

**CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE D'UN SYSTÈME DE  
VISUALISATION CONTEXTUELLE**

par

Rabia Hammar

Mémoire présenté au Département d'informatique  
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

**FACULTÉ DES SCIENCES  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE**

Sherbrooke, Québec, Canada, 20 mai 2010



Library and Archives  
Canada

Published Heritage  
Branch

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file* *Votre référence*  
*ISBN: 978-0-494-65598-6*  
*Our file* *Notre référence*  
*ISBN: 978-0-494-65598-6*

**NOTICE:**

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

---

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

**AVIS:**

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

---

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

  
**Canada**

Le 20 mai 2010

*le jury a accepté le mémoire de Monsieur Rabia Hammar  
dans sa version finale.*

Membres du jury

Professeur Djemel Ziou  
Directeur de recherche  
Département d'informatique

Professeur Richard Egli  
Membre  
Département d'informatique

Professeure Marie-Flavie Auclair-Fortier  
Présidente rapporteuse  
Département d'informatique

# Sommaire

Entre l'acquisition de l'image et son affichage, il y a plusieurs opérations que l'image subit. En plus, les écrans ne sont pas capables d'afficher les images avec une grande fidélité.

Ce travail consiste à corriger l'image avant son affichage. Les corrections apportées dépendent essentiellement des spécificités de l'utilisateur comme les caractéristiques de la rétine et les différents aspects de la perception des couleurs. Elles dépendent aussi de l'environnement qui intervient par l'intensité et la couleur de la lumière. Enfin, elles dépendent des caractéristiques de l'écran qui influencent l'affichage avec son gamut, son intensité maximale et sa consommation en énergie.

Notre objectif est de créer un système qui prend en charge tous ces paramètres et qui nous fournit à la sortie une image qui satisfasse l'utilisateur.

# Remerciements

Je remercie d'abord le bon dieu qui m'a donné la patience d'accomplir ce travail.

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, le professeur Djemel Ziou de m'avoir accueilli dans son laboratoire, de m'avoir accepté sous sa direction, pour ses conseils judicieux, son soutien et sa disponibilité. Je le remercie aussi de m'avoir orienté durant ma maîtrise, de m'avoir appris la rigueur et la précision dans le travail.

Je remercie également les membres du laboratoire MOIVRE pour leur sympathie et d'être mes sujets d'applications.

Je tiens à remercier plus spécialement Sabri Boutemedjet pour son aide du côté de l'implémentation du projet et des astuces qu'il m'a fait découvrir.

Un grand merci à mes parents pour leur soutien moral, leurs encouragements et leur patience, à ma femme pour son engagement et ses conseils, à mes frères et sœurs. À tout ce monde, je dédie ce travail.

# Table des matières

<b>Sommaire</b>	<b>i</b>
<b>Remerciements</b>	<b>ii</b>
<b>Table des matières</b>	<b>iii</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>v</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>ix</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 La vision humaine</b>	<b>4</b>
1.1 Fonctionnement de l'œil humain . . . . .	4
1.1.1 Le système optique de l'œil . . . . .	4
1.1.2 La rétine . . . . .	5
1.2 Traitement de l'information visuelle . . . . .	8
1.2.1 L'adaptation à l'obscurité et à la lumière . . . . .	11
1.2.2 L'adaptation chromatique . . . . .	12
1.2.3 Appréciation des contrastes . . . . .	13
1.2.4 Détection des phénomènes spatio-temporels . . . . .	15
1.3 Les anomalies de l'œil humain . . . . .	16
1.3.1 Les anomalies optiques . . . . .	17
1.3.2 Les anomalies liées à la vision de couleurs ( <i>Daltonisme</i> ) . . . . .	18
1.3.3 Conclusion . . . . .	20

## TABLE DES MATIÈRES

<b>2</b>	<b>La visualisation contextuelle</b>	<b>22</b>
2.1	Le système de visualisation contextuelle . . . . .	23
2.2	Objectifs du système de visualisation contextuelle . . . . .	26
2.3	Architecture du système de visualisation contextuelle . . . . .	29
2.4	Les opérations du système de visualisation contextuelle . . . . .	31
2.4.1	Adaptation chromatique . . . . .	31
2.4.2	Adaptation à la lumière et à l'obscurité . . . . .	38
2.4.3	Adaptation au reflet . . . . .	42
2.4.4	Adaptation géométrique . . . . .	45
2.5	Réduction de la consommation d'énergie dans les dispositifs mobiles . . . . .	56
2.5.1	Compensation d'énergie dans l'ECL . . . . .	57
2.5.2	Implémentation de l'algorithme de réduction de la consommation de l'écran dans le système de visualisation contextuelle . . . . .	59
2.6	Séquencement des opérations dans le système de visualisation contextuelle	60
2.7	Le système de visualisation contextuelle pour la vidéo . . . . .	62
2.8	Conclusion . . . . .	63
<b>3</b>	<b>La correction des couleurs pour les daltoniens</b>	<b>64</b>
3.1	Correction des couleurs pour les trichromates anormaux . . . . .	64
3.1.1	Trichromatie anormale . . . . .	65
3.1.2	Adaptation des couleurs pour la trichromatie anormale . . . . .	67
3.2	Adaptation des couleurs pour les dichromates . . . . .	69
3.2.1	Modèles de couleurs pour les dichromates . . . . .	69
3.2.2	Correction des couleurs pour les dichromates . . . . .	72
<b>4</b>	<b>Validation du système de visualisation contextuelle</b>	<b>77</b>
4.1	Évaluation des méthodes du système . . . . .	77
4.1.1	Évaluation de l'estimation de la lumière . . . . .	79
4.1.2	Évaluation de l'adaptation chromatique . . . . .	81
4.1.3	Évaluation de l'adaptation à l'obscurité . . . . .	83
4.1.4	Évaluation de l'adaptation à la lumière . . . . .	87
4.1.5	Évaluation de l'adaptation au reflet . . . . .	92
4.1.6	Évaluation de l'adaptation géométrique . . . . .	96

TABLE DES MATIÈRES

4.1.7	Évaluation de la méthode de réduction de la consommation de l'ECL	99
4.1.8	Évaluation des méthodes de correction pour daltoniens . . . . .	102
4.2	Évaluation globale du système de visualisation contextuelle . . . . .	106
<b>Conclusion</b>		<b>110</b>

# Table des figures

1.1	Assimilation de l'œil à une lentille . . . . .	5
1.2	L'œil humain . . . . .	6
1.3	Courbe de la variation du diamètre de la pupille . . . . .	6
1.4	Répartition des cônes et bâtonnets sur la rétine . . . . .	7
1.5	Sensibilités spectrales des cônes dans la rétine . . . . .	7
1.6	Sensibilités des cônes et bâtonnets en fonction de la luminance . . . . .	8
1.7	Les différentes couches de la rétine . . . . .	9
1.8	Adaptation à la lumière et à l'obscurité des photorécepteurs . . . . .	12
1.9	L'adaptation chromatique des photorécepteurs . . . . .	13
1.10	Le contraste de luminosité . . . . .	15
1.11	Le contraste de saturation . . . . .	15
1.12	Le contraste de teinte . . . . .	16
1.13	Détection du mouvement dans la rétine . . . . .	16
1.14	Oeil hypermétrope . . . . .	17
1.15	Oeil myope . . . . .	17
1.16	Oeil astigmat . . . . .	18
1.17	Réponse spectrale des cônes décalées . . . . .	19
1.18	Simulation de la vision des trichromates anormaux . . . . .	20
1.19	Simulation d'un protanope . . . . .	21
1.20	Simulation d'un deuteranope . . . . .	21
1.21	Simulation d'un tritanope . . . . .	21
2.1	Constitution de l'ECL . . . . .	24

## TABLE DES FIGURES

2.2	Consommation des différentes composantes dans un système de communications mobiles . . . . .	25
2.3	Changement du point blanc (de D65 à A) . . . . .	26
2.4	Problème de la visualisation contextuelle . . . . .	27
2.5	Problème de la visualisation contextuelle . . . . .	28
2.6	Solution proposée pour la visualisation contextuelle . . . . .	29
2.7	Architecture du système de visualisation contextuelle . . . . .	31
2.8	Expérience utilisée pour mettre en évidence l'adaptation chromatique dans le temps . . . . .	34
2.9	La phase lente de l'adaptation chromatique . . . . .	35
2.10	Évolution de la phase lente dans le temps . . . . .	35
2.11	Expérience de la phase rapide de l'adaptation chromatique . . . . .	36
2.12	Évolution de La phase rapide de l'adaptation chromatique dans le temps . . . . .	36
2.13	Évolution de l'adaptation chromatique dans le temps . . . . .	37
2.14	Schéma bloc de l'implémentation de l'adaptation chromatique . . . . .	38
2.15	Relation entre l'intensité de lumière et la luminance de l'image . . . . .	42
2.16	Schéma bloc de l'implémentation de l'adaptation à la lumière/obscurité . . . . .	43
2.17	Schématisation de la réflexion sur l'écran . . . . .	43
2.18	Schéma bloc de l'implémentation de l'adaptation au reflet . . . . .	46
2.19	La modification de l'image par la perspective . . . . .	47
2.20	Schéma de la compensation de la perspective . . . . .	48
2.21	Résultat de la compensation de la perspective . . . . .	49
2.22	Caractéristiques utilisées dans la fenêtre de détection du visage . . . . .	50
2.23	Valeur de l'image intégrale au point (x,y) . . . . .	51
2.24	Caractéristiques sélectionnées par l'algorithme d'apprentissage . . . . .	51
2.25	Sélection des classificateurs en cascade . . . . .	52
2.26	Test du détecteur du visage . . . . .	53
2.27	Centre du visage . . . . .	54
2.28	Coordonnées du centre de visage par rapport au centre de l'image . . . . .	55
2.29	Schéma bloc de l'adaptation géométrique . . . . .	56
2.30	Consommation électrique du rétro-éclairage d'un dispositif de communications mobiles . . . . .	57

## TABLE DES FIGURES

2.31	Schéma bloc de la réduction de la consommation d'énergie au niveau d'un ECL . . . . .	60
2.32	Traitement de la vidéo par le SVC . . . . .	63
3.1	Réponses spectrales des cônes . . . . .	69
3.2	Relation entre l'espace RGB et l'espace LMS . . . . .	75
3.3	Correction de couleurs pour le protanope . . . . .	76
4.1	Exemple d'images références . . . . .	80
4.2	Comparaison d'images avec $\Delta E_{94}$ . . . . .	82
4.3	Images présentées à l'utilisateur pour l'adaptation chromatique (scène de l'extérieur) . . . . .	84
4.4	Images présentées à l'utilisateur pour l'adaptation chromatique (scène de l'intérieur) . . . . .	85
4.5	Résultat de l'évaluation de l'adaptation chromatique . . . . .	86
4.6	Résultats de l'évaluation de l'adaptation à l'obscurité . . . . .	88
4.7	Résultats de l'évaluation de l'adaptation à l'obscurité . . . . .	89
4.8	Résultats de l'évaluation de l'adaptation à la lumière . . . . .	90
4.9	Répartition des réponses des utilisateurs . . . . .	91
4.10	Évaluation de l'adaptation au reflet . . . . .	94
4.11	Résultats de l'évaluation de la compensation du reflet . . . . .	95
4.12	Évaluation de la compensation de la perspective . . . . .	97
4.13	Résultats du test sur l'adaptation géométrique . . . . .	98
4.14	Évolution du contraste en fonction du niveau du rétro-éclairage . . . . .	100
4.15	Évaluation de la réduction de la consommation de l'ECL . . . . .	101
4.16	Résultats du test de réduction de la consommation d'énergie. . . . .	103
4.17	Illustration de la comparaison entre les deux images résultantes . . . . .	104
4.18	Évaluation de la correction des couleurs pour les dichromates . . . . .	105
4.19	Comparaison entre l'image originale et l'image corrigée perçue par le deutéranope. . . . .	106
4.20	Passage au milieu fortement illuminé . . . . .	107
4.21	passage à l'obscurité . . . . .	108
4.22	Changement de couleur de la lumière . . . . .	109

TABLE DES FIGURES

4.23 Changement de position par rapport à l'écran . . . . . 109

## Liste des tableaux

2.1	Gain en puissance pour chaque niveau du rétro-éclairage. . . . .	57
2.2	Relation entre le niveau de rétro-éclairage $n$ et sa luminance correspondante $L$ . . . . .	59
2.3	Relation entre le niveau de rétro-éclairage $n$ et l'intensité du milieu ambiant $L_{ID}$ . . . . .	59
3.1	Relation entre sévérité et problèmes de vision de couleurs dans MPEG-21 .	67
4.1	La différence $\Delta E_{94}$ entre la lumière référence et la lumière estimée par la méthode du monde gris. . . . .	80
4.2	La différence entre l'intensité estimée de la lumière et l'intensité exacte. . .	81
4.3	La différence $\Delta E_{94}$ entre les images références et les images adaptées. . . .	81
4.4	Différence $\Delta E_{94}$ entre l'image référence et les images avec reflet et corrigées pour une image de l'intérieur (A : image référence, B : image avec reflet, C : image corrigée). . . . .	93
4.5	Différence $\Delta E_{94}$ entre l'image référence et les images avec reflet et corrigées pour une image de l'extérieur (A : image référence, B : image avec reflet, C : image corrigée). . . . .	95

# Introduction

Le développement rapide des dispositifs électroniques mobiles impose leur utilisation à large échelle. Ces dispositifs sont équipés de caméras, ils offrent plusieurs fonctionnalités comme la visualisation d'images, de vidéos, ou encore la capture d'images et de vidéos. Cependant, ces systèmes présentent des spécificités dues à la mobilité. Ils possèdent une autonomie en énergie électrique limitée (batteries rechargeables) surtout lors de la visualisation des images et des vidéos qui peuvent consommer jusqu'à 60% de l'énergie consommée par le dispositif mobile. La mobilité peut causer aussi des effets négatifs dus aux reflets sur l'écran, ou de la forte intensité de l'éclairage. Par exemple, cela mène à des différences de perception d'une même image. Cette différence est due à plusieurs facteurs.

Le premier facteur est la couleur de la lumière. Si la couleur de la lumière change entre le moment de la capture de l'image et le moment de sa visualisation, la perception des couleurs ne sera plus la même. Par exemple, si une image est prise à l'intérieur d'une maison munie de lampes incandescentes, lors de la visualisation à l'extérieur sous la lumière du jour, l'image apparaîtra plus jaunâtre qu'elle l'était lors de la visualisation à l'intérieur de la maison. Le second facteur est l'intensité de la lumière. Entre une forte lumière et une faible lumière, la perception de l'image n'est pas identique. Nous pouvons distinguer beaucoup plus de détails dans une image sous une faible lumière, qu'avec une forte lumière. Le troisième facteur est le reflet engendré par l'écran. À cause de sa réflectivité, l'écran réfléchit une partie de la lumière incidente. Cela affecte la perception de l'image parce que les rayons réfléchis se superposent. Il en résulte une image perçue qui est différente de l'image affichée sur l'écran. L'écran intervient aussi avec sa consommation de l'énergie électrique. Plus son intensité est grande, plus il consomme de l'énergie. Le quatrième facteur est la position géométrique de l'utilisateur par rapport à l'écran. L'apparence de l'image dépend de la position de l'utilisateur par rapport à l'écran. Un effet de perspective est créé par

## INTRODUCTION

l'orientation de l'écran.

Il existe aussi des facteurs liés à l'utilisateur. Il s'agit des différentes formes de *daltonisme*. Lors de la visualisation, les images sont souvent affichées dans un système de couleurs sRGB. Cependant, un daltonien ne perçoit pas correctement une ou plusieurs de ces couleurs, sa vision de la couleur est confuse.

L'objectif de notre travail est d'inhiber l'effet de ces facteurs qui influencent l'apparence de l'image. Il s'agit de produire une image, qui est perçue identiquement à l'image originale.

Nous reprenons les travaux de maîtrise de Frédéric Dhalleine [13] qui a travaillé sur la visualisation contextuelle. Un système de visualisation contextuelle peut se définir comme un système qui prend comme paramètres, en entrée, une image, les données de l'environnement, les spécificités de l'écran et les spécificités de l'utilisateur. Il produit, en sortie, une image adaptée pour l'utilisateur.

Notre travail vise à améliorer certaines méthodes utilisées dans les travaux de Dhalleine et à rajouter d'autres types de traitement. L'ancien travail comporte les opérations suivantes : l'adaptation chromatique, l'adaptation à la lumière, l'adaptation au reflet et l'adaptation géométrique. Nous avons amélioré le traitement de ces adaptations. Pour l'adaptation chromatique ; dans l'ancien travail, le temps n'était pas pris en considération. Les deux types de photorécepteurs de la rétine interviennent dans l'adaptation à la lumière et à l'obscurité au lieu d'un seul type (cônes). En ce qui concerne l'adaptation au reflet, l'ancien travail ne prenait en considération que l'intensité de la lumière. Dans notre travail, nous avons tenu compte de tout l'aspect de la lumière (couleur et intensité). L'amélioration portée sur l'adaptation géométrique porte sur la détection du visage de l'utilisateur, puis sa localisation dans le but de définir les angles de rotation de l'image. Les nouvelles fonctionnalités du travail sont la conception et l'implémentation d'une méthode pour économiser l'énergie consommée par un écran à cristaux liquides, et l'ajout d'un module de traitement de couleurs pour les daltoniens afin de leur rendre la visualisation de couleurs plus agréable. Et enfin, tout le système a été implémenté sur un dispositif de communication mobile (téléphone intelligent, Pharos traveler 137).

Ce mémoire comporte quatre chapitres. Le premier chapitre traite des propriétés de la vision humaine. L'œil étant pris comme un capteur optique, nous étudierons les opérations qu'il effectue ainsi que les différentes défaillances qui peuvent l'affecter. Nous présenterons

## INTRODUCTION

ainsi le problème de daltonisme et les conséquences engendrées sur la vision des couleurs. Au second chapitre, nous proposerons des méthodes de transformation et d'adaptation de l'image avant que celle-ci ne soit affichée. La première méthode est la transformation chromatique. Elle sert à adapter l'image à la couleur de la lumière ambiante. La seconde transformation est l'adaptation à l'intensité de la lumière. Elle adapte l'image à l'intensité de la lumière. La troisième transformation est l'adaptation géométrique. Elle est utilisée pour rectifier les déformations de l'image dues aux perspectives. La quatrième transformation est la compensation du reflet. Elle sert à éliminer l'effet de la lumière réfléchie sur l'écran. Enfin, la cinquième transformation est la réduction de la consommation électrique de l'écran, tout en gardant la même qualité de l'image. Dans le troisième chapitre, nous étudierons le problème de daltonisme et la possibilité de correction de l'image afin que le daltonien puisse distinguer entre les différentes couleurs. Les solutions proposées concernent les daltoniens dichromates (personnes ayant seulement deux types de cônes), et les daltoniens trichromates (personnes ayant trois types de cônes mais qui ne voient pas les couleurs de la même manière qu'une personne normale).

Le dernier chapitre est consacré à l'évaluation des transformations étudiées aux chapitres précédents, ainsi que l'évaluation de tout le système. Pour cela, nous avons élaboré des méthodes d'évaluation objectives et subjectives afin de comparer les résultats obtenus avec l'appréciation des utilisateurs du système de visualisation contextuelle.

# Chapitre 1

## La vision humaine

Ce chapitre est une introduction au fonctionnement du système visuel humain. L'œil humain est l'organe responsable de la réception des rayons lumineux et leur transformation en information nerveuse. Cette information sera traitée, par la suite, au niveau du cerveau. L'objectif est de bien comprendre la perception des images à partir des rayons lumineux. Nous avons divisé ce chapitre en trois parties ; la première est consacrée à l'étude de l'œil humain, composé d'un système optique et d'un transducteur (convertisseur) de la lumière reçue en information nerveuse. Nous allons voir, dans la deuxième partie, les différentes adaptations réalisées au niveau du système visuel, comme l'adaptation chromatique, l'adaptation à l'obscurité et l'appréciation des contrastes. La troisième partie de ce chapitre est consacrée à l'étude des différentes anomalies qui peuvent affecter l'œil, surtout au niveau de la perception des couleurs. Le but de cette partie est d'introduire le problème des daltoniens, ainsi que les différents types de daltonismes. Elle présente aussi la perception des couleurs d'un daltonien. Ces résultats serviront par la suite (au chapitre 3) pour trouver des techniques de correction pour certaines déficiences chez les daltoniens [25].

### 1.1 Fonctionnement de l'œil humain

#### 1.1.1 Le système optique de l'œil

L'œil humain est assimilé à un système optique ayant une simple lentille convergente (figure 1.1). En fonction de la distance entre l'objet visé et notre œil, le cristallin (figure

## 1.1. FONCTIONNEMENT DE L'ŒIL HUMAIN

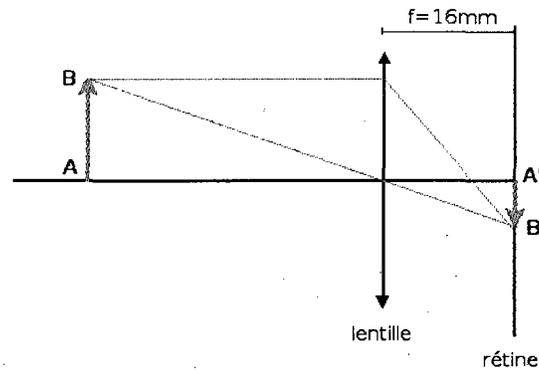


Figure 1.1 – L'œil humain : assimilation à une lentille équivalente. Image tirée de F. Dhal-leine [13].

1.2) peut se contracter afin de préserver la mise au point. Cette déformation consiste en une modification de la courbure de sa face antérieure, et par conséquent, une modification de sa distance focale (qui peut varier de 15.6mm à 24.3mm). Pour un œil normal, les objets situés à l'infini apparaissent nets sur la rétine sans que le cristallin ait besoin de se déformer. En revanche, une déformation est nécessaire pour observer des objets proches. Cette déformation du cristallin, en vue de garder la netteté de l'image perçue, s'appelle l'*accommodation* [13].

De plus, l'iris joue le rôle d'un diaphragme. Il crée une ouverture, la pupille, de diamètre variant entre 2mm et 8mm dépendamment de l'éclairage ambiant. La figure 1.3 décrit la variation du diamètre de la pupille en fonction de l'intensité de l'éclairage. La variation de cette ouverture sert à réguler le flux lumineux entrant dans l'œil afin d'éviter que les cellules de la rétine ne soient saturées par un apport trop important de rayons incidents. Cette variation peut être différente d'un individu à un autre, le diamètre de la pupille peut aller du simple au double chez deux personnes différentes dans des conditions identiques [13].

### 1.1.2 La rétine

La *rétine* est la dernière étape du parcours des rayons lumineux dans l'œil. Elle tapisse le fond du globe oculaire et est composée de capteurs qui permettent de convertir les rayons lumineux en information électrique qui est ensuite envoyée au cerveau par le biais du nerf

## 1.1. FONCTIONNEMENT DE L'ŒIL HUMAIN

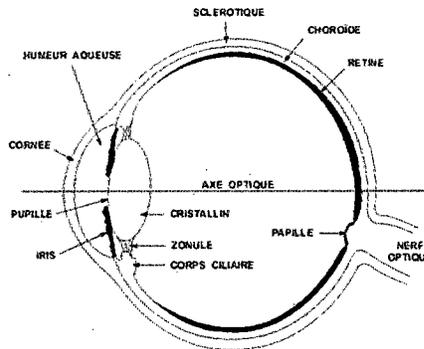


Figure 1.2 – L'œil humain. Image tirée de F. Dhalleine[13].

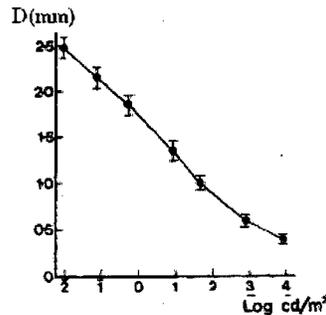


Figure 1.3 – Variation du diamètre de la pupille  $D$ (mm) en fonction de la luminance du champ observé mesurée en  $\text{Cd/m}^2$ . Image tirée de F. Dhalleine [13].

optique. La *papille* est une zone d'environ 1.5mm de diamètre sur la rétine où il n'existe aucun récepteur car c'est l'endroit où se fait la jonction avec le nerf optique. C'est pour cela que cette zone est aussi appelée *tache aveugle*. Cette zone n'a aucune conséquence sur la vision étant donné que le cerveau est "conscient" de cette tache et peut alors la masquer en la comblant en fonction de son entourage [12].

Les récepteurs présents sur la rétine sont de deux catégories distinctes : les *cônes* et les *bâtonnets* [37]. Les cônes sont beaucoup moins nombreux que les récepteurs de type bâtonnet (entre 6 et 7 millions). Ils sont principalement situés au centre de la rétine (région d'un diamètre d'environ 4mm appelée *fovéa*), zone la plus sensible de l'œil. Seule la partie du champ de vision occupant un angle de  $2^\circ$  autour de l'axe optique se projette sur la fovéa. C'est pour cela que lorsque l'on désire regarder vers une direction précise, il faut tourner les yeux pour aligner l'image sur la fovéa afin d'avoir l'image la plus nette possible [12].

## 1.1. FONCTIONNEMENT DE L'ŒIL HUMAIN

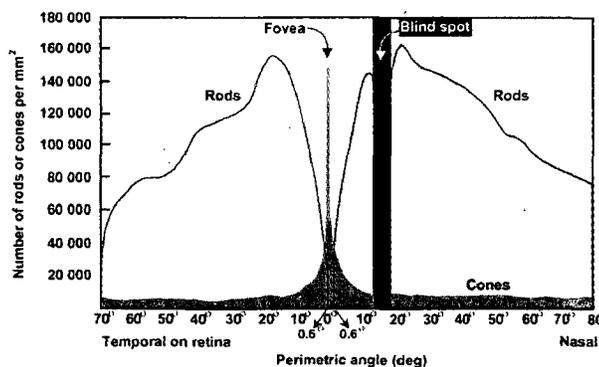


Figure 1.4 – Répartition des récepteurs de type cône et bâtonnet sur la rétine de l'œil humain. Image tirée de Hadjkhani *et al.*[20].

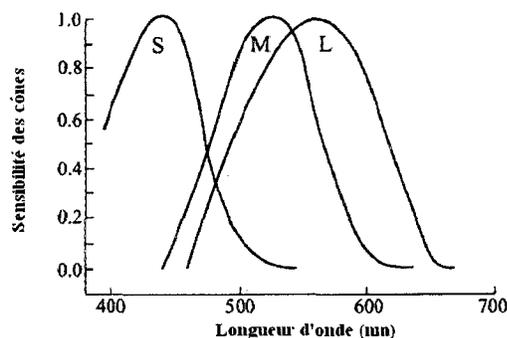


Figure 1.5 – Les Sensibilités spectrales des cônes en fonction de la longueur d'onde. Images tirée de Boothe [6].

Les cônes sont responsables de la perception de la couleur (vision photopique), car chaque type de cône possède une sensibilité spectrale à la lumière différente des autres. Ces cônes sont appelés aussi cônes L, M ou S respectivement (Long, Medium et Short wavelength) en raison de leur intervalle de sensibilité sur le spectre de la lumière. Ils possèdent chacun leur propre sensibilité au stimulus lumineux incident sur la rétine (figure 1.5). Les cônes sensibles dans le domaine des fréquences du bleu sont nettement moins nombreux que les cônes sensibles au vert ou au rouge (respectivement 6%, 31% et 63%).

Les bâtonnets, quant à eux, permettent de percevoir la luminosité et le mouvement, mais non la couleur. Ils sont au nombre d'environ 125 millions sur une rétine humaine et sont disposés principalement à la périphérie. Ils sont plus sensibles que les cônes à une

## 1.2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION VISUELLE

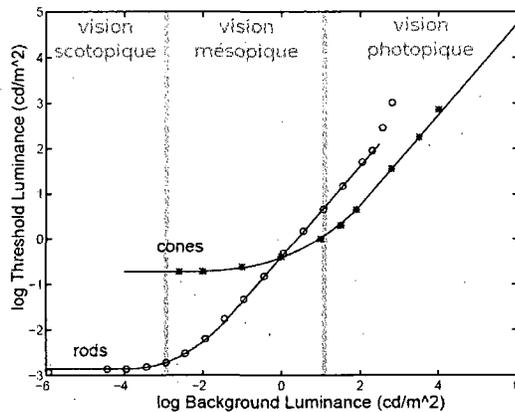


Figure 1.6 – Sensibilités des cônes et bâtonnets en fonction de la luminance. Image tirée de A. Ferwarda [18].

faible illumination (environ de 25 à 100 fois plus sensibles). C'est pour cela que nous ne percevons pas les couleurs lorsque nous sommes plongés dans un milieu ayant un faible éclairage. C'est la vision scotopique.

En vision nocturne, ce ne sont que les bâtonnets qui nous permettent la perception du milieu qui nous entoure. Étant présents seulement à la périphérie de la rétine, il y a alors un *scotome* central, c'est-à-dire une zone de non perception.

Lorsque les deux catégories de photorécepteurs, les cônes et les bâtonnets, sont stimulés de manière quasiment identique, nous avons une vision *mésopique*. Cela intervient lorsque l'éclairage ambiant est faible mais que nous commençons tout de même à discerner les différentes nuances de couleurs. Les sensibilités des cônes et des bâtonnets sont représentées sur la figure 1.6.

