcul de I	
3 2 4 Représentation du cube RVB dans le repère CX. CY et I	
3 2 4 1 A 33% d'intensité	
3 2 4 2 A 50% d'intensité	
3 2 4 3 A 66% d'intensité	
2 2 DEDADTITION DES COLI ELIDS EN EONOTION DE L'INITENSITE	
3 3 1 Analyse mathématique de la courbe	
3 3 1 1 De 0 à 33% d'intensité	•••••
3 3 1 2 De 33% à 66% d'intensité	•••••
2 2 1 2 Do 66 à 100% d'intensité	••••••
2.4 DEDADTITION DES COLUERIDS ECNOTION DU ECON (AT DE DISCRETTION)	
3.4 REPARTITION DES COULEURS FONCTION DU FORMAT DE DISCRETISATION	
2.4.2 Analyse avec une quantification de l'sur 10 bits	•••••
3.4.2 Analyse avec une quantification de 1 sur 8 bits	•••••
	•••••
3.5 ANALYSE DE LA REPARTITION À INTENSITE CONSTANTE	•••••
3.5.1 Analyse a 33% d intensite	•••••
3.5.1.1 Histogrammes de la teinte	
3.5.1.2 Histogrammes de la saturation.	
3.5.2 Analyse a 50% d'intensité	
3.5.2.1 Histogrammes de la teinte	
3.5.2.2 Histogrammes de la saturation.	
3.5.3 Analyse à 66% d'intensité	
3.5.3.1 Histogrammes de la teinte	
3.5.3.2 Histogrammes de la saturation.	
3.6 REPRESENTATION DU VOLUME HSI	
3.7 CONCLUSIONS	
BIBLIOGRAPHIE	
4. TRANSFORMATION RVB -> HSI ANALOGIQUE NUMERIQUE	
4.1 INTRODUCTION	
4.2 CALCUL DES DIFFERENTS PARAMETRES	
4.2.1 Calcul de H	
4.2.1.1 Limite du modèle	
4.2.1.2 Choix de la limite achrome	
4.2.2 Calcul de S	
4.2.2.1 Déterminations mathématiques	
4.2.3 Calcul de I	
4.3 INFLUENCE DU BRUIT SUR LA DETERMINATION DE H	

4.3.1 Aspects théoriques	53
4.3.1.1 Rapport signal/bruit avant et après normalisation de CX et CY	53
4.3.1.2 Choix du format de numérisation de cx et cy	54
4.3.1.3 Influence du bruit sur la détermination de H	55
4.4 MESURES DU CONVERTISSEUR REALISE.	56
4.4.1 Schéma synoptique	56
4.4.2 Réalisation de la fonction minimum	57
4.4.3 Mesures du bruit	58
4.4.3.1 Mesure du bruit sur les signaux R, V et B	58
4.4.3.2 Mesure du bruit sur les signaux I, cx, cy et 1-S	58
4.4.4 Mesure de l'espace engendré	58
4.4.5 Mesure sur H	60
4.4.5.1 A intensité variable et saturation maximale	60
4.4.5.1.1 Conclusions	62
4.4.5.2 A saturation variable et intensité fixe	62
4.4.5.2.1 Conclusions	64
4.4.6 Mesure sur S	65
4.4.6.1 A intensité variable et H fixe	65
4.4.6.2 A I constant	65
4.4.6.3 Mesure de la saturation sur la droite achrome	66
4.4.6.4 Conclusions	66
4.4.7 Mesure sur l'intensité	66
4.4.7.1 Mesure à teinte constante	66
4.4.7.2 Mesure pour I constant	67
4.4.7.3 Conclusions	67
4.5 NOMBRE DE COULEURS DISCERNABLES	67
4.6 RETOUR A L'ESPACE RVB POUR VISUALISATION	68
4.6.1 Limitation due à l'oeil	68
4.6.2 Formules mathématiques	69
4.6.2.1 H compris entre 0 et 120°	70
4.6.2.2 H compris entre 120 et 240°	70
4.6.2.3 H compris entre 240 et 360°	70
 4.6.2.4 Simplifications	71
4.6.3 Choix de la résolution	71
4.7 CONCLUSIONS	71
BIBLIOGRAPHIE	73
5. CARTE IA512C PRESENTATION ET TESTS	74
5.1 INTRODUCTION	74
5.2 PRESENTATION	74
5.2.1 Schema synoptique.	74
5.2.2 Le multiplexeur de caméras	74
5.2.3 Le convertisseur d'espace colorimetrique RVB, HSI	74
5.2.4 Generation des signaux de synchronisation	76
5.2.5 Bancs memoires	77
5.2.6 LUTs	77
5.2. / Plans de binarisation	/8
5.2.8 Plan d'incrustation	78
 5.2.9 Visualisation	/8
5.2. TO Gestion de la carte	18
3.3 MESUKE DU BRUIT	19

5.3.1 Mesure du bruit sur les signaux R, V et B	
5.3.2 Mesure de bruit sur les signaux I, cx, cy et 1-S	
5.3.3 Densité spectrale de bruit sur les signaux I, cx, cy et 1-S	
5.3.3.1 FFT du signal I	
5.3.3.2 FFT du signal S	80
5.3.3.3 FFT du signal cx	80
5.3.3.4 FFT du signal cy	81
5.3.4 Conclusions	81
5.4 REPARTITION DES COULEURS A INTENSITE FIXE	81
5.4.1 Analyse à 33% d'intensité	
5.4.1.1 Histogramme de H	
5.4.1.2 Histogramme de S	
5.4.1.3 Histogramme de I	
5.4.2 Analyse à 50% d'intensité	
5.4.2.1 Histogramme de H	
5.4.2.2 Histogramme de S.	84
5.4.2.3 Histogramme de I	
5.4.3 Analyse à 66% d'intensité	
5.4.3.1 Histogramme de H	
5.4.3.2 Histogramme de S	
5.4.3.3 Histogramme de I	
5.4.4 Conclusions	
5.5 PRISES D'IMAGES	
5.5.1 Images à éclairement controlé	
5.5.1.1 Variations de la teinte et de la saturation pour la balle rose	
5.5.1.2 Variations de la teinte et de la saturation pour la balle jaune	
5.5.1.3 Variations de la teinte et de la saturation pour la balle verte	
5.5.1.4 Variations de la teinte et de la saturation pour la balle cyan	
5.5.1.5 Conclusions	
5.5.2 Comparaison des transformations	89
5.5.2.1 Histogramme de H à faible niveau d'intensité	
5.5.2.2 Histogramme de S à faible niveau d'intensité	
5.5.3 Images extérieures	
5.5.3.1 Résultats	
5.5.3.2 Conclusions	
5.6 CONCLUSIONS	
BIBLIOGRAPHIE	
CONCLUSIONS	
ANNEXES	05
ANNEXES A	
ANNEXES B	96
ANNEXES C	
ANNEYES D	
ANNEYES E	
AININEAES E	100

# 1. L'information couleur en vision artificielle

### 1.1 Intérêt de la couleur par rapport au N&B

### 1.1.1 Utilité de l'information couleur à la prise de décision

Dans de nombreux domaines, la seule connaissance de la luminance ne suffit plus à mettre en évidence l'information suffisante, qui permettrait une prise de décision correcte. Dans les exemples suivants, l'information couleur analysée ne présente pas la même signification suivant les différents cas.

- Dans l'industrie agro-alimentaire, il est courant de vérifier la maturité ou l'état de conservation d'une denrée (fruits, légumes...) en contrôlant son aspect visuel et notamment son apparence colorée. Dans ce cas, la prise de décision (mur, pas assez mur, trop mur) est directement associée aux paramètres chromatiques [RAB88]. La prise de décision peut aussi intervenir sur d'autres critères (complètement effeuillé, pas assez effeuillé, non effeuillé) toujours extraits des informations couleurs [RIO92]. Dans un dernier cas, la classification est obtenue par la forme des graines, extraite des attributs couleurs [PET92]. Ou encore par l'association de la couleur et de la forme pour la reconnaissance de différents types de poissons [STR93].
- L'imagerie par satellite fait grand usage de l'analyse colorimétrique pour reconnaître les différents types de végétations au sol, ainsi que la composition de celui-ci [GRA93]. Dans d'autres cas la transformation d'espace colorimétrique permet de supprimer les ombres [LIU90].
- En analyse de scènes extérieures, des traitements sur les caractéristiques chromatiques de chaque pixel sont effectués pour s'affranchir le mieux possible des variations de condition d'éclairement. Il est alors possible de localiser des objets [BAK89] d'effectuer le suivi de route [THO90].
- L'utilisation de la couleur en imagerie médicale permet de segmenter les images pour la détection et l'identification de tumeur, en tenant compte des variations de nuances de celle-ci, et des individus [UMB89].
- 5. Pour l'analyse de cartes routières, les symboles à reconnaître sont décrits par une couleur et une forme [HED92] [EBI94].
- Dans certaines chaînes industrielles, un marqueur coloré est utilisé pour permettre le suivi, le comptage, et la reconnaissance d'objets. C'est le cas de la reconnaissance automatique de valeur de résistances [BRU89].

Cette liste n'est pas exhaustive, mais elle permet de se rendre compte de l'éventail des applications possibles de la vision couleur artificielle.

On ne saurait oublier le caractère subjectif de l'interprétation de la couleur dans certaines applications (notamment dans le domaine artistique). De même, la prise de décision nécessite quelquefois la connaissance en association de plusieurs paramètres inhérents à la couleur, ce qui rend particulièrement difficile la tâche des systèmes informatiques classiques. Le développement de la logique floue et des réseaux neuronaux permet d'espérer une résolution efficace de ce type de problèmes [LUI91].

# 1.1.2 Extension des outils de la prise de décision d'image N&B vers l'image couleur

Un des grands avantages de la vision couleur provient du fait que la plupart des outils mathématiques d'analyse et de traitements utilisés en imagerie noir et blanc lui sont (du moins en théorie) adaptables. Par exemple, les méthodes de segmentation deviennent dans ce cas tridimensionnelles [POS87] [IGE94]. Des méthodes d'enrichissement de l'information par transformation de Hough, Karhunen-Loeve sont également exploitables.

En ce qui concerne les méthodes de segmentation statistique, l'adaptation est souvent immédiate, puisque l'on dispose de trois attributs par point. Dans le cas d'images monochromes, on ne dispose que d'un seul attribut, les autres (position spatiale, texture, etc...) doivent être calculés. Or, on sait que l'augmentation du nombre d'attributs pertinents permet une meilleure discrimination des différentes classes en présence. La contre partie étant l'augmentation de la charge de calcul.

Les méthodes de segmentation par régions utilisent souvent un critère de distance dans l'espace des attributs pour décider de la fusion. Dans le cas d'images couleurs, il s'agit bien sur de la distance colorimétrique qui peut être uniforme (par ex: distance euclidienne dans l'espace RVB) ou perceptuelle (espace colorimétrique de Munsell). La quantité de calcul devient alors trop importante on remplace parfois cette distance par la somme des valeurs absolues des écarts de ces attributs.

La détection de contours dans une image couleur peut prendre plusieurs aspects. On peut toujours se ramener au cas d'image monochrome (par ex: somme des gradients des plans RVB). Mais pour prendre en compte toutes les informations couleurs contenues dans l'image, il faut utiliser un opérateur différentiel agissant directement sur les trois plans et non sur un seul. Ainsi il devrait être possible de supprimer des effets indésirables comme les phénomènes d'ombre. En effet, en théorie l'information teinte est indépendante de celle de l'intensité, mais dans les scènes complexes (nombreux objets et fond non uniforme), la teinte est faiblement contrastée et se prête donc mal à une détection de contours.

### 1.2 Difficultés et contraintes supplémentaires

### 1.2.1 Capteurs et caméras

Pour les capteurs couleurs, il a fallu tripler les organes photosensibles (sauf pour le mono-CCD) par rapport aux capteurs monochromes, ce qui a permis d'obtenir des définitions d'images couleurs aussi bonnes. Mais le système optique qui permet la séparation du signal lumineux, et le positionnement précis des organes photosensibles s'en trouve plus compliqué. Car un point lumineux doit frapper le même pixel (en ligne et en colonne) sur chacun des trois capteurs. En moyenne un pixel correspond à un carré de 10um de coté.

### 1.2.1.1 Le tube photosensible

L'élément actif est une surface constituée d'une électrode plane recouverte d'un produit photoconducteur. L'intensité lumineuse reçue en chaque point provoque une accumulation de charges électriques, créant ainsi une image. Puis celle-ci est lue séquentiellement par un faisceau d'électrons, qui balaie la surface ligne par ligne. Ce faisceau, en restituant la charge accumulée en chaque point, engendre un courant proportionnel à la lumière reçue par chacun d'eux, entre deux balayages consécutifs (Figure 1-1).



### 1.2.1.2 Le système CCD<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Charge Coupled Device

C'est une matrice d'éléments photosensibles (Figure 1-2), dont chaque élément traduit la luminosité qu'il a reçue sous la forme d'une charge électrique. Ces charges sont transportées par un système de registre à décalage vers la sortie où l'image défile point par point sous la forme d'un signal électrique. Il existe deux grands types de capteurs CCD couleur, les capteurs mono-CCD, et les capteurs tri-CCD. Le premier ne comporte qu'une seule matrice d'éléments photosensibles, contre trois pour les capteurs tri-CCD.

#### 1.2.1.3 Les capteurs mono-CCD

Le capteur mono-CCD est composé d'une seule matrice active recouverte par une mosaïque de trois filtres colorés (Annexe E), permettant la séparation des informations couleurs. Il existe deux grands types de géométrie, qui sont représentés par la Figure 1-3 et Figure 1-4.



Comme on peut s'en rendre compte sur les deux figures ci-dessus, les capteurs sont composés de deux fois plus d'éléments sensibles au rayonnement vert, que ceux sensibles au rouge ou au bleu. Car l'oeil humain est le plus sensible à cette plage de longueurs d'ondes (Cf. Figure 2-3). On retrouve ces proportions dans le codage des signaux de télévision, où le signal de luminance est obtenu à partir d'environ 60% du signal vert. Les autres 40% se répartissent de la manière suivante, 30% pour le signal rouge et 10% pour le signal bleu.

Le principal défaut de ce type de capteur est l'apparition d'aberration chromatique dans l'analyse de détails très fins. Comme le décrit la Figure 1-5, ce phénomène est dû à la juxtaposition du triplet RVB représentant ainsi un pixel non ponctuel.



Au lieu d'obtenir un point blanc, nous obtenons un point de couleur jaune. Le phénomène est encore plus visible, lorsqu'il s'agit d'un trait noir de faible épaisseur. Nous obtenons alors un trait dont la couleur passe successivement par le rouge, le vert et le bleu, en fonction de la géométrie du capteur.

Dans les applications nécessitant une précision dans l'analyse chromatique, ce problème devra être pris en compte.

#### 1.2.1.4 Les capteurs tri-CCD

Le capteur tri-CCD (Figure 1-6), est composé de trois matrices photosensibles, chacune recevant le même signal lumineux, mais ayant chacune un filtre coloré centré sur une longueur d'onde différente. Ce type de capteur présente une bien meilleure définition que les capteurs mono-CCD.



### 1.2.2 Augmentation de la quantité d'informations

La quantité d'information est directement reliée, à la fréquence d'échantillonnage, et bien sûr aux nombres de signaux a discrétiser. En vision couleur RVB, on triple le nombre de signaux.

La fréquence d'échantillonnage est la même pour chacun des signaux couleur RVB, car chacun d'eux comporte la même quantité d'information. Pour les caméras couleurs, la fréquence d'échantillonnage permettant d'obtenir des pixels carrés est d'environ 14 MHz.

Dans le cas des caméras mono-CCD, pour synthétiser un point couleur il faut trois pixels consécutifs. Ce qui se traduit alors par une diminution de résolution. Donc si on échantillonne pour obtenir des pixels carrés, on obtient automatiquement une redondance d'informations.

Si on travaille dans un système « luminance et chrominances », la quantité d'information contenue dans chacun des signaux n'est pas identique. Le maximum d'information se trouvant alors dans le signal de luminance.

C'est pourquoi, nous avons fait un compromis entre obtenir des pixels carrés, et limiter la redondance d'information. L'obtention de pixels non carrés, entraîne deux astreintes, la première, est le calcul des deux échelles, entre les directions horizontale et verticale. La seconde, est la déformation des images sur les systèmes ayant des pixels carrés (ex: ordinateur personnel). L'image est déformée dans le sens de la hauteur. Si nous posons, la valeur de l'échelle verticale à 1, alors l'échelle horizontale est:

 $Eh = \frac{Fs}{Fe}$  avec Fs : fréquence pixel de la caméra Fe : fréquence d'échantillonnage

### 1.3 Organisation générale du système de vision couleur développé au L.I.E.N.

Les traitements actuels, les plus rapides sont figés par une structure matérielle, alors que les systèmes à processeurs, plus souples sont encore trop lents. Dans les opérateurs de traitement, nous pouvons distinguer deux grands types, les traitements bas niveau, et les traitements haut niveau. Les premiers sont toujours disponibles dans la plupart des systèmes de vision. Mais en ce qui concerne les traitements de haut niveau, ceux qui permettent la prise de décision, ils sont encore trop dépendants de l'application envisagée.