## 1.2 Traitement de l'information visuelle

La transduction de l'information optique en information nerveuse se fait par différents procédés qui ont pour but d'améliorer la perception de ce qui nous entoure. C'est grâce à l'étude de Alfred G. Gilman et Martin Rodbell, qui ont obtenu le prix Nobel en médecine en 1994 [40], que le traitement de l'information visuelle a été bien expliqué. Leur étude portait sur la découverte d'une protéine, appelée protéine  $G$ , et son rôle dans la transduction des signaux cellulaires. Il existe une sorte de cette protéine  $G_t$  qui est responsable de la

## 1.2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION VISUELLE

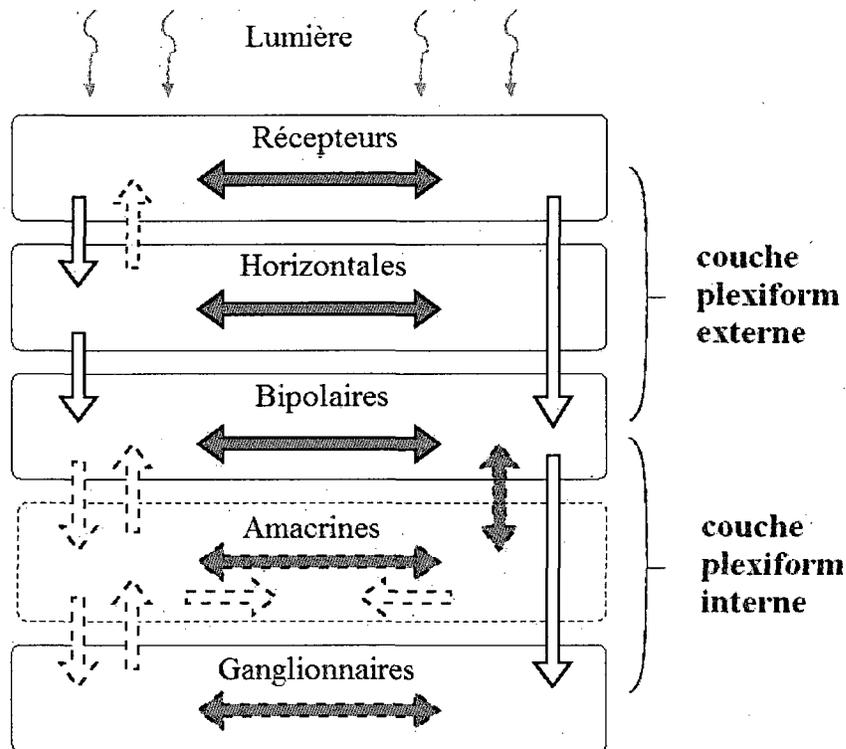


Figure 1.7 – Les différentes couches de la rétine. Image adaptée de W. Beaudot [4]

transduction des signaux visuelles dans la rétine [40]. Nous pouvons citer de nombreux traitements et adaptations effectués au sein du système visuel.

La rétine se compose de deux couches (voir figure 1.7) : la couche plexiforme externe et la couche plexiforme interne. La couche plexiforme externe comporte trois sortes de cellules [4] :

- Les cellules photoréceptrices (cônes et bâtonnets) qui transforment l'intensité lumineuse de l'image projetée sur la rétine en un potentiel électrique proportionnel à son logarithme. Une gamme d'intensité de plusieurs ordres de grandeurs est compressée en une gamme plus réduite que l'on peut traiter. La différence de potentiel entre deux points est proportionnelle au rapport de contraste entre les deux points correspondant de l'image initiale indépendamment de l'intensité de la lumière incidente.
- Les cellules horizontales : c'est la deuxième couche de cellules. Elles sont connectées avec les photorécepteurs et sont connectées entre elles par des jonctions formant

## 1.2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION VISUELLE

un réseau. Le potentiel en chaque point du réseau représente une moyenne spatiale pondérée des entrées constituées par les photorécepteurs. Ce qui est connu comme le phénomène de la création du flou. De plus, ces cellules effectuent une intégration temporelle.

- Les cellules bipolaires : le champ récepteur des ces cellules montre une réponse à antagonisme centre-périphérie (réponses opposées entre le centre et la périphérie). Cela est dû au fait que les centres de ces cellules sont issus des cellules photoréceptrices et la périphérie est issue des cellules horizontales. Ces cellules sont donc sensibles à la différence entre le signal résultant des photorécepteurs et sa version floue résultant des cellules horizontales. L'action des cellules horizontales est une inhibition latérale qui fournit une valeur de référence avec laquelle est comparée le signal d'entrée ; soustraire une moyenne locale (spatio-temporelle) et permet à l'œil de voir les détails aussi bien pour les zones illuminées que les zones sombres de scène à fort contraste.

D'après ce qui précède, nous déduisons que le rôle de la couche plexiforme externe est l'inhibition latérale et le rehaussement des contrastes. Cela lui permet une meilleure adaptation pour les différentes intensités lumineuses grâce au codage (compression) effectué par les photorécepteurs.

La couche plexiforme interne comporte deux sortes de cellules : les cellules amacrines et les cellules ganglionnaires. Son rôle est la détection du mouvement et la sélectivité directionnelle.

1. Les cellules amacrines : elles englobent plusieurs types et leur fonctions ne sont pas encore toutes définies. Une des fonctions définies est l'inhibition latérale comme dans le cas des cellules horizontales. Elles sont impliquées dans des processus de modulation de gain de la réponse des cellules bipolaires et des cellules ganglionnaires [5]. Elles modulent aussi la réponse des champs récepteurs des cellules ganglionnaires.
2. Les cellules ganglionnaires : elles reçoivent les signaux des cellules amacrines et les cellules bipolaires. Elles répondent d'autant plus fortement que les intensités lumineuses du centre et de la périphérie sont très différentes. Ainsi, elles rendent compte principalement des contrastes lumineux plutôt que de l'intensité absolue

Pour la vision chromatique, ce sont les cellules bipolaires et ganglionnaires qui interviennent. L'information des cônes passe à travers les cellules bipolaires et elle est transmise

## 1.2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION VISUELLE

aux cellules ganglionnaires où elle est transformée dans l'espace des couleurs opposées (*opponent color space*) avant d'être envoyée au cerveau. C'est au niveau de ces cellules que l'adaptation chromatique a lieu grâce aux réponses des différents types des cellules ganglionnaires [3].

Le système visuel humain effectue, donc, des opérations sur l'information visuelle afin d'optimiser la perception de notre environnement. Nous allons voir, en premier, l'adaptation à l'obscurité et à la lumière ainsi que l'adaptation chromatique. Par la suite, nous allons aborder les différents types de contraste dans le but de comprendre la différence de perception entre des régions voisines ayant des apparences différentes.

### 1.2.1 L'adaptation à l'obscurité et à la lumière

L'adaptation à l'obscurité et à la lumière est la capacité de notre système visuel à s'adapter à la luminance du milieu. Nous pouvons nous rendre compte de cela lorsque la lumière du milieu ambiant change brutalement d'intensité, par exemple lorsque nous nous promenons un jour d'été ensoleillé et que nous entrons dans une salle obscure. Nous devenons "aveugles" quelques minutes, puis progressivement nous commençons à distinguer les détails de la pièce qui nous entoure ; c'est l'adaptation à l'obscurité. Le phénomène inverse, l'adaptation à la lumière, produit l'effet opposé. Un éclairage trop intense nous éblouit avant que nous nous habituions à ce nouvel éclairage. Cette dernière est la plus rapide des deux et elle est de l'ordre de quelques secondes avant que l'on puisse retrouver une vision supportable. Cela est dû au fait que la sensibilité des photorécepteurs de type cône, responsable de la vision photopique, est établie entre 5 et 6 minutes dans la lumière alors que celle des bâtonnets, responsable de la vision scotopique, est établie en 20 minutes dans l'obscurité (figure 1.8). Ces adaptations ont pour rôle de rendre la vision confortable quelque soit le contexte où nous nous trouvons.

Il y a deux facteurs qui entrent en jeu dans cette adaptation. Le premier est la modification du diamètre de la pupille qui varie en fonction de l'intensité lumineuse entrante dans l'œil. Cette réaction est rapide, mais contrairement à ce que l'on pourrait croire, ne joue qu'un rôle infime dans l'adaptation à la lumière. La plus grande partie de cette adaptation se fait au sein des photorécepteurs de la rétine, ceux-ci contiennent un pigment qui blanchit lorsqu'il est frappé par un photon. Lorsque le flux lumineux incident est trop important, les

## 1.2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION VISUELLE

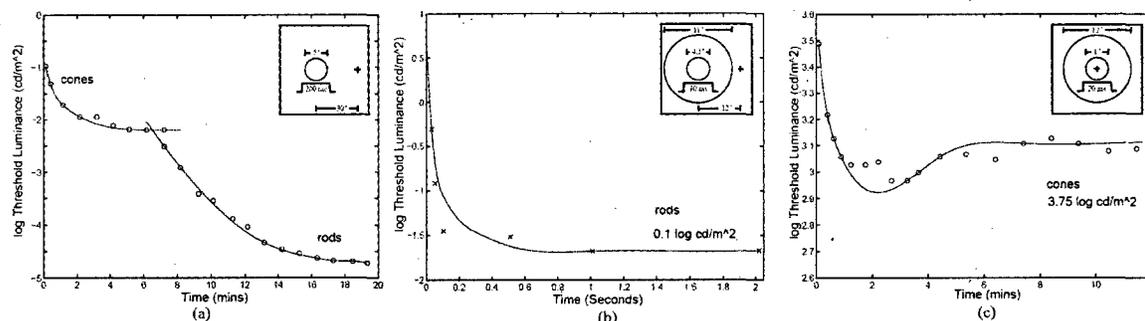


Figure 1.8 – (a) l'adaptation à l'obscurité des bâtonnets et des cônes, (b) l'adaptation à la lumière des bâtonnets, (c) l'adaptation à la lumière des cônes. Images tirées de A. Ferwerda [18].

pigments sont en quelque sorte "désactivés" afin d'atténuer la réponse des photorécepteurs [18, 17].

C'est par l'intermédiaire de l'adaptation à la lumière et à l'obscurité, que le système visuel varie entre la vision photopique et la vision scotopique dépendamment de l'intensité de la lumière ambiante.

### 1.2.2 L'adaptation chromatique

Le système visuel humain possède la capacité d'effectuer une *adaptation chromatique* afin de préserver la constance des couleurs. Cette adaptation correspond approximativement à un recalibrage de notre point blanc. Le point blanc correspond à la couleur de l'illuminant. Même si cet illuminant possède un aspect loin du blanc que nous connaissons, nous appelons "point blanc" le blanc de référence d'un système de couleur. Afin de vérifier l'adaptation du système visuel humain aux différents illuminants, plaçons un objet sous une lumière de type incandescente puis à la lumière du jour. À nos yeux, ces couleurs ne changeront pas. Prenons alors une photographie de cet objet sous ces deux illuminants (supposons que l'appareil photo n'effectue aucun ajustement du blanc). Nous remarquerions, alors sur les images, que l'objet a des couleurs totalement différentes. Elles seraient jaunâtres sous la lumière incandescente et normales (standards) à la lumière du jour [44].

L'acquisition des couleurs est assurée par la conversion de la lumière en tristimulus nerveux par les photorécepteurs de type cône. Nous percevons la nuance du blanc lorsque

## 1.2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION VISUELLE

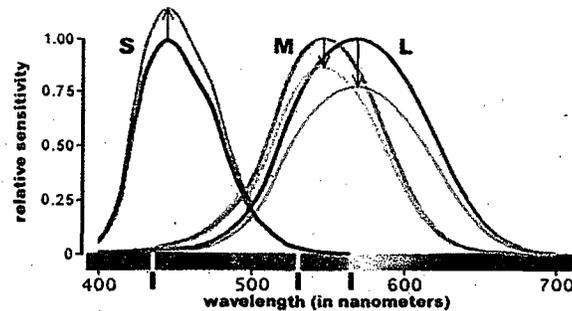


Figure 1.9 – L'adaptation chromatique se fait par inhibition ou accentuation de la réponse des photorécepteurs responsables de la couleur. Image adaptée de G. Wyszecki [48].

les trois types de ces capteurs sont stimulés identiquement. Afin de percevoir un objet de couleur blanche sous une lumière quelconque, notre œil inhibe ou accentue les récepteurs couleur de la rétine, c'est-à-dire, il diminue ou amplifie la réponse spectrale des cônes respectivement, de telle manière à ce que la couleur de l'illuminant ait le moins d'effet possible sur la couleur de l'objet (figure 1.9) [33, 48].

L'adaptation chromatique ne se fait pas instantanément. Comme l'adaptation à l'obscurité et à la lumière, elle dépend du temps. Il est facile de se rendre compte de ce phénomène lorsque nous mettons des lunettes colorées. Toute la scène devant nos yeux est alors immergée de la couleur des lunettes, puis redevient presque normale au bout de quelques minutes [36].

L'adaptation chromatique, tout comme l'adaptation à l'obscurité et à la lumière, est un procédé de notre système visuel permettant de préserver la perception des réflectances des surfaces.

### 1.2.3 Appréciation des contrastes

Le contraste est la différence d'impression lumineuse produite par le système visuel entre deux zones voisines ayant des luminances différentes. Il existe plusieurs définitions du contraste ; Il est défini selon Michelson par l'équation suivante [35] :

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

## 1.2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION VISUELLE

où  $L_{max}$  et  $L_{min}$  correspondent aux luminances des deux surfaces, avec  $L_{max} > L_{min}$ .

Le contraste peut prendre la forme d'un écart type par rapport à une moyenne de luminance (comme le cas d'une image). Il est défini alors par (d'après Rubin *et al.* [35]) :

$$C = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.1)$$

où  $x$  représente la valeur du pixel,  $\bar{x}$  la valeur moyenne de l'image et  $n$  représente le nombre de pixels. Nous pouvons trouver une définition du contraste dans le domaine fréquentiel. Selon Hess *et al.* [35], le contraste est défini par :

$$C(u, v) = \frac{2A(u, v)}{DC}$$

où,  $A(u, v)$  est l'amplitude de la transformée de Fourier de l'image,  $u$  et  $v$  sont les fréquences spatiales horizontales et verticales, respectivement, et  $DC$  représente la composante continue de l'image.

Dans le système visuel, les photorécepteurs présents dans la rétine possèdent leurs sensibilités au contraste qui varient en fonction de la luminance du milieu (figure 1.6, page 8), et par conséquent nous pouvons percevoir de plus petits contrastes sous de faibles luminances. Un stimulus qui peut être perceptible sous une faible lumière ambiante peut ne plus l'être si cette lumière augmente en intensité. C'est pour cela qu'il est difficile de distinguer, à l'œil nu, les étoiles dans un ciel en pleine journée.

Le seuil du plus petit contraste perceptible par l'œil humain, appelé *JND* (*Just Noticeable Difference*), dépend donc de la luminance de l'environnement. D'après Weber le *JND* est donné par la relation suivante :

$$\frac{\Delta I}{I} = k$$

où  $\Delta I$  est le *JND*,  $I$  la luminance du milieu (celle de la scène dans le champ de vision) et  $k$  le rapport constant entre ces deux grandeurs [35]. Ainsi, à cause du seuil  $k$ , nous ne percevons pas la même luminosité pour une même zone si elle est placée sur un fond sombre ou clair, comme le montre la figure 1.10 ; c'est le contraste de luminosité.

Nous percevons aussi d'autres contrastes que celui de la luminosité. Par exemple, une

## 1.2. TRAITEMENT DE L'INFORMATION VISUELLE

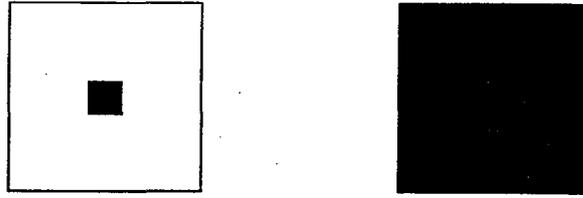


Figure 1.10 – Le contraste de luminosité : le carré gris à droite paraît plus clair que le carré gris à gauche, pourtant ils ont la même couleur. Image tirée de F. Dhalleine [13]



Figure 1.11 – Le contraste de saturation : le carré vert à gauche paraît plus vif que le carré vert à droite, pourtant ils ont la même couleur. Image tirée de F. Dhalleine [13]

couleur sera perçue de façon différente en fonction de son voisinage. Elle paraîtra plus pâle si elle est entourée d'une zone ayant des couleurs similaires à la couleur en question comme montré sur la figure 1.11 ; c'est le contraste de saturation [48].

La perception du contraste a aussi tendance à faire tendre une couleur vers la couleur complémentaire de celle de son entourage. Par exemple, le carré gris de gauche sur la figure 1.12 paraît rougeâtre puisqu'il est entouré de cyan, couleur complémentaire du rouge, alors que celui de gauche paraît bleuâtre car entouré de rouge ; c'est le contraste de teinte [48].

### 1.2.4 Détection des phénomènes spatio-temporels

Le système visuel humain possède la capacité de faire une analyse et une détection de phénomènes spatio-temporels, comme le mouvement. Il est démontré dans [4] que le comportement spatio-temporel de la rétine n'est pas séparable. Cela mène à des déductions intéressantes concernant l'analyse des objets en mouvement. L'analyse des phénomènes spatio-temporels commence au niveau de la couche plexiforme externe de la rétine où des intégrations spatio-temporelles sont effectuées. Mais, la détection du mouvement est effectuée au niveau de la couche plexiforme interne où tous les objets en mouvement sont isolés de l'arrière-plan dans lequel ils se trouvent. D'après la figure 1.13, une image

### 1.3. LES ANOMALIES DE L'ŒIL HUMAIN

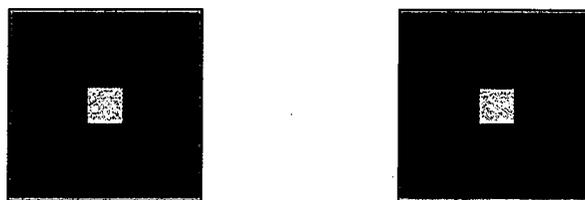


Figure 1.12 – Le contraste de teinte : le carré gris à gauche paraît rougeâtre alors que celui de droite paraît bleuâtre, pourtant ils ont la même couleur. Image tirée de F. Dhalleine [13]

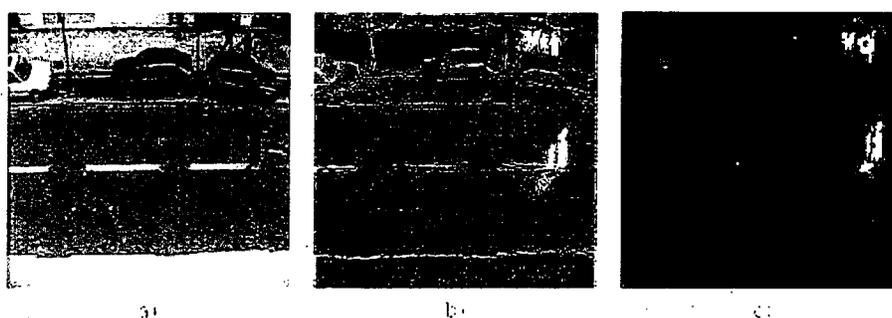


Figure 1.13 – Détection du mouvement dans la rétine : a) Image de la séquence, b) résultat du filtrage spatio-temporel de la couche plexiforme externe, c) résultat du filtrage de la couche plexiforme interne. Image tirée de la thèse de W. Beaudot [4].

d'une séquence est prise pour l'analyse du mouvement (1.13.a). Le traitement de la couche plexiforme externe extrait l'objet en mouvement (la personne) avec un certain arrière-plan (1.13.b). La couche plexiforme interne extrait uniquement l'objet en mouvement, en réalisant ainsi une détection du mouvement sans être altérée par d'autres composantes (1.13.c). La couche plexiforme interne effectue donc une suppression des stimuli statiques et ne laisse passer que les stimuli dynamiques. De plus, cette couche possède la capacité d'effectuer un suivi du mouvement, grâce à une opération appelée la sélectivité directionnelle. Elle peut donc choisir un mouvement par rapport aux autres [4].

### 1.3 Les anomalies de l'œil humain

L'œil humain peut avoir deux types d'anomalies. Les anomalies optiques qui affectent le système optique de l'œil (cristallin), et les anomalies au niveau des photorécepteurs qui touchent les cônes au niveau de la rétine.

### 1.3. LES ANOMALIES DE L'ŒIL HUMAIN

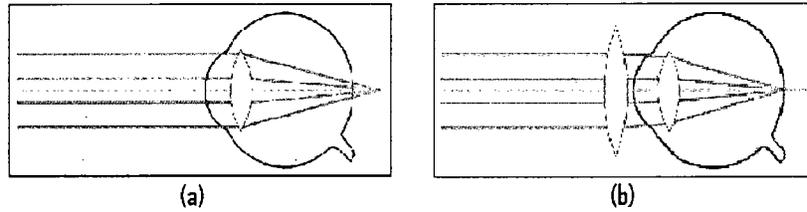


Figure 1.14 – (a) Oeil hypermétrope, (b) oeil hypermétrope corrigé avec une lentille convergente. Image tirée de Le Grand [29].

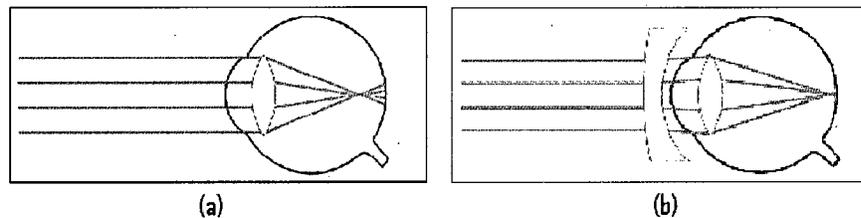


Figure 1.15 – (a) Oeil myope, (b) oeil myope corrigé avec une lentille divergente. Image tirée de Le Grand [29].

#### 1.3.1 Les anomalies optiques

En général, il existe trois types d'anomalies optiques [29] :

1. **Hypermétropie** : c'est une anomalie de l'œil dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en arrière de la rétine. L'œil n'est pas assez convergent . La correction de ce type requiert des lentilles convergentes (figure 1.14).
2. **Myopie** : c'est une anomalie de l'œil dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en avant de la rétine. L'œil est trop convergent. La correction de ce type requiert des lentilles divergentes (figure 1.15).
3. **L'astigmatisme** : c'est une anomalie de l'œil dans laquelle un même point d'un objet donne deux images différentes. La cornée de l'œil a une forme irrégulière. La vision des objets est déformée. L'astigmatisme rend notamment la lecture difficile. La correction de ce type requiert des verres particuliers dits des verres cylindriques (figure 1.16).

### 1.3. LES ANOMALIES DE L'ŒIL HUMAIN

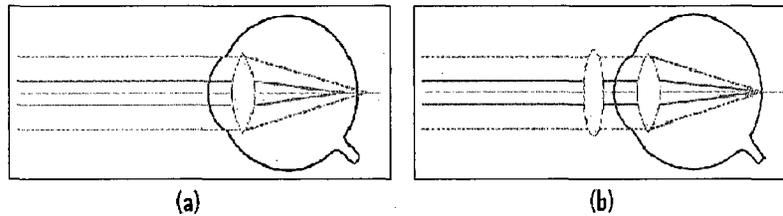


Figure 1.16 – (a) Oeil astigmat, (b) oeil astigmat corrigé avec des verres cylindriques. Image tirée de Le Grand [29].

#### 1.3.2 Les anomalies liées à la vision de couleurs (*Daltonisme*)

Certaines personnes n'ont pas la capacité de distinguer entre les différentes couleurs. Elles font des confusions dans la perception de ces dernières. Ces gens peuvent percevoir, par exemple, l'herbe en jaune ou une orange en vert pâle. Cette défaillance dans la vision des couleurs s'appelle *Daltonisme*. Elle porte le nom de la personne qui l'a découverte ; le chimiste anglais John Dalton qui lui-même était atteint de cette maladie. *Le Daltonisme* est souvent une maladie héréditaire, environ un homme sur 12 est atteint, et une femme sur 200 est atteinte.

Il existe trois types de daltonismes. Ils sont classés selon le degré d'affectation des cônes. Les personnes ayant des cônes normaux peuvent percevoir toutes les couleurs d'une manière normale. Ces personnes sont appelées *Trichromates normaux*. Les trois types de daltonisme sont :

1. **Trichromatie anormale** : elle est caractérisée par la présence des trois cônes mais c'est la réponse spectrale d'un de ces cônes qui est affectée. Elle se trouve décalée par rapport à celle du cône normal. Lorsque le décalage touche le cône (L), la personne est dite atteinte d'une *Protanomalie*. Dans la figure 1.17(a), nous montrons le décalage de la réponse spectrale du cône L qui est représentée par une bande pour indiquer le décalage (la même chose est faite pour les cônes M et S.). Ce décalage peut prendre plusieurs valeurs, il est représenté par une bande dans la figure 1.17. Quand c'est le cône (M) qui est affecté, la personne est atteinte d'une *Deuteranomalie*. Le décalage de la réponse spectrale du cône M est illustré dans la figure 1.17(b). Quand c'est le cône (S) qui est décalé, nous parlons d'une personne atteinte d'une *Tritanomalie*.

### 1.3. LES ANOMALIES DE L'ŒIL HUMAIN

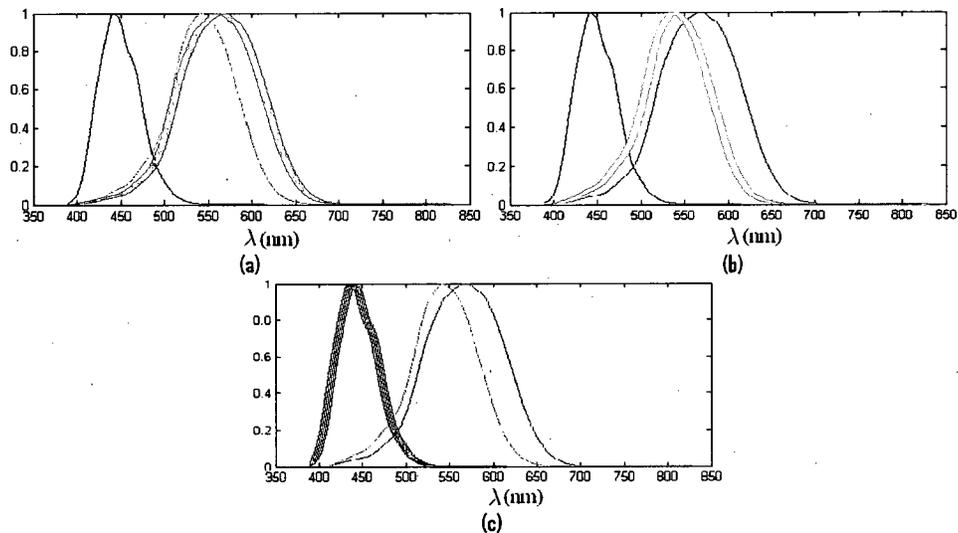


Figure 1.17 – Réponse spectrale des cônes décalées : (a) cas d'une protanomalie, la réponse du cône L est représentée par une bande pour illustrer le décalage, (b) cas d'une deuteranomalie, la réponse du cône M est représentée par une bande pour illustrer le décalage (c) cas d'une tritanomalie, la réponse du cône L est représentée par une bande pour illustrer le décalage.

Pour mieux comprendre ces différences, la figure 1.17 illustre ce phénomène, et la figure 1.18 montre la perception des couleurs chez les trichromates anormaux.

2. **Dichromatie** : elle est caractérisée par l'absence de l'un des trois cônes. Nous pouvons distinguer les trois cas suivants selon le cône manquant :

- (a) *Protanopie* : nous parlons de protanopie quand le cône (L) est absent dans la rétine. Elle touche 1.3% des hommes contre 0.02% de femmes [15]. Dans ce cas, la rétine contient seulement deux types de cônes (le cône (M) et le cône (S)). La personne atteinte ne perçoit pas la composante rouge. La figure 1.19 montre la vision d'un protanope.
- (b) *Deuteranopie* : nous parlons de deuteranopie quand le cône (M) est absent dans la rétine, elle touche 5% des hommes contre 0.35% de femmes [15]. Dans ce cas, la rétine contient les cônes (L) et (S). La personne atteinte ne voit pas la composante verte. La figure 1.20 montre la vision d'un deuteranope.
- (c) *Tritanopie* : c'est la forme la plus rare de dichromatie, elle touche 0.001% pour

### 1.3. LES ANOMALIES DE L'ŒIL HUMAIN

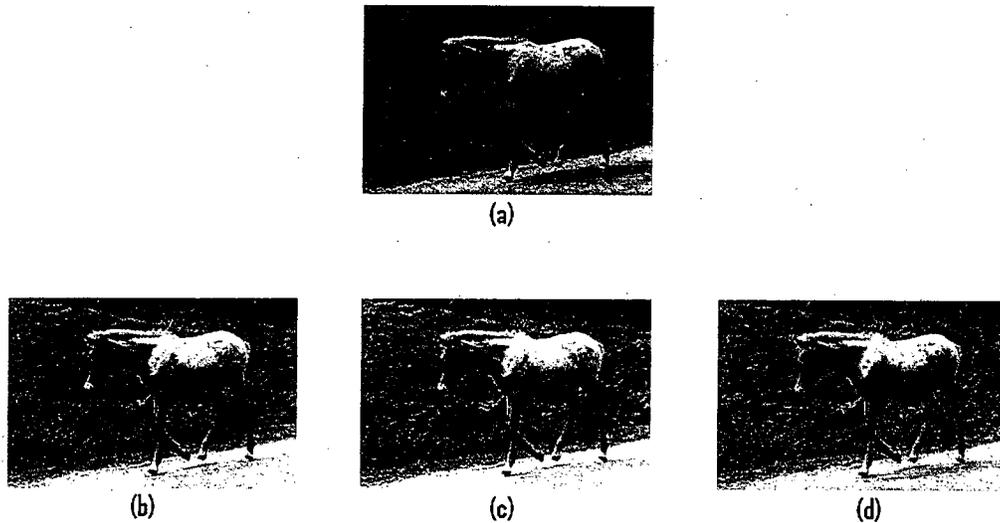


Figure 1.18 – Simulation de la vision des trichromates anormaux : (a) vision d'une personne normale, (b) cas d'une protanomalie, (c) cas d'une deuteranomalie, (d) cas d'une tritanomalie.

les hommes [15]. Elle est caractérisée par l'absence du cône (S) dans la rétine. La personne atteinte ne voit que les composantes correspondant aux cônes (L) et (M). Elle ne voit donc pas le bleu. La figure 1.21 montre la vision d'un tritanope.

3. **Monochromatie** : cette forme de daltonisme est très rare 0.00001% chez les hommes et chez les femmes [15]. La personne atteinte possède un seul type de cônes et ne voit que la couleur correspondant à ce type. Par exemple, si uniquement le cône L est présent, la personnes percevera uniquement les nuances du rouge.

#### 1.3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit le système visuel humain et avons décrit sa composition et son fonctionnement. Puis, nous avons vu les différentes opérations effectuées dans ce système et les différentes anomalies qui peuvent l'affecter. Ceci constitue une bonne matière sur laquelle nous nous basons pour la réalisation de la suite du travail. Nous allons voir, dans le chapitre suivant, comment utiliser les opérations du système visuel humain dans l'adaptation de l'affichage d'une image sur un écran.

### 1.3. LES ANOMALIES DE L'ŒIL HUMAIN



Figure 1.19 – Simulation d'un protanope.



Figure 1.20 – Simulation d'un deuteranope.



Figure 1.21 – Simulation d'un tritanope.

## Chapitre 2

### La visualisation contextuelle

Dans le premier chapitre, nous avons décrit le fonctionnement du système visuel humain, et nous avons présenté des anomalies qu'il peut avoir. Parmi les fonctions de ce système ; il y a l'adaptation chromatique, l'adaptation à la lumière et à l'obscurité et l'appréciation des différents contrastes.

Les systèmes d'affichage actuels produisent des images indépendantes de ces adaptations. Un observateur qui entre dans une salle sombre ne voit rien au début. Après quelques minutes, il commence à faire la distinction entre les différents objets. Un observateur qui est à l'extérieur et qui regarde à l'intérieur d'une maison illuminée par des lampes incandescentes, il percevra que la couleur est jaunâtre-rougeâtre. Mais, quand il entre dans cette maison, il ne percevra plus cette couleur. Il va percevoir l'environnement avec des couleurs plus proches des vraies couleurs de la scène.

Les systèmes d'affichage actuels produisent aussi des images qui ne prennent pas en considération les conditions d'illumination, telles que, la couleur de la lumière ambiante, son intensité et celle de la lumière réfléchie sur l'écran. L'observateur perçoit l'image dépendamment de la couleur de la lumière ambiante. Pour les intensités, une image visualisée sur un écran apparaît plus sombre sous une forte illumination et plus claire sous une faible illumination. En ce qui concerne la lumière réfléchie sur l'écran, l'image perçue aura une composante supplémentaire due à ce reflet qui se superpose sur l'image affichée à l'écran. Quant à l'observateur, les systèmes d'affichage actuels ne prennent pas en considération ses spécificités (normal ou daltonien). De même pour sa position par rapport à l'écran car si celui-ci ne se trouve pas face à l'écran, il y aura un effet de perspective qui résulte de

## 2.1. LE SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

cette position.

Dans ce chapitre, un ensemble de transformations est proposé pour modéliser les adaptations citées ci-dessus dans le but de les simuler d'abord. Puis, ces transformations seront utilisées pour adapter l'image ou la vidéo affichée sur l'écran. Enfin, elles seront toutes regroupées dans un seul système que nous appelons système de visualisation contextuelle (SVC) dont l'objectif est de reproduire une image ou une vidéo la plus fidèle à la réalité.

### 2.1 Le système de visualisation contextuelle

Le système de visualisation contextuelle est l'association entre un dispositif d'affichage (écran), un périphérique d'acquisition (caméra), l'environnement, et les spécificités de l'utilisateur. Chacun de ces éléments contribue à la dégradation de l'image originale lors de la visualisation. Cela est dû au fait que ces éléments apportent des changements sur l'image avant qu'elle ne soit perçue. Examinons chacun de ces éléments.

L'écran influence la perception d'une image. Elle sera d'autant meilleure que l'écran est performant (grande plage de contraste, un plus grand gamut, etc.). Mais nous savons qu'un écran ne peut pas reproduire parfaitement n'importe quelle scène. Cela est principalement dû à son intensité qui possède un maximum, qui l'empêche d'afficher les scènes ayant une très large plage de contraste, ou encore à sa palette de couleurs qui est limitée (gamut). L'écran intervient aussi par sa réflectivité, car il n'envoie malheureusement pas uniquement la lumière émise par celui-ci. Une lumière incidente peut se réfléchir et s'ajouter à celle émise, ce qui modifie le contraste de l'image perçue. Nous pouvons distinguer trois types d'ECL (Écran à Cristaux Liquides) : les écrans transmissifs, qui fonctionnent avec un rétro-éclairage. Ils sont utilisés dans les moniteurs d'ordinateur comme les PC, les appareils photos et caméras. Puis, les écrans réflectifs qui utilisent uniquement la lumière ambiante pour l'affichage. Sans lumière ambiante, ce type d'écrans ne peut rien afficher. Ils sont utilisés pour les montres et les calculatrices et ils sont souvent monochromes. Enfin, les écrans trans-réflectifs qui combinent les deux modes précédents pour l'affichage. Ce type d'écrans est principalement utilisé pour pallier aux problèmes de lisibilité d'écrans exposés à une luminosité importante : plus la luminosité extérieure est importante et plus l'écran est lumineux, donc son gamut dépend de la luminosité extérieure. Nous trouvons ce type d'écrans dans les PocketPC [11].

## 2.1. LE SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

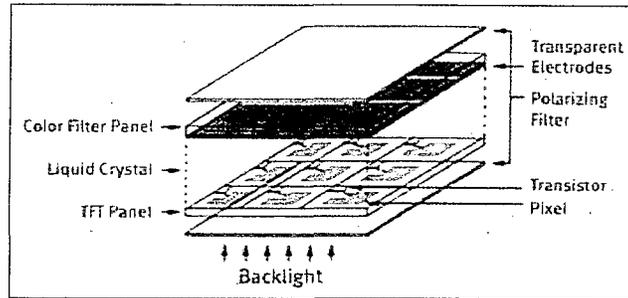


Figure 2.1 – Constitution de l'ECL [52].

L'écran dans les dispositifs mobiles peut pauser d'autres contraintes. Par exemple, la consommation électrique où plus de 50% de l'énergie fournie par la batterie est consommée par l'écran [11]. Sachant que ces dispositifs sont équipés en majorité d'un ECL trans-réfléctifs, il serait intéressant de trouver une méthode pour réduire la consommation électrique de ce type d'écran.

Un ECL de type transmissif et un écran de type trans-réfléctif possèdent la même structure sauf que l'écran de type trans-réfléctif possède un miroir pour réfléchir la lumière ambiante. Un ECL de type transmissif est constitué de deux couches, le rétro-éclairage (*Backlight*), et la matrice de cristaux liquides (figure 2.1). Chaque élément de cette matrice (Pixel) est constitué de trois *sous-pixels*. De plus, cette couche n'envoie aucune lumière. C'est la couche de rétro-éclairage qui émet la lumière qui passe à travers les cristaux-liquides avant d'être colorée par un filtre. Tous les pixels disposent de la même architecture, seul le filtre de couleur change au final. Les cristaux-liquides de chaque sous-pixel peut être contrôlé électriquement comme une vanne pour laisser passer plus ou moins de lumière à travers le cristal. C'est une modulation de la quantité du rouge, du vert et du bleu pour chaque pixel.

L'intensité de l'ECL dépend du niveau d'intensité de la couche du rétro-éclairage et la valeur du pixel dans l'image. L'ECL consomme plus de 50% de l'énergie totale consommée par le dispositif de communications mobiles. Cependant, la plus grande partie de la consommation électrique de l'ECL provient du rétro-éclairage qui consomme environs 53% de l'énergie consommée par l'écran (figure 2.2) [32]. Il sera, alors, intéressant de diminuer l'intensité du rétro-éclairage afin de réduire la consommation électrique de l'écran.

Le deuxième élément qui constitue le SVC est la caméra. Elle intervient dans l'ac-

## 2.1. LE SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

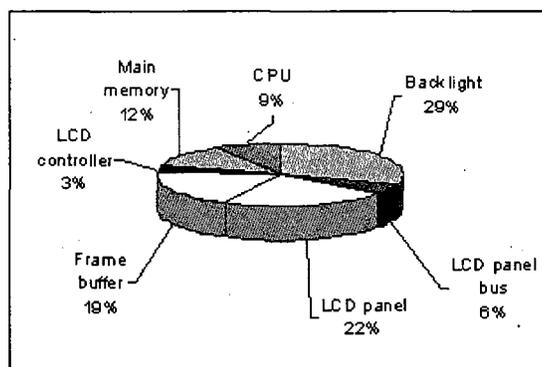


Figure 2.2 – Consommation des différentes composantes dans un système de communications mobiles. Image adaptée de Medjeldi *et al.* [32].

quisition des paramètres de l'environnement. Elle possède des paramètres intrinsèques et extrinsèques qui influencent la qualité de la reproduction de la scène. Par exemple, la distance focale du système optique de la caméra intervient dans la projection perspective où le diamètre de la lentille cause des distorsions radiales. La caméra intervient aussi par son capteur d'image (CCD ou CMOS), par son gamut, son temps d'exposition, etc.

Le troisième élément qui intervient dans le SVC est l'environnement. Il intervient avec son intensité de lumière qui joue un rôle important dans la visualisation. L'intensité peut améliorer la visualisation comme elle peut la dégrader si elle est très grande. L'environnement intervient aussi par la couleur de la lumière, c'est la notion du blanc. Pour comprendre cette notion, prenons un exemple. Si quelqu'un rentre dans une salle ayant un illuminant incandescent après avoir été à l'extérieur sous la lumière du jour, tous les objets illuminés par cette lumière seront teintés de couleur jaunâtre. Cela s'explique par le changement du point de chromaticité  $S_D$  d'un objet sous la lumière du jour, à un autre point de chromaticité  $S_A$  sous la lumière incandescente. La figure 2.3 montre le changement du point chromatique  $(u, v)$  dépendamment de la lumière (le point chromatique  $(u, v)$  représente les coordonnées de la couleur dans l'espace chromatique). Ce changement de  $S_D$  à  $S_A$  est appelé changement de la couleur de l'illuminant. Quand l'œil s'adapte à la lumière incandescente, l'apparence jaunâtre des objets disparaîtra, ainsi l'objet observé reprendra ses couleurs et sera perçu au point  $S'_D$  [34].

Le dernier élément du SVC est l'observateur. Celui-ci perçoit l'image dépendamment

## 2.2. OBJECTIFS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

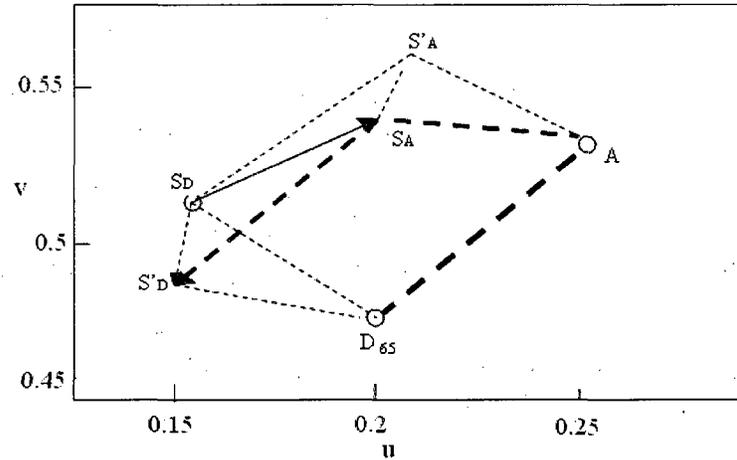


Figure 2.3 – Changement du point blanc (de D65 à A). Image tirée de N. Ohta *et al.* [34].

de ses spécificités. Une personne normale perçoit toutes les couleurs présentes dans le spectre visible, tandis que la perception d'une personne daltonienne est limitée. Il est préférable que le SVC définisse le type de déficience qui touche l'observateur. L'observateur doit d'abord passer le test de déficience de couleur d'Ishihara [1] pour que le système puisse se configurer et s'adapter à chaque usager. L'autre facteur dépendant de l'observateur est sa position par rapport à l'écran. La visualisation de l'image sur l'écran est affectée par cette position, la meilleure visualisation correspond à une position de l'usager face à l'écran. Dès que l'observateur s'éloigne de cette position, des effets dus à la perspective commencent à apparaître avec la déformation des couleurs et du contraste dans l'image.

## 2.2 Objectifs du système de visualisation contextuelle

Soit une scène  $S$  prise en photo par une caméra  $C$  avec le paramètre géométrique  $G$  et sous un illuminant  $L_s$ . L'image ainsi formée est l'image de la scène  $I$ . L'image visualisée sur l'écran est appelée  $I_v$ , elle ne reproduit pas exactement l'image  $I$  car l'écran possède ses caractéristiques qui produisent un traitement de nature physique qui change la qualité de l'image affichée.

Supposons maintenant un observateur  $O$  regardant l'image  $I_v$  affichée sur l'écran  $E$ , sous une lumière  $L_a$ . Cet observateur perçoit une image  $I_o$  différente de  $I_v$ , parce que

## 2.2. OBJECTIFS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

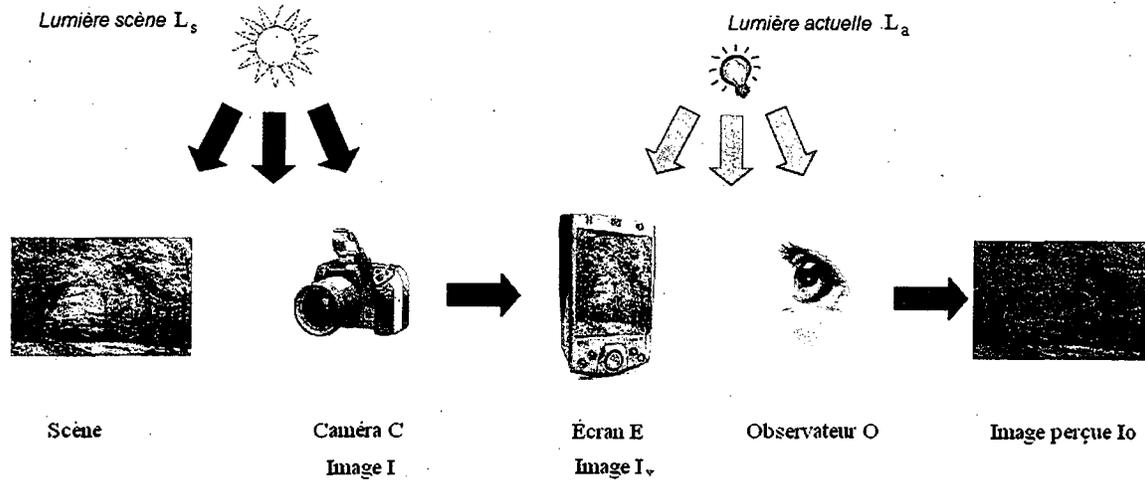


Figure 2.4 – Problème de la visualisation contextuelle.

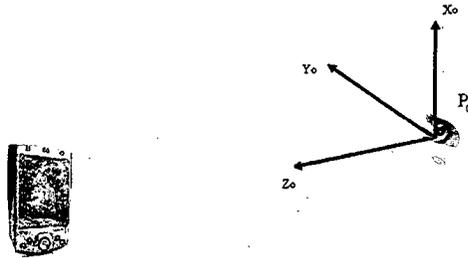


Figure 2.5 – Problème de la visualisation contextuelle.

les facteurs nommés précédemment influencent cette visualisation (voir la figure 2.4). L'observateur  $O$  et l'écran  $E$  sont représentés par les repères  $P_o$  et  $P_e$  respectivement comme le montre la figure 2.5. L'objectif du SVC est de reproduire une image perçue  $I'_o$  la plus proche possible de l'image  $I$ .

Si nous définissons  $T_e$  comme l'ensemble des transformations que subit l'image  $I$  durant la visualisation sur l'écran  $E$ ; le résultat de cette transformation sera l'image visualisée  $I_v$ . Nous pouvons l'écrire sous la forme

$$I_v = T_e(I).$$

Si  $T_o$  est l'ensemble des transformations que subit l'image  $I_v$  par la lumière ambiante et

## 2.2. OBJECTIFS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

l'observateur ; le résultat sera l'image perçue  $I_o$ , cette transformation s'écrit sous la forme

$$I_o = T_o(I_v),$$

$I_o$  est le résultat de la composition des deux transformations  $T_e$  et  $T_o$ . Nous pouvons simplifier l'écriture de la composition des deux transformations  $T_e$  et  $T_o$  par  $T_oT_e$ , d'où

$$I_o = T_o(T_e(I)) = T_oT_e(I).$$

Dans le but de percevoir l'image  $I$ , le SVC doit donc effectuer une transformation  $T_{svc}$ , au préalable, sur l'image  $I$  avant qu'elle ne soit affichée sur l'écran. Cela peut s'exprimer par

$$I = T_oT_e(T_{svc}(I)).$$

Dans le cas où la transformation est inversible, alors

$$T_{svc} = (T_oT_e)^{-1} = T_e^{-1}T_o^{-1}.$$

Cependant, il n'y a aucune raison de croire que la transformation  $(T_oT_e)$  soit toujours inversible. Par exemple, les photorécepteurs de la rétine sont sensibles jusqu'à un maximum d'intensité de la lumière. Si la lumière dépasse ce maximum, ces photorécepteurs seront saturés et l'œil ne percevra rien (phénomène de blanchiment des pigments). Notre objectif n'est pas d'estimer avec rigueur la transformation  $T_{svc}$  mais, plutôt de réduire l'effet de la transformation  $(T_oT_e)$ . Donc, nous avons opté pour une approche heuristique dans la résolution de ce problème.

La figure 2.6 illustre le modèle utilisé pour la correction de l'image dans le cadre de la visualisation contextuelle. La transformation  $T_{svc}$  doit se faire en aval des transformations effectuées par l'écran E, la lumière ambiante et les spécificités de l'observateur. Elle sera donc intégrée dans tout système de visualisation. Elle ne peut pas être intégrée dans le processus d'acquisition car, elle est utile seulement au moment de la visualisation. Notons que l'image résultant des transformations de compensation sera notée  $I_c$ .

### 2.3. ARCHITECTURE DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

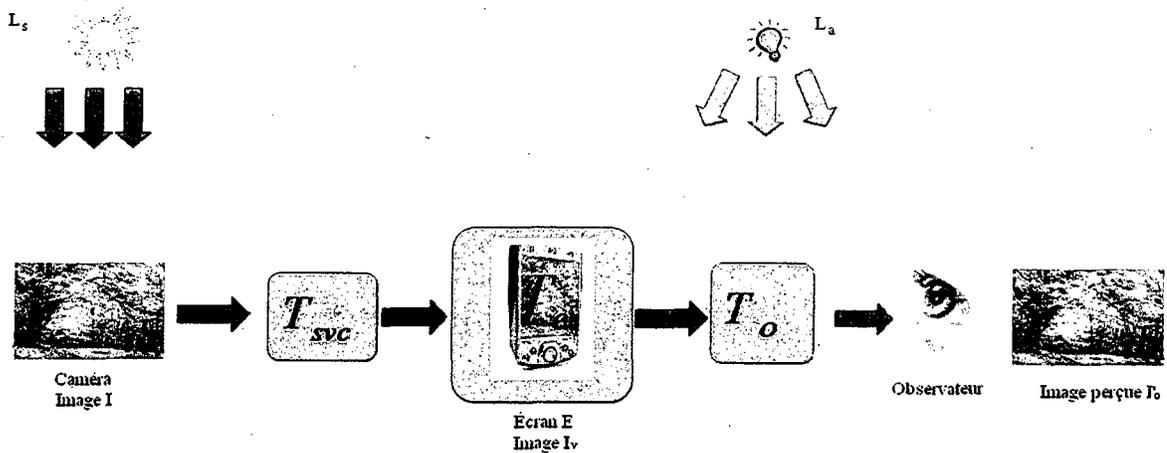


Figure 2.6 – Solution proposée pour la visualisation contextuelle.

## 2.3 Architecture du système de visualisation contextuelle

Comme nous l'avons mentionné dans la section 2.1, le SVC prend en considération les variables du contexte pour assurer l'affichage de l'image le plus près de la réalité. Ces variables sont : la couleur et l'intensité de la lumière, les spécificités de l'utilisateur (normal ou daltonien), les caractéristiques de l'écran ainsi que la position de l'utilisateur par rapport à celui-ci. Notons que l'image  $I$  est supposée posséder les résolutions radiométriques et spatiales conformes aux capacités du dispositif portable. Nous ne prenons pas en considération les cas où ces résolutions ne sont pas conformes à notre dispositif.

La figure 2.7 illustre l'architecture du SVC. D'après ce schéma, nous pouvons distinguer deux parties fonctionnelles dans le système de visualisation contextuelle. Selon l'ordre des fonctions utilisées, nous citons ; la partie de capture-transduction, et la partie de traitement.

Le rôle de la première partie est l'acquisition des différents paramètres qui caractérisent la situation actuelle de l'utilisation (le contexte actuel). La première fonction de cette partie est la capture de la lumière ambiante dans le but de calculer sa couleur et son intensité. Pour cela, différents types de capteurs peuvent être utilisés (caméra, spectromètre, capteur à base de photo-diode ou photo-transistor). L'ajout d'un autre dispositif comme le capteur à base de photo-transistor dans le SVC simplifie le système, cependant il augmente son

### 2.3. ARCHITECTURE DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

coût. Par conséquent, nous avons utilisé la caméra intégrée d'un PDA pour le calcul de ces paramètres. La deuxième fonction consiste en l'acquisition des paramètres pouvant servir à la localisation de la position de l'utilisateur par rapport à l'écran. Nous nous sommes encore servis de la caméra intégrée du PDA pour prendre une photo de l'utilisateur dans l'objectif d'estimer sa position par la suite.

La deuxième partie concerne la partie de traitement. Elle comporte les différentes méthodes de traitements que l'image subit avant d'être affichée sur l'écran. Ces méthodes sont : l'adaptation chromatique, l'adaptation à la lumière, l'adaptation à l'obscurité, l'adaptation au reflet, l'adaptation géométrique, le traitement des couleurs pour les daltoniens (l'utilisateur est supposé connaître s'il est daltonien ou pas et le type de daltonisme qui l'affecte) et la réduction de la consommation d'énergie d'un ECL.

Le SVC fonctionne de la manière suivante : soit  $I$ , une image à visualiser. D'abord le système prend une photo de l'environnement à l'aide de la caméra intégrée. Cette photo sera ensuite utilisée pour estimer la couleur et l'intensité de la lumière ambiante d'une part, et la position de l'utilisateur d'autre part. De même pour l'image à visualiser, le système estime la couleur et l'intensité de sa lumière. Puis, le système passe à l'étape de traitement. Cette étape est divisée en deux parties :

- Si l'utilisateur est daltonien, le système effectue seulement l'opération de traitement des couleurs pour daltoniens (ces méthodes seront étudiées au chapitre 3) et le traitement pour économiser l'énergie consommée par l'écran car nous ne connaissons pas encore les adaptations du système visuel humain ;
- Si l'utilisateur n'est pas daltonien, le système effectue toute la chaîne de traitement indiquée dans la figure 2.7 afin d'assurer une constance de l'image affichée sur l'écran. Le détail de ces traitements est présenté à la section 2.4.

Pour le traitement de la vidéo, le système fonctionne de la même manière. Il prend la vidéo image par image. Il estime l'intensité et la couleur de lumière pour chaque image et applique toutes les opérations mentionnées précédemment pour l'image en cours jusqu'à la dernière image.

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

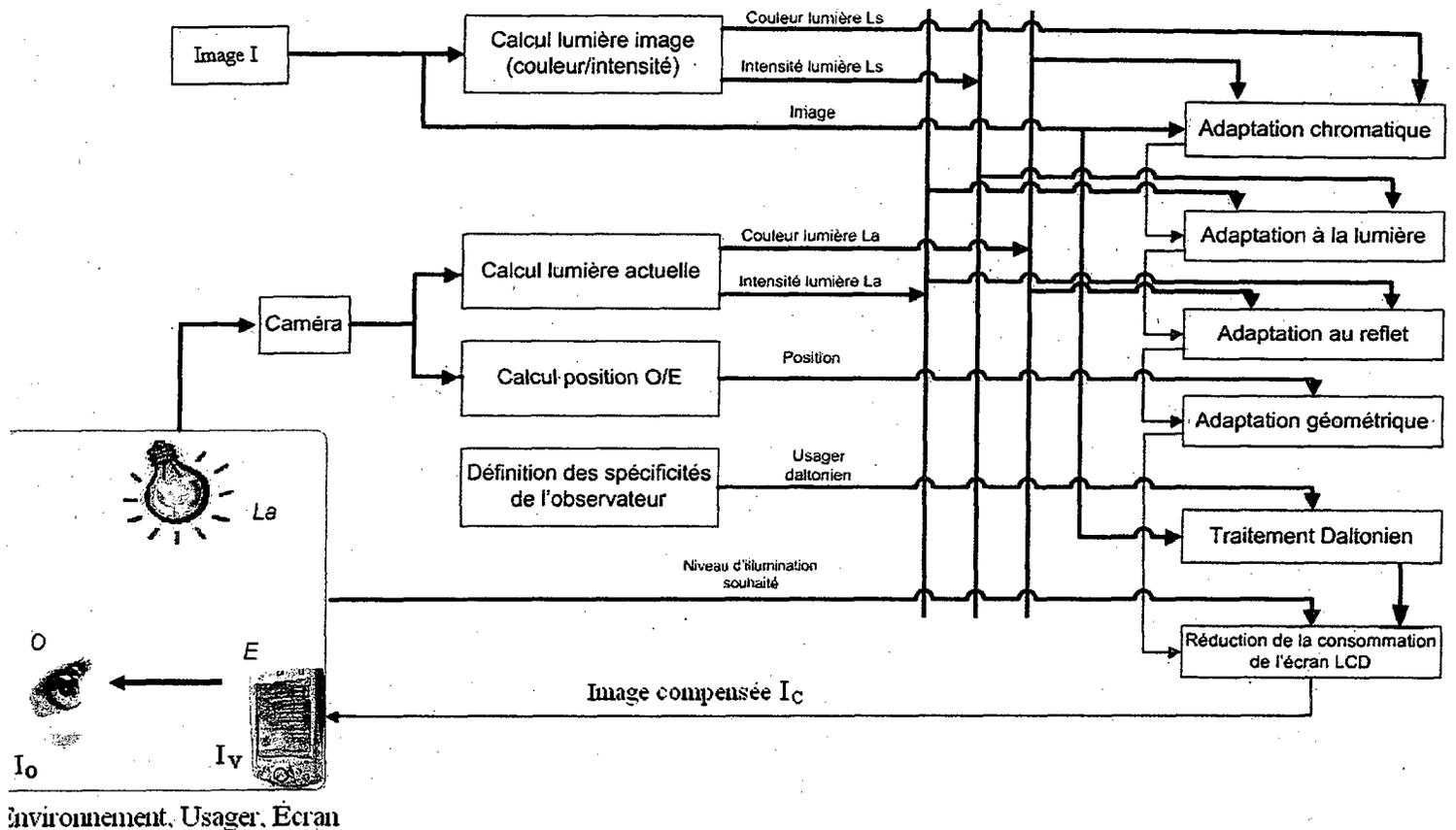


Figure 2.7 – Architecture du système de visualisation contextuelle.

## 2.4 Les opérations du système de visualisation contextuelle

Après l'exposé des notions de base du SVC, les objectifs d'un tel système et son architecture, nous étudions maintenant les différentes opérations effectuées par ce système. Pour cela, les objectifs de chaque méthode sont présentés ainsi que les différents paramètres qui peuvent intervenir dans le fonctionnement de ces opérations.

### 2.4.1 Adaptation chromatique

Nous avons vu dans la section 1.2.2 que notre système visuel s'adapte à la lumière ambiante pour préserver la perception des différentes couleurs : c'est l'adaptation chromatique

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

du système visuel. Celle-ci a pour objectif de préserver les couleurs, indépendamment de la couleur de la lumière ambiante. Mais qu'en est-il pour la visualisation de l'image ? Soit  $I$  une image à visualiser. Supposons que cette image est prise sous une lumière incandescente et que l'utilisateur souhaite l'afficher sous une autre lumière, par exemple à l'extérieur, sous la lumière du jour. L'image visualisée  $I_v$  apparaîtra plus jaunâtre par rapport à sa visualisation dans la lumière incandescente parce qu'elle prend la couleur de la lumière où elle a été prise malgré l'ajustement du blanc de l'appareil photo (différence entre la scène et l'image). Donc, n'importe quelle évaluation des couleurs sera erronée parce que le point de référence (illuminant) n'est pas le même : lors de l'acquisition l'illuminant était incandescent et lors de la visualisation l'illuminant est celui de la lumière du jour. Il est possible de faire une transformation de l'image  $I$ , pour assurer qu'elle soit perçue avec ses vraies couleurs lors de la visualisation sous la lumière du jour. Cette opération s'appelle l'adaptation chromatique.