L'architecture que nous avons retenue, est le support d'un système de vision couleur élaboré en partenariat avec la société EDIXIA (Rennes FRANCE).

Nous avons essayé d'obtenir le meilleur compromis entre, les fonctions matérielles permettant d'effectuer leurs tâches à la cadence du flot vidéo, et les fonctions logicielles du processeur pour l'exécution des opérateurs de haut niveau.



Le schéma fonctionnel du système de vision couleur que nous avons développé est représenté par la Figure 1-7. Il se compose de trois cartes au format VME double europe. La première carte est une carte processeur VME du marché à base d'un processeur Motorola 68020. Ensuite nous trouvons la carte IA512C, qui fait l'objet de cette thèse. Puis la carte IA512T (Annexe B) spécialisée dans les traitements sur le flot de données faisant l'objet de la thèse de M. J.P. IGERSHEIM. Ensuite nous trouvons comme interface, une caméra couleur RVB pour la prise de vue, un moniteur couleur pour l'affichage des images et différentes informations. Et pour finir, un certain nombre d'organes d'entrées sorties, permettant de relier le système à son environnement de travail.

Le système est conçu de telle manière, qu'il soit possible d'utiliser plusieurs cartes en parallèles pour les traitements des informations sur le flot de données.

### 1.4 Conclusions

Il n'est plus utile de prouver l'intérêt de l'image couleur dans l'industrie, la recherche etc... Le système RVB est un standard « technologique », il est obligatoirement en amont de toute chaîne d'acquisition (prise d'image), mais son utilisation n'est pas de la plus aisée quand il s'agit d'effectuer l'analyse d'image couleur. Donc pour simplifier les traitements ultérieurs on a recours à une transformation d'espace colorimétrique pour faciliter l'analyse et le traitement des images couleurs.

C'est pourquoi dans le chapitre suivant, nous allons aborder succinctement la colorimétrie, et passer en revue un certain nombre de ces espaces colorimétriques.

### Bibliographie

- [BAK89] D.C. BAKER, S.S. HWANG, and J.K. AGGARWAL, Detection and segmentation of man-made objects in outdoor scenes: concrete bridges, Journal of Optical Society of America A Vol6 N°6 1989 p938-950
- [BRU89] A. BRUN-BUISSON, V. LATTUATI, D. LEMOINE, Espaces colorimétriques discret: Application à la reconnaissance automatique de codes couleur, AIPAC 1989
- [EBI94] N. EBI, B. LAUTERBACH, and W. ANHEIER, An image analysis system for automatic data acquisition from colored scanned maps, Machine Vision and Application Vol7 N°3 1994 p148-164
- [GRA93] D.N. GRASSO, Application of IHS color transformation for 1:24000 scale geologic mapping: A low cost SPOT alternative, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol59 N°1 1993 p73-80
- [HED92] M. HEDLEY, H. YAN Segmentation of color images using spatial and color space information, Journal of Electronic Imaging Vol1 N°4 1992 p 374-380
- [IGE94] J.P. IGERSHEIM, S. WEBER, M. GRIMM, E. TISSERANT et G. PRIEUR, Système de traitement couleur HSI (en vue d'applications pour l'industrie), Conférence Adéquation Algorithmes Architecture, 20-21 janvier 1994 Grenoble France p29-36
- [LIU90] J.G. LIU, J. McM. MOORE, Hue image RGB colour composition. A simple technique to suppress shadow and enhance spectral signature, International Journal of Remote Sensing, Vol11 N°8 1990 p 1521-1530
- [LUI91] X. LUI, Analyse d'images couleurs en composantes indépendantes par réseaux de neurones, Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble 1991
- [PET92] P.E.H. PETERSEN and G.W. KRUTZ, Automatic identification of weed seeds by colour machine vision, Seed Science and Technologie Vol20 N°2 1992 p193-208
- [POS87] J. G. POSTAIRE, De l'image à la décision, Dunod informatique 1987
- [RAB88] G. RABATEL, Localisation de fruits en environnement naturel par segmentation d'images polychromes. Application à la réalisation d'un dispositif de localisation en temps réel pour la récolte robotisée de fruits fragiles, Thèse de l'Université de Bordeaux I 1988
- [RIO92] S. RION, Etude et réalisation d'un système de tri automatique d'épis de maïs en temps réel, par visionique, Thèse de l'Université de Nancy I 1993
- [STR93] N.J.C. STRACHAN, Recognition of fish species by colour and shape, Image and vision computing, Vol 11 N°1 1993 p2-9
- [THO90] C.E. THORPE, Vsion and Navigation, The Carnegie Mellon Navlab, Kluwer Academic Publishers 1990
- [UMB89] S.E. UMBAUCH, R.H. MOSS & W.V. SOEKER, Automatic color segmentation of image with application to detection of varietaged coloring in skin tumor, IEEE Engineering in Medecine and Biology Magazine 1989 p43-52

### 2. La couleur

### 2.1 Introduction

Les couleurs ne sont pas dans les corps colorés; pour qu'on voit un objet, il faut qu'il soit éclairé<sup>1</sup>.

La couleur, c'est la sensation que produit la lumière réfléchie par un objet. Cette sensation est captée par notre oeil, par l'intermédiaire de la rétine, puis est transmise au cerveau, qui en fait l'analyse. Il faut savoir que c'est BOYLE<sup>2</sup> qui en se basant sur des expériences avança l'hypothèse que la couleur était due à la lumière réfléchie par les objets. Beaucoup plus tôt EPICURE<sup>3</sup> remarqua que la coloration des objets variait, avec la lumière qui les éclaire. Contrairement à tout ce qui s'était pensé jusqu'alors, PYTHAGORE<sup>4</sup> supposait que les objets émettaient leurs propres lumières ou encore comme EMPEDOCLE<sup>5</sup>que c'était l'oeil lui même qui émettait cette lumière. C'est NEWTON<sup>6</sup> qui vînt confirmer l'hypothèse de BOYLE en décomposant la lumière blanche à travers un prisme en 1666; Il est à l'origine de la théorie dite « chromatique ». Il publia ses résultats dans son traité d'optique vers 1704 [UMB89].

Si vous demandez à plusieurs personnes de vous dire quelle est la couleur de telle ou telle chose, vous aurez à coup sur autant de réponses qu'il y a de personnes. Car pour l'oeil humain la couleur est plus une sensation qu'une grandeur physique. Ces écarts sont dus à l'état physiologique de chaque personne, à la distance et à l'orientation de l'objet par rapport à chaque personne, la vision se modifie également en fonction de l'âge par le jaunissement progressif du cristallin. C'est pour ces différentes raisons qu'il a fallu inventer un repère colorimétrique basé sur la réponse moyenne de l'oeil humain.

### 2.2 Fonctionnement de l'oeil

L'oeil fonctionne comme une caméra, ou devrait-on dire que les caméras et autres systèmes de prise de vue se sont inspirés du fonctionnement de l'oeil. Il se compose de quatre grandes parties. Voir Figure 2-1: Coupe sagittale du globe oculaire [BIN86].

La cornée (11), elle correspond à la partie la plus externe de l'oeil, mais on ne la voit pas, puisqu'elle est transparente. Associée à la chambre antérieure (9), elle se comporte comme une lentille convergente.

Le cristallin (10), qui joue le rôle d'une lentille biconvexe à courbure variable, il permet la mise au point de l'image juste sur la rétine (4). Devant celui-ci se trouve l'iris (12) qui fait office de diaphragme permettant de contrôler la quantité de lumière pénétrant dans l'oeil.

La rétine (4), c'est la partie neurosensorielle de l'oeil, mais avant que la lumière n'y parvienne, elle doit traverser le corps vitré (1), qui est la chambre noire de l'oeil. C'est une mince couche qui tapisse le fond de l'oeil. On y trouve deux zones d'aspects totalement différents. La papille, est une tache circulaire d'environ 1.5 mm, qui correspond au début du nerf optique (5), c'est la zone aveugle du champ visuel. Puis la macula, elle se présente comme une dépression de couleur jaune exactement au pôle postérieur de l'oeil, les photorécepteurs

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> J.J. ROUSSEAU

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Physicien et chimiste anglais 1627-1691

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Philosophe grec 341-270 avant J.C.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Philosophe grec du VI° siècle avant J.C.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Philosophe et géomètre 490-430 avant J.C.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Savant anglais 1642-1727

du centre sont exclusivement des cônes, ceux qui assurent la vision photopique ou diurne. Ils sont 1000 fois moins sensibles que les bâtonnets, mais assurent la vision des couleurs. Il existe trois types de cônes [LIU91] ayant chacun une sensibilité spectrale différente qui présentent respectivement un maximum dans le bleu (450 nm), le vert (530 nm) et le rouge-orange (625 nm) [UMB89]. Le reste de la surface rétinienne, dont les photorécepteurs sont des cônes et des bâtonnets, est responsable de la perception du champ visuel. La rétine est composée d'environ 130 millions de bâtonnets pour 6 millions et demi de cônes.

Le nerf optique (5), il permet de véhiculer les informations captées et codées par la rétine jusqu'au cerveau.



#### 2.2.1 Sensibilité de l'oeil

La sensibilité de l'oeil n'est pas constante, puisqu'en fonction de la plage de couleur que l'on observe, il s'adapte pour avoir toujours un maximum de sensibilité. C'est à dire que lorsque l'on observe une scène multicolore, l'oeil ne peut plus différencier les différentes nuances d'une même couleur. Par contre, lorsque l'on observe toutes une série de nuances d'une même couleur, alors il peut les différencier. Il peut discerner plus d'une centaine de teintes différentes, ainsi que plus d'une centaine de niveaux de gris différents, mais seulement une vingtaine de niveaux de saturation [LUO90].

Le rayonnement pénétrant dans l'oeil produit une sensation lumineuse pour les longueurs d'ondes comprises entre 380 et 780 nm. Ce qui ne représente qu'une infime partie du spectre électromagnétique. Voir Figure 2-2 : Spectre électromagnétique



### 2.2.2 Efficacité lumineuse

Pour que tout le monde utilise les mêmes échelles, et les mêmes grandeurs physiques pour représenter la sensibilité chromatique de l'oeil, la Commission Internationales de l'Eclairage (CIE) a défini en 1924 une courbe moyenne normalisée qui correspond à la sensibilité chromatique d'un observateur fictif dit de « référence » (Figure 2-3) [COR90].



Comme on peut le voir sur la Figure 2-3, la sensibilité chromatique de l'oeil dépend de la longueur d'onde et du taux d'éclairement. En vision dite « photopique » (éclairement normal), le maximum de sensibilité est atteint pour la lumière jaune-verte et l'oeil discerne toutes les couleurs de l'arc en ciel. A faible éclairement (<0,1 Lux), la courbe se décale vers les longueurs d'onde plus faibles (vers le bleu), on parle de vision « scotopique ». La différenciation chromatique devient alors mal aisée.

### 2.3 Bases de la colorimétrie

Depuis la décomposition de la lumière blanche par le prisme, les savants n'ont cessé de vouloir comprendre ce phénomène. Enfin de compte la vision dite colorée repose sur un système à trois composantes indépendantes, qui a été confirmée par l'étude physiologique de la rétine. Expérimentalement, on utilise quatre flux lumineux (A, B, C et D) fixes en teinte, mais variables en intensité. Ce qui a conduit aux lois fondamentales de la colorimétrie. La source A éclaire une partie d'un écran blanc. L'expérience consiste à régler en intensité lumineuse,

chacune des trois autres sources pour obtenir la même sensation colorée (en teinte et en intensité) que la source A.

Donc, on peut donner une forme mathématique au résultat que nous venons d'obtenir.

|A| = |B| + |C| + |D|

C'est à partir de ce type d'essais que plusieurs savants dont GRASSMAN vers 1880, ont établi les principes de la colorimétrie.

#### 2.3.1 Première loi de GRASSMAN

En vue de caractériser une couleur psychophysique, trois variables indépendantes sont nécessaires et suffisantes.

Cette loi exprime la trichromie de la vision colorée. De plus, elle traduit l'expérience d'égalisation des couleurs, où les trois sources B, C et D jouent le rôle de variables indépendantes. La quatrième couleur A est caractérisée par le fait qu'il existe toujours une combinaison additive des trois sources indépendantes permettant d'obtenir l'isochromie.

On n'obtient pas toutes les couleurs de cette manière. Dans un certain nombre de cas, on associe une ou plusieurs sources B, C et D avec A pour obtenir l'isochromie. L'interprétation mathématique devient alors :

|A| + |D| = |B| + |C| ce qui donne |A| = |B| + |C| - |D|

Ce qui n'est plus réalisable avec la synthèse additive des couleurs, puisqu'il faudrait une intensité lumineuse négative.

#### 2.3.2 Deuxième loi de GRASSMAN

Dans un mélange additif de couleurs, ce sont les couleurs psychophysiques qui sont significatives, et non leur composition spectrale.

Cette loi introduit la notion d'additivité.

Si deux couleurs sont obtenues séparément par addition de trois autres :

$$|\mathbf{A}| = |\mathbf{B}_1| + |\mathbf{C}_1| + |\mathbf{D}_1|$$
 et  $|\mathbf{E}| = |\mathbf{B}_2| + |\mathbf{C}_2| + |\mathbf{D}_2|$ 

alors la somme de A et E est obtenue par la somme des composantes :

$$|\mathbf{A}| + |\mathbf{E}| = |\mathbf{B}_1| + |\mathbf{C}_1| + |\mathbf{D}_1| + |\mathbf{B}_2| + |\mathbf{C}_2| + |\mathbf{D}_2|$$

### 2.3.3 Troisième loi de GRASSMAN

Si dans un mélange de stimuli de couleurs les composantes sont graduellement modifiées dans un même rapport, la couleur psychovisuelle résultante sera graduellement modifiée dans le même rapport.

Cette loi exprime la notion de linéarité de la sensation .

Si A est obtenu par le mélange suivant :

$$|A| = |B| + |C| + |D|$$

alors la somme de ces composantes multipliée par k donne :

 $\mathbf{k}|\mathbf{A}| = \mathbf{k}|\mathbf{B}| + \mathbf{k}|\mathbf{C}| + \mathbf{k}|\mathbf{D}|$ 

### 2.4 Synthèse des couleurs

Elle est basée sur le principe de la théorie de la vision trichromatique, ou toute couleur peut être obtenue à partir de trois couleurs primaires. Il existe deux synthèses de reproduction :

La synthèse additive. Exemple la télévision, les 3 primaires sont le rouge, le vert et le bleu et les 3 secondaires sont le magenta, le jaune et le cyan. Figure 2-4.

La synthèse soustractive. Exemple l'imprimerie, les trois primaires sont le cyan, le magenta et le jaune. Figure 2-5



### 2.4.1 Synthèse additive

Considérons comme couleurs primaires, les couleurs rouge (700 nm), le vert (546,1 nm) et le bleu (435,8 nm). En faisant varier les intensités lumineuses de chacune de ces trois sources, entre 0 et 100%, et en reportant le résultat dans un triangle, nous obtenons la Figure 2-6, appelé triangle des couleurs, triangle R, V, B ou encore triangle de MAXWELL<sup>7</sup>.

Une couleur quelconque peut alors être représentée, par la somme d'une partie des trois primaires. La couleur A (Figure 2-6) est la somme de 90% de la primaire verte plus 5% de la primaire rouge, et pour finir 5% de la primaire bleue. La couleur du centre du triangle point W se trouve à l'intersection des trois hauteurs du triangle, ou le pourcentage de chacune des trois primaires est égal à 33%, elle représente la couleur blanche ou monochrome. Comme la somme des trois primaires vaut 1, il suffit alors de connaître seulement deux pourcentages, pour déterminer la valeur du dernier.

$$r = \frac{R}{R+V+B}$$
  $v = \frac{V}{R+V+B}$   $b = \frac{B}{R+V+B}$ 

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Physicien anglais 1831-1879



Pour le mélange additif, les lumières colorées, qui pénètrent dans l'oeil sont soit superposées, soit juxtaposées, ou encore présentées successivement. Le mélange additif proprement dit des rayonnements colorés s'effectuant au niveau rétinien. Il peut être obtenu de trois façons différentes :

 Par superposition sur une même plage rétinienne. C'est le cas de lumières colorées provenant de différentes lampes, projetées en même temps sur un écran que l'oeil regarde.

 Les flux lumineux sont projetés sur des zones rétiniennes contiguës, mais celles-ci sont suffisamment petites, pour ne pas être perçues séparément. C'est le cas des écrans couleurs des postes de télévision.

3. Différentes lumières colorées sont projetées successivement, et rapidement, ce qui permet de ne voir que la combinaison résultante des ces différentes sources colorées. C'est le cas du disque coloré comportant plusieurs secteurs de différentes couleurs, si le disque tourne suffisamment vite, alors l'oeil ne perçoit plus les différentes couleurs.