Dans cette partie, nous aborderons, en premier lieu, l'adaptation chromatique d'un point de vue de modélisation pour savoir comment la simuler. En second lieu, nous expliquerons comment mettre en œuvre cette adaptation dans le SVC.

### Modélisation de l'adaptation chromatique

L'adaptation chromatique a été expliquée par une transformation linéaire par Von Kries [44]. L'adaptation chromatique s'effectue de la manière suivante : un pixel  $p_S$  est transformé en un pixel  $p_D$  par la multiplication d'une matrice  $M$ , où cette dernière est de type *Von Kries* ou *Bradford*. Cette matrice dépend de  $w_S$ , la couleur de la lumière de la scène et de  $w_D$ , la couleur de la lumière actuelle :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_D = M \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_S,$$

où la matrice  $M$  est calculée, d'après [44], comme suit :

$$M = M_A^{-1} \times \begin{bmatrix} \rho_{w_D}/\rho_{w_S} & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_{w_D}/\gamma_{w_S} & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{w_D}/\beta_{w_S} \end{bmatrix} \times M_A, \quad (2.1)$$

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

où  $[\rho, \gamma, \beta]^T$  est la réponse à un stimulus dans l'espace des cônes et  $M_A$  est détaillée plus loin. Les vecteurs  $[\rho_{w_S}, \gamma_{w_S}, \beta_{w_S}]^T$  et  $[\rho_{w_D}, \gamma_{w_D}, \beta_{w_D}]^T$  sont les réponses des cônes sous le premier illuminant et sous le second illuminant respectivement. Ils sont calculés de la manière suivante :

$$\begin{bmatrix} \rho \\ \gamma \\ \beta \end{bmatrix}_{w_S} = M_A \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{w_S} \quad \begin{bmatrix} \rho \\ \gamma \\ \beta \end{bmatrix}_{w_D} = M_A \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{w_D} ,$$

où l'indice  $w_S$  correspond à la couleur du premier illuminant et  $w_D$  à la couleur du second illuminant.

La matrice  $M_A$  permet la conversion d'un stimulus de l'espace XYZ à l'espace des cônes (LMS). Johannes Von Kries fût le premier, en 1904, à déterminer les valeurs de cette matrice, puis plus tard Bradford en a proposé une autre qui est considérée comme reproduisant mieux les couleurs [44], Ziou et Lahmar [53] ont proposé une matrice pour l'adaptation chromatique qui prend en considération le contenu de l'image :

$$M_{A_{\text{Von Kries}}} = \begin{bmatrix} 0.3897 & 0.6890 & -0.0787 \\ -0.2298 & 1.1834 & 0.0464 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} ,$$

$$M_{A_{\text{Bradford}}} = \begin{bmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix} .$$

$$M_{A_{\text{ZL}}} = \begin{bmatrix} 1.444 & -0.158 & -0.286 \\ -1.147 & 2.073 & 0.074 \\ -0.077 & 0.104 & 0.974 \end{bmatrix} .$$

L'adaptation chromatique n'est pas instantanée. Le système visuel a besoin d'un certain temps afin de s'habituer à un changement de couleur de la lumière ambiante. Il faut, pour cela, effectuer l'adaptation de manière progressive. Une étude qui tient compte du paramètre temps est décrite dans [14, 36]. La transition est de l'ordre exponentiel décroissant, convergeant aux alentours de 120 s, avec 90% de l'adaptation effectuée à la première

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

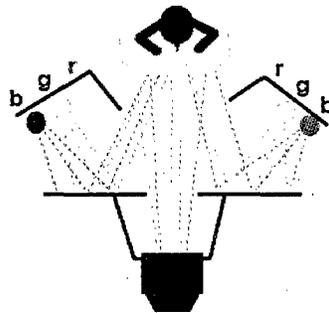


Figure 2.8 – Expérience utilisée pour mettre en évidence l'adaptation chromatique dans le temps. Image tirée de Rinner *et al.*[36].

seconde.

Pour mettre en évidence l'évolution de l'adaptation chromatique dans le temps, nous nous basons sur les travaux de O. Rinner et K.R. Gegenfurtner [36]. L'évolution de l'adaptation chromatique a été démontrée en effectuant une expérience dans une salle de test équipée d'un tableau gris neutre, d'un écran et des lampes fluorescentes. Les lampes fluorescentes ont pour rôle d'illuminer le tableau qui est considéré comme un réflecteur de la couleur de référence. L'écran est mis au centre du tableau avec une certaine profondeur de telle sorte que les rayons des lampes ne l'illuminent pas, comme le montre la figure 2.8.

Les lampes sont disposées des deux côtés de l'observateur qui s'est initialement adapté à une couleur de référence affichée sur le tableau. Puis, l'écran et les lampes changent de couleur simultanément et prennent une couleur opposée à la couleur de référence (selon la théorie de l'opposition de couleur [16]). Par exemple, si la couleur de référence est le vert, la couleur opposée sera le rouge. À ce moment, le stimulus est affiché sur l'écran pendant des durées de 83 ms. L'observateur sera alors invité à prendre une décision concernant l'apparence de la couleur du stimulus en premier temps, ensuite dans une deuxième expérience il sera appelé à prendre sa décision concernant la discrimination entre le stimulus et la couleur de l'écran. L'objectif est d'atteindre un stimulus achromatique (un stimulus qui a la même couleur que l'écran).

La première expérience est réalisée pour détecter la phase lente de l'adaptation chromatique. Dans ce cas, le stimulus est présenté pendant des durées de 83 ms, et l'observateur

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

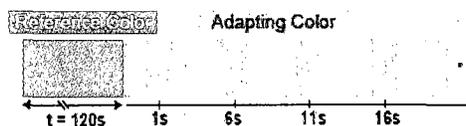


Figure 2.9 – La phase lente de l'adaptation chromatique. Image tirée de Rinner *et al.*[36].

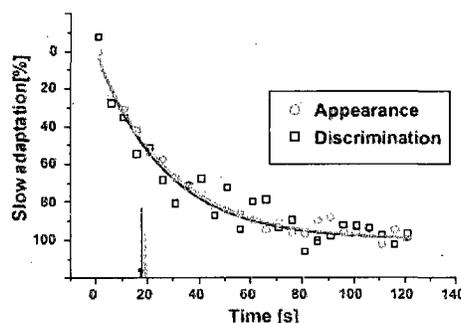


Figure 2.10 – La phase lente de l'adaptation chromatique. Image tirée de Rinner *et al.*[36].

doit prendre sa décision en indiquant dans quelle direction faut-il changer la couleur du stimulus pour atteindre le point achromatique. Le point achromatique représente le point où le stimulus et son environnement possèdent la même couleur. La première mesure est prise à  $t=1$  s. Chaque 5 secondes, une mesure sera effectuée, jusqu'à 121 s comme le montre la figure 2.9 où l'équilibre est atteint. L'évolution de la phase lente dans le temps est donnée par la figure 2.10 qui représente la quantité de couleur à rajouter au stimulus jusqu'à atteindre le point achromatique. Lorsque ce point est atteint, aucune quantité de couleur n'est ajoutée au stimulus donc l'observateur est adapté à 100%.

Puisque la première expérience est effectuée à partir de la première seconde, O. Rinner et K.R. Gegenfurtner ont effectué une autre expérience qui explique ce qui se passe durant la première seconde. Cette expérience s'effectue de la même manière que l'expérience précédente mais en utilisant un procédé de réadaptation. Le stimulus est toujours affiché pendant une durée de 83 ms. Après 250 ms de l'affichage du stimulus, la lumière de référence est allumée de nouveau pour une durée de 15 s afin d'effectuer une réadaptation qui assure que l'adaptation commence toujours à partir d'un état défini comme le montre la figure 2.11. Le point achromatique (état d'équilibre) est atteint après six périodes d'adaptation, ce qui correspond à 500 ms. Dans cette phase, 50% d'adaptation est effectuée entre 40

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

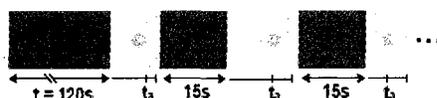


Figure 2.11 – La phase rapide de l'adaptation chromatique. Image tirée de Rinner *et al.*[36].

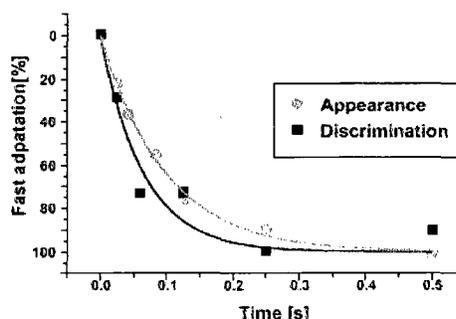


Figure 2.12 – La phase rapide de l'adaptation chromatique. Image tirée de Rinner *et al.*[36].

et 70 ms. L'évolution de la phase rapide de l'adaptation chromatique est donnée à la figure 2.12.

Il existe une troisième phase appelée "phase instantanée". Elle est mise en évidence par la même expérience utilisée pour la phase rapide. La seule différence est l'utilisation des couleurs de référence avec des saturations différentes contre une seule couleur d'adaptation affichée à l'écran. Cela est dû au fait que les mesures effectuées avant 25 ms présentent trop de bruit. Nous pouvons résumer les trois phases d'adaptation chromatique par le graphe de la figure 2.13.

Nous modélisons de l'adaptation chromatique avec l'équation suivante :

$$A(t) = \begin{cases} 1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau_0}\right) & 0 < t < 1 \text{ s} \\ 1.9 - \exp\left(\frac{-(t-1)}{\tau_1}\right) & 1 < t < 120 \text{ s}, \end{cases} \quad (2.2)$$

où  $A(t)$  est le facteur d'adaptation chromatique,  $\tau_0$  et  $\tau_1$  les constantes de temps de l'adaptation chromatique dans la phase rapide et la phase lente respectivement. Pour trouver les valeurs de  $\tau_0$  et  $\tau_1$ , nous approximations les courbes des figures 2.10 et 2.12 à des exponentielles décroissantes puis, nous utilisons la valeur de l'adaptation à un instant donné et en la remplaçant dans l'équation (2.2). Nous trouvons alors :  $\tau_0 = 0.43412 \text{ s}$  et  $\tau_1 = 1129.45 \text{ s}$ .

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

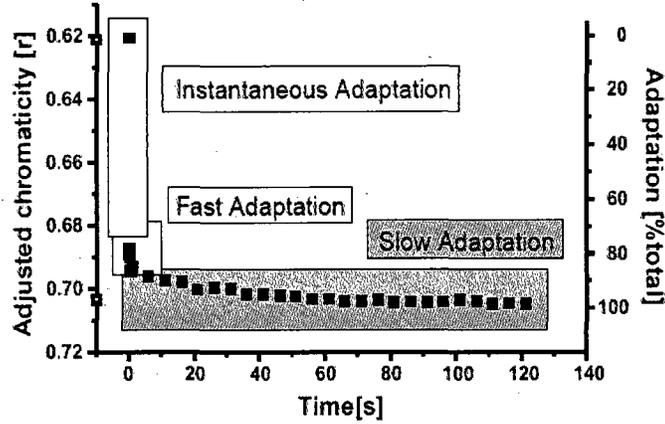


Figure 2.13 – Évolution de l'adaptation chromatique dans le temps. Image tirée de Rinner *et al.*[36].

À la fin, le pixel  $p_D$ , défini lors de l'introduction de l'adaptation chromatique, s'écrit en fonction du pixel  $p_S$  de l'image  $I$  sous la forme :

$$p_D = (A(t)M + (1 - A(t))I_{d_{(3 \times 3)}})p_S, \quad (2.3)$$

où  $I_{d_{(3 \times 3)}}$  est la matrice identité de dimensions  $(3 \times 3)$ .

### Implémentation de l'adaptation chromatique dans le système de visualisation contextuelle

Après avoir analysé l'adaptation chromatique du point de vue conceptuel, nous passons maintenant à l'implémentation de cette méthode dans le SVC. Avant de commencer l'implémentation, citons d'abord les facteurs qui interviennent dans cette adaptation. Le système doit faire l'acquisition de deux principaux paramètres : la lumière  $w_S$  de l'image à visualiser  $I$  et la lumière  $w_D$  de l'environnement de visualisation. La couleur de la lumière de l'image à visualiser est calculée à partir de l'image  $I$  par la méthode du monde gris dans l'espace des couleurs RGB [47]. La lumière de l'environnement est calculée de la même façon, mais appliquée cette fois-ci à une image  $I_D$  de l'environnement de visualisation prise par la caméra du SVC.

En ayant ces deux lumières, le système calcule la matrice  $M$  à l'aide de l'équation (2.1,

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

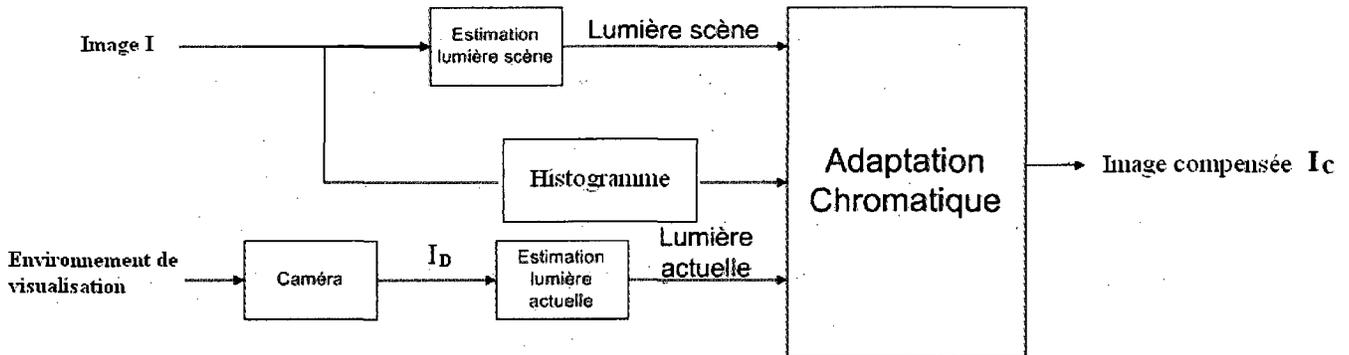


Figure 2.14 – Schéma bloc de l'implémentation de l'adaptation chromatique.

page 32) avec  $w_D$ , la lumière estimée à partir de  $I_D$  et  $w_S$ , la lumière estimée à partir de  $I$  en effectuant une conversion de l'espace RGB à l'espace XYZ, puis il exécute l'adaptation chromatique en fonction du temps en utilisant l'équation (2.3) pour chaque pixel de l'image pour produire l'image  $I_c$  à la sortie du système.

Rappelons que  $\tau_0 = 0.43412$  s et  $\tau_1 = 1129.45$  s Le schéma bloc de cette transformation est donné à la figure 2.14. Pour une image en niveau de gris, nous calculons son histogramme pour ne pas effectuer l'adaptation pour chaque pixel de l'image. Le traitement sera effectué juste sur les valeurs présentes dans l'histogramme. Par conséquent, nous améliorons le temps de calcul.

### 2.4.2 Adaptation à la lumière et à l'obscurité

Nous avons vu que lorsqu'il y a des variations dans l'intensité de l'éclairage ambiant, le système visuel doit prendre un certain temps pour s'y adapter. Une étude a été faite pour calculer le temps de la réponse du système visuel à ces variations [18]. Ainsi, il est possible d'afficher une image sur un écran, en tenant compte de ces variations d'éclairage (éclairage du milieu combiné à l'éclairage du dispositif d'affichage), afin de percevoir l'image de façon constante.

Dans la première partie de cette section, nous présentons une approche basée sur la variation de l'intensité lumineuse du milieu ambiant pour ajuster l'image dans le but de garder sa constance. La seconde partie est consacrée à l'intégration de cette méthode dans le SVC.

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

### Modélisation de l'adaptation à l'obscurité et de l'adaptation à la lumière

Le changement d'intensité lumineuse d'un milieu à un autre influence le plus petit contraste perceptible. De ce fait, d'après la loi de Weber [35], le rapport entre le plus petit seuil perceptible  $\Delta L$  et l'intensité lumineuse  $L$  est constant ( $\frac{\Delta L}{L} = k$ ), si l'intensité lumineuse ambiante augmente, il se peut qu'il y ait des variations de contraste qui ne soient plus perceptibles. Afin d'éviter cet inconvénient, une augmentation du contraste de l'image visualisée est nécessaire. Cette augmentation doit prendre en considération l'adaptation du système visuel humain et ses réponses vis-à-vis des changements d'illumination du milieu ambiant. J.A. Ferwarda *et al.* [18] ont présenté une étude sur l'adaptation du système visuel, à la lumière, basée sur des expérimentations psychophysiques.

La perception du système visuel dépend des réponses et des sensibilités des photorécepteurs (cônes et bâtonnets). Nous avons déjà vu à la section 1.2.1 que les photorécepteurs s'adaptent à la lumière et à l'obscurité de manières différentes. Une explication de ce phénomène est illustrée à la figure 1.8 de la page 12.

Les équations régissant le comportement des photorécepteurs lors d'un changement d'intensité sont calculées à partir des courbes de la figure 1.8. Ces courbes représentent le changement du seuil de contraste global de luminance  $\Delta L$  en fonction du temps.

Pour le passage de la lumière à l'obscurité, nous distinguons deux phases ; la phase d'adaptation des cônes et la phase d'adaptation des bâtonnets. Les cônes sont plus sensibles que les bâtonnets quand la luminance est supérieure à  $0 \log \text{Cd/m}^2$  (voir figure 1.6). Les bâtonnets sont plus sensibles que les cônes quand la luminance est inférieure à  $0 \log \text{Cd/m}^2$ . L'équation régissant le seuil du contraste global de luminance  $\Delta L$ , des cônes lors d'une diminution de l'intensité de la lumière, peut être déduite de la courbe de la figure 1.8(a) en l'assimilant à une exponentielle décroissante :

$$\log(\Delta L) = (\log(\Delta L_{initial}) - \log(\Delta L_{final}))e^{-\alpha t} + \log(\Delta L_{final}), \quad (2.4)$$

où  $\Delta L$  est le seuil de contraste à l'instant  $t$ ,  $\Delta L_{initial}$ , le seuil initial de contraste qui correspond à la première intensité où se trouvait l'utilisateur.  $\Delta L_{final}$  représente le seuil final de contraste correspondant à la lumière actuelle.  $\alpha$  représente le coefficient d'adaptation des cônes lors quand l'intensité de la lumière diminue, il est calculé à partir de la figure 1.8(a). L'équation qui régit l'adaptation des bâtonnets, à l'obscurité, est déduite de la même courbe

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

(figure 1.8(a)). C'est la même équation que celle des cônes mais avec un coefficient d'adaptation  $\alpha_1$ , propre au bâtonnets, différent de  $\alpha$ .

Pour le passage de l'obscurité à la lumière, les deux types de photorécepteurs possèdent des adaptations différentes. Les bâtonnets s'adaptent quand la luminance est inférieure à  $-2 \log \text{Cd/m}^2$ . L'équation d'adaptation pour les bâtonnets est déduite de la figure 1.8(b) telle que

$$\log(\Delta L) = (\log(\Delta L_{initial}) - \log(\Delta L_{final}))e^{-\beta t} + \log(\Delta L_{final}) \quad (2.5)$$

où  $\log(\Delta L)$  est le seuil de contraste à l'instant  $t$ .  $\log(\Delta L_{initial})$  est le seuil initial de contraste qui correspond à la première intensité où se trouvait l'utilisateur.  $\log(\Delta L_{final})$  représente le seuil final de contraste correspondant à la lumière actuelle.  $\beta$  représente le coefficient d'adaptation des bâtonnets, à la lumière, il est calculé à partir de la figure 1.8(a).

Pour les cônes, l'adaptation commence quand la luminance est supérieure à  $-2 \log \text{Cd/m}^2$ . L'équation régissant cette adaptation est

$$\log(\Delta L) = \begin{cases} \left( \frac{\log(\Delta L_{final}) - \log(\Delta L_{initial}) - 0.2}{2} \right) t + \log(\Delta L_{initial}) & 0 \leq t \leq 3\text{min} \\ 0.05t + \log(\Delta L_{final}) - 0.3 & 3 < t \leq 6\text{min} \\ \log(\Delta L_{final}) & t > 6\text{min}. \end{cases} \quad (2.6)$$

Pour déterminer les deux seuils  $\log(\Delta L_{initial})$  et  $\log(\Delta L_{final})$ , il faut faire la correspondance entre la luminance et les seuils de contraste comme le montre la figure 1.6. Elle donne la relation qui existe entre ces deux grandeurs. Cette relation est régie par les équations (2.7) et (2.8) [33]. Le seuil calculé pour les cônes est donné par l'équation

$$\log(\Delta L_{initial}) = \begin{cases} -0.72 & \text{si } \log L_{initial} \leq -2.6 \\ \log L_{initial} - 1.255 & \text{si } \log L_{initial} > 1.9 \\ (0.249 \log L_{initial} + 0.65)^{2.7} - 0.72 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (2.7)$$

Pour les bâtonnets, le seuil calculé est donné par l'équation

$$\log(\Delta L_{initial}) = \begin{cases} -2.86 & \text{si } \log L_{initial} \leq -2.6 \\ \log L_{initial} - 0.395 & \text{si } \log L_{initial} > 1.9 \\ (0.405 \log L_{initial} + 1.6)^{2.18} - 2.86 & \text{sinon,} \end{cases} \quad (2.8)$$

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

où,  $\log(\Delta L_{initial})$  est le seuil initial pour les cônes et les bâtonnets et  $L_{initial}$ , la luminance initiale. Pour déterminer  $\log(\Delta L_{final})$ , il suffit de remplacer l'indice *initial* par *final* dans les équations (2.7) et (2.8).

Une fois le seuil  $\Delta L$  calculé à l'instant  $t$ , nous calculons le rapport de contraste  $C$  par l'équation [13]

$$C = \exp(k \log(\Delta L)), \quad (2.9)$$

où  $k$  est le coefficient de contraste [13], son rôle est de faire la combinaison entre les niveaux de contraste dans le monde réel, et les niveaux de luminance sur le dispositif d'affichage. Nous l'avons estimé expérimentalement à 8%. Après le calcul du rapport de contraste  $C$ , les couleurs de chaque pixel de l'image  $I$  sont multipliées par ce rapport pour donner la nouvelle image  $I_c$ .

### **Implémentation de l'adaptation à l'obscurité et à la lumière dans le système de visualisation contextuelle**

Dans cette section, nous avons présenté le principe de l'adaptation du SVH (système visuel humain) à la lumière et à l'obscurité. Pour assurer que l'image affichée sur l'écran ne change pas de qualité pour l'utilisateur, il faut qu'elle suive les différentes adaptations du système visuel aux différents changements d'illumination.

Étant donnée l'image  $I$ , le système doit faire l'acquisition, à chaque instant, de l'intensité lumineuse globale  $L$  du milieu ambiant par le biais de sa caméra. L'intensité est estimée de la façon suivante : la moyenne de l'image est d'abord calculée dans l'espace de couleur RGB à partir de l'image acquise par la caméra. Cette moyenne calculée sera transformée, par la suite, dans l'espace de couleurs HSL pour donner la luminance moyenne de l'image. Pour trouver l'intensité du milieu ambiant, nous faisons la correspondance entre la luminance de l'image et l'intensité du milieu comme le montre la figure 2.15 [24].

Quand l'intensité change, le système calcule les différents seuils de contraste (initial et final),  $\log(\Delta L_{initial})$  et  $\log(\Delta L_{final})$ , en utilisant les équations (2.7) et (2.8).  $L_{initial}$  est l'intensité initiale avant le changement de lumière et  $L_{final}$  est l'intensité après le changement. Les seuils de contraste sont calculés avec l'une des équations (2.4), (2.5) ou (2.6) selon le changement de l'intensité de lumière. Puis le rapport de contraste  $C$  est calculé avec l'équation (2.9). Chaque pixel de l'image  $I$  est multiplié par le même rapport de

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

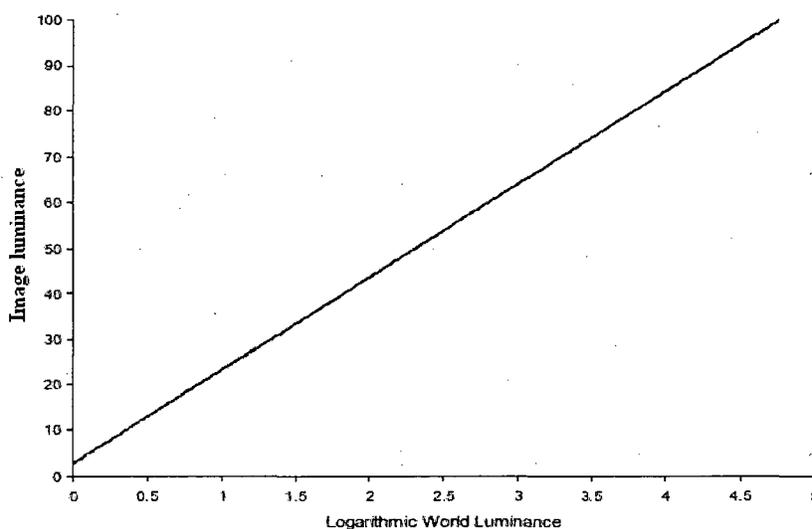


Figure 2.15 – Relation entre l’intensité de lumière et la luminance de l’image. Image adaptée de Jiang *et al.* [24].

contraste  $C$  (contraste global) pour avoir l’image  $I_c$  en sortie. Les constantes  $\alpha$ ,  $\alpha_1$  et  $\beta$ , sont calculées à partir des figures 1.8(a) et 1.8(b) par l’approximation de ces courbes à des exponentielles décroissantes. Puis, le calcul des constantes de l’équation de chaque courbe se fait par la sélection d’un nombre de points correspondant au nombre de constantes dans l’équation et la résolution du système d’équation résultant. Nous trouvons  $\alpha = -0.00166$ ,  $\alpha_1 = -0.00644$ , et  $\beta = -1.5$ . Le schéma bloc de l’implémentation de cette adaptation est illustré dans la figure 2.16. Pour une image en niveau de gris, nous calculons son histogramme pour ne pas effectuer l’adaptation pour chaque pixel de l’image. Le traitement sera effectué seulement pour les valeurs présentes dans l’histogramme, cela évite d’effectuer le calcul sur toute l’image. Par conséquent, nous visons d’améliorer le temps de calcul.

### 2.4.3 Adaptation au reflet

Lors de la visualisation d’une image  $I$  sur un écran dans l’obscurité, l’observateur reçoit uniquement les rayons émis par celui-ci. Par conséquent, l’image perçue  $I_o$  est la même que l’image  $I$  parce qu’il n’y a aucun changement apporté dans l’obscurité. Cependant, si l’observateur se trouve dans un milieu avec une lumière ambiante  $L_a$  et sachant que l’écran possède une certaine réflectance, il ne recevra pas les rayons émis par l’écran uniquement.

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

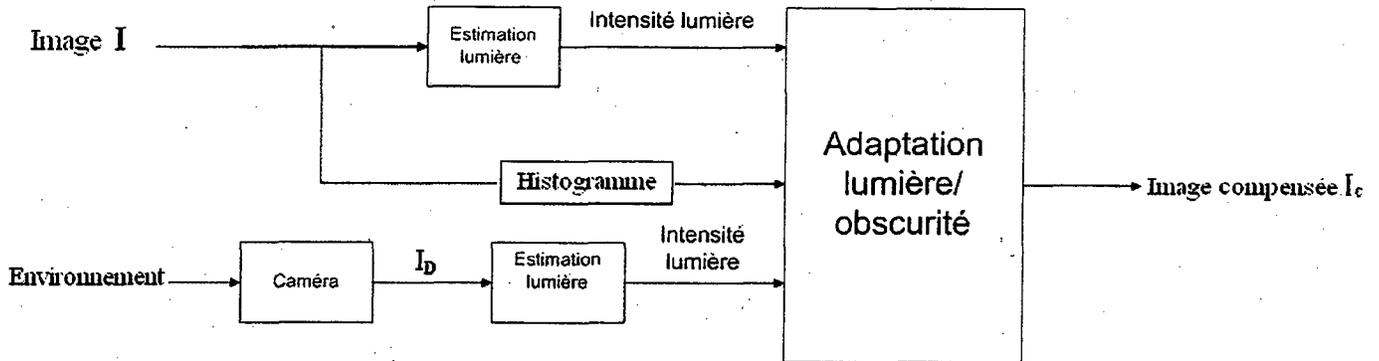


Figure 2.16 – Schéma bloc de l'implémentation de l'adaptation à la lumière/obscurité.