#### 2.4.2 Synthèse soustractive

Dans le cas du mélange soustractif, la lumière est modifiée par la matière avant de pénétrer dans l'oeil. Au niveau du matériau, une partie du spectre émis par la source colorée est absorbé. C'est le cas des filtres colorés, liquides ou solides qui absorbe une gamme du spectre. Chacun des constituants absorbe une partie des radiations lumineuses.

#### 2.4.3 Comparaisons

Dans la synthèse additive, le noir correspond à une absence de lumière, et le blanc a la présence des trois composantes de bases. Par contre, en synthèse soustractive c'est l'absence des trois composantes qui permet d'obtenir le blanc, et la présence des trois qui permet d'obtenir le noir. Un mélange additif de lumières colorées verte et rouge donne du jaune, tandis que le même mélange soustractif de pigments vert et rouge donne un brun noirâtre. Un autre

0,1

mélange additif de lumières colorées jaune et bleue donne une lumière proche du blanc, et le mélange de pigments jaune et bleu fournit du vert.

### 2.5 Systèmes colorimétriques RVB

### 2.5.1 Primaires réelles

En 1931, la CIE a normalisé le système RVB basé sur des primaires réelles, constituées par des lumières monochromatiques de longueur d'onde :

- 1. Pour le rouge :  $\lambda = 700 \text{ nm}$
- 2. Pour le vert :  $\lambda = 546,1$  nm
- 3. Pour le bleu :  $\lambda = 435,8$  nm

La Figure 2-7 nous montre les coordonnées trichromatiques  $r(\lambda)$ ,  $v(\lambda)$  et  $b(\lambda)$  définis à partir des fonctions colorimétriques du système RVB de la CIE.





La Figure 2-8 nous présente les fonctions  $r(\lambda)$ ,  $v(\lambda)$  et  $b(\lambda)$  d'un observateur dit de « référence » défini pour le système RVB de la CIE.

#### 2.5.2 Primaires irréelles

Comme on peut le voir sur la Figure 2-7, certaines couleurs ont des stimuli négatifs. Cela représente un problème lors des calculs, c'est pourquoi il a été préférable de définir de nouvelles primaires qui soient irréelles, parfaitement définies au niveau mathématique par rapport à des primaires réelles qui se trouvent à l'extérieur du lieu spectral et de la droite des pourpres (Droite reliant le point R au point B Figure 2-9).

Sur toute la partie à gauche de l'axe v, on ne peut pas représenter les couleurs par synthèse additive, puisque r et v sont négatives. La courbe en rouge est appelée le « spectrum locus ».



### 2.6 Systèmes colorimétrique de la CIE

### 2.6.1 Observateur de référence XYZ CIE 1931

Pour que la colorimétrie soit précise, il est nécessaire de convenir d'un sujet fictif, ou observateur de référence, dont la vision des couleurs est parfaitement définie. Cet observateur se rapproche de la moyenne des sujets réels, normaux et jeunes ayant participé aux expériences d'égalisations colorées de WRIGHT et de GUILD (1929-1931).

A partir du système RVB à primaires réelles monochromatiques définies par la CIE en 1931 a été recommandé un système international de colorimétrie, le système XYZ à primaires irréelles. Les nouvelles composantes trichromatiques X, Y et Z sont obtenues à partir d'équations linéaires. Comme pour les coordonnées trichromatiques RVB, la CIE a défini les coordonnées trichromatiques XYZ de référence Figure 2-10.



Les fonctions colorimétriques  $\overline{x}$ ,  $\overline{y}$ ,  $\overline{z}$  Figure 2-11 se déduisent des fonctions colorimétriques  $\overline{r}$ ,  $\overline{v}$ ,  $\overline{b}$  Figure 2-8 calculées pour l'observateur de référence CIE 1931.

Comme le montre la Figure 2-10, tous les stimuli sont maintenant positifs quel que soit la longueur d'onde spécifiée.

Les fonctions de transfert entre les fonctions colorimétriques du système RVB et celle du système XYZ sont données dans l'équation 2-1. De plus, il faut multiplier chacune des nouvelles fonctions par un facteur identique valant 5,649.

En pratique, le système XYZ est devenu le système de base pour les applications colorimétriques, et en particulier le diagramme de chromaticité (xy). Voir Figure 2-12.

26

$$\overline{\mathbf{x}} = 0,490^*\overline{\mathbf{r}} + 0,310^*\overline{\mathbf{v}} + 0,200^*b$$
$$\overline{\mathbf{y}} = 0,177^*\overline{\mathbf{r}} + 0,812^*\overline{\mathbf{v}} + 0,011^*\overline{\mathbf{b}}$$
$$\overline{\mathbf{z}} = 0,000^*\overline{\mathbf{r}} + 0,010^*\overline{\mathbf{v}} + 0,990^*\overline{\mathbf{b}}$$

équation 2-1



### 2.6.2 Diagrammes chromatiques uniformes

#### 2.6.2.1 Transformation UCS CIE 1960 en u, v

En 1960 la CIE a retenu un diagramme chromatique uniforme, basé sur la transformation des coordonnées x, y en coordonnées u, v.(équation 2-2)



De même les coordonnées colorimétriques u, v peuvent être déduites des composantes trichromatiques U, V et W (équation 2-3). Ces composantes trichromatiques sont obtenues à partir de l'équation 2-4.

$$U = \frac{2X}{3} \qquad V = Y \qquad W = \frac{-X + 3Y + Z}{2} \qquad équation 2-4$$

La Figure 2-13 représente le diagramme chromatique de ce nouvel espace.



### 2.6.2.2 Transformation UCS CIE 1976 en u', v'

Ce nouveau système colorimétrique (Figure 2-14), basé sur le système uniforme u, v CIE 1960, a été calculé pour améliorer le calcul des écarts chromatique. Les nouvelles équations sont données : équation 2-5.



Ce qui a pour objet d'amplifier la composante v' par rapport à la composante v, et d'obtenir pratiquement les mêmes variations sur les deux axes.

$$u' = u = \frac{4x}{12y-2x+3}$$
  
 $v' = 1,5v = \frac{9y}{12y-2x+3}$  équation 2-5

#### 2.6.2.3 Diagramme uniforme de MAC ADAM

Après de nouveaux tests, Mac Adam a proposé en 1971 une autre transformée non linéaire à partir des fonctions colorimétriques x, y et z de la CIE.

La transformation de Mac Adam est la suivante :

$$a = \frac{10x}{2,4x+34y+1} \qquad b = \frac{10y}{2,4x+34y+1} \qquad c = \frac{10x}{4,2y-x+1} \qquad d = \frac{10y}{4,2y-x+1}$$
  
$$\zeta = 3751a^2 - 10a^4 - 520b^2 + 13295b^3 + 32327ab - 25491a^2b - 41672ab^2 + 10a^3b - 5227\sqrt{a} + 2952\sqrt[4]{a}$$
  
$$\eta = 404d - 185d^3 + 69c(1-d^2) - 3c^2d + 30cd^2$$

Ce qui permet d'avoir un minimum de teintes intermédiaires entre deux couleurs dans ce diagramme de chromaticité.

#### 2.6.3 Espaces approximativement uniformes

#### 2.6.3.1 Espace W\*, u\*, v\* CIE 1964

Cet espace est déduit de l'espace Y, u et v de la CIE 1960. Les trois axes ont pour origine le « blanc de référence » de coordonnées  $u_0$  et  $v_0$  dans le diagramme u, v, et la valeur  $Y_0 = 100$ .

$$W^*=25\sqrt[3]{Y}-17$$
  
 $U^*=13W^*(u-u_0)$   
 $V^*=13W^*(v-v_0)$ 

#### 2.6.3.2 Espace L\*, u\*, v\* CIE 1976

Cet espace est déduit de l'espace de 1964, appelé CIELUV. Les trois axes ont pour origine la couleur achrome de coordonnées  $u_0$ ,  $v_0$  et  $Y_0$  produite par la réflexion d'un objet blanc spécifié.

$$L^{*} = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_{0}}} - 16$$
$$u^{*} = 13L^{*}(u^{'} - u^{'}_{0})$$
$$v^{*} = 13L^{*}(v^{'} - v^{'}_{0})$$

#### 2.6.3.3 Espace L\*, a\*, b\* CIE 1976

Un autre espace appelé CIELAB a été défini par la CIE en 1960. Il est basé sur les composantes trichromatiques XYZ définis par la CIE en 1931, avec pour origine le point achrome de composantes  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  et de luminance  $Y_0$  produite par la réflexion d'un objet blanc spécifié. Il est utilisé dans les colorimètres, car il présente une meilleure uniformité par rapport à l'espace CIELUV [OHT80].

Les coordonnées sont :

$$L^{*} = 116\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_{0}}} - 16$$
  
a\* = 500(\frac{3}{X} - \text{X}\_{0}} - \frac{3}{Y} - \text{Y}\_{0})  
b\* = 500(\frac{3}{Y} - \text{Y}\_{0}} - \frac{3}{Z} - \text{Z}\_{0})

### 2.7 Espace chromatique de MUNSELL

Albert H. MUNSELL a mis au point vers 1905 un système de notation des couleurs de surface basé sur trois critères séparément mesurables, qui sont :

- 1. La teinte (HUE) (H)
- 2. La luminosité (VALUE) (V)
- 3. La saturation (CHROMA) (C)

En 1918, il fondait la Munsell Color Co qui fabrique et commercialise des échantillons de couleurs.

#### 2.7.1 Les teintes

Le plan des teintes (H) correspond à des teintes principales qui sont :

Le rouge R
 Le jaune Y
 Le vert G
 Le bleu B
 Le pourpre P
 Le teintes intermédia

Ainsi que les teintes intermédiaires, utilisant les deux initiales des teintes principales voisines. Et pour finir, les teintes complémentaires associant un chiffre dans un ordre déterminé de part et d'autre des teintes principales et intermédiaires. Cet ensemble correspondant à 100 teintes réparties sur un cercle fermé.

#### 2.7.2 La luminosité

Pour chaque teinte il a associé une valeur de luminosité (V) dont le rapport est fonction de la réflexion globale de la surface. Le code numérique ainsi associé peut prendre les valeurs entre 0 (luminosité nulle) et 10 (luminosité maximale).

### 2.7.3 La saturation

Pour chaque valeur de teinte et de luminosité, une plage de variation de la saturation a été établie. Ces variations sont toutes des multiples de 2 variant de 0 pour une teinte achrome à une valeur maximale qui n'a pas été limitée, elle dépend seulement de la réalisation possible de l'échantillon.

# 2.8 Espace HSI<sup>8</sup> ou TSL<sup>9</sup>

Le système de coordonnées HSI est un système de coordonnées cylindriques dans l'espace des couleurs. La luminance est l'axe de ce cylindre, la saturation est la distance radiale séparant l'axe du cylindre avec la teinte considérée, et pour finir la teinte qui un est déplacement angulaire par rapport à une teinte donnée comme référence Figure 2-15.

### 2.8.1 Définitions

Dans ce système il ne faut pas confondre différents termes. La couleur est la combinaison des trois paramètres HSI. Par contre, dans le langage courant la couleur définie plutôt la teinte comme définie ci après.



#### 2.8.1.1 La teinte

C'est ce qui correspond à la longueur d'onde dominante réfléchie par un objet. Dans le vocabulaire de la vis courante, c'est le rouge ou le vert ou encore le jaune etc.

#### 2.8.1.2 La saturation

C'est le degré de pureté d'une couleur, déterminée en générale par la fraction de couleur blanche contenue dans le rayonnement. Elle indique comment la couleur se rapproche plus ou moins de la couleur pure associée.

#### 2.8.1.3 La luminance

Elle correspond à la quantité d'intensité lumineuse rayonnée par l'objet. Elle se traduit par les expressions claire, foncée etc.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup>Hue Saturation and Intensity

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup>Teinte Saturation et Luminance

#### 2.8.2 Equations

Il existe une infinité de solution pour obtenir la teinte puisqu'elle correspond à un angle et que dans ce cas, il faut une origine pour calculer cet angle. Donc, nous ne donnons ici qu'une formule générale permettant de calculer H. Dans la plupart des ouvrages, c'est la teinte rouge qui est utilisée comme origine [PRA78].

Avec Cx et Cy étant les axes du plan de chrominance. Ils sont calculés de telle manière que le plan de chrominance et l'axe d'intensité soient perpendiculaires. Ils s'obtiennent par transformations linéaires à partir de R, V et B.

$$H=atn\left(\frac{Cy}{Cx}\right)$$

$$S=1-\frac{3*min(R,V,B)}{R+V+B} \qquad I=\frac{R+V+B}{3}$$

### 2.9 Conclusions

Ce chapitre n'a pas la vocation de faire le tour de tous les espaces colorimétriques existants, mais de donner une idée du nombre, et des différences entre chaque.

De tous les espaces colorimétriques couramment utilisés, l'espace de MUNSELL est celui qui fournit une représentation simplifiée des couleurs au sens de la perception humaine [UMB89]. L'ensemble des échantillons calibrés que fournit cet espace, le destine à la comparaison très précise des couleurs. Mais il n'existe pas de relations correctes le liant avec l'espace RVB [TOM91].

La représentation psychovisuelle HSI, propose une décomposition naturelle des couleurs selon des attributs humainement perceptibles, ce qui la rend particulièrement avantageuse pour l'identification des couleurs. C'est l'un des modes de représentation le mieux adapté dans l'analyse de scènes extérieures (luminosité changeante). Car ce système possède des propriétés intéressantes, dont l'indépendance de la teinte et de la saturation [LUO90] [PER94]. Ce qui n'est pas l'avis de X. LIU [LIU91] qui trouve une augmentation de la corrélation des paramètres HSI par rapport aux paramètres RVB.

Un autre grand domaine de l'utilisation des couleurs est la reprographie au sens large du terme, ou le choix de l'espace colorimétrique est très important, que ce soit pour la visualisation, le stockage, la transmission ou l'impression des informations couleurs [KAS92].

### Bibliographie

- [BIN86] J. BINDEFELD, L'univers médico-chirurgical, l'ophtalmologie 1986 p133-140
- [COR90] F. CORNO-MARTIN, Technique de l'ingénieur, La colorimétrie 1990 p R6440-1R6442-3
- [KAS92] J.M. KASSON, W. PLOUFFE, An analysis of selected computer interchange color spaces, ACM Transaction on Graphics, Vol 11 N°4 october 1992 p373-405
- [LIU91] X. LIU, Analyse d'images couleurs en composantes indépendantes par réseau de neurones, Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble 1991
- [LUO90] Q.T. LUONG, La couleur en vision par ordinateur : une revue, Traitement du Signal, Vol 8 nº1 France 1990
- [OHT80] Y. OHTA, T. KANADE and T. SAKAI, Color information for region segmentation, Computer Graphic for Image Pocessing Vol13 1980 p 222-241
- [PER94] F. PEREZ and C. KOCH, Toward color image segmentation in analog VLSI: Algorithm and hardware, International Journal of Computer Vision Vol12 N°1 1994 p 17-42
- [PRA78] W. PRATT, Digital image processing, John WILEY and Sons 1978
- [TOM91] H. TOMIYASU, S. NISHIO, A study of image segmentation using a perceptual color system, SPIE Vol 1607, Intelligent Robots and Computer Vision X : Algorithms and technique 1991 p348-357
- [UMB89] S.E. UMBAUCH, R.H. MOSS & W.V. SOECKER, Automatic color segmentation of image with application to detection of varietaged coloring in skin tumor, IEEE Engineering in Medecine and Biology Magazine 1989 p43-52

# 3. Limites de la transformation numérique RVB -> HSI

### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier comment se déforme la surface de coupe du cube RVB, en fonction de l'intensité. Ce qui nous permettra par la suite d'étudier la répartition des différentes couleurs. Mais avant cela nous devons calculer comment s'échelonnent les différentes couleurs en fonction de l'axe d'intensité.

### 3.2 Aspect mathématique

### 3.2.1 Calcul de H

Comme je l'ai indiqué dans le chapitre précédent, on peut obtenir une infinité d'espace HSI. Nous avons choisi le bleu comme teinte de référence, soit à zéro degré. Et en tournant dans le sens trigonométrique, on trouve le rouge à 120 degrés, puis le vert à 240 degrés. Ce qui donne les deux équations suivantes pour CX et CY :

$$CX = \frac{2*B - R - V}{2}$$
  $CY = \frac{\sqrt{3}}{2}*(R - V)$ 

Ce matriçage que l'on réalise, effectue une rotation du cube RVB, sans le déformer, comme



le montre la Figure 3-1. En opposition avec la transformation Y, R-Y et B-Y [KEM90], [CRU89].

La position angulaire ou la teinte se détermine selon les deux formules suivantes :

$$H = ACOS\left(\frac{CX}{\sqrt{CX^{2} + CY^{2}}}\right) \quad H = ATAN\left(\frac{CY}{CX}\right)$$

### 3.2.2 Calcul de S

La saturation correspond à la quantité de lumière blanche contenue dans la lumière reçue. La formule est la suivante :

$$S = 1 - \frac{3*Min(R,V,B)}{R+V+B}$$

### 3.2.3 Calcul de I

I représente la quantité de lumière reçue, elle correspond à la somme algébrique des couleurs R, V et B :

$$I = \frac{R + V + B}{3}$$

I correspond à la projection du point de la couleur considérée sur la diagonale principale du cube.