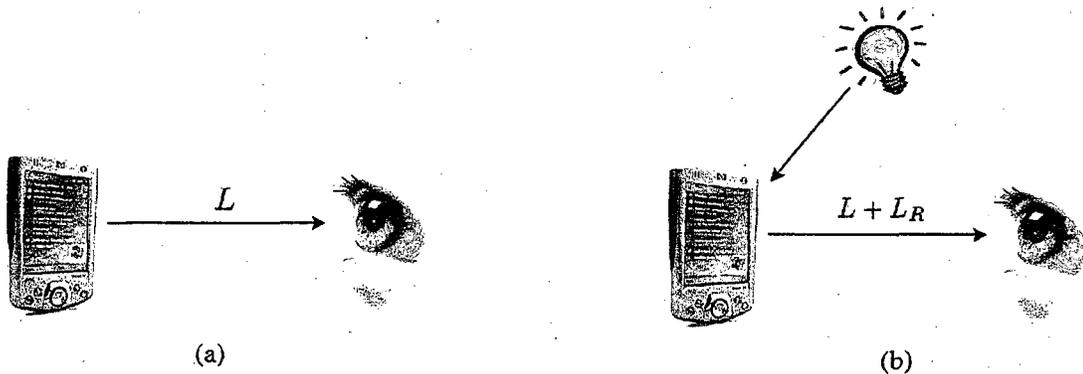


Figure 2.17 – (a) Lumière émise par l'écran dans l'obscurité, (b) lumière émise par ce même écran avec un éclairage ambiant. Image tirée de Dhalleine [13].

Il existe une deuxième composante  $L_R$  de lumière qui s'ajoute ; c'est la lumière réfléchie par l'écran lui-même (figure 2.17). Par conséquent, l'image perçue  $I'_o$  sera donc différente de l'image  $I$  parce que l'intensité de la lumière reçue n'est plus la même et le seuil du plus petit contraste perceptible n'est plus le même aussi.

Dans cette section, une méthode pour réduire l'effet de la lumière réfléchie sur la visualisation de l'image  $I$  sur l'écran est présentée ainsi que les étapes de son implémentation dans le SVC.

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

### Modélisation de l'adaptation au reflet

L'ajout de la lumière réfléchie sur l'écran à celle émise par celui-ci modifie le seuil du plus petit contraste perceptible. D'après la loi de Weber :

$$\frac{\Delta L_d}{L} = \frac{\Delta L_a}{L + L_R},$$

où  $L$  est la lumière émise par l'écran,  $\Delta L_d$  et  $\Delta L_a$  sont les seuils des plus petits contrastes perceptibles dans l'obscurité et dans un milieu éclairé respectivement et  $L_R$  est la luminance réfléchie sur l'écran.

Pour réduire l'effet de la lumière réfléchie, nous allons utiliser une compensation de ce reflet. Pour cela nous travaillons dans l'espace de couleur HSL. L'idée de base est de diminuer la luminance de l'image à une valeur  $L - L_R$ .

Nous supposons que le reflet sur l'écran est global (uniforme sur tout l'écran) et qu'il agit sur l'image  $I$  de la manière suivante

Soit  $(H_\Phi, S_\Phi, L_\Phi)$  les composantes couleurs de la lumière incidente sur l'écran. Puisque celui-ci possède un coefficient de réflexion  $\alpha$ , le reflet  $\Phi$  aura comme valeur les composantes  $(H_\Phi, \alpha S_\Phi, \alpha L_\Phi)$ . Il agit sur l'image  $I$  en augmentant son intensité et en diminuant la saturation de ses couleurs [26]. La luminance  $L_{I_o}$  de l'image perçue s'écrit sous la forme

$$L_{I_o} = L_I + \alpha L_\Phi,$$

où  $L_I$  est la luminance de l'image  $I$ .

De même, la superposition du reflet sur l'image cause la dégradation de la saturation de celle-ci. Le reflet agit en diminuant la saturation de l'image perçue qui s'écrit sous la forme

$$S_{I_o} = S_I - \alpha S_\Phi,$$

où  $S_I$  est la saturation de l'image  $I$ .

Pour réduire l'effet de ce reflet, il suffit de compenser l'image  $I$  au préalable afin de retrouver ses vraies couleurs  $(H_I, S_I, L_I)$  après la correction. La correction de l'image  $I$  donne l'image compensée  $I_c$  dont la luminance  $L_{I_c}$  s'exprime selon l'équation

$$L_{I_c} = L_I - \alpha L_\Phi. \quad (2.10)$$

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

De même, la saturation  $S_{I_c}$  de l'image compensée s'écrit de la façon suivante :

$$S_{I_c} = S_I + \alpha S_\Phi. \quad (2.11)$$

### Implémentation de l'adaptation au reflet dans le système de visualisation contextuelle

Nous avons vu, dans section précédente, l'effet du reflet sur une image affichée à l'écran et nous avons étudié un algorithme pour réduire l'effet de ce reflet.

Dans cette partie, l'implémentation de l'algorithme de compensation du reflet global est présentée. Nous travaillons dans l'espace de couleur HSL. Pour ce faire, le SVC doit avoir, comme paramètres à l'entrée, la luminance du reflet  $L_R = \alpha L_\Phi$ , sa saturation  $S_{Reflét} = \alpha S_\Phi$  et la luminance  $L_I$  de l'image initiale  $I$  affichée dans l'obscurité et sa saturation  $S_I$ . L'intensité réfléchie dépend du type de l'écran dépendamment des matériaux utilisés dans la fabrication. Dans notre cas (ECL), la lumière réfléchie est estimée à 5% [26] de l'intensité de la lumière de l'environnement ( $\alpha = 0.05$ ). Le SVC estime la lumière de l'environnement à partir de l'image prise par la caméra avec la méthode du monde gris, puis il applique la méthode présentée ci-haut pour réduire le reflet en appliquant les équations (2.10) pour corriger la luminance et (2.11) pour corriger la saturation des couleurs dans l'image. À la sortie, le système produit l'image compensée  $I_c$ . Le schéma bloc de cette adaptation est donné à la figure 2.18. Pour une image en niveaux de gris, nous calculons son histogramme pour ne pas effectuer l'adaptation pour chaque pixel de l'image. Le traitement sera effectué seulement pour les valeurs présentes dans l'histogramme. Par conséquent, nous gagnons dans le temps de calcul.

### 2.4.4 Adaptation géométrique

La meilleure position pour regarder un écran est de se mettre en face de lui c'est-à-dire, quand sa normale et l'axe de vue de l'observateur sont confondus. Si cette configuration spatiale venait à être modifiée, la visualisation de l'image  $I$  sur l'écran serait déformée à cause de la perspective (figure 2.19) et la déformation des couleurs. En effet, ce changement de position engendre des déformations liées à la forme parce que les différentes parties de l'image ne sont plus à la même distance de l'observateur. Il existe, aussi, des déformations radiométriques liées à la couleur du fait que l'éloignement des pixels de l'image modifie

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

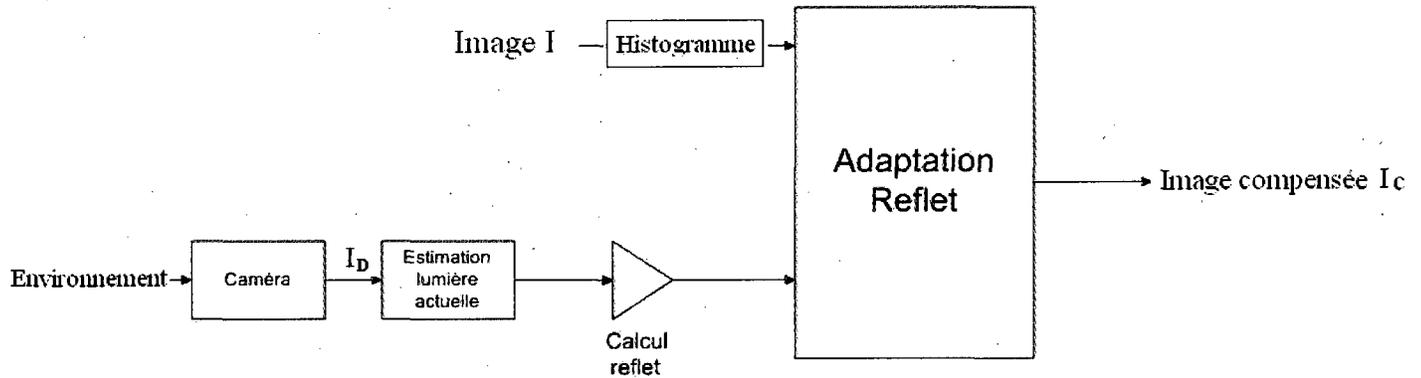


Figure 2.18 – Schéma bloc de l'implémentation de l'adaptation au reflet.

l'apparence des couleurs, et les pertes de résolution car les pixels n'auront plus la même taille à cause de la distance entre la position de chaque pixel et l'observateur.

Dans l'objectif de compenser l'effet de la perspective, il faut d'abord modifier l'apparence spatiale de l'image si la position de l'observateur est connue. Nous présentons, dans cette section, une transformation qui répond à notre objectif. Nous présentons également une méthode à intégrer dans le SVC. La méthode proposée est valable dans le cas d'un seul utilisateur parce que la transformation ne peut pas être appliquée pour afficher l'image à plusieurs utilisateurs dans différentes positions en même temps.

### Modélisation de l'adaptation géométrique

Le principe de la transformation géométrique est schématisé dans la figure 2.20. Soit une image à visualiser  $I$ , l'observateur est positionné en  $O$  et regarde l'image  $I_v$ , affichée sur l'écran, modélisée par le segment gras noir. Étant donné qu'il regarde cet écran avec un angle  $\theta$ , il ne le percevra pas de la même façon que s'il lui faisait face mais il y aura les pertes dont nous avons fait mention plus haut (pertes de forme, de couleurs, et de résolution). Afin de rendre la visualisation identique à celle où l'observateur est face à l'écran, il faut modifier l'image  $I_v$  (représentée en noir gras dans la figure 2.20), de telle sorte que l'observateur ait l'impression que l'écran est tourné vers lui (schématisé en pointillés), et corriger la couleur de chaque pixel en fonction de sa position.

Il faut corriger la position des pixels et la radiométrie. Dans ce mémoire, nous nous intéressons seulement à la position des pixels. Il faut, donc, effectuer une rotation de l'image

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

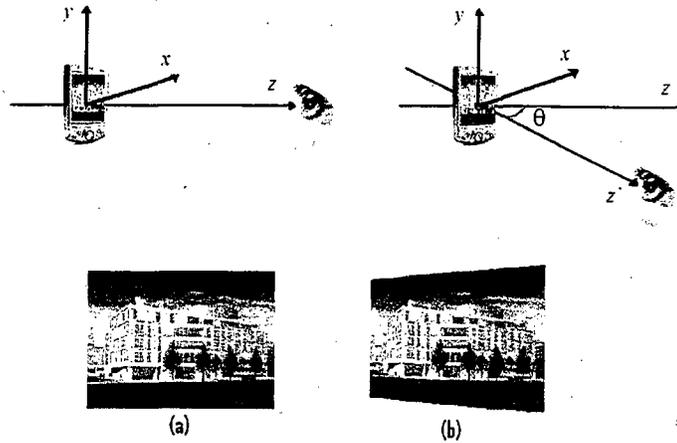


Figure 2.19 – La perspective modifie l’aspect spatial de l’image. (a) L’observateur est face à l’écran. (b) L’observateur se situe à un angle  $\theta$  dans le plan horizontal par rapport à l’écran. Image adaptée de F. Dhalleine [13].

$I$  autour des deux axes ( $OX$ ) et ( $OY$ ) dépendamment de la position de l’utilisateur. Pour définir les nouvelles coordonnées de l’image  $I_c$ , la position de chaque pixel est multipliée par la matrice de rotation  $R = R_x(\alpha)R_y(\beta)$  telle que

$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix}$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix}$$

Après multiplication des matrices de rotation par les positions des pixels, l’image résultante  $I'_v$  sera dans un autre plan défini par les deux angles  $\alpha$  et  $\beta$  par rapport au plan de l’écran. Par exemple, dans le cas d’une rotation par rapport à l’axe ( $OY$ ). Les nouvelles coordonnées

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

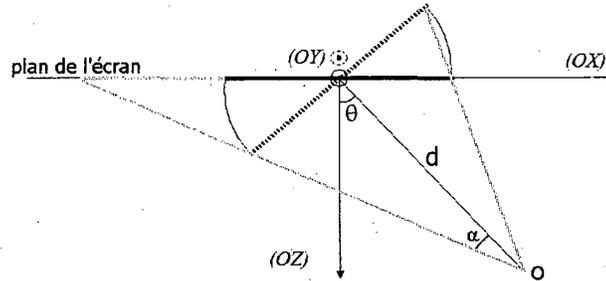


Figure 2.20 – Position de l’observateur dans un angle par rapport à l’écran. Image adaptée de F. Dhalleine [13].

$(X, Y, Z)$  d’un pixel  $p(x, y, z = 0)$  seront données par l’ensemble d’équations :

$$\begin{aligned} X &= x \cos(\beta) + z \sin(\beta) \\ Y &= y \\ Z &= -x \sin(\beta) + z \cos(\beta). \end{aligned}$$

Il suffit maintenant de faire une projection de l’image  $I'_v$  sur le plan de l’écran pour avoir l’image finale à afficher  $I_c$ . Les nouvelles coordonnées de l’image sont données par l’ensemble d’équations

$$\begin{aligned} x' &= d \cos(\theta) \frac{X}{Z} \\ y' &= d \cos(\theta) \frac{Y}{Z}, \end{aligned} \quad (2.12)$$

où  $(X, Y, Z)$  sont les coordonnées du pixel après rotation et  $d$ , la distance entre l’utilisateur et l’image.

Il faut connaître les angles  $(\alpha, \beta)$  et la distance  $d$  pour trouver la nouvelle position  $(x', y')$  d’un pixel  $(x, y)$ . Pour ce faire, nous allons voir une méthode de détection du visage dans une image. L’objectif de cette opération est de détecter le visage de l’utilisateur pour définir sa position automatiquement par rapport à l’écran, et de déduire les angles de rotation  $(\alpha, \beta)$ . La distance  $d$  peut être estimée avec des algorithmes d’estimation de la profondeur de l’image tels que *Shape from Shading* [51]. Cependant, dans notre cas, cette distance est fixée par l’utilisateur car il utilise à peu près la même distance dans la visualisation de données sur son dispositif.

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

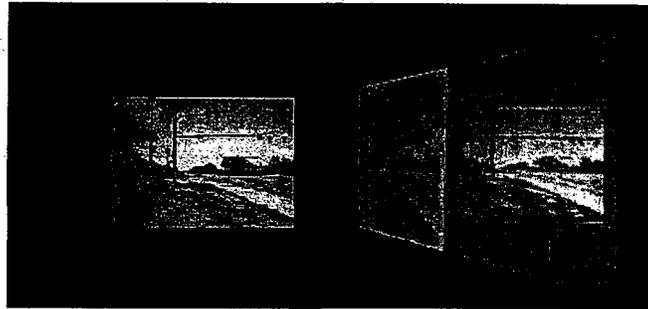


Figure 2.21 – Photographie d'un écran, prise à 30 cm avec un angle de 60° dans le plan horizontal, simulant le point de vue d'un observateur. Nous remarquons que l'image affichée a quasiment conservé son aspect d'origine. Image adaptée de F. Dhalleine [13].

### Détection du visage dans une image

Pour effectuer l'adaptation géométrique de façon automatique, il faut déterminer la position du visage par rapport à l'écran. Nous pouvons trouver plusieurs détecteurs de visage qui se basent sur différentes méthodes. Nous citons les méthodes basées sur la recherche par pixel [49, 38], les méthodes basées sur la recherche par région [39, 21], d'autres utilisent les caractéristiques des contours locaux, et les détecteurs qui se basent sur l'utilisation des ondelettes de *Haar* [23, 46].

Dans ce projet, nous proposons d'utiliser le détecteur de visage de P. Viola [46]. Ce détecteur de visage, basé sur les ondelettes de Haar, utilise une représentation de l'image appelée "image intégrale". Elle permet une évaluation rapide des descripteurs qui sont les fonctions de base de Haar. Nous pouvons distinguer, les descripteurs à deux rectangles, les descripteurs à trois rectangles, et les descripteurs à quatre rectangles (figure 2.22). Ces descripteurs peuvent être calculés rapidement par l'image intégrale.

Soit  $I$  l'image acquise par la caméra. L'image intégrale  $ii$  aux coordonnées  $(x, y)$  de l'image  $I$  est la somme de tous les pixels situés au dessus et à gauche du pixel  $(x, y)$  [46] telle que

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} I(x', y').$$

La deuxième étape de cette méthode consiste à faire un apprentissage sur les différents

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

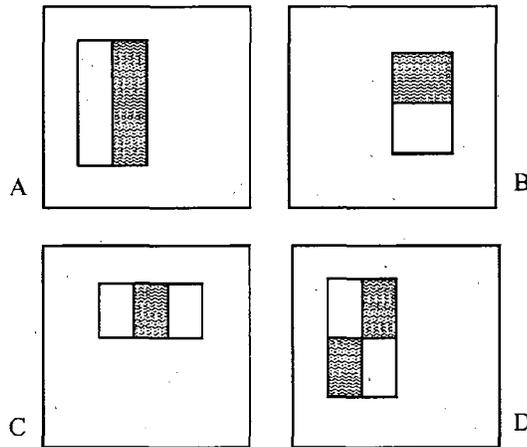


Figure 2.22 – Caractéristiques utilisées dans la fenêtre de détection du visage : (a) et (b) caractéristiques à deux rectangles, (c) caractéristiques à trois rectangles, (d) caractéristiques à quatre rectangles. Image tirée de P. Viola [46].

descripteurs afin de déterminer les meilleurs classificateurs qui définissent les caractéristiques du visage. L'apprentissage dans cette méthode utilise l'algorithme *AdaBoost* (*Adaptive boosting*). La hausse (*boosting*) consiste à combiner des règles simples pour créer un ensemble dont la performance de chaque élément est améliorée. Dans notre cas, les règles sont les classificateurs faibles ; un classificateur est dit faible lorsqu'il ne possède pas des bonnes performances de classification. Dans cette méthode, chaque caractéristique est considérée comme un classificateur potentiel faible. Un classificateur faible est décrit mathématiquement par

$$h_{x,f,p,\theta} = \begin{cases} 1 & \text{si } pf(x) < p\theta \\ 0 & \text{sinon,} \end{cases} \quad (2.13)$$

où  $p$  est une variable de parité (1 ou -1),  $\theta$  le seuil de décision,  $x$  l'image à classer (visage ou non visage) et  $f$  la caractéristique (feature). Ces classificateurs séparent les images positives (visages) et les images négatives (non-visages). Selon les caractéristiques présentées dans la figure 2.24, la différence entre la somme des pixels dans les régions noires et les régions blanches est calculée. Si cette différence est supérieure au seuil  $\theta$ , le classificateur décide que la partie de l'image traitée est un visage, sinon ce n'est pas un visage.

Les classificateurs faibles sont renforcés par l'algorithme *AdaBoost* pour construire un

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

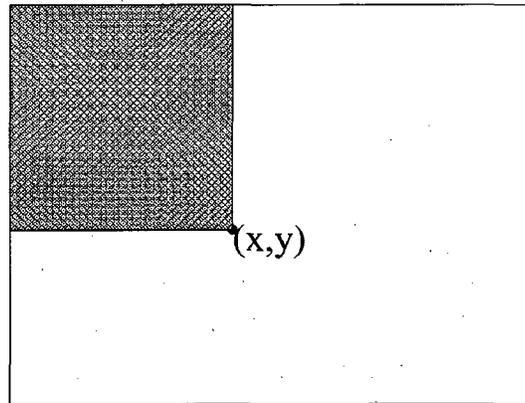


Figure 2.23 – Valeur de l’image intégrale au point  $(x,y)$ . Image tirée de P. Viola [46].

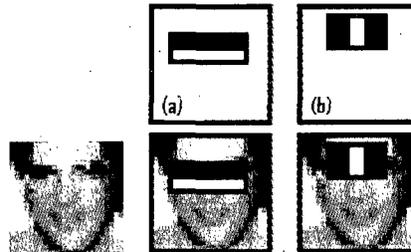


Figure 2.24 – Caractéristiques sélectionnées par l’algorithme d’apprentissage : (a) différence d’intensité entre les yeux et les joues, (b) différence d’intensité entre les yeux et le haut du nez. Image tirée de P. Viola [46].

fort classificateur. L’idée de base consiste à affecter des poids  $\omega_i$  pour chaque échantillon dans l’ensemble d’apprentissage  $x_i$  (dans notre cas, ce sont les images). Les exemples mal classés auront leurs poids augmentés et les exemples correctement classés auront leurs poids diminués. Le classificateur se concentre sur les données mal classées dans chaque étape du boosting.

À la fin de cet algorithme, chaque hypothèse  $h_i$  (équation (2.13)) est pondérée par une valeur  $\alpha_i$  calculée précédemment. La classification d’un nouvel exemple se fait en utilisant la combinaison des classificateurs trouvés dans cet algorithme.

La troisième étape consiste à trouver la bonne chaîne de classificateurs en cascade, pour permettre la recherche rapide des visages. Le principe de détection de visage de Viola est de passer le détecteur plusieurs fois à travers la même image (avec différentes tailles de sous-fenêtres). Malgré que l’image puisse contenir plusieurs visages, il est clair qu’un grand

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

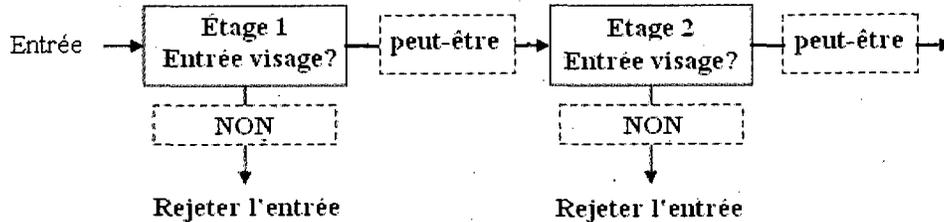


Figure 2.25 – Sélection des classificateurs en cascade. Image adaptée du mémoire de Helving [22].

nombre des sous-fenêtres évaluées devrait être négatives (pas de visages). Le problème sera formulé de la façon suivante : au lieu de trouver les visages, l'algorithme doit rejeter les régions non-visage car il est plus rapide d'ignorer ces régions que de chercher les visages. Un détecteur formé d'un seul classificateur fort est insuffisant, c'est la raison d'utiliser la cascade de classificateurs.

Le classificateur en cascade est composé de plusieurs étages de classificateurs. Chacun de ces classificateurs est un classificateur fort obtenu par AdaBoost. La fonction de chaque étage est de déterminer si la fenêtre de l'image traitée est définitivement un non-visage ou elle pourra être un visage. Si une fenêtre est classée non-visage par un étage donnée, elle sera rejetée immédiatement. Si la fenêtre est classée probablement visage, elle passera à l'étage suivant de la cascade. Le même traitement se répète avec les différents étages de la cascade. À la sortie de la cascade, toutes les régions classées non-visage seront rejetées et il ne reste que les régions des visages. La figure 2.25 illustre le principe de la cascade.

Le test de l'algorithme montre qu'il détecte le visage. L'indicateur (rectangle) du visage change de taille, suivant la taille du visage (figure 2.26). La caractéristique de détection possède plusieurs tailles et uniquement celle correspondant au visage qui produit un résultat positif. Si le visage est très proche de l'écran les caractéristiques détectées seront grandes. Par conséquent, l'indicateur du visage suit la taille de ces caractéristiques. Si le visage s'éloigne de l'écran, la dimension des caractéristiques diminue et l'indicateur devient de petites dimensions. En utilisant cet indicateur, nous pourrions définir la position de l'utilisateur par rapport à l'écran.

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE



Figure 2.26 – Test du détecteur du visage.

### Position de l'utilisateur dans l'image

L'utilisateur est localisé par la position de son visage, qui est délimitée par un carré. C'est la position de ce carré qui va déterminer les coordonnées de cet utilisateur. Soit le carré  $A(s_1s_2s_3s_4)$  de la figure 2.27 qui représente le visage, son centre est défini par

$$\begin{aligned}x_c &= \frac{x_{s1} + x_{s2}}{2} \\y_c &= \frac{y_{s1} + y_{s4}}{2},\end{aligned}$$

où les coordonnées  $x_c, y_c$  sont calculées dans le plan de l'image. Pour les trouver par rapport au centre de l'écran, il suffit de faire une translation suivant l'axe  $(Ox)$ , et une autre suivant l'axe  $(Oy)$  au point  $O'(\frac{W}{2}, \frac{H}{2})$  (voir figure 2.28). Les nouvelles coordonnées du centre  $c$  dans le nouveau repère sont données par

$$\begin{aligned}x_{c'} &= x_c - \frac{W}{2} \\y_{c'} &= y_c - \frac{H}{2},\end{aligned}\tag{2.14}$$

où  $W, H$  sont respectivement la largeur et la hauteur de l'image. Dans le cas où l'utilisa-

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

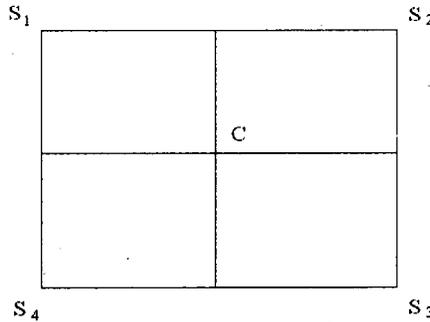


Figure 2.27 – Calcul du point de centre du visage.

teur est face à l'écran, le nouveau centre  $c'$  sera confondu avec le centre de l'image. Quand l'utilisateur se positionne à gauche de l'écran le centre du visage se déplacera vers la droite de l'image et vice versa. Quand l'utilisateur se met en haut par rapport à l'écran le centre du visage se déplace en haut. Et quand il se met en bas le visage sera en bas aussi. De là, nous pouvons déduire que :

Si  $x_{c'} > 0$ , l'utilisateur se trouve à gauche du centre de l'écran.

Si  $x_{c'} < 0$ , l'utilisateur se trouve à droite du centre de l'écran.

Si  $y'_{c'} > 0$ , l'utilisateur se trouve en bas du centre de l'écran.

Si  $y'_{c'} < 0$ , l'utilisateur se trouve en haut du centre de l'écran.

La définition de l'angle que fait l'utilisateur avec l'écran dépend essentiellement du champ de vision de la caméra. Pour chaque profondeur  $d$  de l'utilisateur, il existe un angle maximal  $\alpha_{max}$  que la camera couvre. Cet angle correspond à une distance dans l'image estimée, à la moitié de sa largeur  $\frac{W}{2}$ , et la moitié de sa hauteur  $\frac{H}{2}$ . L'angle correspondant à un pixel de coordonnées  $(x, y)$  est donné par :

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{2\alpha_{max}}{W} x \\ \beta &= \frac{2\beta_{max}}{H} y, \end{aligned} \quad (2.15)$$

où  $\alpha_{max} = \arctan \frac{W}{2d}$ , et  $\beta_{max} = \arctan \frac{H}{2d}$ . Ainsi, nous pouvons définir la position de l'image par rapport à l'observateur. Si l'observateur est en dehors du champs de la caméra, le système n'effectuera pas d'adaptation.

## 2.4. LES OPÉRATIONS DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

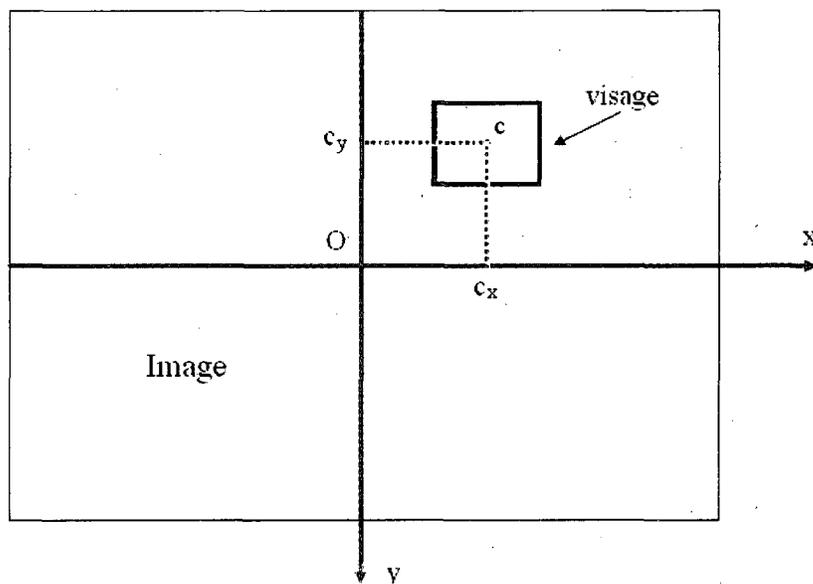


Figure 2.28 – Coordonnées du centre de visage par rapport au centre de l'image.

### Implémentation de l'adaptation géométrique dans le système de visualisation contextuelle

Après avoir vu l'adaptation géométrique, la détection du visage dans l'image et le calcul de la position de l'utilisateur par rapport à l'écran, nous passons maintenant à l'implémentation de cette adaptation dans le SVC.

Soit  $I_v$  une image affichée sur l'écran,  $W = 120$ ,  $H = 160$  les dimensions de l'image  $I_D$  acquise par la caméra et  $d = 40 \text{ cm}$  la distance entre l'écran et l'utilisateur (cette distance est fixée par l'utilisateur). Pour définir la position du visage, le système doit calculer les deux angles  $(\alpha, \beta)$  à travers une image acquise par la caméra du système en utilisant la détection du visage puis sa localisation à partir des équations (2.14) et (2.15). Puis, les nouvelles positions des pixels sont transformées suivant l'équation (2.12). Notons que la valeur de la couleur des nouveaux pixels est estimée dans l'espace RGB par une interpolation linéaire en calculant la moyenne des deux pixels voisins du nouveau pixel. À la fin de l'opération, nous aurons l'image compensée  $I_c$ . Le schéma bloc de cette adaptation est donné dans la figure 2.29.