### 3.2.4 Représentation du cube RVB dans le repère CX, CY et I

Les figures suivantes représentent des coupes du cube suivant le plan (CX, CY), à différentes intensités. La Figure 3-2 correspond à une intensité de 33%, la Figure 3-3 à une intensité de 50%, puis enfin la Figure 3-4 à 66%.

#### 3.2.4.1 A 33% d'intensité



La Figure 3-2 correspond au triangle dit de « Maxwell ». On peut y voir également la répartition des couleurs pour cette intensité.

### 3.2.4.2 A 50% d'intensité

Sur la Figure 3-3 le plan de coupe correspond à un hexagone parfait. C'est pour cette valeur de l'intensité que l'on obtient la surface de coupe maximale.

Sur la figure ci-dessus les six pointes de l'hexagone ne correspondent ni aux couleurs primaires, ni aux couleurs secondaires, mais aux couleurs intermédiaires de ces deux dernières.



### 3.2.4.3 A 66% d'intensité

Sur la Figure 3-4 on peut observer la coupe du cube RVB à 66% d'intensité, ainsi que la répartition des couleurs pour cette intensité. Comme pour la Figure 3-2, la forme de la coupe est un triangle équilatéral, mais ce sont les couleurs secondaires qui en forment les sommets.


# 3.3 Répartition des couleurs en fonction de l'intensité

# 3.3.1 Analyse mathématique de la courbe

La Figure 3-5 donne la répartition des couleurs en fonction de l'intensité. Chacune des variables R, V et B a été quantifiées sur 8 bits, ce qui donne une intensité pouvant prendre 766 valeurs différentes de 0 à 765. Comme on peut le voir sur cette figure, le maximum de couleurs discernables se trouve bien lorsque la surface de coupe du cube est maximale, soit à une intensité de 50% de I, ce maximum valant 49152.



### 3.3.1.1 De 0 à 33% d'intensité

Jusqu'à la valeur de 33%, la courbe correspond à une progression arithmétique de la forme suivante :

 $Nb_i = Nb_{i-1} + i + 1$  avec  $Nb_0 = 1$  et i variant de 1 à 255

Cette équation correspond à la croissance d'un triangle équilatéral dont on fait croître la base, comme le montre la Figure 3-6.



# 3.3.1.2 De 33% à 66% d'intensité

Puis de 33 à 66 %, on a encore une progression arithmétique mais les pointes du triangle Figure 3-7 sont entamées.



### 3.3.1.3 De 66 à 100% d'intensité

A partir de 66 % on reprend les variations de 0 à 33 % dans le sens inverse. C'est ce que montre la Figure 3-8.





Note : Pour une meilleure lisibilité des dessins, la valeur maximale des composantes est limitée à 4.

# 3.4 Répartition des couleurs fonction du format de discrétisation

En numérisant R, V et B sur 8 bits, le nombre de couleurs disponibles en fonction du nombre de bits sur H et S est donné sur la Figure 3-9. La quantification de I sur 10 bits, permet d'obtenir tous les plans chromatiques existants. Avec 10 bits pour H et S le nombre de couleurs disponibles correspond à 99 % du nombre total des couleurs, soit 16 millions. Pour obtenir les 100 % il faut calculer H sur 11 bits. Pour chacun des 766 plans chromatiques existants dans le repère RVB, nous avons calculé les paramètres HSI, puis nous avons déterminé pour chacun de ces plans, le nombre de couleurs différentes existantes. Il ne restait plus qu'à faire varier le nombre de bits sur H et S, afin d'obtenir l'égalité du nombre de couleurs entre RVB et HSI, dans chaque plan chromatique.

La société DATA TRANSLATION commercialise un circuit<sup>1</sup> qui permet de calculer à partir de R, V et B sur 8 bits, H, S et I sur 10 bits. Le modèle de transformation est similaire au notre, seul change la teinte de référence (0°),qui dans ce cas est le rouge [KAY92]. Le circuit réalise directement les trois équations suivantes.

$$3I=R+V+B$$

$$S=1-\frac{min(RVB)}{I}$$

$$F=\frac{2*R-V-B}{V-B}$$

En plus du circuit il faut associer deux tables de transcodage. La première LUT permet d'obtenir I à partir de 31, la seconde H à partir de F.

Quelques années auparavant un premier convertisseur RVB HSI avait été réalisé, en partant de RVB sur 6 bits, on obtenait HSI sur 8 bits. Il était réalisé par l'intermédiaire d'une RAM de 256K x 24 bits [MAS88].

# 3.4.1 Analyse avec une quantification de I sur 10 bits



Comme nous pouvons l'observer sur la figure ci-dessus, les pertes d'informations pour l'espace à 10 bits sont comprises entre 25 et 50% d'intensité. De plus le nombre maximum de couleurs discernables se déplace légèrement de 50% pour l'espace total, jusqu'à 52% pour l'espace à 8 bits.

<sup>1</sup> DT7910

# 3.4.2 Analyse avec une quantification de I sur 8 bits

Le rendement diminue encore lorsque l'on ne prend plus que 8 bits pour I, il n'est plus que de 34 % Figure 3-10, on peut voir que le nombre de couleurs à une valeur d'intensité n'a pas augmenté proportionnellement avec la diminution de I. On augmente simplement la redondance de points. De plus la courbe n'est plus lisse, on peut y apercevoir de nombreuses irrégularités, surtout dans la partie comprise entre 25 et 50% d'intensité, plage qui correspond à la perte d'information de l'espace à 10 bits.



### 3.4.3 Récapitulatif

Le Tableau 3-1 donne les différents rendements en fonction du nombre de bits sur H, S et I. Le rendement est calculé entre le nombre de couleurs existant en fonction du nombre de bits utilisés et du nombre total de couleurs lorsque R, V et B sont quantifiés sur 8 bits.

Н	S	I	Rendement
8	8	8	34%
8	8	10	57%
9	9	10	86%
10	10	10	99%
11	10	10	100%

Tableau 3-1 : Récapitulatif des différents résultats

# 3.5 Analyse de la répartition à intensité constante

Pour limiter le nombre de graphiques, nous avons choisi trois valeurs d'intensité, 33, 50 et 66%, qui correspondent aux différentes coupes du cube représentées au § 3.2.4. Pour chacune d'elles nous avons calculé les histogrammes de H et S pour une quantification de I sur 10 bits puis sur 8 bits. La quantification sur 10 bits pour I correspond au nombre maximal de plans chromatiques existant.

### 3.5.1 Analyse à 33% d'intensité

La surface engendrée par la coupe du cube RVB, correspond à un triangle équilatéral, dont les sommets sont le bleu, le rouge et le vert. La Figure 3-11 correspond à l'histogramme de H pour une quantification de I sur 10 bits.

#### 3.5.1.1 Histogrammes de la teinte

L'histogramme n'est pas constant, on y trouve 3 maxima, ainsi que trois minima. Les maxima se rencontrent pour les teintes primaires, le bleu, le rouge et le vert. Les minima eux se rencontrent pour les teintes secondaires, le magenta, le jaune et le cyan. Pour chacune des teintes secondaires et de part et d'autre on y trouve une discontinuité qui est due à la quantification des signaux R, V et B, problèmes mis en évidence par KENDER [KEN76]. La forme de l'histogramme est directement liée à la surface étudiée. Lorsque l'on considère les couleurs primaires, nous nous trouvons dans les pointes du triangle, contrairement aux teintes secondaires qui se situent sur les médianes du triangle, d'où un nombre de points plus faible.



Lorsque l'on diminue le nombre de bits de numérisation de 10 à 8 pour I, alors on réduit les erreurs de quantification sur l'histogramme de H, autour des teintes secondaires qui se trouvent à 16, 50 et 84% Figure 3-12, mais on augmente les discontinuités pour les couleurs secondaires.



### 3.5.1.2 Histogrammes de la saturation

Après l'analyse de H, on s'intéresse aux variations de la saturation. Comme on peut le voir sur les deux figures suivantes, les histogrammes ne sont pas continus.

Sur la Figure 3-13 l'histogramme ne comporte qu'un point sur trois, avec une densité d'apparition fonction de la valeur de la saturation. Plus on s'éloigne du centre du triangle, plus le nombre de point ayant la même saturation augmente. A saturation constante, on se trouve sur des triangles centrés sur le monochrome.



Par contre sur la Figure 3-14, l'histogramme est continu et la densité d'apparition est fonction de S jusqu'à 50%. Puis à partir de cette valeur on retrouve seulement un point sur trois, comme dans le cas précédent. Jusqu'à 50% de saturation, les variations du calcul du rapport entre le minimum et I sont suffisamment faibles pour qu'une quantification sur 8 bits permette d'avoir toutes les valeurs de S.



# 3.5.2 Analyse à 50% d'intensité

Sur les deux figures suivantes nous avons les histogrammes de H, le premier pour une quantification de I sur 10 bits, et le suivant pour une quantification de I sur seulement 8 bits.

#### 3.5.2.1 Histogrammes de la teinte

Sur la Figure 3-15 nous pouvons voir six pointes correspondant aux six pointes de l'hexagone de la Figure 3-3, ainsi que six minima correspondants aux couleurs primaires et secondaires. Pour trois de ces six minima, on trouve une importante discontinuité. Elles correspondent aux trois couleurs secondaires.



Sur la Figure 3-16, on retrouve les six sommets, ainsi que les six vallées, comme sur la figure précédente. On observe une augmentation de l'écart entre les pics et les vallées, ainsi que pour les trois discontinuités.



### 3.5.2.2 Histogrammes de la saturation

Sur les deux figures suivantes nous avons, représenté les histogrammes de S pour une quantification de I sur 10 puis sur 8 bits.

Sur la Figure 3-17 nous pouvons observer une progression linéaire de la saturation jusqu'à 50%, puis une régression. Le maximum ne se situe plus à 100% puisque nous ne pouvons plus obtenir une saturation de 100% pour toutes les couleurs. La densité d'apparition des points est toujours d'un sur trois.



Sur la Figure 3-18 nous retrouvons comme sur la figure précédente, les deux pentes, avec une discontinuité à 70%. Jusqu'à cette valeur l'histogramme est continu, puis à partir de 70% nous n'obtenons plus qu'un point sur deux.



# 3.5.3 Analyse à 66% d'intensité

Sur les deux figures suivantes nous avons reproduit les histogrammes de H, pour une quantification de I sur 10 puis 8 bits.

### 3.5.3.1 Histogrammes de la teinte

Sur la Figure 3-19, nous pouvons examiner sur cet histogramme la présence de trois pics et de trois vallées, comme pour les histogrammes du §3.5.1. Seulement les pics se trouvent pour les couleurs secondaires et les vallées pour les couleurs primaires. Le niveau des vallées correspond au niveau des celles du §3.5.1, par contre les pics se situent plus haut, du fait de la discontinuité que l'on peut y observer. On peut y distinguer six discontinuités de part et d'autre des trois pics, qui correspondent aux six pics des histogrammes du §3.5.2.



Sur la Figure 3-20 nous pouvons observer une quasi-disparition des six discontinuités correspondant aux six cotés de l'hexagone de l'analyse à 50% d'intensité.



# 3.5.3.2 Histogrammes de la saturation

Les deux figures suivantes dépeignent les histogrammes de S pour une quantification de I sur 10 puis 8 bits. Sur la Figure 3-21 nous pouvons constater une progression linéaire de l'histogramme jusqu'à 25%, puis une régression jusqu'à 100%. La densité d'apparition est de deux sur trois.



Sur la Figure 3-22 nous avons les mêmes variations que sur la figure précédente, mais avec toutes les valeurs de la saturation disponibles.



# 3.6 Représentation du volume HSI

La représentation du volume de l'espace HSI n'est ni un cylindre [TOM91], ni un double cône [LIN91], ni même un double hexcône [CHE93], mais un autre volume beaucoup plus complexe à représenter. Sur la Figure 3-23 nous avons la représentation de ce volume. De la valeur 0 à 33% d'intensité, nous obtenons bien un cylindre. Mais à partir de 33% le cylindre se déforme d'abord au niveau des couleurs primaires, comme le montre la Figure 3-24. Ensuite à partir de 66% la même déformation du cylindre apparaît pour les couleurs secondaires, comme le montre la Figure 3-25, la déformation au niveau des couleurs primaires s'est encore accentuée.



# 3.7 Conclusions

La transformation numérique RVB-> HSI souffre de différents défauts dus à la discrétisation des composantes RVB de départ. Les paramètres affectés par ce problème sont surtout H et S. Nous avons montré à partir de trois plans de coupe particuliers, l'évolution de ces aberrations. Sur les trois exemples précédents d'intensité, nous avons pu observer un manque incontestable de régularité dans la répartition des points, que ce soit en teinte ou en saturation.

De plus une quantification insuffisante sur H, S et I ne permet pas d'obtenir toutes les solutions possibles. Si nous voulons obtenir toutes les couleurs disponibles, il faut utiliser 31 bits pour la quantification de HSI. Alors nous obtenons une utilisation à 0,8% de cet espace. De plus ce format augmente la capacité mémoire à mettre en oeuvre, mais aussi tout ce qui concerne les accès à ces données.

L'augmentation du nombre de bits de quantification sur RVB, n'est pas une solution plausible pour deux raisons. La première et non des moindres est le rapport signal/bruit des caméras (ex: 46dB pour la caméra XC711P). Et la seconde est technologique, car il n'existe pas sur le marché de convertisseur analogique-numérique avec un format de quantification supérieur à 8 bits pour les signaux vidéos.

Toutes ces raisons, nous ont conduit à rechercher une méthode de transformation plus performante. L'exposé et l'analyse de cette nouvelle méthode font l'objet du prochain chapitre.

# Bibliographie

- [CHE93] Y.L. CHEN, H. NAKATANI, Image region correspondance by color and structural similarity, IEICE Trans. Inf. & Syst. Vol E76D N°4 April 1993 p429-436
- [CRU89] A. CRUCHANT, Etude et réalisation d'une carte de numérisation et de traitement de signaux vidéo couleurs sur le bus VME, mémoire de thèse CNAM 1989
- [KAY92] S. KAY, HSI color image processing, techniques and applications, Image processing hanbook, DATA TRANSLATION 1992
- [KEM90] N. KEMMAR, Etude et réalisation d'un système de numérisation et de traitement d'images couleurs en temps réel sur le bus VME, Thèse de l'université de NANCY I 1990
- [KEN76] J.R. KENDER, Saturation, hue and normalized color : calculation digitization effects and use, Carnegie-Mellon University 1976
- [LIN91] X. LIN, S. CHEN, Color image segmentation using modified HSI system for road following, Proceeding of IEEE Conference on Robotics and Automation California 1991
- [MAS88] R.C. MASSON, P. BOTTCHER and U. LESINGER, Real-time grey level and colour image pre-processing for a vision guided biotechnology robot, Proceeding Inernational Conference on Robot Vision and Sensory Control 1988 p115-122
- [TOM91] H. TOMIYASU, S. NISHIO, A study of image segmentation using a perceptual color system, SPIE Vol 1607, Intelligent Robots and Computer Vision X : Algorithms and Techniques 1991 p348-357

# 4. Transformation RVB -> HSI analogique numérique

# 4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter une nouvelle méthode pour effectuer la conversion entre les espaces colorimétriques RVB et HSI. Dans un premier temps, nous allons nous intéresser à une transformation entièrement analogique, puis fonction des problèmes rencontrés, nous allons chercher le meilleur compromis entre la transformation analogique et numérique.

Nous avons réalisé toutes une série de mesures pour vérifier la validité de notre modèle analogique/numérique. Puis nous avons calculé le nombre de couleurs discernables. Pour finir nous donnons une solution pour revenir à l'espace RVB, permettant ainsi la visualisation des images.

# 4.2 Calcul des différents paramètres

### 4.2.1 Calcul de H

Peut on calculer directement la valeur de H par la formule suivante :

$$H=ATAN\left(\frac{CY}{CX}\right)$$

Nous n'avons trouvé aucun circuit, ou montage permettant de calculer directement la fonction arctangente. Mais il existe un circuit intégré (MODEL 4302 de chez Burr-Brown) qui donnent une approximation de la fonction arctangente avec la formule suivante :

$$H \approx \frac{\left(\frac{|CY|}{|CX|}\right)^{a}}{1 + \left(\frac{|CY|}{|CX|}\right)^{a}} \quad \text{avec } a = 1,2125$$

Comme le montre la fonction il faut que CX et CY soient positifs, mais également différents de 0, car le calcul est effectué en utilisant des fonctions logarithmiques. Le second problème, est que le circuit ne permet pas de travailler avec des signaux dont la bande passante soit supérieure à 100 Khz.

Pour obtenir une bonne approximation de H, il faut pouvoir calculer le rapport entre CY et CX. Le problème est que les deux signaux sont aussi bien positifs que négatifs, donc la division par 0 entraîne automatiquement la saturation de la sortie et altère le bon fonctionnement du diviseur.