## 2.5. RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LES DISPOSITIFS MOBILES

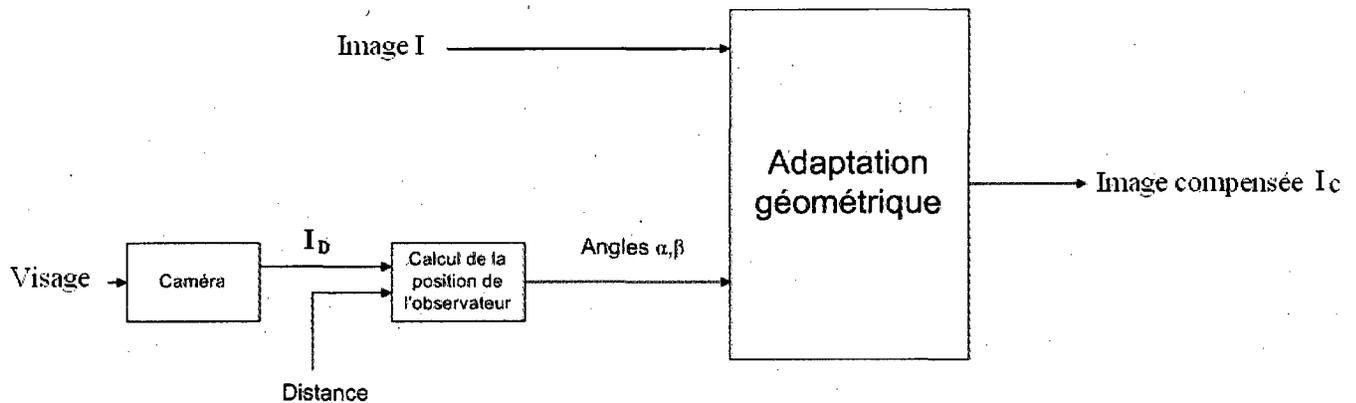


Figure 2.29 – Schéma bloc de l'adaptation géométrique.

## 2.5 Réduction de la consommation d'énergie dans les dispositifs mobiles

Lorsque l'écran est à son intensité maximale, il consomme plus de 50% de l'énergie fournie par la batterie du dispositif mobile. En plus, le rétro-éclairage consomme environ 53% de l'énergie consommée par l'écran [32]. Si nous voulons diminuer l'énergie consommée par l'écran, il faudra diminuer son intensité par le biais de la diminution du rétro-éclairage. Liang *et al.* [30] ont effectué une expérimentation pour la mesure de la quantité de l'énergie consommée en fonction du rétro-éclairage d'un dispositif de communication mobile. La courbe de la figure 2.30 montre l'énergie consommée en fonction du niveau du rétro-éclairage. Ce dispositif possède dix niveaux de rétro-éclairage.  $n = 0$  signifie que le rétro-éclairage est éteint et  $n = 10$  signifie que le rétro-éclairage est à son niveau maximal.

Nous remarquons bien que lorsque le niveau du rétro-éclairage augmente, la consommation électrique de celui-ci augmente aussi. Pour un rétro-éclairage  $n = 1$ , d'après le tableau 2.1, nous avons un gain de 90% par rapport au fonctionnement à pleine puissance du rétro-éclairage. Les différents gains en puissance sont donnés au tableau 2.1.

Or, la diminution d'intensité du rétro-éclairage causera une diminution dans l'intensité de l'image visualisée  $I_v$  et elle sera assombrie. Une solution est d'augmenter l'intensité de l'image visualisée afin d'assurer la même apparence.

## 2.5. RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LES DISPOSITIFS MOBILES

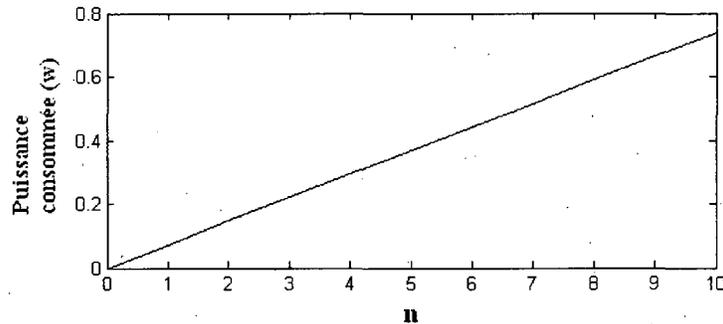


Figure 2.30 – Consommation électrique du rétro-éclairage d'un dispositif de communications mobiles. Image tirée de Liang *et al.* [30].

Rétro-éclairage (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gain (%)	90.17	80.15	70.13	60.11	50.09	40.08	30.06	20.04	10.02	0

tableau 2.1 – Gain en puissance pour chaque niveau du rétro-éclairage.

Plusieurs recherches ont été effectuées pour réduire l'intensité du rétro-éclairage sans altérer la qualité de l'image [45, 11, 30, 10]. Ces recherches possèdent toutes un point en commun. Elles se basent sur le même principe qui est la modélisation de l'ECL. En effet, la luminance  $I$  émise par un ECL est donnée par

$$I = \rho LY, \quad (2.16)$$

où  $\rho$  est la transmissivité de l'ECL,  $L$  la luminance du rétro-éclairage et  $Y$  la luminance moyenne de l'image  $I$ .

### 2.5.1 Compensation d'énergie dans l'ECL

Pour effectuer cette opération l'image est convertie dans l'espace de couleurs HSL en prenant la bande  $L$  comme la bande de luminance. Soit  $L$  la luminance du rétro-éclairage, et  $Y$  la luminance moyenne de l'image  $I$ . La luminance de l'écran sera alors donnée par l'équation (2.16). D'après Choi *et al.* [11], si la luminance du rétro-éclairage diminue tout en conservant l'intensité globale de l'image, il faudra augmenter la luminance de l'image elle-même. Si  $L'$  est la nouvelle valeur du rétro-éclairage, et  $Y'$  la nouvelle valeur moyenne

## 2.5. RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LES DISPOSITIFS MOBILES

de l'image, ces deux paramètres s'écrivent de la manière suivante :

$$\begin{aligned} L' &= L + \Delta L \\ Y' &= Y + \Delta Y. \end{aligned} \quad (2.17)$$

En conservant l'intensité donnée par l'équation (2.16), la diminution de la luminance du rétro-éclairage  $L$  engendre une augmentation de la valeur moyenne  $Y$  des pixels de l'image. Cette conservation de luminance  $I$  s'exprime par l'égalité suivante :

$$\rho L'Y' = \rho LY. \quad (2.18)$$

En remplaçant  $L'$  et  $Y'$  par leurs valeurs, en fonction de  $\Delta L$  et  $\Delta Y$  respectivement, l'équation (2.18) s'écrit sous la forme

$$\rho(L + \Delta L)(Y + \Delta Y) = \rho LY.$$

Il s'en suit que  $\Delta Y$  s'exprime en fonction de  $L$ ,  $Y$  et  $\Delta L$  comme suit :

$$\Delta Y = -\frac{\Delta L}{\Delta L + L}Y.$$

La nouvelle valeur moyenne de la luminance des pixels de l'image s'écrit sous la forme

$$Y' = Y - \frac{\Delta L}{\Delta L + L}Y. \quad (2.19)$$

La luminance de la nouvelle image  $I_c$  est  $Y'$ . Cherchons maintenant les valeurs de chaque pixel de l'image  $I_c$ . Soit  $M$  la moyenne de l'image  $I$  dans l'espace RGB et dont la luminance moyenne est  $Y$ .  $Y$  est obtenu en faisant la conversion de  $M$  dans l'espace HSL et en prenant la composante de luminance  $L$ . Supposons que  $\Delta L$  est fourni par l'utilisateur, nous calculons  $Y'$  à l'aide de l'équation (2.19). Par transformation inverse, nous trouvons  $M'$  la couleur moyenne de l'image  $I_c$  dans l'espace RGB. Nous proposons de transformer l'image  $I$  en  $I_c$  en préservant le contraste :

$$\sum_{i,j} (I(i,j) - M)^2 = \sum_{i,j} (I_c(i,j) - M')^2.$$

## 2.5. RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LES DISPOSITIFS MOBILES

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L(\text{cd/m}^2)$	28	34	41	46	52	56	62	67	70	75

tableau 2.2 – Relation entre le niveau de rétro-éclairage  $n$  et sa luminance correspondante  $L$ .

$L_{ID}$	$90 < L \leq 100$	$80 < L \leq 90$	$70 < L \leq 80$	$60 < L \leq 70$	$50 < L \leq 60$
$n$	10	9	8	7	6
$L_{ID}$	$40 < L \leq 50$	$30 < L \leq 40$	$20 < L \leq 30$	$10 < L \leq 20$	$L \leq 10$
$n$	5	4	3	2	1

tableau 2.3 – Relation entre le niveau de rétro-éclairage  $n$  et l'intensité du milieu ambiant  $L_{ID}$ .

Pour vérifier cette équation, nous nous limitons au cas où

$$I(i, j) - M = I_c(i, j) - M',$$

où  $I_c(i, j)$  est la valeur du nouveau pixel de l'image à la position  $(i, j)$  qui s'écrit sous la forme

$$I_c(i, j) = I(i, j) - M + M'. \quad (2.20)$$

### 2.5.2 Implémentation de l'algorithme de réduction de la consommation de l'écran dans le système de visualisation contextuelle

L'implémentation de cette méthode nécessite la connaissance du niveau du rétro-éclairage que l'utilisateur souhaiterait. Soit l'image  $I$ , le PDA possède dix niveaux de rétro-éclairage, chaque niveau correspond à une luminance donnée comme le montre le tableau 2.2 montre la relation entre chaque niveau  $n$  et sa luminance correspondante.

Le niveau  $n$  du rétro-éclairage est calculé en fonction de l'intensité du milieu ambiant parce que le SVH perçoit les contrastes dépendamment de l'intensité ambiante. L'intensité lumineuse ayant une correspondance avec la luminance de l'image capturée  $I_D$ , nous définissons le tableau 2.3 qui donne la relation entre le niveau  $n$  du rétro-éclairage et la luminance  $L$  de l'image  $I_D$ .

## 2.6. SÉQUENCEMENT DES OPÉRATIONS DANS LE SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

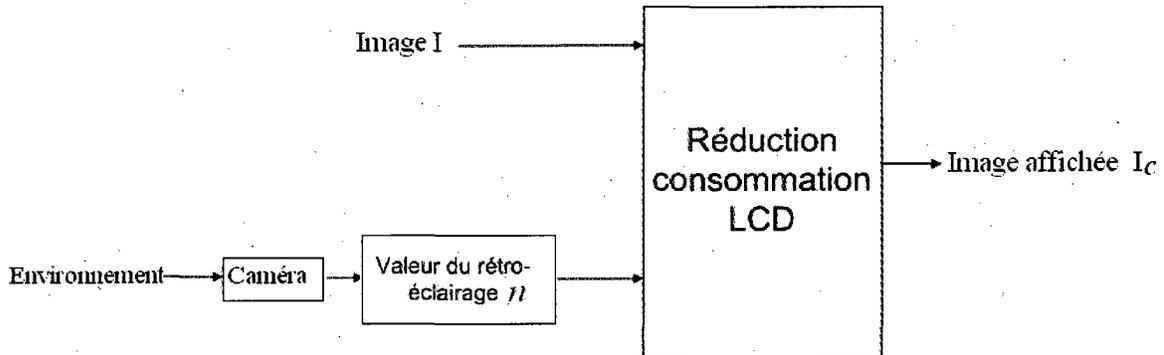


Figure 2.31 – Schéma bloc de la réduction de la consommation d'énergie au niveau d'un ECL.

L'utilisateur choisit le niveau  $n$  de rétro-éclairage. Le système calcule  $\Delta L$  correspondant puis il calcule la nouvelle luminance moyenne de l'image à afficher avec l'équation (2.19) et les différentes valeurs des pixels avec l'équation (2.20) pour donner l'image  $I_c$  en sortie. Le fonctionnement de cette opération peut être illustré par le schéma de la figure 2.31.

## 2.6 Séquencement des opérations dans le système de visualisation contextuelle

Dans cette section, nous verrons l'effet du séquencement des opérations étudiées dans la section 2.4. Par analogie avec le système visuel humain, le SVC doit suivre un certain enchaînement des opérations pour produire une image la plus proche de la réalité.

Comme nous l'avons vu dans la section 1.2 du traitement de l'information visuelle, la première opération effectuée concerne la détection des contours et le rehaussement du contraste au niveau de la couche plexiforme externe de la rétine. Ceci permet une meilleure adaptation du système visuel à l'intensité de la lumière [51]. La seconde opération s'effectue au niveau de la couche plexiforme interne de la rétine et concerne cette fois-ci le traitement de l'information liée à la couleur comme l'adaptation chromatique. En ce qui concerne le mouvement, les objets mobiles sont détectés dans cette couche grâce à la sen-

## 2.6. SÉQUENCEMENT DES OPÉRATIONS DANS LE SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

sibilité des cellules amacrines.

Si nous voulons choisir un enchaînement pour le SVC, nous procéderons de la manière suivante tout comme le système visuel humain : avant de traiter n'importe quel type d'information, il faut d'abord réduire le bruit que comporte cette information. Lors de la visualisation sur l'écran, le bruit c'est le reflet. Donc, l'adaptation au reflet est traitée en premier. Pour effectuer cette transformation, le système fait la conversion de l'image de l'espace de couleur RGB vers l'espace HSL. La deuxième opération sera l'adaptation à la lumière et à l'obscurité qui sera effectuée dans l'espace de couleurs RGB. La troisième opération est la réduction de la consommation de l'énergie pour garder le même contraste. Cette dernière opération s'effectue dans l'espace de couleurs HSL pour manipuler la composante de luminance  $L$ . La quatrième opération est l'adaptation chromatique qui se fait dans l'espace CIEXYZ. Enfin, la dernière opération est l'adaptation géométrique qui s'effectue dans l'espace RGB.

En résumé, l'image compensée  $I_c$  peut s'écrire en fonction de l'image originale  $I$  et les différentes transformations sous la forme suivante :

$$I_c = T_{\text{géométrique}}(T_{\text{chromatique}}(T_{\text{consommation}}(T_{\text{lumière}}(T_{\text{reflet}}(I))))),$$

où  $T_{\text{reflet}}$  est la transformation de la compensation du reflet. Elle s'applique sur l'image  $I$  de la façon suivante :

$$I^{(1)} = T_{\text{reflet}}(I) = T_{\text{HSL}}^{-1} f_{\text{reflet}} T_{\text{HSL}}(I),$$

où  $T_{\text{HSL}}$  est la transformation de couleur de l'espace RGB à l'espace HSL,  $f_{\text{reflet}}$  est la transformation qui englobe les équations (2.10) et (2.11).

$T_{\text{lumière}}$  est la transformation à la lumière ou à l'obscurité. Étant donné une intensité lumineuse  $L$ , le système calcule le coefficient de contraste  $k$  à l'aide de l'équation (2.9). Cette transformation s'applique à l'image  $I^{(1)}$  et donne l'image  $I^{(2)}$  :

$$I^{(2)} = T_{\text{lumière}}(I^{(1)}) = kI^{(1)}.$$

$T_{\text{consommation}}$  est la transformation de la réduction de la consommation de l'ECL. Elle s'ap-

## 2.7. LE SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE POUR LA VIDÉO

plique sur l'image  $I^{(2)}$  et donne l'image  $I^{(3)}$  suivant l'équation

$$I^{(3)} = T_{consommation}(I^{(2)}) = I^{(2)} - M + M'.$$

$T_{chromatique}$  est la transformation de l'adaptation chromatique. Le système estime la lumière de l'image  $I^{(3)}$  et la lumière ambiante (en utilisant l'image acquise par la caméra su SVC) et applique l'adaptation chromatique sur l'image  $I^{(3)}$  et donne l'image  $I^{(4)}$  telle que

$$I^{(4)} = T_{chromatique}I^{(3)} = T_{XYZ}^{-1}f_{chromatique}T_{XYZ}I^{(3)},$$

où  $T_{XYZ}$  est la transformation de l'espace de couleur RGB vers l'espace XYZ,  $f_{chromatique}$  est la transformation de l'adaptation chromatique donnée par l'équation (2.3).

$T_{géométrique}$  est la transformation de l'adaptation géométrique. Ayant les deux angles de rotation  $\alpha$  et  $\beta$ , le SVC calcule les nouvelles coordonnées  $(x', y')$  du pixel  $I^{(4)}(x, y)$  à l'aide de l'équation (2.12) et donne l'image  $I^{(5)}$  telle que

$$I^{(5)}(x', y') = T_{géométrique}I^{(4)}(x, y).$$

L'image compensée  $I_c$  s'écrit en fonction de l'image  $I$ , de la manière suivante :

$$I_c(x', y') = T_{géométrique}(T_{XYZ}^{-1}f_{chromatique}T_{XYZ}((k(T_{HSL}^{-1}f_{reflet}T_{HSL})I(x, y)) - M + M')).$$

## 2.7 Le système de visualisation contextuelle pour la vidéo

En considérant la vidéo comme une succession d'images, et en négligeant les phénomènes temporels identifiés dans la section 1.2, le SVC applique toute la chaîne de traitement à une image en prenant en considération les paramètres de l'environnement pour effectuer les transformations. La figure 2.32 illustre le traitement de la vidéo par le SVC. La vidéo est d'abord lue dans un buffer, puis, c'est à partir de ce buffer que le SVC prend les images une par une et les affiche sur l'écran. Le défi ici consiste à implanter le traitement de vidéo sur un PDA ou un téléphone cellulaire.

## 2.8. CONCLUSION

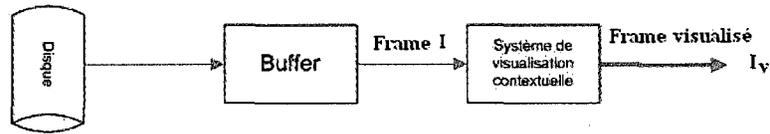


Figure 2.32 – Traitement de la vidéo par le SVC.

## 2.8 Conclusion

Nous avons vu, dans ce chapitre, la problématique de la visualisation contextuelle. Au début, nous avons posé le problème, puis nous avons présenté les différents paramètres qui peuvent intervenir dans un tel système. L'architecture de ce système a été proposée en se basant sur nos objectifs et les différentes méthodes du systèmes ont été élaborées. Au chapitre suivant, nous allons voir comment corriger les couleurs pour les différents types de daltoniens.

## **Chapitre 3**

# **La correction des couleurs pour les daltoniens**

Nous avons vu dans la section 1.3 que l'œil humain peut avoir des problèmes de vision de couleurs. Et nous avons divisé ces problèmes en trois grandes parties. La trichromatie anormale : la personne atteinte possède les trois types de cônes mais elle a un défaut dans la perception des couleurs dû au décalage de la réponse spectrale d'un ou plus des trois cônes présents dans la rétine. La dichromatie : la personne atteinte possède seulement deux types de cônes. Et enfin, la monochromatie où la personne atteinte possède un seul type de cônes et ne perçoit que la composante correspondant à ce type de cônes.

Dans ce chapitre, nous présenterons ces anomalies en détails. Des méthodes pour trouver des solutions à ces personnes sont proposées afin de réduire l'effet de ces anomalies sur leur perception des couleurs.

### **3.1 Correction des couleurs pour les trichromates anormaux**

Le système visuel humain perçoit les couleurs dépendamment des réponses spectrales des photorécepteurs présents dans la rétine. La couleur perçue dépend aussi des émissions spectrales du dispositif d'affichage. Les réponses spectrales des cônes L, M et S peuvent

### 3.1. CORRECTION DES COULEURS POUR LES TRICHROMATES ANORMAUX

être données par l'ensemble d'équations suivant :

$$\begin{aligned}i_R &= \int k_i E_R(\lambda) i(\lambda) d\lambda \\i_G &= \int k_i E_G(\lambda) i(\lambda) d\lambda \\i_B &= \int k_i E_B(\lambda) i(\lambda) d\lambda,\end{aligned}\tag{3.1}$$

où  $i_R$ ,  $i_G$  et  $i_B$  représentent la réponse d'un des cônes  $L$ ,  $M$  ou  $S$  aux fonctions d'émission du phosphore  $E_R(\lambda)$ ,  $E_G(\lambda)$ , et  $E_B(\lambda)$  respectivement,  $i(\lambda)$  est la réponse du cône  $i$  à une lumière de longueur d'onde  $\lambda$ .  $k_i$  sont des coefficients de normalisation, ils sont calculés de telle sorte que les intégrales calculées dans l'équation (3.1) soient égales à 1. Le problème de trichromatie anormale a commencé à être traité en adoptant des corrections sur l'image par G. Kovacs *et al.* [27]. Leur étude portait sur la modification de l'image en tenant compte de la réponse spectrale des cônes, ainsi que des émissions spectrales du dispositif d'affichage. Mais ils n'avaient pas pris en considération les différents degrés d'affectation des cônes. C'est Yong et Seungji [50] qui ont modélisé le problème de trichromatisme anormal selon les réponses spectrales des cônes en tenant compte des différents degrés d'affectation qu'ils ont nommé la sévérité de l'anomalie et ils ont adopté la même démarche dans la correction des couleurs. Seungji *et al.* [42, 41] ont continué leurs travaux sur le modèle basé sur la réponse spectrale des cônes, ils ont développé un modèle de simulation pour les trichromates anormaux et ils ont utilisé la différence  $\Delta E_{Lab}$  pour mesurer la différence entre l'image originale et celle perçue par les trichromates anormaux, mais la méthode de correction est celle utilisée précédemment.

Dans ce travail, nous avons pris en considération les différents degrés d'affectation des cônes et nous avons utilisé la même méthode de correction utilisée précédemment [27, 42, 50, 41].

#### 3.1.1 Trichromatie anormale

Le tristimulus  $(R, G, B)$  d'une lumière reçue au niveau de la rétine est transformé vers l'espace de réponse des cônes dans le but d'être transmis au cerveau pour le traitement. Pour une personne normale, les composantes  $(L, M, S)$  du tristimulus  $(R, G, B)$  sont exprimées

### 3.1. CORRECTION DES COULEURS POUR LES TRICHROMATES ANORMAUX

sous la forme matricielle

$$\begin{bmatrix} L^{normal} \\ M^{normal} \\ S^{normal} \end{bmatrix} = T^{normal} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_R^{normal} & L_G^{normal} & L_B^{normal} \\ M_R^{normal} & M_G^{normal} & M_B^{normal} \\ S_R^{normal} & S_G^{normal} & S_B^{normal} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

$T^{normal}$  est la matrice normale de transfert de l'espace RGB à l'espace des cônes LMS. Ses coefficients sont obtenus à partir de l'équation (3.1).

Cependant, dans le cas où nous sommes face à un problème de *trichromatie anormale*, les réponses spectrales des cônes sont données par l'équation suivante dans le cas d'une protanomalie

$$\begin{bmatrix} L^{anormal}(s) \\ M^{anormal}(s) \\ S^{anormal}(s) \end{bmatrix} = T_p^{anormal}(s) \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (3.2)$$

Dans le cas d'une deuteranomalie, les réponses spectrales sont données par

$$\begin{bmatrix} L^{anormal}(s) \\ M^{anormal}(s) \\ S^{anormal}(s) \end{bmatrix} = T_d^{anormal}(s) \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (3.3)$$

et pour le cas d'une tritanomalie, nous avons

$$\begin{bmatrix} L^{anormal}(s) \\ M^{anormal}(s) \\ S^{anormal}(s) \end{bmatrix} = T_t^{anormal}(s) \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (3.4)$$

Les coefficients des matrices  $T_p^{anormal}(s)$ ,  $T_d^{anormal}(s)$  et  $T_t^{anormal}(s)$  sont donnés par les équations

$$\begin{aligned} i_R^{anormal}(s) &= \int k_i E_R(\lambda) i(\lambda - \Delta d(s)) d\lambda \\ i_G^{anormal}(s) &= \int k_i E_G(\lambda) i(\lambda - \Delta d(s)) d\lambda \\ i_B^{anormal}(s) &= \int k_i E_B(\lambda) i(\lambda - \Delta d(s)) d\lambda, \end{aligned} \quad (3.5)$$

où  $s$  représente la sévérité de l'anomalie,  $\Delta d(s)$  le décalage de la réponse spectrale du cône dû à l'anomalie.

### 3.1. CORRECTION DES COULEURS POUR LES TRICHROMATES ANORMAUX

Terme Medical	Type de déficience	Degré d'affection	Degré numérique
Protanomalie	Déficience-Rouge	Doux	0.1 - 0.9
Protanopia	Déficience-Rouge	Sévère	1.0
Deuteranomalie	Déficience-Vert	Doux	0.1 - 0.9
Deuteranopia	Déficience-Vert	Sévère	1.0
Tritanomalie	Déficience-Bleu	Doux	0.1 - 0.9
Tritanopia	Déficience-bleu	Sévère	1.0
Achromatopsia	Daltonisme Complet	N/A	N/A

tableau 3.1 – Relation entre sévérité et problèmes de vision de couleurs dans MPEG-21 .

La figure 1.17 (page 19) illustre le phénomène du décalage des réponses spectrales des cônes. Pour chaque cône affecté, il y a un décalage de la réponse spectrale à cause de la sévérité  $s$ . Le décalage correspondant à  $s = 0.1$  est  $\Delta d(s) = 2$  nm jusqu'à  $s = 0.9$  où  $\Delta d(s) = 18$  nm. Quand  $s = 1$ , la personne est dichromate [42].

Le tableau (3.1.1) illustre la relation entre la sévérité et les différentes anomalies qui affectent la vision des couleurs [50]. L'anomalie varie selon la sévérité. Elle peut être considérée douce si elle est entre 0.1 et 0.9, et sévère si elle est égale à 1. Prenons l'exemple de la protanomalie : c'est une déficience du cône L. Elle est douce si la sévérité "s" est entre 0.1 et 0.9 et sévère si "s" est égale à 1.

#### 3.1.2 Adaptation des couleurs pour la trichromatie anormale

Une personne peut être atteinte d'une protanomalie, deuteranomalie ou d'une tritanomalie. Nous présentons la correction de la couleur dans le cas d'une protanomalie. La même démarche s'applique aux deux autres types de trichromatie anormale, à savoir la deuteranomalie et tritanomalie. Dans le cas d'une protanomalie, c'est le cône L qui est affecté. Un pixel  $p$  est perçu dans un espace RGB de la manière suivante :

$$\begin{bmatrix} R_L^d(s) \\ G_L^d(s) \\ B_L^d(s) \end{bmatrix} = T^{normal^{-1}} \begin{bmatrix} L^{anormal}(s) \\ M^{normal} \\ S^{normal} \end{bmatrix}, \quad (3.6)$$

### 3.1. CORRECTION DES COULEURS POUR LES TRICHROMATES ANORMAUX

où  $[L^{anormal}(s), M^{normal}, S^{normal}]^T$  est le résultat obtenu à partir de l'équation (3.4). Donc l'équation (3.6) s'écrit sous la forme

$$\begin{bmatrix} R_L^d(s) \\ G_L^d(s) \\ B_L^d(s) \end{bmatrix} = T^{normal^{-1}} T_p^{anormal}(s) \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (3.7)$$

L'équation (3.7) donne une relation directe entre les vraies couleurs de base du pixel  $p$  et les valeurs de ce pixel perçues par la personne atteinte d'une protanomalie. Nous remarquons que ces valeurs dépendent de la sévérité  $s$ .

L'objectif est de trouver une transformation linéaire  $X$  qui corrige les valeurs du pixel  $[R^d(s), G^d(s), B^d(s)]^T$  pour les transformer en les vraies valeurs  $[R, G, B]^T$ . Puisque nous disposons de la relation directe entre les valeurs réelles du pixel et les valeurs déformées par les cônes de l'usager, nous pouvons modifier les valeurs initiales du pixel de telle sorte que nous puissions les trouver à la fin de la chaîne de transformation. Nous désirons que l'usager voit le même pixel avec ses vraies couleurs. Pour cela, il suffit d'effectuer une transformation au pixel de l'entrée de telle sorte que le pixel de sortie ait les couleurs réelles telles qu'elles sont perçues par une personne normale. Le pixel  $p$  est multiplié par une transformation linéaire  $X$ . Nous pouvons écrire la solution souhaitée sous la forme

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = T^{normal^{-1}} T_p^{anormal}(s) X \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (3.8)$$

Alors

$$T^{normal^{-1}} T_p^{anormal}(s) X = I_d, \quad (3.9)$$

telle que  $I_d$  est la matrice identité. Les matrices  $T$  et  $T_p^{anormal}(s)$  sont inversibles car les trois cônes sont présents et leurs réponses spectrales sont linéairement indépendantes (aucune réponse d'un cône n'est confondue avec une réponse d'un autre cône). La matrice  $T_p^{anormal}(s)$  est calculée à partir de la relation 3.5. La résolution de l'équation (3.9) donne la solution suivante :

$$X = T_p^{anormal^{-1}}(s) T^{normal}.$$

### 3.2. ADAPTATION DES COULEURS POUR LES DICHROMATES

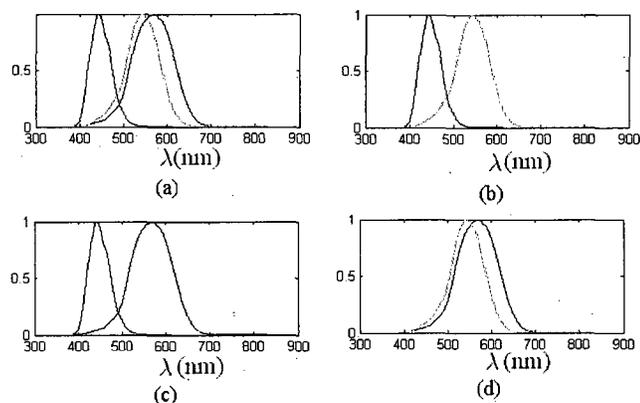


Figure 3.1 – Réponses spectrales des cônes : (a) Pour une personne normale, (b) pour une protanope, (c) pour une deutanope, (d) pour une tritanope.