Numériser CX et CY puis calculer H par l'intermédiaire d'une PROM, n'est pas la solution car on n'améliore en rien, les résultats par rapport à la transformation entièrement numérique.

Le calcul direct du rapport entre CX et CY n'étant pas envisageable pour les raisons présentées ci-dessus. Il faut corriger les deux signaux CX et CY pour que la numérisation séparée de ceux-ci donne des résultats semblables au calcul direct du rapport. La perte de résolution est due à deux causes. La première, est la luminosité, lorsque le signal est proche du noir ou du blanc alors CX et CY ne varient plus que dans de faibles proportions. La seconde, est la saturation, lorsque le signal a une trop faible saturation alors CX et CY ne varient plus que dans de faibles proportions également.

Le point commun entre ces deux cas est la faible variation des signaux CX et CY. Donc il suffit de normaliser CX et CY par le module du vecteur associé. Ce qui permet d'obtenir alors un vecteur chrominance constant quel que soit l'intensité ou la saturation.

$$r = \sqrt{CX^{2} + CY^{2}} \quad r \text{ module de vecteur CX, CY}$$

$$cx = \frac{CX}{r} \quad \text{et} \quad cy = \frac{CY}{r}$$

$$|cx, cy| = \sqrt{\frac{CX^{2}}{r^{2}} + \frac{CY^{2}}{r^{2}}} = \sqrt{\frac{CX^{2} + CY^{2}}{CX^{2} + CY^{2}}} = 1 \quad \text{vecteur chrominance constant}$$

Avec cette transformation l'espace de départ représenté sur la Figure 3-1, est devenu un cylindre représenté sur la Figure 4-1. Tout le volume du cube est rejeté dans le cylindre sauf les points de saturation nulle se trouvant sur l'axe d'intensité qui ne bougent pas.

Dans ce nouveau repère il n'existe plus d'information concernant la saturation. Par contre le calcul de cx correspond à la fonction arccosinus, et cy à arcsinus.

### 4.2.1.1 Limite du modèle

En théorie la transformation est bien un cylindre, mais en pratique le résultat est tout autre. Le gain des diviseurs n'étant pas infini, lorsque le module est trop faible alors la normalisation ne permet plus d'obtenir un module constant. C'est pourquoi au lieu d'obtenir un cylindre on aura plutôt une forme ovoïde Figure 4-2.



Le module n'étant plus constant, se pose le problème de la limite du vecteur chrominance. A partir de quel moment le vecteur est trop faible, et entraîne un calcul de H ne correspondant plus à la réalité. On pourrait utiliser cx ou cy pour calculer H, mais comme les diviseurs ne sont pas idéaux, la fonction arccosinus est correcte dans la zone 0, 45 degrés, puis c'est l'arcsinus qui est correcte dans la zone 45, 90 degrés. Si nous voulons obtenir la teinte à partir d'un seul signal, il faut en plus connaître la polarité de l'autre signal, pour savoir dans quel quadrant nous sommes. En fin de compte la fonction arctangente est un bon compromis.

## 4.2.1.2 Choix de la limite achrome

Maintenant que l'on a corrigé CX et CY, on peut les discrétiser. Mais il faut savoir combien de bits sont nécessaires pour cx et cy afin d'obtenir une teinte sur 8 bits.

Rayon du module	Solutions pour H
R≥58	256
R≥23	128
R≥12	64
R≥6	32
R≥4	16

Tableau 4-1 : Nombre de teintes en fonction du rayon

Les résultats du Tableau 4-1 ont été obtenus par calcul. A partir de 7 bits pour cx et cy nous pouvons obtenir H sur 8 bits.

# 4.2.2 Calcul de S

### 4.2.2.1 Déterminations mathématiques



La fonction minimum n'est pas simple à réaliser. La saturation peut se calculer autrement, puisqu'elle correspond au rapport entre le module (O, P) et le module (O, M) Figure 4-3 [CHE93].

Formules analytiques :

si H 
$$\in$$
 [0,120[ S =  $\frac{\left|\sqrt{3}*P_{Y}+P_{X}\right|}{I}$   
si H  $\in$  [120,240[ S =  $\frac{-2*P_{X}}{I}$   
si H  $\in$  [240,360[ S =  $\frac{\left|\sqrt{3}*P_{Y}-P_{X}\right|}{I}$ 

La synthèse électronique de ces trois formules n'étant pas simple, nous avons préféré exploiter l'expression directe de S en fonction de R, V et B.

$$S=1-\frac{3*\min(R,V,B)}{R+V+B}$$

Il existe une autre formule de la saturation, mais elle ne correspond pas exactement à la définition de l'espace HSI. S est donné comme la valeur du module chrominance [GAU92].

Soit 
$$S = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

Nous trouvons également comme formule de la saturation l'équation suivante [LIU90]:

$$S = 1 - \frac{\min(R, V, B)}{\max(R, V, B)}$$

### 4.2.3 Calcul de I

Des trois fonctions, le calcul de I est de loin le plus simple, puisqu'il est réalisé par un simple sommateur.

$$I = \frac{R + V + B}{3}$$

# 4.3 Influence du bruit sur la détermination de H

### 4.3.1 Aspects théoriques

Les opérations telles que les divisions ou l'arctangente mises en oeuvre dans le système sont, sous certaines conditions (signaux faibles), particulièrement sensibles aux parasites. Le bruit de fond, aux causes multiples, est présent inévitablement sur l'ensemble des signaux. Afin de déterminer les conditions de validité des résultats et leur précision, une étude théorique des conséquences de ces variations aléatoires des signaux est nécessaire.

### 4.3.1.1 Rapport signal/bruit avant et après normalisation de CX et CY

Etudions dans un premier temps l'influence des variations relatives de CX et de CY ainsi que celles de cx et cy sur la précision absolue de H.

$$cx = \frac{CX}{r}$$
  $cy = \frac{CY}{r}$  avec  $r = \sqrt{CX^2 + CY^2}$ 

$$Q = \frac{cy}{cx} = \frac{CY}{CX}$$
 H=atanQ

La maximalisation des incertitudes relatives donne :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta cy}{cy} + \frac{\Delta cx}{cx} = \frac{\Delta CY}{CY} + \frac{\Delta CX}{CX}$$

Les variations absolues de H dépendent des incertitudes relatives de Q selon :

$$\Delta H = \frac{1}{1+Q^2} * \Delta Q = \frac{1}{Q+\frac{1}{Q}} * \frac{\Delta Q}{Q}$$

La courbe de la Figure 4-4 décrit cette loi de variation. On s'aperçoit que le maximum d'incertitude relative est atteint pour Q = 1 ce qui correspond aux teintes situées à 45°, 135°, 225° et 315°. Pour celles-ci,  $\Delta H = \frac{1}{2} * \frac{\Delta Q}{Q}$ .



### 4.3.1.2 Choix du format de numérisation de cx et cy

L'obtention du paramètre H passe obligatoirement par le calcul d'une fonction trigonométrique inverse que nous réalisons, pour des raisons de rapidité, à l'aide d'une table de conversion mis en PROM.

Pour le calcul de H, deux solutions sont possibles. Comme je l'ai indiqué dans le §4.1.1.1 on peut calculer H à partir de cx qui correspond à cosH ou de cy à sinH. Ou encore à partir de cx et cy en calculant la fonction arctangente.

La première solution semble à première vue la plus intéressante, car elle n'exige, pour l'adressage de la PROM, que la connaissance de cx ou de cy. Elle permet ainsi de limiter au minimum la capacité de cette mémoire et d'économiser un CAN.

Cependant la levée de l'ambiguïté du quadrant de H contraint à l'utilisation d'un étage logique supplémentaire pour lequel la connaissance du signe de cx et cy est nécessaire. De plus ce que l'on gagne en rapport signal/bruit pour cx (ou cy) est perdu lors de la discrétisation.

En définitive, nous avons choisi la seconde solution qui consiste à adresser la PROM avec les valeurs numérisées des deux signaux cx et cy. Cette mémoire contient les valeurs calculées sur 8 bits de H =  $\arctan\left(\frac{cy}{cx}\right)$  sur les quatre quadrants du cercle trigonométrique. La définition angulaire imposée par ce format est de 0,02454 rd soit environ 1,4°.

Le format de numérisation pour cx et cy est choisi de manière à ne pas entraîner d'incertitude supérieure à 0,025 rd pour H. Ce qui donne :

$$\Delta H = cy^* \Delta cx + cx^* \Delta cy$$

 $\Delta \operatorname{cx}=\Delta \operatorname{cy}=\frac{1}{2^{n-1}}$  où n est le nombre de bit de la conversion A/N bipolaire

$$\Delta H = \frac{1}{2^{n-1}} * (cx + \sqrt{1 - cx^2})$$

Cette incertitude évolue, en valeur absolue, entre  $\frac{1}{2^{n-1}}$  et  $\sqrt{2} * \frac{1}{2^{n-1}} = \Delta H_{MAX}$  (Figure 4-5).

La valeur n = 7 ( $\Delta H_{MAX}$ =0,022 rd) respecte la résolution souhaitée pour H.

On ne saurait oublier les imperfections de l'étage de normalisation analogique qui se traduisent par la décroissance simultanée des signaux cx et cy lorsque le module r devient faible. Dans ce cas, pour les teintes les plus sensibles (situées sur les diagonales), l'incertitude sur H est augmentée d'un facteur  $\frac{1}{\rho}$  avec  $\rho = \sqrt{cx^2 + cy^2}$  (Figure 4-6).

Compte tenu de la résolution souhaitée pour H et du format de numérisation, on veillera à respecter la condition  $\rho > \frac{0,022}{0.025} = 0,88$ .



#### 4.3.1.3 Influence du bruit sur la détermination de H

L'étude précédente ne tient pas compte du bruit de fond présent inévitablement sur les signaux analogiques cx et cy.

La résolution numérique angulaire étant de 0,02454 rd, nous pouvons autoriser une erreur relative d'environ 5% sur le rapport Q soit 2,5% sur cx et cy.

Dans la mesure où l'on peut considérer que le bruit de fond est toujours suffisamment faible pour être assimilé aux variations de cx et cy, qu'il est statistiquement identique dans les deux cas, alors l'incertitude moyenne théorique  $\overline{\Delta H}$  sur une teinte est majorable par le rapport  $\frac{\sigma C_{x,y}}{C_{x,y}}$  où  $\sigma C_{x,y}$  est la valeur efficace du bruit sur cx et cy.

# 4.4 Mesures du convertisseur réalisé.

### 4.4.1 Schéma synoptique

La Figure 4-9 représente le synoptique du convertisseur RVB/HSI. La première opération est le matriçage qui permet de réaliser la rotation du cube, sans le déformer. Puis nous calculons le module du vecteur chrominance. En parallèle on extrait le minimum entre les signaux R, V et B, que nous divisons par l'intensité, permettant d'obtenir ainsi le complément de la saturation. Pour finir il ne reste plus qu'à diviser les deux signaux de chrominance par le module associé, pour obtenir la normalisation souhaitée.



Ce que nous ne voyons pas sur le synoptique ci-dessus, ce sont les différents offsets, que nous avons dû rajouter pour stabiliser les différents diviseurs. Normalement les seules divisions par 0 qu'il pouvait y avoir, devait avoir lieu lorsque le numérateur était également nul. Mais du fait des différents offsets des circuits, de légers décalages apparaissaient soit au niveau du diviseur, soit au niveau dividende. Donc un offset a été rajouté au calcul de r, et un autre au calcul de I.

Ces différents offsets, détériorent légèrement les caractéristiques du convertisseur.

Pour toutes les mesures qui vont suivre la caméra a été remplacée par une mire numérique, et l'étage de conversion analogique numérique a été supprimé.

# 4.4.2 Réalisation de la fonction minimum

La solution que nous avons retenue pour réaliser cette fonction sur plusieurs signaux analogiques est une extension du « ET à diode » utilisé en logique de base Figure 4-8.



Il est simple de voir que pour des signaux d'entrée analogique A et B, le signal de sortie est donné par S = Min(A,B)+Vd où Vd représente la tension directe en conduction de la diode. Comme Vd diffère d'une diode à l'autre et quelle dépend du courant la traversant, ce montage est impropre à la synthèse de la détection souhaitée.

La réalisation de diode sans seuil est obtenue par l'emploi d'une contre réaction sur un montage à amplificateurs opérationnels tel que celui de la Figure 4-9. Il donne toute satisfaction jusqu'à des fréquences dépassant les 6 MHz.



## 4.4.3 Mesures du bruit

### 4.4.3.1 Mesure du bruit sur les signaux R, V et B

Nous avons vérifié la validité de notre convertisseur à l'aide d'une mire générant trois signaux R, V et B étalonnés. Les caractéristiques de bruit<sup>1</sup> de ces signaux sont donnés dans le Tableau 4-1. Le niveau de bruit correspond approximativement à celui présenté par des signaux numériques d'un format de 8 bits chacun  $(S/B \approx 6*n)$ .

	R	V	В
Vmax (mV)	663	663	633
σ (mV)	2,1	2,3	2,2
S/B (dB)	50	49	50

Tableau 4-2 : Mesures de bruit sur RVB

Vmax : Echelle totale de variation des signaux

 $\sigma$ : Valeur efficace du bruit mesuré à  $\frac{Vm ax}{2}$ 

#### 4.4.3.2 Mesure du bruit sur les signaux I, cx, cy et 1-S

Le Tableau 4-2 donne les différents résultats de bruit du convertisseur.

	Ι	cx	cy	1 <b>-S</b>
Vmax (mV)	1100	2 x 1960	2 x 1960	663
σ (mV)	3,5	6	6	2,3
S/B (dB)	50	56	56	49

Tableau 4-3 : Mesures de bruit sur le convertisseur

Vmax : Echelle totale de variation des signaux

 $\sigma$ : Valeur efficace du bruit mesuré à  $\frac{Vm ax}{2}$ 

En ce qui concerne le signal I, et le signal de saturation les caractéristiques de bruit sont du même ordre de grandeur que celles des signaux de départ. Malgré la présence des circuits de normalisation, le rapport S/B des signaux cx et cy est légèrement supérieur à celui des signaux R, V et B. Dans tous les cas une numérisation sur 8 bits des différents signaux est tout à fait justifiée. Nous n'avons pas d'amélioration du rapport S/B pour le signal de saturation, car celui-ci concentre les informations hautes fréquences contenues dans les signaux R, V et B[LIU91].

# 4.4.4 Mesure de l'espace engendré

Sur la Figure 4-10 nous pouvons voir l'espace obtenu après la normalisation des signaux CX et CY. Sur 80% de variation en l'intensité, la normalisation a donné un cylindre. Sur les autres 20 %, une forme qui ressemble plus à un triangle qu'à un cercle.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Les mesures sont effectuées à l'aide d'un oscilloscope numérique du type Tektronix TDS 320; l'évaluation des niveaux de bruit est obtenue sur 1000 points à l'aide du logiciel Mathcad.



Sur les deux figures suivantes, nous pouvons observer le dessus et le dessous de ce nouveau volume.



Sur la Figure 4-11, nous avons les variations de l'intensité comprise entre 0 et 10%. Dans le fond, nous pouvons observer les axes des couleurs primaires. Rapidement la normalisation transforme le triangle de base en un cercle.



La Figure 4-12 représente le dessus du cylindre. C'est pratiquement la réplique du fond, avec une rotation de 180° pour amener la base du triangle sur la gauche, et non plus sur la droite. On distingue plus difficilement les axes des couleurs secondaires, à par celui du jaune.

### 4.4.5 Mesure sur H

### 4.4.5.1 A intensité variable et saturation maximale

Le but de cette série de mesures, est de vérifier la stabilité d'une teinte pure, lorsque l'intensité passe de 0 à 100%. Pour cette vérification, nous considérons les six teintes de bases (bleu, magenta, rouge, jaune, vert et cyan), régulièrement réparties sur le cercle chromatique (Figure 4-13).



Pour chacune de ces six teintes, nous vérifions l'évolution des signaux CX et CY, de leur version normalisée cx et cy et du module de ces derniers, en fonction de l'intensité. L'ensemble de ces mesures est décrit par les Figure 4-14 à Figure 4-25.









61





### 4.4.5.1.1 Conclusions

Le Tableau 4-4 résume les performances atteintes par notre transformation en nature de régularité chromatique. Nous indiquons la plage d'intensité pour laquelle le calcul de H est correct.

Teinte	H théorique	H moyen	Plage de I garantissant
			un $\Delta H \leq à 1,4^{\circ}$
Bleu	0°	-0,5°	85%
Magenta	60°	61,2°	84%
Rouge	120°	120,9°	85%
Jaune	180°	180,2°	83%
Vert	240°	239,2°	83%
Cyan	300°	298,3°	86%

Tableau 4-4 : Mesure de H en fonction de I

Comme nous l'avions remarqué dans le §4.4.2, la normalisation garantie le calcul de H pour une plage d'intensité allant de 10% à 90%.

### 4.4.5.2 A saturation variable et intensité fixe

I est fixé à 33% pour les trois teintes primaires (bleu, rouge et le vert), et à 66% pour les trois teintes secondaires (magenta, jaune et le cyan). La même série de mesures a été effectuée, et les résultats sont décrits par les Figure 4-26 à Figure 4-37.



63



#### 4.4.5.2.1 Conclusions

Le Tableau 4-5 résume les performances atteintes par notre système, en nature de régularité chromatique en fonction des variations de la saturation. Nous indiquons la plage de variation de la saturation garantissant un calcul correct de la teinte.

Teinte	H théorique	H moyen	Plage de S garantissant
			un $\Delta H < 1,4^{\circ}$
Bleu	0°	-0,7°	94%
Magenta	60°	61,6°	96%
Rouge	120°	120,5°	92%
Jaune	180°	180,4°	94%
Vert	240°	239,4°	96%
Cyan	300°	298	91%

Tableau 4-5 : Mesure de H en fonction de S

Dans cette série de mesures le calcul de la teinte est correct pour tous les points dont la saturation est supérieure à 10 %.

### 4.4.6 Mesure sur S

De même que pour la teinte, nous avons effectué une série de mesure sur le paramètre saturation. La première série permet d'obtenir les variations de la saturation sur l'extérieur du cube RVB, c'est à dire en fonction de l'intensité. La seconde série permet de mettre en évidence la linéarité de la saturation lorsque l'on se déplace de la droite achrome jusqu'à l'extérieur du cube, à intensité constante (ou sur un plan chromatique).

### 4.4.6.1 A intensité variable et H fixe

La Figure 4-38 représente les variations de la saturation pour les couleurs primaires. On peut y observer un léger affaiblissement de la saturation pour une très faible intensité. Puis à partir de 33% une décroissance hyperbolique.



La Figure 4-39 représente les variations de saturation pour les couleurs secondaires. Normalement elle est maximale jusqu'à 66%. Nous pouvons observer une importante chute pour le magenta pour des valeurs proche de 5% d'intensité. Le phénomène existe pour les deux autres courbes, mais bien moins accentué. A partir de 66% d'intensité les variations suivent de nouveau une décroissance hyperbolique.

### 4.4.6.2 A I constant

Maintenant nous nous intéressons aux variations de la saturation à intensité constante. C'est à dire que nous effectuons des mesures dans des plans perpendiculaires à la droite d'intensité. Nous avons effectué deux séries de mesures, la première à 33% d'intensité soit dans le triangle



dit de « Maxwell », la seconde à 66% soit dans le triangle dont les sommets sont les couleurs secondaires.

Nous pouvons observer sur la Figure 4-40 les variations de la saturation pour les couleurs primaires, soit à une intensité de 33%. Un léger défaut est à observer, la saturation ne descend pas jusqu'à une valeur nulle. La même remarque est à faire pour la Figure 4-41 qui représente les variations de la saturation pour les couleurs secondaires. Pour celles-ci la valeur de la saturation descend à une valeur un peu plus faible, mais toujours pas une valeur nulle.

#### 4.4.6.3 Mesure de la saturation sur la droite achrome

Nous avons pu observer dans le paragraphe précédent des erreurs de valeurs de la saturation au niveau de la droite achrome. C'est ce que nous pouvons observer sur la Figure 4-42, elle représente la valeur de la saturation tout au long de cette droite. La saturation devrait être nulle sur toute la plage. Les écarts sont dus à l'imperfection des diviseurs, mais aussi en grande partie au léger décalage que nous avons dû rajouter sur l'intensité.



#### 4.4.6.4 Conclusions

En ce qui concerne la linéarité de la saturation à intensité fixe, il n'y a aucun problème. De même que pour les mesures en fonction de la teinte. Par contre un inconvénient demeure. Il se situe sur la droite achrome, où la saturation devrait être nulle. Si l'écart avait était constant, il aurait pu être facilement corrigé. Mais celui ci varie en fonction du niveau d'intensité, ce problème est dû au léger offset que nous avons rajouté à I pour stabiliser la division.

### 4.4.7 Mesure sur l'intensité

La première série correspond à la mesure de I à teinte constante, et la seconde à la mesure de I constant en parcourant le tour du cube RVB.

#### 4.4.7.1 Mesure à teinte constante

La Figure 4-43 représente les variations de I pour le bleu et le jaune. Comme on peut l'observer I est légèrement plus faible pour le bleu que pour le jaune.



### 4.4.7.2 Mesure pour I constant

La Figure 4-44 décrit la valeur de I pour trois coupes du cube RVB. Comme pour la plus par des mesures effectuées on peut toujours observer de légères variations des valeurs mesurées.



#### 4.4.7.3 Conclusions

L'obtention du paramètre I étant obtenue par un simple sommateur, les résultats de mesures ne font apparaître aucun problème, seul la faible dispersion des résistances utilisées pour le sommateur modifie quelque peut les courbes.

## 4.5 Nombre de couleurs discernables

Maintenant que nous avons passé en revue le modèle « analogique » de l'espace HSI, il faut chercher le nombre de couleurs que cet espace permet d'obtenir.

En premier lieu il faut calculer le nombre de couleurs du modèle analogique parfait. Comme nous l'avons indiqué au §3.6, pour une intensité comprise entre 0 et 33% (pour les primaires) alors le volume engendré est un cylindre. Par contre à partir de 33% le volume se complique sérieusement, et de plus la forme change en fonction de la teinte spécifiée, avec une symétrie tout les 60°.

Comme on peut le voir sur la Figure 4-45, nous avons l'extérieur de l'enveloppe du volume HSI pour le bleu. La saturation décroît à partir de 33% d'intensité sous une forme hyperbolique. Par contre elle commencera à décroître seulement à partir de 66% d'intensité pour le magenta comme le montre la Figure 4-46. Le point de bascule se déplace de 33% à 66% d'intensité en fonction de l'angle variant de 0 à 60°.



Le volume ainsi délimité vaut :

$$V = \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{6} + 0.59^2$$

Le premier terme correspond à une intensité inférieure à 33%, le second à la partie cylindrique comprise entre 33 et 66%, et le dernier terme à la partie hyperbolique comprise entre 33 et 66% d'intensité. Ce qui donne un rapport d'utilisation de l'espace de 69%. Dans cet espace nous ne pouvons pas déterminer plus de 11 millions et demi de couleurs.

De ces 11 millions et demi, il faut maintenant retirer les parties ou nous ne pouvons plus calculer correctement la valeur de H. En premier lieu, la partie correspondant de 0 à 10% d'intensité soit un volume de 10%, ensuite la partie de 90 à 100% représentant un volume de 1,8%. Et pour finir un cylindre ayant un rayon de 10% de saturation soit 2,5%. Ce sont les zones grisées représentées sur la Figure 4-47.

Ce qui donne en fin de compte une occupation à 58% de l'espace total utilisable. Soit un peu plus de 9 millions de couleurs. Représentant pratiquement deux fois plus que le modèle entièrement numérique, qui ne représente que 34% de l'espace utilisable (Tableau 3-1).

# 4.6 Retour à l'espace RVB pour visualisation

Maintenant que nous disposons des informations HSI de l'image, nous pouvons traiter l'image pour en extraire les traits pertinents. Pour afficher l'image, nous devons être obligatoirement en mode RVB, car c'est le seul mode de prise en compte des informations des moniteurs et des téléviseurs.

### 4.6.1 Limitation de l'oeil

L'oeil étant imparfait, une image affichée seulement avec 256 couleurs correctement choisies [KOK93], nous ne voyions pas de différence avec une image ayant plus de couleurs. La conversion RVB/HSI peut très bien se faire en numérique, c'est le plus simple. Comme pour la conversion RVB/HSI la société DATA TRANSLATION commercialise un circuit<sup>3</sup>, qui permet de passer de l'espace HSI à l'espace RVB. Le circuit utilise une LUT permettant de ramener le calcul de H toujours entre les mêmes bornes, soit entre 0 et 120°.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Résultat obtenu avec le logiciel Mathcad

<sup>3</sup> DT7911



# 4.6.2 Formules mathématiques

$$S=1-\frac{3*\min(RVB)}{R+V+B}$$
$$I=\frac{R+V+B}{3}$$
$$H=A\tan\frac{\sqrt{3}*(R-V)}{2*B-R-V}$$

La seule équation non analytique est celle du minimum, il faut la remplacer par une formule normale. Or le minimum change en fonction de l'angle ou l'on se place.

$$H \in [0,120^{\circ}] \rightarrow \min(RVB) = V$$
$$H \in [120,240^{\circ}] \rightarrow \min(RVB) = B$$
$$H \in [240,360^{\circ}] \rightarrow \min(RVB) = R$$

Ce qui nous oblige à résoudre le système d'équations dans chacun des trois cas.

# 4.6.2.1 H compris entre 0 et 120°

$$S = 1 - \frac{3*V}{R+V+B}$$
$$I = \frac{R+V+B}{3}$$
$$tanH = \frac{\sqrt{3}*(R-V)}{2*B-R-V}$$

A partir de ces trois équations nous obtenons après résolution les variables R, V et B en fonction de I, S et tanH.

$$R = I^{*}(1+S) - \frac{2^{*}I^{*}S}{\sqrt{3}^{*}\tan H + 1}$$
$$V = (1-S)^{*}I$$
$$B = I + \frac{2^{*}I^{*}S}{\sqrt{3}^{*}\tan H + 1}$$

$$S=1-\frac{3*B}{R+V+B}$$
$$I = \frac{R+V+B}{3}$$
$$tanH = \frac{\sqrt{3}*(R-V)}{2*B-R-V}$$

A partir de ces trois équations nous obtenons après résolution les variables R, V et B en fonction de I, S et tanH.

$$R = I + IS * \frac{1 - \sqrt{3} * tanH}{2}$$
$$V = I * (1 + S) - IS * \frac{1 - \sqrt{3} * tanH}{2}$$
$$B = I * (1 - S)$$

# 4.6.2.3 H compris entre 240 et 360°

$$S=1-\frac{3*R}{R+V+B}$$
$$I = \frac{R+V+B}{3}$$
$$tanH = \frac{\sqrt{3}*(R-V)}{2*B-R-V}$$

A partir de ces trois équations nous obtenons après résolution les variables R, V et B en fonction de I, S et tanH.

R= I\*(1-S)  
V= I\*(1+S)+
$$\frac{2*I*S}{\sqrt{3}*tanH-1}$$
  
B= I- $\frac{2*I*S}{\sqrt{3}*tanH-1}$ 

#### 4.6.2.4 Simplifications

Pour chacune des trois plages angulaires, nous observons une certaine ressemblance. La principale différence apparaît lors de l'utilisation de tanH. Nous remplaçons tanH par son cosinus [KAY92].

1. 
$$\frac{2}{\sqrt{3} * \tan H + 1} = \frac{\cos H}{\cos(H - 60)}$$
  
2. 
$$\frac{1 - \sqrt{3} * \tan H}{2} = \frac{\sin(30 - H)}{\cos H} \rightarrow h = H - 120 \rightarrow \frac{\cosh}{\cos(h - 60)}$$
  
3. 
$$1 + \frac{2}{\sqrt{3} * \tan H - 1} = 1 + \frac{\cos H}{\sin(H - 30)} \rightarrow h = H - 240 \rightarrow \frac{\cosh}{\cos(h - 60)}$$

Maintenant que nous avons obtenu les trois mêmes équations, nous n'avons plus qu'à effectuer une rotation des équations pour obtenir R, V et B. Ce que donne le Tableau 4-6 :

_			
Н	0-120	120-240	240-360
R	I(1+S)–ISK	I–ISK	I(1-S)
V	I(1-S)	I(1+S)–ISK	I–ISK
В	I–ISK	I(1–S)	I(1+S)–ISK
K	$\frac{\cos H}{\cos(H-60)}$	$\frac{\cosh}{\cos(h-60)} \rightarrow h = H - 120$	$\frac{\cosh}{\cos(h-60)} \rightarrow h=H-240$

Tableau 4-6 : Equations de RVB en fonction de HSI

### 4.6.3 Choix de la résolution

La solution la plus simple pour réaliser la conversion HSI, RVB est d'utiliser une table de transcodage. Il ne reste plus qu'à définir le nombre de bits utiles de HSI pour le retour vers RVB. Contrairement à l'espace RVB, chacune des composantes HSI n'a pas le même poids. Lorsqu'il y à de la couleur dans une image, l'oeil est plus sensible à cette couleur qu'à l'intensité. De ce fait il faut plus de bits sur H que pour I. L'oeil étant encore moins sensible à la saturation, le nombre de bit sur S sera encore plus faible que celui de I.

# 4.7 Conclusions

D'après toutes les mesures effectuées, nous constatons que la transformation de l'espace RVB vers l'espace HSI, donnent toutes satisfactions. Que ce soit le calcul de H, en variations d'intensité ou en variation de saturation, il reste cohérent dans de larges plages. Si nous disposions de multiplieurs ayant un gain encore plus important, nous pourrions augmenter encore la plage de travail, que ce soit en intensité ou en saturation. Car la normalisation des signaux cx et cy est légèrement détériorée par l'ajout d'un offset sur le calcul du module |CX,CY|.

La saturation donne également de bons résultats, moins bons certes, que ceux sur la teinte. Surtout en ce qui concerne le calcul de la saturation le long de l'axe achrome. Comme pour le calcul de H, l'utilisation de multiplieurs ayant un gain plus important permettraient d'obtenir de meilleurs résultats.

En ce qui concerne le calcul de l'intensité, il donne entièrement satisfaction. On pourrait améliorer encore le calcul de I, avec des résistances ayant une tolérance inférieure à 1%.

L'utilisation de résistances avec une tolérance inférieure à 1%, permettrait d'améliorer également le calcul de la teinte, en ayant moins de variations sur le matriçage des signaux R, V et B.
# Bibliographie

- [CHE93] Y.L. CHEN, H. NAKATANI, Image region correspondance by color and structural similarity, IEICE Trans. Inf. & Syst. Vol E76D N°4 April 1993 p429-436
- [GAU92] J. GAUCH, C.W. HSIA, A comparaison of three image segmentation algorithms, in four color spaces, SPIE Vol 1818 Visual Communication and Image Processing 1992 p1168-1181
- [KAY92] S.P. KAY, HSI color image processing, techniques and applications, Image processing handbook, Data Translation 1992
- [KOK93] C.W. KOK, S.C. CHAN & S.H. LEUNG, Color quantization by fuzzy quantizer, SPIE Vol 1902 Non Linear Image Processing IV 1993 p235-242
- [LIU90] J.G. LIU, Hue image RVB colour composition. A simple technique to suppress shadow and enhance spectral signature, International Journal Remote Sensing 1990 Vol 11 N°8 p1521-1530
- [LIU91] X. LIU, Analyse d'images couleurs en composantes indépendantes par réseau de neurones, Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble 1988

# 5. Carte IA512C présentation et Tests

# 5.1 Introduction

La conversion colorimétrique RVB/ HSI, décrite dans le chapitre précédent fait l'originalité de notre système de vision couleur. Nous avons dû l'intégrer à un ensemble cohérent, permettant son utilisation. Le résultat est la carte de vision couleur baptisée IA512C. Toute l'étude ainsi que la mise au point de celle-ci a été réalisées par nos soins, sa fabrication industrielle (à vue commerciale) a été confiée à la société EDIXIA de RENNES (FRANCE).

Il s'agit d'une carte au format VME double europe (Annexe A) permettant la numérisation et la mémorisation d'images couleur au format HSI, ou RVB. Le mode RVB est surtout utilisé pour la numérisation parfaitement synchrone de trois images noir et blanc.

Après avoir passé en revue la structure générale de la carte, nous avons évalué le niveau de bruit de celle-ci, car tout système analogique est entaché d'un certain bruit. Et pour finir, nous avons effectué, toute une série de mesure sur des images, prises par notre système.

# 5.2 Présentation

La carte IA512C permet d'accepter en entrée jusqu'à quatre caméras couleurs au format RVB, ou douze caméras noir et blanc, elle dispose également d'une entrée de synchronisation externe. Toutes les caméras sont synchronisables par la carte. Nous disposons de deux plans mémoires pour la mémorisation d'images couleur au format 512 x 512 x 24 bits. Ainsi que huit palettes au format 256 x 8 bits pour chacun des signaux HSI numériques. Chaque palette est une LUT<sup>1</sup>permettant d'affecter à chaque valeur d'entrée une valeur de sortie, la loi de conversion est à la discrétion de l'utilisateur. Nous avons ensuite à notre disposition deux bancs de binarisation sur l'image directe ou mémorisée, au format 512 x 512 x 4 bits. Il est possible d'afficher l'image soit sur un téléviseur soit sur un moniteur multi-synchro. En surimpression de l'image nous avons le choix entre, les images binarisées, ou un plan spécial d'incrustation dans lequel nous pouvons écrire toutes les informations nécessaires (Annexe D).

### 5.2.1 Schéma synoptique

Le synoptique de la carte, Figure 5-1 décrit les grandes fonctions existantes. Nous allons passer en revue ces différentes fonctions, sans pour autant rentrer dans les détails.