Donc, chaque pixel de l'image doit être multiplié par la matrice  $T_p^{anormal^{-1}}(s) T^{normal}$  pour que l'utilisateur qui présente une trichromatie anormale puisse voir l'image avec ses couleurs réelles.

## 3.2 Adaptation des couleurs pour les dichromates

Les dichromates, contrairement aux trichromates anormaux, ne possèdent que deux classes de cônes pour la vision des couleurs. Nous pouvons distinguer trois types de dichromates. *Les protanopes* qui présentent un manque de la classe des cônes L ; *les deutanopes* qui manquent la classe de cônes M, et *les tritanopes* qui ne possèdent pas la classe de cônes S. Les réponses spectrales des cônes pour les dichromates sont données dans la figure 3.1.

Pour les dichromates, chaque couleur est observée à la base de deux classes de cônes uniquement. Les couleurs qu'ils peuvent distinguer sont situées dans un espace à deux dimensions. Ils font, donc, des confusions pour les couleurs dont la différence est seulement celle de la classe du cône manquant.

### 3.2.1 Modèles de couleurs pour les dichromates

Avant de corriger les couleurs pour les dichromates, nous avons besoin d'identifier l'ensemble des couleurs perçues par les dichromates. Dans cette section, nous allons simuler

### 3.2. ADAPTATION DES COULEURS POUR LES DICHROMATES

la vision chez les dichromates et présenter aux trichromates comment les dichromates perçoivent les couleurs. Pour cela, nous nous basons sur les travaux de Brettel *et al.* [7]. Cette méthode est basée sur le système LMS, qui définit les couleurs en terme d'excitation des trois cônes L, M et S. L'ensemble des couleurs qu'un trichromate normal puisse voir est contenu dans le parallépipède KBMRGCWY [8] (voir figure 3.2.a), avec K le point noir, B le primaire du bleu, M le Magenta, R le primaire du rouge, G le primaire du vert, C le cyan, W le point blanc et Y le jaune.

Une personne normale perçoit toutes les couleurs situées dans le parallépipède KBMRGCWY. Cependant, un dichromate possède une vision limitée et l'ensemble des couleurs perçues se réduit à un espace de deux dimensions [7, 8]. Un protanope ou un deuteranope peut percevoir les couleurs situées dans deux parties de plans. La première partie est limitée par l'axe ( $OE$ ) et l'axe correspondant à la longueur d'onde 475 nm. La deuxième partie est limitée par l'axe ( $OE$ ) et l'axe correspondant à la longueur d'onde 575 nm comme indiqué sur la figure 3.2(b). Le point E représente le point qui possède le maximum de luminance avec des stimuli  $[R, G, B]^T$  égaux. L'axe ( $OE$ ) représente l'ensemble des stimuli neutres pour un dichromate [7].

De même pour le tritanope, il ne perçoit que les couleurs contenues dans deux parties de plans. La première est limitée par l'axe ( $OE$ ) et l'axe correspondant à la longueur d'onde 485 nm. La deuxième est limitée par l'axe ( $OE$ ) et l'axe correspondant à la longueur d'onde 660 nm [7] (figure 3.2(c)).

Puisque l'ensemble des couleurs perçues est contenu dans les parties des plans définies précédemment, il faut trouver l'équation de chaque partie du plan. L'équation du plan de couleurs peut s'écrire sous la forme

$$\alpha L + \beta M + \gamma S = 0. \quad (3.10)$$

Pour trouver les valeurs  $L, M, S$  correspondants à chaque couleur pour un dichromate, il faut d'abord trouver les coefficients  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$  en utilisant les plans délimitant chaque région de couleurs perçues par les dichromates. Dans le cas des protanopes et deuteranopes, ce sont les axes ( $OE$ ) et les axes correspondants aux longueurs d'onde 575 nm et 475 nm qui sont utilisés. Pour chaque partie, il suffit de prendre trois points distincts pour définir l'équation du plan contenant la partie.

### 3.2. ADAPTATION DES COULEURS POUR LES DICHROMATES

Dans le cas des tritanopes, il faut utiliser l'axe ( $OE$ ) et les axes correspondants aux longueurs d'onde 485 nm et 660 nm. La résolution s'effectue de la même façon que le cas précédent. Trois points distincts peuvent définir les trois coefficients du plan.

La résolution de cette équation par rapport aux plans des protanopes, deuteranopes et tritanopes, donne les résultats suivants :

$$\begin{aligned}\alpha &= M_e S_a - M_a S_e \\ \beta &= S_e L_a - S_a L_e \\ \gamma &= L_e M_a - L_a M_e,\end{aligned}\tag{3.11}$$

où  $e = (L_e, M_e, S_e)$  est un point de l'axe ( $OE$ ) (stimuli neutres) et  $a = (L_a, M_a, S_a)$  est un point arbitraire de la partie du plan limitée par les axes ( $OE$ ) et l'axe correspondant à la longueur d'onde 475 nm ou 575 nm dans le cas du protanope et deuteranope. Dans le cas du tritanope, nous prenons la partie du plan limitée par les axes ( $OE$ ) et l'axe correspondant à la longueur d'onde 660 nm ou 485 nm. En remplaçant l'équation (3.11) dans l'équation (3.10), nous trouvons les valeurs suivantes pour un protanope :

$$\begin{aligned}L_p &= -(\beta M + \gamma S)/\alpha \\ M_p &= M \\ S_p &= S,\end{aligned}\tag{3.12}$$

où  $\alpha = -0.0615$ ,  $\beta = 0.0828$ ,  $\gamma = -0.0132$ , pour un point dans la partie limitée par les axes ( $OE$ ) et 575 nm et  $\alpha = 0.0585$ ,  $\beta = -0.0793$ ,  $\gamma = 0.01328$ , pour un point dans la partie limitée par les axes ( $OE$ ) et 475 nm. Pour un deuteranope, nous trouvons les valeurs

$$\begin{aligned}L_d &= L \\ M_d &= -(\alpha L + \gamma S)/\beta \\ S_d &= S,\end{aligned}\tag{3.13}$$

où  $\alpha = -0.0615$ ,  $\beta = 0.0828$ ,  $\gamma = -0.0132$ , pour un point qui se situe dans la partie limitée par les axes ( $OE$ ) et 575 nm d'une part. D'autre part,  $\alpha = 0.0585$ ,  $\beta = -0.0793$ ,  $\gamma = 0.01328$ , pour un point qui se situe dans la partie limitée par les axes ( $OE$ ) et 475 nm.

## 3.2. ADAPTATION DES COULEURS POUR LES DICHROMATES

Les valeurs trouvées pour un tritanope sont

$$\begin{aligned}L_t &= L \\M_t &= M \\S_t &= -(\alpha L + \beta M)/\gamma,\end{aligned}\tag{3.14}$$

où  $\alpha = -5.8973 \cdot 10^4$ ,  $\beta = 0.0077$ ,  $\gamma = -0.0101$ , pour un point qui se situe dans la partie limitée par les axes ( $OE$ ) et 660 nm. Pour l'autre partie, un point qui se situe dans la partie limitée par les axes ( $OE$ ) et 485 nm, nous trouvons  $\alpha = 0.02255$ ,  $\beta = -0.0423$ ,  $\gamma = 0.0170$ .

### 3.2.2 Correction des couleurs pour les dichromates

Nous avons vu dans la partie précédente les modèles de couleurs dichromates c'est-à-dire, la manière avec laquelle un dichromate perçoit les couleurs. Cette section est consacrée à l'étude de la correction des couleurs dans le but d'adapter une image pour un daltonien dichromate. Il ne s'agit pas de reproduire les couleurs exactes, plutôt de discerner entre les objets dans l'image. Le problème de dichromatisme a été traité de plusieurs façons, de l'ajustement des couleurs à leur redistribution [9]. Cependant, ces méthodes ne sont pas applicables dans toutes les situations. Par exemple, il existe des lunettes pour l'ajustement des couleurs. Grâce à leur fonction de transfert, les verres de ces lunettes agissent comme des filtres optiques selon la fréquence de l'onde reçue [31]. Mais ces lunettes peuvent avoir d'autres inconvénients. Elles peuvent cacher beaucoup d'informations et causer d'autres confusions de couleurs [9]. Une autre solution technique réside dans l'implantation d'une rétine bionique pour la rectification, mais cette méthode est toujours à l'étape expérimentale [9]. La méthode que nous avons vu pour la correction des trichromates anormaux ne s'applique pas dans le cas du dichromatisme car elle se base sur la présence des trois classes de cônes, et le dichromate ne possède que deux classes. La seule solution qui reste est de travailler sur la discrimination des couleurs pour ce type de déficience. Cette approche vise à préserver les détails engendrés par les différentes couleurs de l'image dans le but de transmettre le maximum d'informations contenues dans cette image. O. Fidaner *et al.*[19] ont proposé une méthode pour la distribution de l'erreur entre l'image perçue par le dichromate et l'image originale sur les deux bandes de l'image pour lesquelles le dichromate est

### 3.2. ADAPTATION DES COULEURS POUR LES DICHROMATES

sensible. Cette méthode possède l'inconvénient d'être moins robuste dans certain cas où il faut réajuster les paramètres de distribution de l'erreur. Pour cela, Y. Ma *et al.*[31] ont proposé une méthode d'ajustement basée sur les réseaux de neurones et qui tient compte des couleurs contenues dans l'image.

Dans ce travail, nous proposons une méthode de correction qui tient compte, d'une part, du contenu chromatique de l'image pour assurer une meilleure similitude entre les couleurs réelles de l'image et les couleurs résultant de notre traitement. D'autre part, elle assure une certaine séparation entre les points de confusion pour les dichromates.

Soit le pixel  $p(L, M, S)$ , à afficher sur l'écran. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, le dichromate réduit toutes les couleurs affichables par l'écran en une partie de plan définie par l'équation (3.10). Le dichromate fait une projection du point  $p$  au point  $p'$  qui est sur ce plan. Par exemple, pour un protanope, les coordonnées du point  $p'(L', M', S')$  sont données par l'équation (3.12). D'après la figure 3.3, le protanope confond tous les points situés sur l'axe  $(pp')$ . L'objectif est de trouver un point  $q$  sur le plan de vision du protanope de telle sorte qu'il ne soit pas confondu avec le point  $p'$ . Nous supposons que les modifications de  $L$ ,  $M$  et  $S$  sont additives. Par exemple, au lieu de percevoir  $M$ , la personne percevra  $M + \Delta M$ . Les coordonnées du point  $q$  peuvent s'écrire sous la forme

$$\begin{aligned}L_q &= a(M + \Delta M) + b(S + \Delta S) \\M_q &= M + \Delta M \\S_q &= S + \Delta S,\end{aligned}\tag{3.15}$$

où  $a = -\beta/\alpha$ ,  $b = -\gamma/\alpha$  et  $\Delta M$ ,  $\Delta S$  les corrections apportées aux composantes  $M$  et  $S$  respectivement.

Le point  $q$  doit être le plus proche du point  $p$ , et il faut qu'il soit le plus loin du point  $p'$ . Soit  $d(., .)$  la distance euclidienne entre deux points. Cette hypothèse s'écrit sous la forme

$$E = k_1 d_2^2(p, q) + k_2 d_2^2(p', q),$$

où  $k_1$  est le facteur de pondération de la similitude entre les points  $p$  et  $q$ .  $k_2$  le facteur de dissemblance entre les points  $p'$  et  $q$ .  $d_2$  est la distance euclidienne entre deux points. La

### 3.2. ADAPTATION DES COULEURS POUR LES DICHROMATES

minimisation de l'erreur  $E$  par rapport à  $\Delta M$  et  $\Delta S$  donne les relations suivantes :

$$\begin{aligned}\Delta M &= -\frac{k_1 a(aM+bS-L)}{(k_1+k_2)(a^2+b^2+1)} \\ \Delta S &= -\frac{k_1 b(aM+bS-L)}{(k_1+k_2)(a^2+b^2+1)}.\end{aligned}\tag{3.16}$$

Cette démarche est appliquée aux autres types de dichromates à savoir les deuteranopes et les tritanopes. Pour les deuteranopes, les coordonnées du pixel  $q$  s'écrivent sous la forme

$$\begin{aligned}L_q &= L + \Delta L \\ M_q &= a(L + \Delta L) + b(S + \Delta S) \\ S_q &= S + \Delta S,\end{aligned}\tag{3.17}$$

où  $a = -\frac{\alpha}{\beta}$ ,  $b = -\frac{\gamma}{\beta}$ ,  $\Delta L = -\frac{ak_1(aL-M+bS)}{(a^2+b^2+1)(k_1+k_2)}$  et  $\Delta S = -\frac{bk_1(aL-M+bS)}{(a^2+b^2+1)(k_1+k_2)}$ .

Pour les tritanopes, les coordonnées du pixel  $q$  s'écrivent sous la forme

$$\begin{aligned}L_q &= L + \Delta L \\ M_q &= M + \Delta M \\ S_q &= a(L + \Delta L) + b(M + \Delta M),\end{aligned}\tag{3.18}$$

où  $a = -\frac{\alpha}{\gamma}$ ,  $b = -\frac{\beta}{\gamma}$ ,  $\Delta L = -\frac{ak_1(aL+bM-S)}{(a^2+b^2+1)(k_1+k_2)}$  et  $\Delta S = -\frac{bk_1(aL+bM-S)}{(a^2+b^2+1)(k_1+k_2)}$ .

En ce qui concerne l'implémentation de la correction pour les dichromates, elle s'effectue de la façon suivante. Soit  $I$ , une image pour le dichromate. Tout d'abord, elle est convertie dans l'espace des cônes LMS puis le système calcule les différents coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  avec l'équation (3.11) pour chaque plan selon le type de la dichromatie. Ensuite, le système calcule les projections de chaque point de l'image sur les plans correspondants selon les équations (3.12), (3.13) ou (3.14), toujours selon le type de la dichromatie. Après, le système calcule les différentes quantités  $\Delta L$ ,  $\Delta M$  ou  $\Delta S$ , selon la dichromatie, à partir de l'équation (3.16), les constantes  $k_1$ ,  $k_2$  sont définies empiriquement ( $(k_1, k_2) = (-0.8, 0.9)$  pour le protanope,  $(k_1, k_2) = (-0.8, 0.9)$  pour le deuteranope,  $(k_1, k_2) = (-0.35, 0.9)$ ). Enfin, ce sont les nouvelles coordonnées des différentes couleurs qui sont calculées avec les équations (3.15), (3.17) et (3.18) pour donner une image corrigée  $I_c$  pour l'affichage.

### 3.2. ADAPTATION DES COULEURS POUR LES DICHROMATES

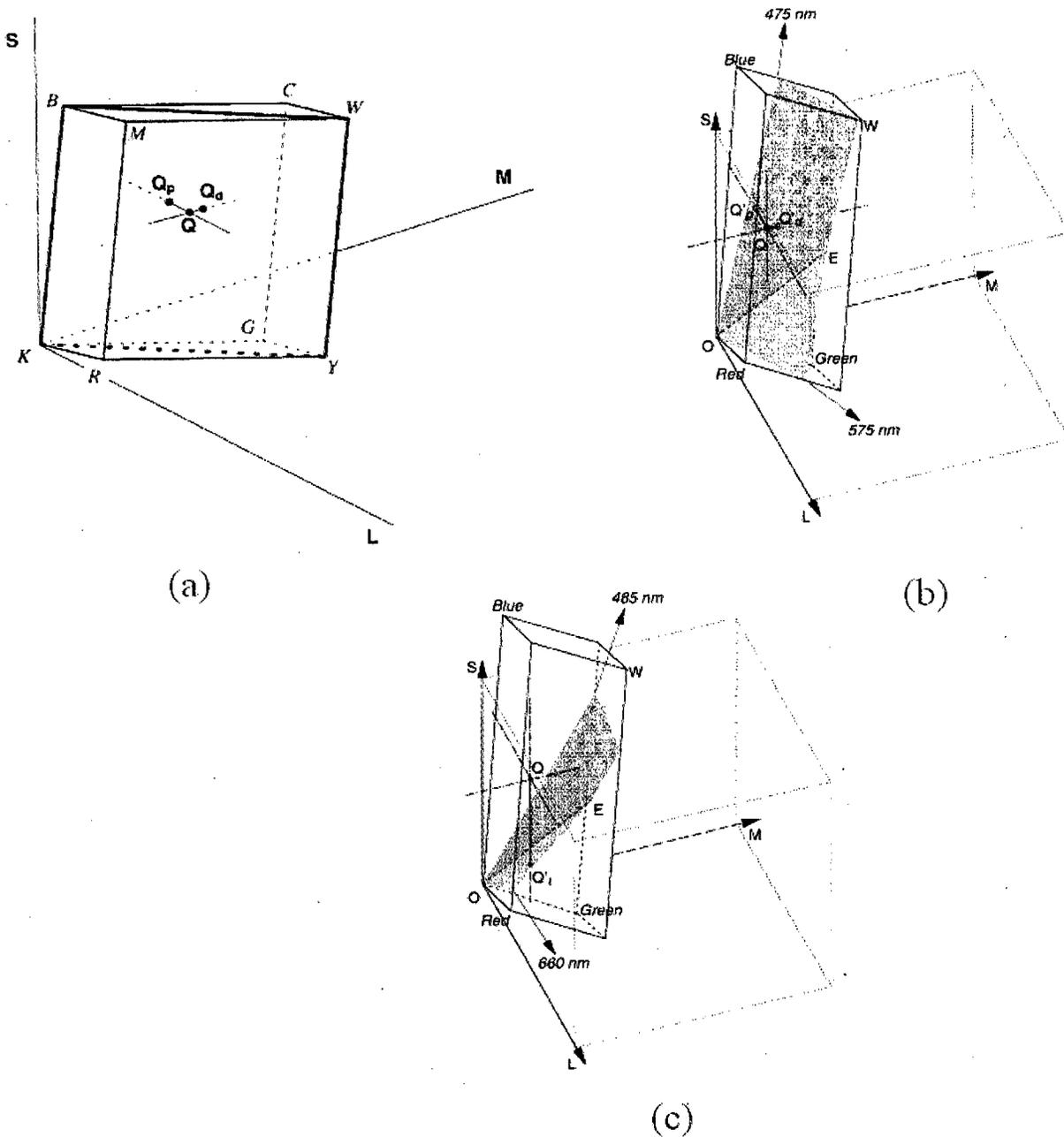


Figure 3.2 – Espace RGB et LMS : a) Couleurs perçues par une personne normale, b) plans de couleurs perçues par le protanope et le deuteranope, c) plans de couleurs perçues par le tritanope. Image adaptée de Brettel *et al.* [7].

### 3.2. ADAPTATION DES COULEURS POUR LES DICHROMATES

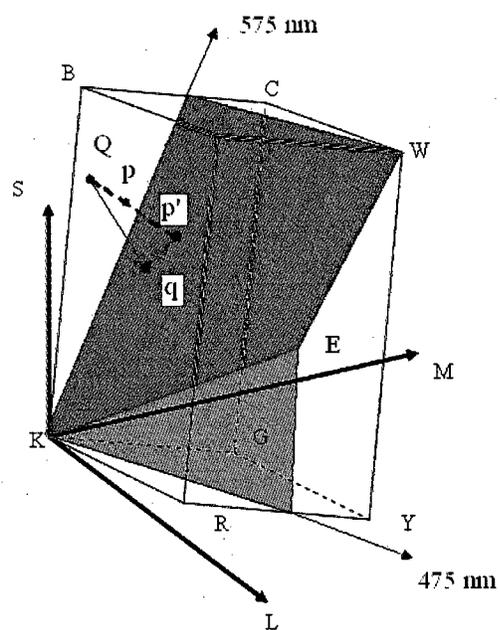


Figure 3.3 – Correction de couleurs pour le protanope. Image adaptée de Brettel *et al.* [7].

## **Chapitre 4**

# **Validation du système de visualisation contextuelle**

Ce chapitre est consacré à la validation du SVC. Nous allons évaluer, au début, les différentes opérations utilisées dans ce système. Ensuite, c'est le système global qui sera évalué. Pour cela, deux types d'évaluations sont proposées. Des évaluations basées sur des critères objectifs et des évaluations subjectives.

### **4.1 Évaluation des méthodes du système**

L'évaluation des méthodes utilisées est élaborée pour déterminer l'efficacité du SVC. Nous pouvons distinguer deux types d'évaluations :

1. Évaluations objectives : elles sont utilisées pour évaluer les méthodes avec des critères de mesures numériques. Le but est de savoir, à la fin de l'évaluation, le degré de ressemblance ou de dissemblance entre une image référence et une image obtenue par les transformations de notre système. Ce type d'évaluation permet de déceler les erreurs de programmation.
2. Évaluations subjectives : ce type d'évaluation permet de savoir exactement l'impression de l'observateur concernant l'image affichée, et à quel point elle satisfait ses attentes. Pour cela, une échelle de mesure est définie. Par exemple, l'observateur note chacune des opérations et le SVC global sur une échelle de 1 à 5. 1 signifie que

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

l'image affichée est très loin de l'image de référence, 2 signifie que l'image est loin de l'image de référence, 3 signifie que l'image affichée n'est ni loin ni proche de l'image de référence, 4 signifie que l'image affichée est proche de l'image de référence et 5 signifie que l'image affichée est très proche de l'image de référence.

Chacun des deux types d'évaluations possède des limites. Une évaluation objective est limitée parce qu'elle ne reproduit pas tous les critères de qualité utilisés par l'humain. Et une évaluation subjective est limitée par plusieurs facteurs. Le premier est le facteur humain. Il faut d'abord trouver des personnes pour effectuer cette évaluation. Ces personnes ne doivent présenter aucune déficience au niveau de leur système visuel afin d'évaluer toutes les opérations liées au traitement de la couleur et de contraste. Pour cela, un test de dépistage de daltonisme est nécessaire avant de commencer l'évaluation. Il faut aussi des daltoniens pour évaluer la correction des couleurs pour les daltoniens. Pour effectuer une évaluation exacte de cette méthode, il faut avoir au moins une personne de chaque type de daltonisme, cela constitue la limite majeure dans l'évaluation de cette méthode. Pour avoir un échantillon représentatif, il faut faire appel à beaucoup de personnes.

L'expérimentateur est une autre limite pour cette évaluation. Il faut qu'il soit objectif pour ne pas influencer les autres personnes dans leurs décisions.

Le deuxième facteur qui limite l'évaluation subjective est l'environnement. Il intervient par la couleur de la salle qui pourra affecter les tests effectués. Idéalement, c'est une salle de couleur neutre qui est utilisée (salle de couleur grise claire). Il y a aussi les surfaces des différents objets présents dans la salle qui peuvent avoir un effet sur l'évaluation à cause de la lumière réfléchie. La lumière de l'environnement doit être identifiée le plus réalistement possible et elle ne doit être mélangée à aucune autre lumière extérieure. Le troisième facteur est le matériel utilisé. Dans notre évaluation, nous avons utilisé un ordinateur portable ayant un ECL de 14Po, ayant comme point blanc le tristimulus (183.3, 205.7, 206.4). Le deuxième dispositif utilisé est un téléphone intelligent Pharos Traveler 137 muni d'un ECL de résolution 480x800 et ayant son point blanc le tristimulus (205.7, 250.4, 252.9). Il serait préférable d'utiliser d'autres types de matériel afin de mesurer les différentes luminances et les différents illuminants. Dans cette étude, nous nous sommes servi d'un calibrateur d'ECL : le LaCie blue eye pro. Il permet de mesurer la luminance ambiante ainsi que le point blanc d'un dispositif d'affichage.

## 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

Dans ce qui suit, nous commencerons par l'évaluation objective et subjective de chaque opération.

### 4.1.1 Évaluation de l'estimation de la lumière

Nous avons vu dans la section 2.4.1 que la couleur de la lumière est estimée par la méthode du monde gris et que l'intensité est estimée à partir de la luminance de l'image capturée par la caméra du SVC. Il serait idéal de calculer l'intensité directement à partir de la caméra, car elle dépend essentiellement de la sensibilité du capteur (ISO), du temps d'exposition, du rayon de la lentille et d'une constante propre à chaque constructeur [13]. Nous évaluons dans cette partie les deux méthodes d'estimation (intensité et couleur). Nous évaluons l'estimation de la couleur de la lumière avec la différence  $\Delta E_{94}$  qui mesure la différence entre deux couleurs dans l'espace CIE Lab. Elle est fortement recommandée par la commission internationale de l'éclairage. L'erreur calculée par  $\Delta E_{94}$  reproduit le degré de tolérance qui peut être permis pour pouvoir dire que les deux couleurs sont proches ou pas. Elle est définie dans l'espace CIE Lab par l'équation

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}}{k_H S_H}\right)^2}, \quad (4.1)$$

où  $\Delta L$  est la différence entre les deux luminosités,  $\Delta C$  la différence entre les deux chromaticités et  $\Delta H$  la différence entre les deux teintes. ( $k_L$ ,  $S_L$ ,  $k_C$ ,  $S_C$ ,  $k_H$ ,  $S_H$ ) sont des constantes. Une différence  $\Delta E_{94} < 4$  est à peine perceptible par l'être humain. Si elle est entre 4 et 8, la différence est considérée comme acceptable pour l'humain. Quand  $\Delta E_{94} > 8$  la différence entre les deux couleurs est très apparente [43].

Dans notre expérience, nous avons utilisé des images références prises du travail de Lahmar [28] (figure 4.1) dont nous connaissons la couleur de la lumière. Nous calculons la couleur de la lumière avec la méthode du monde gris et nous la comparons avec la lumière où l'image a été acquise en utilisant la différence  $\Delta E_{94}$ . Les résultats obtenus sont donnés au tableau 4.1

De même, une autre expérience a été effectuée pour évaluer le degré de fidélité de la caméra du SVC. Pour cela, nous avons utilisé la table de couleur de Macbeth. Une image de cette table a été capturée par la caméra du SVC et nous avons comparé les valeurs

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

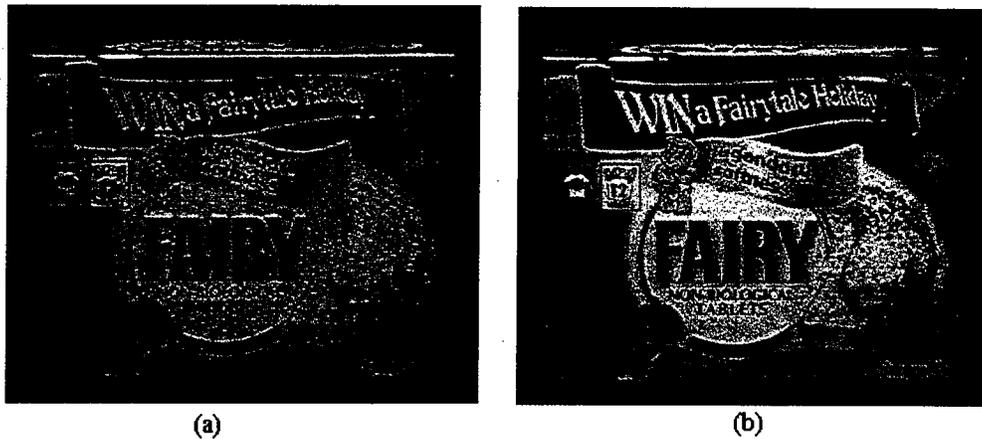


Figure 4.1 – Exemple d’images références générées à partir des réflectances : (a) Image générée pour l’illuminant A, (b) image générée pour l’illuminant D65. Images extraites du travail de Lahmar [28].

de ses couleurs avec les valeurs réelles. Nous avons trouvé une différence moyenne de  $\Delta E_{94} = 11.71$  avec un écart-type de 2.99.

D’après les résultats présentés, nous constatons que la caméra reproduit une image mais pas avec une grande fidélité car  $\Delta E_{94} > 8$ . Ceci affecte l’exactitude de l’estimation de la couleur de la lumière mais les valeurs estimées ont le même ordre de grandeur que les valeurs réelles. Concernant l’utilisation de la méthode du monde gris, la différence entre les valeurs estimées et les valeurs exactes est donnée au tableau 4.1. Nous constatons que ces valeurs sont légèrement supérieures à 8, donc l’estimation de la couleur de la lumière n’est pas très exacte.

Concernant l’estimation de l’intensité de la lumière, nous avons utilisé le Lacie blue eye pro pour la mesure des valeurs exactes et en même temps nous estimons l’intensité à partir de l’image acquise par la caméra du SVC en utilisant la courbe de la figure 2.15. Les différentes mesures effectuées sont données au tableau 4.2.

Lumière	A	D65	F2
$\Delta E_{94}$	11.06	8.93	9.45

tableau 4.1 – La différence  $\Delta E_{94}$  entre la lumière référence et la lumière estimée par la méthode du monde gris.

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

Intensité mesurée (Cd/m <sup>2</sup> )	87	21	134	136	802	144
Intensité estimée (Cd/m <sup>2</sup> )	100	19.05	125.66	131.82	758.57	149.25

tableau 4.2 – La différence entre l'intensité estimée de la lumière et l'intensité exacte.

Images	$\Delta E_{94,D65 \rightarrow A}$	$\Delta E_{94,D65 \rightarrow F2}$	$\Delta E_{94,A \rightarrow D65}$	$\Delta E_{94,F2 \rightarrow D65}$
Image 1	0.6024	1.5225	0.5892	3.4745
Image 2	0.7362	1.6534	0.3030	2.9199

tableau 4.3 – La différence  $\Delta E_{94}$  entre les images références et les images adaptées.