### 5.2.2 Le multiplexeur de caméras

Il fait partie d'un circuit<sup>2</sup> spécialisé contenant le convertisseur analogique numérique. Il permet de plus d'extraire les signaux de synchronisation, soit du signal lui même, soit d'un des signaux couleurs.

### 5.2.3 Le convertisseur d'espace colorimétrique RVB, HSI

C'est le coeur de la carte, même si celui-ci ne représente qu'un faible encombrement, il ne représente qu'environ 10% de la surface de la carte. Le schéma synoptique de cette partie a déjà été présenté dans le chapitre précédent (cf § 4.4.1).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Lock Up Table

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>BT252 de chez Brooktree



75

Pour permettre la numérisation de signaux au format RVB, ou noir et blanc pour les caméras monochromes, nous avons simplement ajouté une dérivation sur le convertisseur. Le calcul du paramètre S est obtenu en initialisant la LUT de sortie du CAN en inverse. Les différents signaux HSI numériques sont disponibles sur l'un des bus (P2) du système VME. Ils sont récupérés par la carte IA512T qui permet entre autres d'effectuer la labellisation des images couleurs en temps réel, le calcul d'histogrammes, soit sur l'image complète, soit sur une des quatre fenêtres de formes quelconques. Cette carte dédiée aux traitements d'images est le fruit des travaux de recherches de M. J.P. IGERSHEIM. Pour plus d'information sur celleci, on pourra consulter la thèse «Contribution au développement d'une structure de traitement couleur HSI sur flot de donnée vidéo. Validation en vue d'applications pour l'industrie».

### 5.2.4 Génération des signaux de synchronisation

Le système de gestion des différents signaux de synchronisation est représenté Figure 5-2, il permet d'extraire le signal de synchronisation de n'importe quelle source vidéo (à condition que celle-ci respecte les normes) se trouvant en entrée de la carte. Le circuit<sup>3</sup> de génération des signaux vidéo étant programmable, nous avons la possibilité d'une synchronisation multi-standard (SECAM ou PAL).



Le circuit de génération des signaux vidéo, permet également de choisir entre plusieurs fréquences d'horloge différentes. Nous avons sélectionné une fréquence d'horloge de 22,5 MHz, qui après une division par 2 permet d'obtenir une fréquence de 11,25 MHz.

<sup>3</sup>SAA1101 de chez Philips

### 5.2.5 Bancs mémoires

La carte possède deux plans mémoires pour la mémorisation de deux images couleurs au format 512 x 512 x 24 bits ou six images noir et blanc (512 x 512 x 8). Les plans mémoires sont directement accessibles par le bus VME, soit au format 16 ou 32 bits. La gestion du double accès sur les VRAMs<sup>4</sup> est gérée par un circuit<sup>5</sup> spécialisé, couplé au FPGA<sup>6</sup> de la carte. De plus il est possible d'organiser les plans mémoires en 256 x 512 x 24 bits, lorsque l'on travaille en trame et non plus en image. Le schéma synoptique est représenté sur la Figure 5-3.





<sup>4</sup>Vidéo Random Access Memory

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>DP8522 de chez National Semiconductor

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>XC3042 de chez Xilinx

### 5.2.6 LUTs

Pour l'affichage nous disposons de tables de transcodage organisées en 8 palettes de 256 x 24 bits. La commande des palettes est soit gérée par la carte elle même, soit par la carte de traitement IA512T. Permettant ainsi de visualiser les fenêtres de travail ou les images binarisées par la carte de traitement. Les LUTs permettent également de seuiller l'image, le résultat est représenté par la Figure 5-4.

### 5.2.7 Plans de binarisation

La carte dispose de deux plans de binarisation organisés en 512 x 512 x 4 bits (Figure 5-5), comme pour les plans mémoires ceux-ci sont directement accessibles par le VME, et également configurables en trame. Nous pouvons effectuer sur ces deux plans tous les traitements, par l'intermédiaire du processeur central du VME.



### 5.2.8 Plan d'incrustation

Il permet d'afficher en surimpression de l'image toutes les informations nécessaires, tel que les histogrammes, les fenêtres, ou encore les menus de travail. Il est organisé en  $512 \times 512 \times 4$  bits. C'est le seul mode disponible.

#### 5.2.9 Visualisation

L'affichage est géré par un circuit<sup>7</sup> spécialisé. Il permet la visualisation d'images couleurs, noir et blanc, ou encore d'images en fausse couleurs. Lorsque nous sommes dans le mode HSI, les informations sont transcodées par une PROM<sup>8</sup>. La taille de cette PROM est limitée par la vitesse de l'horloge. C'est pourquoi nous ne pouvons disposer que de 15 bits pour HSI, ce qui permet un affichage de 32000 couleurs parmi une palette de 16 millions. Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, les informations H, S et I non pas la même importance en analyse. Donc nous avons choisi d'utiliser 6 bits pour H, 5 bits pour I et enfin 4 bits pour S.

#### 5.2.10 Gestion de la carte

La carte IA512C est une carte esclave sur le bus VME. La gestion de la carte supporte différents modes du protocole VME. Il est possible d'accéder à la carte soit en A24/D16 ou A32/D32. Elle supporte également le mode d'auto-vectorisation des interruptions.

<sup>7</sup>BT473 de chez Brooktree

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup>Programmable Read Only Memory

# 5.3 Mesure du bruit

### 5.3.1 Mesure du bruit sur les signaux R, V et B

Le niveau de bruit sur les signaux R, V et B est le même que celui du chapitre 4 (cf Tableau 4-2).

### 5.3.2 Mesure de bruit sur les signaux I, cx, cy et 1-S

Comme nous pouvons le remarquer sur le Tableau 5-1, les niveaux du rapport signal/bruit sont de l'ordre de 16 dB inférieurs aux valeurs mesurées à l'aide du convertisseur seul cf Tableau 4-3.

	Ι	cx	су	1-S
S/B (dB)	33	39	40	34
				the second s

Tableau 5-1 : Mesure de bruit sur les signaux I, cx, cy et 1-S

On peut remarquer également que l'écart entre S/B de cx, cy et I, 1-S est toujours du même ordre de grandeur soit 6 dB. Ce qui permet de penser que le problème de l'augmentation du bruit est dû à une même cause pour les différents signaux.

# 5.3.3 Densité spectrale de bruit sur les signaux I, cx, cy et 1-S

Comme pour les mesures de bruit, le calcul des différentes transformées de Fourier ont été calculées par le logiciel Mathcad sur un échantillon de 1000 points récupérés par un oscilloscope numérique TDS320, avec une fréquence d'échantillonnage de 50 MHz. De plus la bande passante des signaux d'entrée était limitée à 20 MHz par l'oscilloscope.

### 5.3.3.1 FFT<sup>9</sup> du signal l

Comme nous pouvons l'observer sur la Figure 5-6, la FFT fait apparaître différentes raies dont les amplitudes sont loin d'être négligeables. La première se trouve à 10,25 MHz qui est la fréquence d'échantillonnage, la seconde raie se trouve à 15 MHz et correspond à la fréquence d'horloge du système de synchronisation vidéo interne. Et pour finir, la troisième raie correspond au double de la fréquence d'échantillonnage soit 22,5 MHz.



Ainsi que trois autres raies, dont les fréquences sont :

<sup>9</sup>Fast Fourier Transform

5 MHz 6,25 MHz 7,5 MHz

Ces trois fréquences proviennent de phénomènes d'inter-modulation, entre les différents signaux.

#### 5.3.3.2 FFT du signal S



Comme pour la FFT du signal d'intensité, nous retrouvons sur la Figure 5-7, les raies aux mêmes fréquences.

#### 5.3.3.3 FFT du signal cx



La Figure 5-8 représente la FFT du signal cx, contrairement aux deux figures précédentes, nous n'observons plus la raie à 15 MHz. Par contre nous pouvons remarquer que celles situées au-dessous des 15 MHz ont une amplitude plus faible que dans les relevés précédents. On observe également une augmentation des raies dans la bande des 20 à 25 MHz, que nous n'avions pas pour les deux signaux précédents. Ces raies sont dues à la fonction carrée qui double toutes les fréquences de bases.

#### 5.3.3.4 FFT du signal cy

La Figure 5-9 représente la FFT du signal cy, nous pouvons observer deux des trois raies, celle à 15 MHz, et celle à 22,5 MHz. Plus certaines autres raies, qui ne correspondent pas à des fréquences de la carte, mais que nous avions déjà observé sur la FFT du signal I. Ce sont les deux raies à :



Comme pour la FFT de cx, nous observons également une augmentation de l'amplitude des raies dans la bande des 20 à 25 MHz.

#### 5.3.4 Conclusions

De ces différentes FFT, nous pouvons donc supposer que le bruit supplémentaire rencontré sur les différents signaux, provient en grande partie d'un défaut de blindage du convertisseur.

Nous avons donc simulé un filtre passe bas du premier ordre, sur les différentes FFT dont la fréquence de coupure est la moitié de la fréquence d'échantillonnage. Ce qui a permis d'obtenir un rapport S/B de 52 dB pour cx et cy, et de 50 dB pour I et 1-S.

Dans un premier temps, pour améliorer le rapport S/B des signaux, il faudra ajouter un filtre passe bas sur chacun de ces signaux. La simulation nous donne de très bons résultats, mais il faut savoir qu'une partie importante du bruit est ramenée par différents signaux alimentations. Pour limiter ce retour il faut revoir entièrement le blindage de la partie analogique.

Pour augmenter encore le rapport S/B, il faut diminuer la surface utilisée (Annexe A) pour réaliser le convertisseur entre l'espace RVB et l'espace HSI. Une étude pour la réalisation d'un ASIC, est en cours au sein du laboratoire. Elle permettrait de réduire la surface du convertisseur à celle d'une simple puce de silicium.

### 5.4 Répartition des couleurs à intensité fixe

Pour permettre ces mesures, nous avons utilisé une carte IA512C, configurée en génératrice de mire. La mire a été injectée dans un des plans graphiques, et la carte mise en mode RVB.

Pour chacune des intensités suivantes 33, 50 et 66%, nous avons effectué une acquisition d'image et en avons extrait les histogrammes. Pour chaque histogramme, nous avons représenté l'image obtenue par notre système.

### 5.4.1 Analyse à 33% d'intensité





La Figure 5-10 représente l'histogramme de la teinte pour une intensité de 33%. Juste à coté nous pouvons observer l'image de la teinte obtenue par notre système. En ce qui concerne l'histogramme il ressemble fortement à celui obtenu par la méthode numérique (cf Figure 3-12). Le petit disque blanc se trouvant au centre du triangle correspond à la zone où le calcul de H devient impossible ou erroné.





La Figure 5-11 représente l'histogramme de la saturation. Comme pour l'histogramme de la teinte, celui-ci ressemble à celui de la Figure 3-14, mais avec toutes les valeurs disponibles de S. Comme nous l'avions déjà remarqué au § 4.4.4.2, la saturation ne descend pas jusqu'à une valeur nulle. Par contre elle ne va pas non plus jusqu'à 100%, ceci est dû à un problème d'offset sur l'étage d'extraction du minimum.

#### 5.4.1.3 Histogramme de l



Sur Figure 5-12, nous pouvons observer l'histogramme de I. Le maximum se situe aux environs de 28%. L'écart est dû au pont atténuateur qui se trouve sur toutes les entrées vidéo de la carte. L'atténuation est environ de 10%. Les mesures de bruit avaient donné un rapport S/B de 34 dB. La largeur du pic est d'environ 6 valeurs, ce qui correspond à peu près a ce que nous pouvions espérer à partir du rapport S/B.

### 5.4.2 Analyse à 50% d'intensité





L'histogramme de H est représenté sur la Figure 5-13. Comme pour le « tout numérique » (Figure 3-16), nous pouvons observer les 6 pics plus ou moins déformés. Nous pouvons également remarquer le disque blanc au centre de l'hexagone, qui correspond au monochrome.

#### 5.4.2.2 Histogramme de S



Comme pour l'histogramme de la saturation pour une intensité de 33%, l'histogramme de la Figure 5-14, se limite à des variations de 3 à 90%. Sinon la forme est la même que celui tout numérique (cf Figure 3-18). Nous remarquons une croissance jusqu'à environ 50%, puis une décroissance.

#### 5.4.2.3 Histogramme de l





#### 5.4.3 Analyse à 66% d'intensité





La Figure 5-16 représente l'histogramme de H, nous y retrouvons les trois pics déjà cités pour la Figure 3-20.

#### 5.4.3.2 Histogramme de S



Nous pouvons observer que la valeur minimale de la saturation a encore diminué (Figure 5-17), par rapport aux histogrammes précédent de la saturation. Par contre la valeur maximale se situe toujours à 90%. La forme de l'histogramme correspond à celle de la Figure 3-22. La croissance de l'histogramme va effectivement jusqu'à une valeur proche de 25%, pour enfin décroître jusqu'à 90%.

#### 5.4.3.3 Histogramme de l



Comme précédemment le pic de l'histogramme de l'intensité se situe à 60% (Figure 5-18). La largeur du pic est toujours de 6 valeurs.

#### 5.4.4 Conclusions

Comme nous venons de le voir sur les histogrammes précédents, ceux correspondant à la teinte, non pas beaucoup évolués, si ce n'est les variations dues aux bruits. Avec les résultats du chapitre précédent, nous pensions obtenir des histogrammes avec moins de variations que ceux obtenus avec la transformation entièrement numérique. La cause de ces variations est due à l'utilisation d'une mire numérique.

Pour ce qui est des histogrammes de la saturation, à part le manque de dynamique, nous avons obtenu ce que nous avions espéré. Les mêmes formes que ceux entièrement numériques, mais avec toutes les valeurs. Les seuls problèmes restant sont, la valeur non constante du minimum de la saturation, et le bruit. Pour ce qui est de la valeur minimale, il faudrait utiliser des multiplieurs avec un gain encore plus important, pour que l'offset de l'intensité, soit négligeable.

Pour ce qui est des histogrammes de l'intensité, nous avons peu de choses à dire, si ce n'est la largeur importante des histogrammes, pour une valeur normalement constante. Mais ceci devrait disparaître avec un meilleur blindage de la partie analogique, ainsi qu'avec l'utilisation de filtre passe bas.

### 5.5 Prises d'images

### 5.5.1 Images à éclairement contrôlé

Nous avons réalisé une série d'images de quatre balles de ping-pong de couleur différentes (Image Ping-Pong en Annexe C). Nous avions une balle jaune, une verte, une rose et enfin une balle de couleur cyan. Pour chacune des images, nous avons fait varier le niveau de luminance de chaque image, en modifiant l'ouverture du diaphragme de l'objectif. La caméra est une caméra couleur CCD<sup>10</sup> grand public (XC-771P de chez Sony).Pour obtenir un éclairage constant des balles de ping-pong, nous avons réalisé le montage de la Figure 5-19.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup>Un réglage de la balance des blancs de la caméra a été nécessaire pour le type de néon utilisé.



Nous avons réalisé ce système de prise de vue afin que les variations en luminance, n'aient qu'une seule origine, l'ouverture du diaphragme de l'objectif.

Pour chaque ouverture du diaphragme, nous avons pris une image au format HSI, et une image au format RVB. Les images sont au format 512 x 512 x 24 bits. Ensuite nous avons réalisé une moyenne, en H, S et I sur chacune des balles. L'image RVB a été préalablement convertie au format HSI.

#### 5.5.1.1 Variations de la teinte et de la saturation pour la balle rose



Pour la teinte Figure 5-20, la transformation que nous avons mis au point, permet de maintenir plus longtemps, la stabilité de la teinte lorsque l'on tend vers le blanc. En ce qui concerne la saturation Figure 5-21, nous obtenons les mêmes variations que la transformation numérique, avec en plus un léger offset positif pour notre transformation, et un écart plus important lorsque l'on tend vers le noir. La saturation de la balle rose étant assez faible, l'écart proche du noir est important.

#### n S ana H ana 150 200 S\_num H num ~×-×-×-140 160 o Xo Xn ××××××× 120 130 120 80 40 110 50 100 150 200 0 50 100 150 200 250 0 250 Figure 5-23 : Variations de S pour la balle jaune Figure 5-22 : Variations de H pour la balle jaune

#### 5.5.1.2 Variations de la teinte et de la saturation pour la balle jaune

La Figure 5-22 représente les variations de H pour la balle jaune, nous n'obtenons pratiquement aucune différence entre notre transformation, et celle entièrement numérique. Ceci est dû, au caractère nul du signal cx. Pour les variations de la saturation Figure 5-23, nous obtenons peu d'écart entre les deux courbes. La saturation de la balle jaune étant importante, nous obtenons peu d'écart vers le noir.

#### 5.5.1.3 Variations de la teinte et de la saturation pour la balle verte

Nous observons sur la Figure 5-24, des variations un peu plus importantes entre notre conversion et la transformation numérique, mais les variations de la teinte sur la plage d'intensité sont toujours suffisamment faibles. Comme pour la saturation de la balle rose, nous avons un écart important (Figure 5-25), lorsque nous nous approchons du noir.



#### 5.5.1.4 Variations de la teinte et de la saturation pour la balle cyan



La Figure 5-26, représente les variations de la teinte pour la balle cyan, contrairement au trois autres teinte, celle-ci varie nettement plus que se soit avec notre transformation, ou celle tout numérique. Comme la mesure de la teinte cyan, à partir d'une mire était constante, nous pouvons donc en déduire, que ces variations sont dues à la caméra. En ce qui concerne les variations de la saturation Figure 5-27, nous obtenons toujours une augmentation de la saturation avec notre transformation, lorsque l'on tend vers le noir. Nous observons également un écrasement de la saturation pour le noir, ceci est dû à un défaut du montage, que nous avons déjà vu sur la figure 4-39.

#### 5.5.1.5 Conclusions

D'après les mesures ci-dessus, nous pouvons maintenant confirmer, que la teinte présente une bonne indépendance avec l'intensité. Ceci dans la limite ou nous pouvons effectuer un calcul correct de la teinte. Pour ce qui est de la saturation, nous obtenons des valeurs correctes, lorsque celle-ci est suffisamment forte. Sinon nous déformons la saturation, en l'amplifiant lorsque nous allons vers le noir. En ce qui concerne l'indépendance de la saturation par rapport à l'intensité, nous ne pouvons pas encore nous prononcer, car la courbe à saturation constante, n'est pas une droite.

### 5.5.2 Comparaison des transformations

#### 5.5.2.1 Histogramme de H à faible niveau d'intensité



Sur la Figure 5-28 et la Figure 5-29, nous avons les images en teinte de la photo « Pingpong » (Annexe C). L'image de gauche correspond à notre transformation, et celle de droite à la transformation numérique. A première vue la transformation numérique parait plus constante, mais l'étude des histogrammes nous prouve le contraire.



Les histogrammes ont été calculés sur une surface de 128 x 128 pixels de la balle verte (en bas à gauche). La Figure 5-30 représente l'histogramme de la teinte obtenue avec notre transformation, et la Figure 5-31 à la transformation numérique. La transformation numérique a tendance à étaler l'histogramme et à générer une multitude de parasites.

#### 5.5.2.2 Histogrammes de S à faible niveau d'intensité

Ensuite nous avons effectué les mêmes opérations sur la saturation. La Figure 5-32 et la Figure 5-33 représentent ces images. La transformation analogique (figure de gauche) donne de bien meilleur résultats au niveau visuel.



Nous avons calculé les histogrammes sur une surface de 128 x 128 pixels de la balle jaune (en haut à droite). La Figure 5-34 représente l'histogramme de la saturation calculée analogiquement, et la Figure 5-35 correspond à un calcul numérique de la saturation. L'effet d'étalement de l'histogramme est encore plus visible pour la saturation, qu'il ne l'est pour la teinte. Le phénomène est dû à une transformation entièrement analogique de la saturation, contre une transformation analogique-numérique de la teinte.



### 5.5.3 Images extérieures

Du fait de la non linéarité de la saturation en fonction de l'intensité, nous avons effectué une série de prise d'image, en mode HSI, et RVB, afin de calculer les coefficients d'intercorrellation, entre les différentes composantes. Et à partir des images RVB (Annexe C), nous les avons transformées en images HSI, pour calculer également les coefficients d'intercorrellation.

#### 5.5.3.1 Résultats

Nous avons calculé les coefficients d'inter-corrélation, avec la formule suivante [LUI90] :

$$C_{xy} = \frac{\sum_{i} (x_i - \overline{x})^* (y_i - \overline{y})}{\sqrt{\sum_{i} (x_i - \overline{x})^2 * \sum_{i} (y_i - \overline{y})^2}}$$

Dans le Tableau 5-2, nous pouvons remarquer que les composantes R, V et B sont fortement corrélées, quel que soit l'image (les images sont fournies en annexes). En ce qui concerne les paramètres HSI de notre transformation, nous observons une décorélation des paramètres H et S par rapport à I, sauf sur l'image « Verdure », et toujours une corrélation importante entre les paramètres S et I, quel que soit l'image. Pour les paramètres HSI numériques, nous pouvons faire la même remarque de décorrélation des paramètres H et S par rapport à I. Par contre la corrélation entre S et I varie fortement d'une image à une autre.

Images	HSI analogique- numérique		HSI numérique			RVB			
Verdure	1,000	-0,547	0,399	1,000	-0,264	0,200	1,000	0,982	0,872
	-0,547	1,000	-0,878	-0,264	1,000	-0,746	0,982	1,000	0,835
	0,399	-0,878	1,000	0,200	-0,746	1,000	0,872	0,835	1,000
Route	1,000	0,005	0,042	1,000	0,006	0,014	1,000	0,994	0,982
	0,005	1,000	-0,905	0,006	1,000	-0,703	0,994	1,000	0,980
	0,042	-0,905	1,000	0,014	-0,703	1,000	0,982	0,980	1,000
L.A.B.	1,000	0,121	-0,166	1,000	-0,019	-0,045	1,000	0,910	0,698
	0,121	1,000	-0,840	-0,019	1,000	-0,116	0,910	1,000	0,822
	-0,166	-0,840	1,000	-0,045	-0,116	1,000	0,698	0,822	1,000
Maisons	1,000	-0,130	0,189	1,000	-0,030	0,178	1,000	0,920	0,859
8	-0,130	1,000	-0,818	-0,030	1,000	-0,486	0,920	1,000	0,962
	0,189	-0,818	1,000	0,178	-0,486	1,000	0,859	0,962	1,000
Voiture	1,000	0,000	-0,033	1,000	-0,151	0,073	1,000	0,966	0,941
	0,000	1,000	-0,905	-0,151	1,000	-0,580	0,966	1,000	0,958
	-0,033	-0,905	1,000	0,073	-0,580	1,000	0,941	0,958	1,000
Visage	1,000	0,248	-0,277	1,000	-0,170	0,222	1,000	0,982	0,926
	0,248	1,000	-0,895	-0,170	1,000	-0,248	0,982	1,000	0,957
	-0,277	-0,895	1,000	0,222	-0,248	1,000	0,926	0,957	1,000
Bureau	1,000	0,091	0,058	1,000	0,090	0,131	1,000	0,982	0,926
	0,091	1,000	-0,802	0,090	1,000	-0,409	0,982	1,000	0,957
	0,058	-0,802	1,000	0,131	-0,409	1,000	0,926	0,957	1,000

Tableau 5-2 : Résultats d'inter-correllation d'images réelles

A titre de comparaison, nous avons effectué également le calcul d'inter-corrélation sur des mires. Les résultats sont donnés dans le Tableau 5-3. Pour les mires, nous pouvons observer une corrélation d'environ 50% pour les paramètres R, V et B. Par contre une décorrélation pratiquement complète des paramètres H, S et I, que ce soit avec la transformation entièrement numérique, ou la notre.

#### 5.5.3.2 Conclusions

Mires	HSI analogique- numérique			HSI numérique			RVB		
33% de I	1,000	-0,023	-0,040	1,000	0,004	0,000	1,000	-0,500	-0,500
	-0,023	1,000	-0,034	0,004	1,000	0,000	-0,500	1,000	-0,500
	-0,040	-0,034	1,000	0,000	0,000	1,000	-0,500	-0,500	1,000
50% de I	1,000	-0,035	-0,030	1,000	0,004	-0,028	1,000	-0,534	-0,482
	-0,035	1,000	-0,046	0,004	1,000	-0,028	-0,534	1,000	-0,482
	-0,030	-0,046	1,000	-0,028	-0,028	1,000	-0,482	-0,482	1,000
66% de I	1,000	-0,028	-0,016	1,000	0,004	0,000	1,000	-0,505	-0,497
	-0,028	1,000	0,003	0,004	1,000	0,000	-0,505	1,000	-0,497
	-0,016	0,003	1,000	0,000	0,000	1,000	-0,497	-0,497	1,000

Tableau 5-3 : Résultats d'inter-correllation des mires

Les deux tableaux précédents montrent une corrélation importante pour les composantes R, V et B, comme l'avait déjà montré X.LUI [LUI91]. Par contre nous trouvons le contraire de ce qu'il avait obtenu pour les composantes HSI. X.LUI avait calculé les coefficients d'intercorrélation sur deux images, une image représentant un visage, et une image synthétisée, et il avait obtenu des coefficients d'inter-corrélation entre H, S et I supérieurs à ceux des images RVB. Ce qui n'est pas le cas pour nos sept images réelles, et nos trois images synthétisées.

### 5.6 Conclusions

La carte IA512C nous a permis de montrer que l'espace psychovisuel HSI, est constitué de trois composantes indépendantes [BAL82]. L'indépendance entre H et S, est toujours observée. Par contre il en va légèrement autrement entre les composantes S et I. Avec notre transformation, nous avons une corrélation entre S et I variant de 80 à 90%. Ce phénomène est dû à un défaut que nous avons mis en évidence dans ce chapitre et le précédent. Le calcul de la saturation n'est pas constant lorsque nous nous approchons trop de la droite achrome, et lorsque nous tendons vers le noir. Avec la transformation entièrement numérique, la corrélation entre S et I varie de 10 à 75%. Des écarts aussi importants ont pour origines la quantification des signaux et des calculs sur des entiers. En conséquence, si nous arrivons, à corriger le défaut de notre saturation, nous pouvons espérer obtenir une décorélation entre S et I plus importante, que celle obtenue jusqu'ici.

# Bibliographie

- [BAL82] D. H. BALLARD, C. M. BROWN, Computer vision, Prentice-Hall, Inc 1982
- [LUI91] X. LUI, Analyse d'images couleurs en composantes indépendantes par réseau de neurones, Thèse de l'Institut National Polythechnique de Grenoble 1991

### **CONCLUSION**

Nous avons présenté une nouvelle méthode de transformation des signaux vidéo RVB -> HSI, qui permet d'éviter les problèmes mis en évidence par KENDER. De plus notre méthode permet d'obtenir un peu plus de 9 millions de couleurs significatives contre seulement 5,7 millions pour la transformation entièrement numérique.

Avec l'aide d'histogrammes, il est possible de recaler les plages de travail des convertisseurs A/N permettant une résolution optimale. Notre transformation étant analogique, cela permet de dilater les signaux S et I. En ce qui concerne les deux signaux de chrominances, il est alors possible d'augmenter la sensibilité chromatique.

Les différentes mesures effectuées à l'aide de notre transformation nous ont permis de montrer une certaine indépendance de la teinte par rapport à la saturation et à l'intensité. Par contre nous obtenons toujours une corrélation importante entre la saturation et l'intensité.

En pratique les améliorations apportées par notre transformation se manifestent par:

- Une meilleure résolution de l'image « teinte » permettant une détection de contour précis.

- L'image de saturation n'est pas affectée par des variations aberrantes.

- Une image d'intensité identique.

Cet ensemble d'améliorations permet une analyse par histogrammes, ce qui permet l'utilisation de segmentations simples.

De plus, il est possible d'améliorer les caractéristiques de la carte en corrigeant un certain nombre de petits défauts. Le premier est l'indépendance du calcul entre H et S. Il faudrait lorsque nous décidons qu'il n'est plus possible de calculer correctement H, d'affecter une valeur nulle à S. Car la valeur de celle-ci tend à être de plus en plus élevée lorsque nous nous approchons du noir. Comme nous l'avons déjà indiqué dans les caractéristiques de la carte, nous disposons de deux modes couleurs, le mode HSI (défaut) et le mode RVB. Cette fonctionnalité intervient aussi bien au niveau de l'acquisition des signaux, qu'au niveau de la visualisation. Il serait intéressant de pouvoir acquérir les signaux en mode HSI, et de désactiver la transformation numérique HSI -> RVB, donnant ainsi la possibilité de visualiser directement n'importe quelle composante (H, S ou I).

Comme tous systèmes analogiques, les caractéristiques de notre système sont détériorées par le bruit, qui est dû à l'importance des fonctions numériques de la carte. La diminution de celui-ci passe par une meilleure séparation des fonctions analogiques et numériques et surtout par l'intégration de notre transformation dans un ASIC.

Le devenir commerciale de la carte est entre les mains de la société EDIXIA. En ce qui concerne le laboratoire, une étude sur la détection d'obstacles routiers est actuellement menée en utilisant ce système.





# Carte IA512C



## Synoptique de la carte IA512T

# Photos









# Spécification de la carte IA512C

Carte au format:	VME double Europe A24/D16 et A32/32				
Format d'image couleur utilisé:	HSI ou RVB				
Caméras en entrée:	4 entrées caméra RVB, synchronisable sur:				
	- L'entrée composite (par défaut)				
	- La composante Rouge				
	- La composante Verte				
	- La composante Bleue				
Synchronisation vidéo:	Interne / Externe				
Conversion d'espace RVB/HSI:	Analogique, possiblité de la déactiver				
Format de discrétisation A/N:	8 bits pour chaque composante				
Format d'acquisition des images:	En image, ou en trame				
Mémorisation:	2 plans image (512 x 512 x 24 bits)				
Tables de tanscodage:	8 groupes de 3 LUTs (une pour chaque composante)				
Seuillage:	2 plans de seuillages (512 x 512 x 4 bits)				
	Le seuilage est effectueé par un « ET » logique bit à bit sur les 4 bits de poids faible de chaque composante. Possibilité d'incrustation des plans segmentés.				
Plan graphique:	1 plan de 512 x 512 x 4 bits. Possibilité d'incrustion				
Conversion d'espace HSI/RVB:	Réalisée en temps réel par un processus câblé.				
Conversion numérique/analogique:	8 bits par composante, affichage en RVB sur moniteur				
Consommation:	5A sur le +5V				
	1A sur le +12V et -12V				

•

# **Réponse des capteurs CCD couleurs**





Nom: GRIMM

Prénom: Martial

#### DOCTORAT de l'UNIVERSITE HENRI POINCARE, NANCY-I

en METROLOGIE ELECTRONIQUE

#### VU, APPROUVÉ ET PERMIS D'IMPRIMER

Nancy, le 1 6 NOV. 1994

- 41G

Le Président de l'Université



3C-F9

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ - NANCY 1 24-30, rue Lionnois B.P.3069 54013 Nancy cedex Tél: 83 32 81 81 Fax: 83 32 95 90

Adresse électronique : \_\_\_\_

\_ @presn1.u-nancy.fr

### **RESUME**

L'espace colorimétrique HSI offre de multiples avantages en analyse et traitement d'images couleurs (attributs H et S insensibles aux variations d'éclairement de la scène, représentation des couleurs analogues à celle de l'oeil, segmentations chromatiques robustes et bien adaptées aux images réelles). Cependant les caméras et autres capteurs d'images délivrent des signaux standards RVB et la transformation RVB -> HSI à la cadence vidéo est encore mal maîtrisée (transfert d'espace incomplet, pertes de signification des attributs H et S en certaines zones, aberrations dues à la discrétisation des signaux amonts).

Pour tenter de résoudre certains de ces problèmes, hous avons choisi une méthode de transformation non conventionnelle qui aboutit à l'élaboration d'une architecture électronique mixte (analogique-numérique). Toutes les fonctions (hormis les relations trigonométriques) nécessaires à la conversion sont supportées par des opérateurs analogiques larges bandes (matriçage, détecteur de minima tri-signaux, normalisateur). La numérisation n'apparaît ainsi qu'en fin de traitement pour la détermination de la teinte.

Les performances de cette méthode ne sont limitées que par le rapport signal sur bruit des signaux RVB en entrée. es améliorations obtenues par rapport aux méthodes entièrement numériques sont d'une part, une augmentation notable de la zone chromatique de l'espace HSI; d'autre part, la transition chromatique/achromatique présente une meilleure continuité ce qui permet des différenciations de couleur acceptables même à faible niveau. Enfin, un format final de 3x8 bits sur HSI offrant un nombre total de couleurs discernables analogue à celui obtenu par une quantification identique du cube RVB.

### <u>ABSTRACT</u>

The colorimetric space HSI offers numerous advantages in the analysis and treatment of colour images (H and S attributes insensitive to variations of light setting, perception of colours analogous to those of the eye, robust chromatic segmentations which are well adapted to real images). In the meantime, cameras and other image captors deliver the standard RGB signals and the RGB->HSI transformation at the rate of video is still far from being mastered (incomplete transfer of space, loss of meaning of the attributes H and S in some zones, aberrations owing to the quantification of the signals upstream).

To attempt to resolve some of these problems, we have chosen an unconventional method of transformation which results in the development of a mixed electronic structure (analog-numeric). All the functions (except the trigonometric relations) necessary for the conversion are subtained by the broad band analog operators (linear functions, minima tri-signals detection, normalization). In this way, the numerization does not appear until the end of the treatment determining the hue.

Results of this method are only limited by the signal/noise ratio of the RGB signals on entrance. The improvements obtained in relation to completely digital methods are on one hand, a considerable increase in the chromatic zone of the HSI space; on the other hand, the chromatic/achromatic transition presents improved continuity allowing acceptable colour differentiation even at the low level. Lastly, a final format of 3x8 bits in HSI offers a total number of discernable colour analogous to those obtained by a indentical quantification of the RGB cube.