D'après les mesures présentées dans le tableau 4.2, nous constatons que l'estimation de l'intensité concorde avec l'augmentation et la diminution de l'intensité exacte, et les valeurs estimées sont proches des valeurs mesurées.

#### 4.1.2 Évaluation de l'adaptation chromatique

Pour l'évaluation objective de cette méthode, nous avons suivi le protocole expérimental suivant : il faut avoir des images références avec lesquelles la comparaison des images résultantes de l'opération est effectuée. Pour cela, la métrique  $\Delta E_{94}$  est utilisée pour mesurer la différence entre deux couleurs dans l'espace CIE Lab.

Dans notre expérience, nous avons utilisé des images de réflectance pour générer des images de référence pour les lumière *D65* (lumière du jour), *A* (lumière incandescente) et *F2* (lumière fluorescente). Ces images sont prises du travail de Lahmar [28] (figure 4.1). Elles seront utiles dans la comparaison avec les images adaptées. Par exemple, soit  $I_L$  l'image référence générée sous l'illuminant *D65*, elle sera adaptée aux illuminants *A* et *F2*. Les images résultantes seront comparées aux images références générées sous les illuminants *A* et *F2* respectivement selon le schéma de la figure 4.2.

Le test a été effectué sur deux images avec l'illuminant *D65*, deux images avec l'illuminant *A* et deux image avec l'illuminant *F2*. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 4.1.2.

D'après ces résultats, l'adaptation chromatique à partir de la lumière *D65* à la lumière *A* et *F2* est concluante, de même pour la lumière *A* vers *D65* car les valeurs obtenues de  $\Delta E_{94}$  sont toutes largement inférieures à 4, ce qui peut être considéré comme un résultat

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

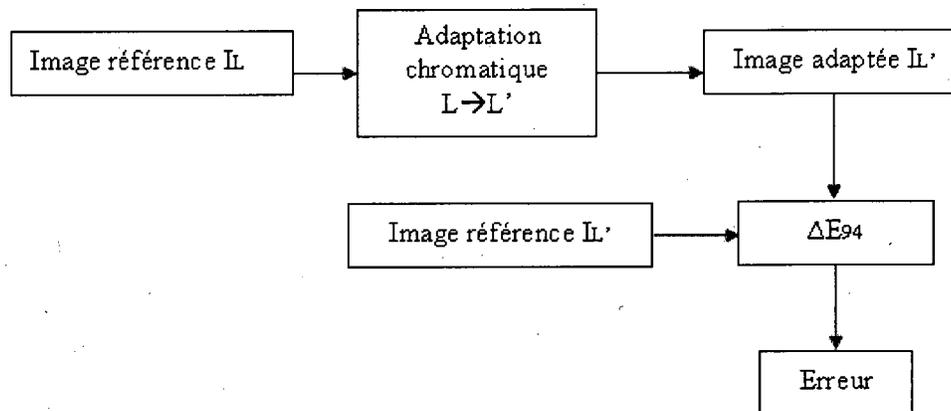


Figure 4.2 – Comparaison d’images avec  $\Delta E_{94}$

satisfaisant [28]. Cependant, nous pouvons remarquer que l’adaptation à la lumière  $D65$  à partir de la lumière  $F2$  est moins précise car la différence  $\Delta E_{94}$  s’approche de la valeur 4 et est nettement supérieure aux autres valeurs obtenues avec les autres lumières. L’exécution de cette opération, pour une image de  $150 \times 114$  pixels dure 4.82 s sur le téléphone intelligent Pharos traveller 137. C’est une opération assez lente à exécuter car elle présente beaucoup d’opérations faisant appel à des multiplications matricielles.

Pour l’évaluation subjective de l’adaptation chromatique, le protocole expérimental est le suivant : le test doit être effectué dans une salle isolée pour éviter toute interférence avec les autres lumières externes. Pour la visualisation, un ECL 14Po a été utilisé. Et la source de lumière dans la salle est un ensemble de six tubes de néon qui produit une lumière fluorescente de type  $F2$ . Les images utilisées pour le test sont deux images, la première image est prise à l’extérieur sous la lumière du jour  $D65$  et la deuxième est prise à l’intérieur sous l’illuminant incandescent  $A$ . Ces deux images sont adaptées à la lumière de la salle  $F2$  avec plusieurs degrés d’adaptations (10%, 20%, 30%, 40%, 50% et 80%). Avant d’effectuer le test, il faut d’abord s’assurer que chaque utilisateur est un trichromate normal pour éviter des fausses interprétations des résultats. L’expérience se déroule de la manière suivante : l’utilisateur est d’abord adapté à la lumière de l’image durant deux minutes. Pour cela, uniquement l’image test est affichée dans l’obscurité (toutes les lumières sont éteintes) sur un fond noir de l’écran. Après la période d’adaptation, la lumière de la salle est allumée et

## 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

l'utilisateur bascule vers les images adaptées. Il y a six images avec des degrés d'adaptation de 10%, 20%, 30%, 40%, 50% et 80% présentées à la figure 4.3 et 4.4. L'utilisateur est appelé à faire son choix pour l'image la plus proche à l'image initiale. Le critère d'évaluation est la comparaison entre les images affichées et le choix de l'image la plus proche visuellement à l'image de référence. Le test a été effectué avec dix observateurs. La distribution des réponses est présentée sur l'histogramme de la figure 4.5.

Dans les deux cas, nous remarquons que les choix des utilisateurs sont concentrés entre 10% et 30% d'adaptation. Pour l'image de l'intérieur, 90% des utilisateurs ont opté pour une adaptation entre 10% et 30%. La préférence maximale des utilisateurs (40%) est atteinte à 20% d'adaptation. De même pour l'image de l'extérieur, toutes les réponses se situent entre 10% et 30% d'adaptation. Aucun utilisateur n'a opté pour les degrés élevés. Ces résultats expliquent que l'adaptation chromatique donne des résultats concluants pour les degrés d'adaptation inférieurs à 30%.

### 4.1.3 Évaluation de l'adaptation à l'obscurité

Pour ce type d'adaptation, seulement l'évaluation subjective est utilisée car il n'y a pas de critère objectif qui reproduit l'évaluation de l'humain.

C'est le passage à l'obscurité qui est évalué dans cette partie. Le protocole expérimental peut être décrit de la manière suivante. L'expérience est effectuée dans une salle fermée permettant une isolation lumineuse de l'extérieur. Elle est équipée de six tubes fluorescents d'une intensité de 300 lux mesurée à l'aide du Lacie blue eye pro. L'écran utilisé dans cette évaluation est l'ECL 14Po d'un ordinateur portable. Dans cette expérience, il faut un passage de la lumière à l'obscurité. Pour cela, deux intensités de lumière sont indispensables pour effectuer ce test. Pour l'obscurité, il suffit d'éteindre la lumière de la salle. Et pour l'illuminer, les lampes fournissent une intensité de 300 lux.

L'expérience consiste à présenter une image référence pour dix utilisateurs dans la lumière. Puis après trois minutes, la lumière de la salle est éteinte et cinq images sont présentées aux utilisateurs (figure 4.6). Ces images sont des images adaptées à l'obscurité prises à des instants différents (0 s, 60 s, 120 s, 180 s et 5 min). L'évaluation consiste à trouver l'image la plus proche à l'image de référence parmi les 5 images présentées aux utilisateurs de façon rapide ne dépassant pas les 10 s. Les réponses des utilisateurs sont présentées dans

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

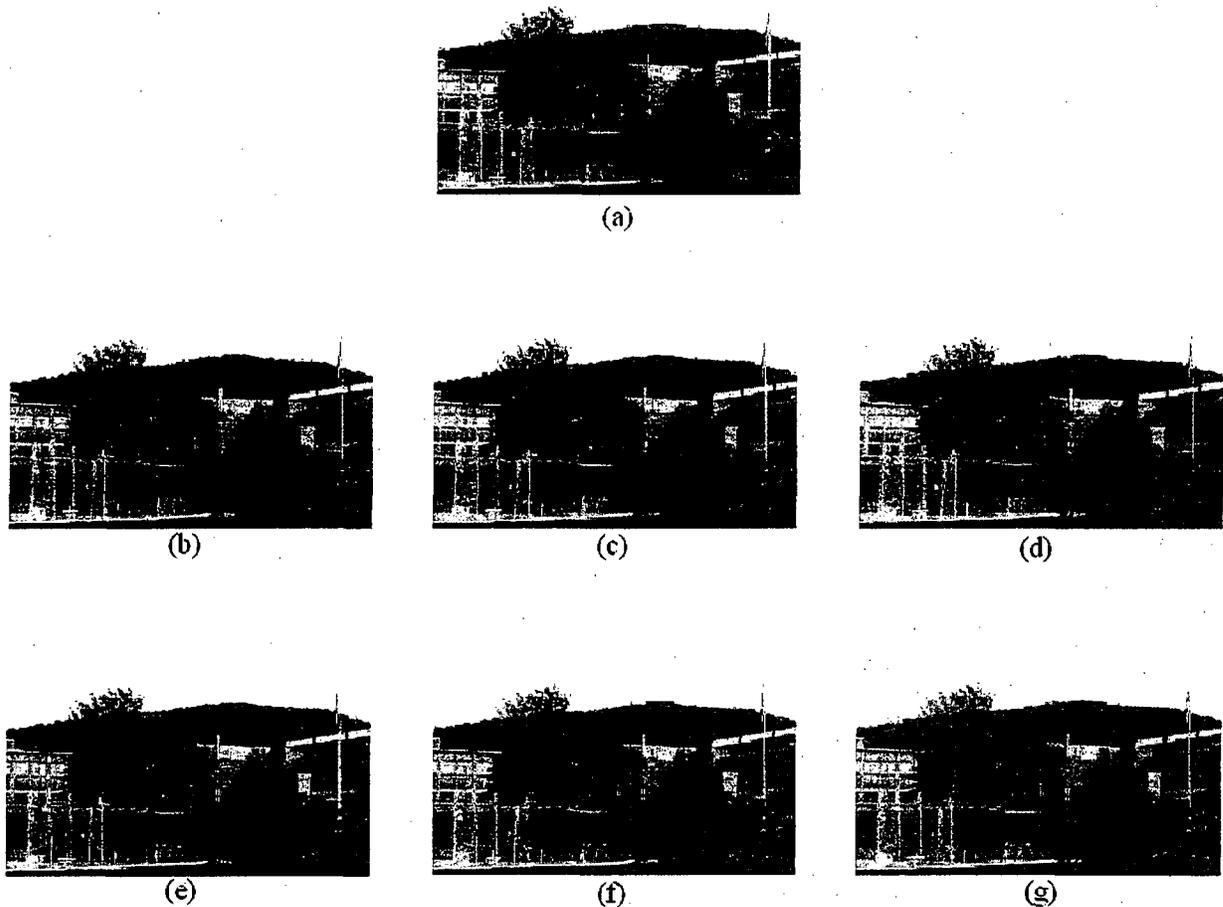


Figure 4.3 – Évaluation de l'adaptation chromatique (scène de l'extérieur) : (a) Image de référence, (b) image adaptée à 10% à la lumière  $F2$ , (c) image adaptée à 20% à la lumière  $F2$ , (d) image adaptée à 30% à la lumière  $F2$ , (e) image adaptée à 40% à la lumière  $F2$ , (f) image adaptée à 50% à la lumière  $F2$ , (g) image adaptée à 80% à la lumière  $F2$ .

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

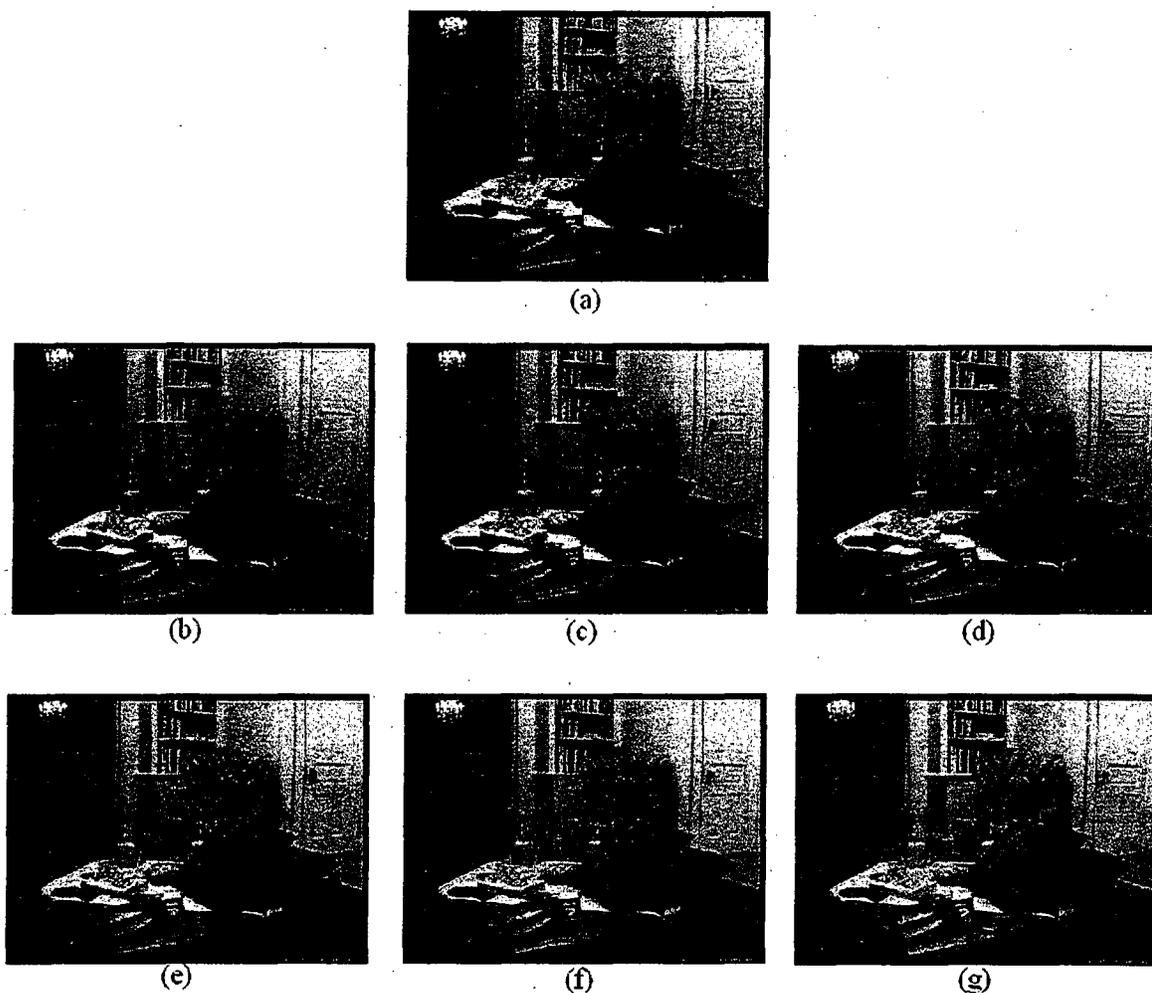


Figure 4.4 – Évaluation de l'adaptation chromatique (scène de l'intérieur) : (a) Image de référence, (b) image adaptée à 10% à la lumière  $F2$ , (c) image adaptée à 20% à la lumière  $F2$ , (d) image adaptée à 30% à la lumière  $F2$ , (e) image adaptée à 40% à la lumière  $F2$ , (f) image adaptée à 50% à la lumière  $F2$ , (g) image adaptée à 80% à la lumière  $F2$ .

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

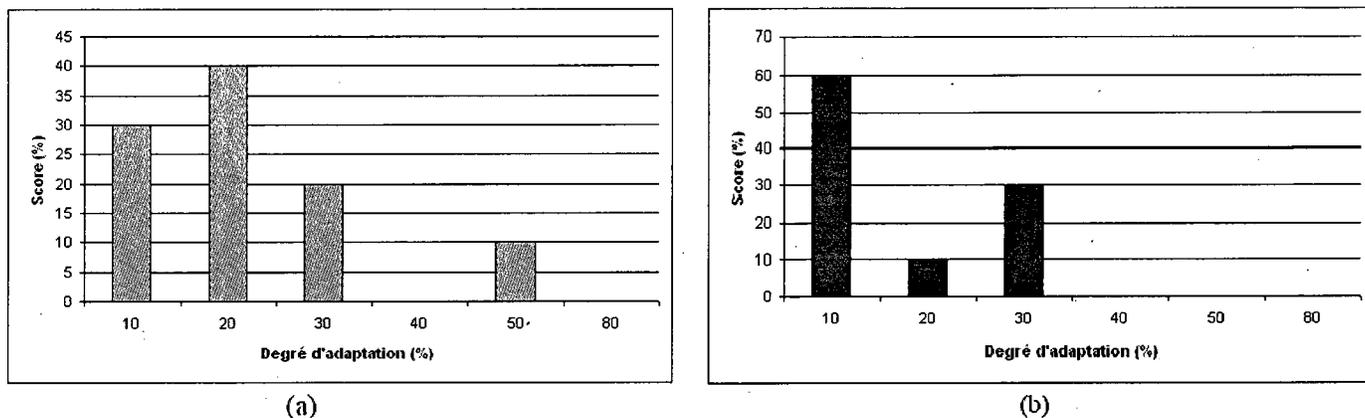


Figure 4.5 – Résultat de l'évaluation de l'adaptation chromatique : a) Pour l'image de l'intérieur, b) pour l'image de l'extérieur.

la figure 4.7.

Nous remarquons d'après les résultats de la figure 4.7 que les choix des utilisateurs sont répartis sur toute la période du test. Il est à noter que les utilisateurs trouvent des difficultés dans la prise de décision vu que les images présentées sont très proches au niveau du contraste.

À  $t = 0$  s, 30% des utilisateurs ont choisi la bonne image qui est celle adaptée à l'instant  $t = 0$  s (figure 4.6(b)). Nous remarquons bien que dans la première minute, il y a 50% des utilisateurs qui ont choisi les bonnes images (figure 4.6(b) à 30% et l'image 4.6(c) à 20%), cela peut indiquer qu'ils s'adaptent dans cet intervalle. Cependant, 30% des utilisateurs choisissent l'image la plus contrastée correspondant à celle adaptée à  $t = 5$  min.

À  $t = 60$  s, 40% des utilisateurs ont choisi l'image 4.6.c qui est la bonne image (elle est adaptée à 60 s) et nous constatons aussi qu'entre la première et la deuxième minute, 70% des utilisateurs ont fait leur choix dans cet intervalle (figure 4.6(c) à 40% et figure 4.6(b) à 30%) ce qui est un résultat encourageant car la majorité des utilisateurs montrent une bonne adaptation.

À  $t = 120$  s, le résultat obtenu à cet instant est surprenant, seulement 10% des utilisateurs ont choisi la bonne image (4.6(d)) qui est adaptée à cet instant mais nous remarquons aussi que les réponses sont réparties pour l'image 4.6(c) qui est adaptée à  $t = 120$  s et 4.6(e) qui est adaptée à  $t = 180$  s parce que les images sont très proches en terme de contraste.

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

Cela présente 50% des réponses qui sont comparables à l'adaptation à l'instant  $t = 0$  s. Nous remarquons aussi, que 30% des utilisateurs ont choisi l'image adaptée à  $t = 5$  min car c'est l'image qui possède un contraste élevé.

À  $t = 180$  s, 20% des utilisateurs ont choisi la bonne image (figure 4.6(e)) mais l'observation sur l'intervalle des deux images voisines, à savoir les images 4.6(d) et 4.6(f), indiquent que 80% des bonnes réponses sont situées dans cet intervalle.

À  $t = 5$  min, 40% des utilisateurs ont choisi la bonne image qui est celle adaptée à  $t = 5$  min (figure 4.6(e)) et pour l'intervalle des images voisines (figure 4.6(e) et figure 4.6(f)), il y a 50% des résultats qui sont dans cet intervalle.

D'après les résultats présentés ci-haut, nous pouvons dire qu'en général, les utilisateurs font leur choix dans un intervalle limité par les images adaptées avant et après l'instant étudié. Par exemple, à l'instant  $t = 60$  s, 70 % des bons résultats ont été choisis entre l'image concernée (figure 4.6(c)) et l'image la plus proche d'elle, à savoir la figure 4.6(d). Cela revient à la grande ressemblance entre ces images qui rend la distinction entre elles très difficile. L'autre point qu'il faut souligner, c'est que les utilisateurs préfèrent l'image la plus contrastée car elle permet une meilleure vision. Concernant le temps d'exécution de cette opération, il est estimé à 0.33 s pour une image de  $150 \times 114$  pixels sur le Pharos traveller 137.

#### 4.1.4 Évaluation de l'adaptation à la lumière

De même que l'adaptation à l'obscurité, il y a uniquement une évaluation subjective pour ce type d'adaptation à cause de l'absence d'un critère objectif qui reproduit l'évaluation de l'humain.

Cette évaluation concerne le passage du SVC de l'obscurité à la lumière. Le protocole expérimental est le suivant. Deux niveaux d'intensité de lumière sont nécessaires. Le premier niveau est l'obscurité où l'intensité est nulle, et le second niveau est l'intensité de la lumière générée par les six tubes de néon de la salle. La mesure de l'intensité a été effectuée avec le dispositif Lacie blue eye pro, et nous avons trouvé que l'intensité est de 300 lux.

Par la suite, une image référence est affichée sur l'ECL 14 Po d'un ordinateur portable, dans l'obscurité pendant trois minutes afin que les utilisateurs s'adaptent à ce niveau d'intensité et mémorisent l'image affichée. Après trois minutes, la lumière est allumée, et une

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

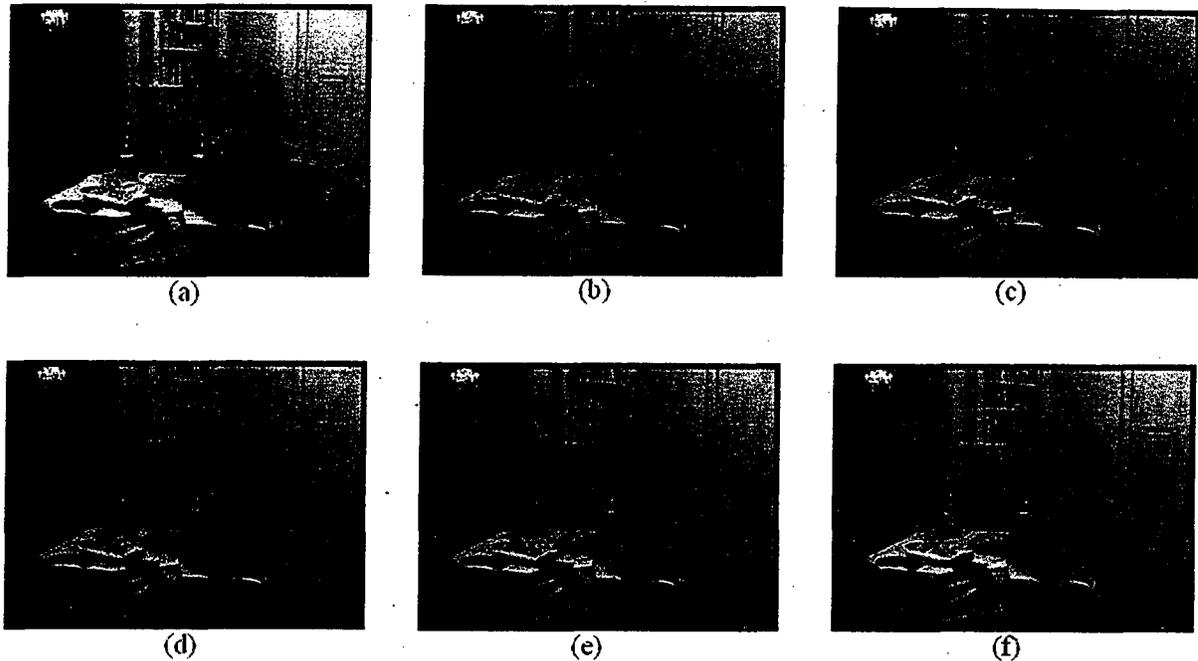


Figure 4.6 – Évaluation de l'adaptation à l'obscurité : (a) Image de référence, (b) image adaptée à 0 s, (c) image adaptée à 60 s, (d) image adaptée 120 s, (e) image adaptée 180 s, (f) image adaptée à 5 min.

série de six images est affichée. Cette série est présentée dans la figure 4.8, elle comporte des images adaptées à la lumière à des instants différents (0 s, 30 s, 60 s, 90 s, 120 s et 150 s). Nous faisons appel à 10 utilisateurs, à chacun de ces instants, de choisir une seule image. C'est l'image la plus proche à l'image de référence qui doit être choisie. Les réponses des utilisateurs sont présentées dans la figure 4.9.

À  $t = 0$  s, 40% des utilisateurs ont choisi la bonne image qui est celle adaptée à l'instant  $t = 0$  s (figure 4.8(b)). Nous remarquons bien que durant les 30 premières secondes, 70% des utilisateurs ont choisi les bonnes images (figure 4.8(b) à 40% et 4.8(c) à 30%). Ce qui explique que les utilisateurs sont adaptés à cet instant et que la méthode fonctionne bien à cet instant.

À  $t = 30$  s, 40% des utilisateurs ont choisi l'image 4.8(c) qui est la bonne image (adaptée à  $t = 30$  s) et nous remarquons aussi qu'à la première minute 80% des utilisateurs ont fait leur choix dans cet intervalle (figure 4.8(b) à 20%, figure 4.8(c) à 40% et figure

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

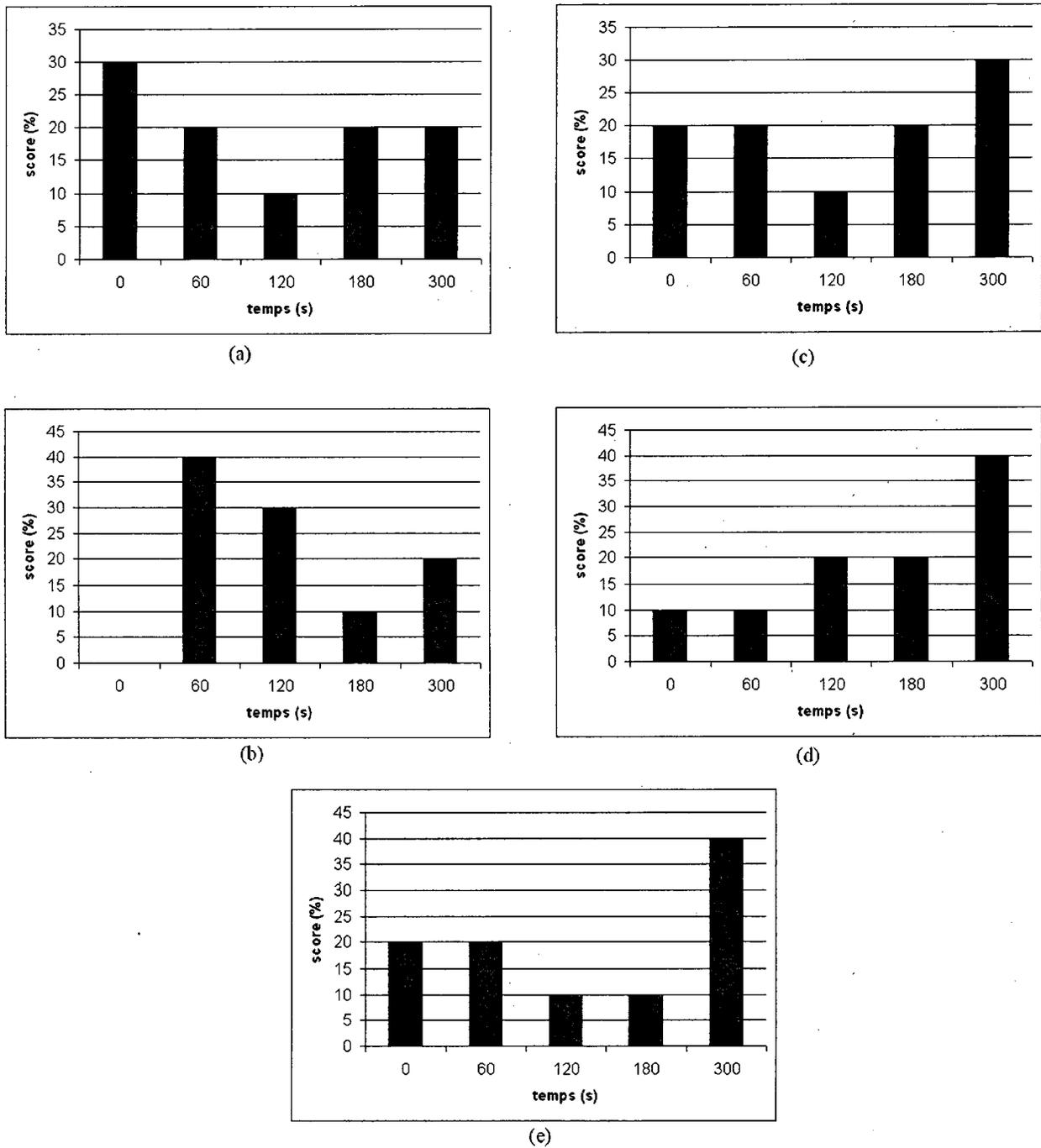


Figure 4.7 – Répartition des réponses des utilisateurs dans l'adaptation à l'obscurité : (a) à l'instant  $t = 0$  s, (b) à l'instant  $t = 60$  s, (c) à l'instant  $t = 120$  s, (d) à l'instant  $t = 180$  s, (e) à l'instant  $t = 300$  s.

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

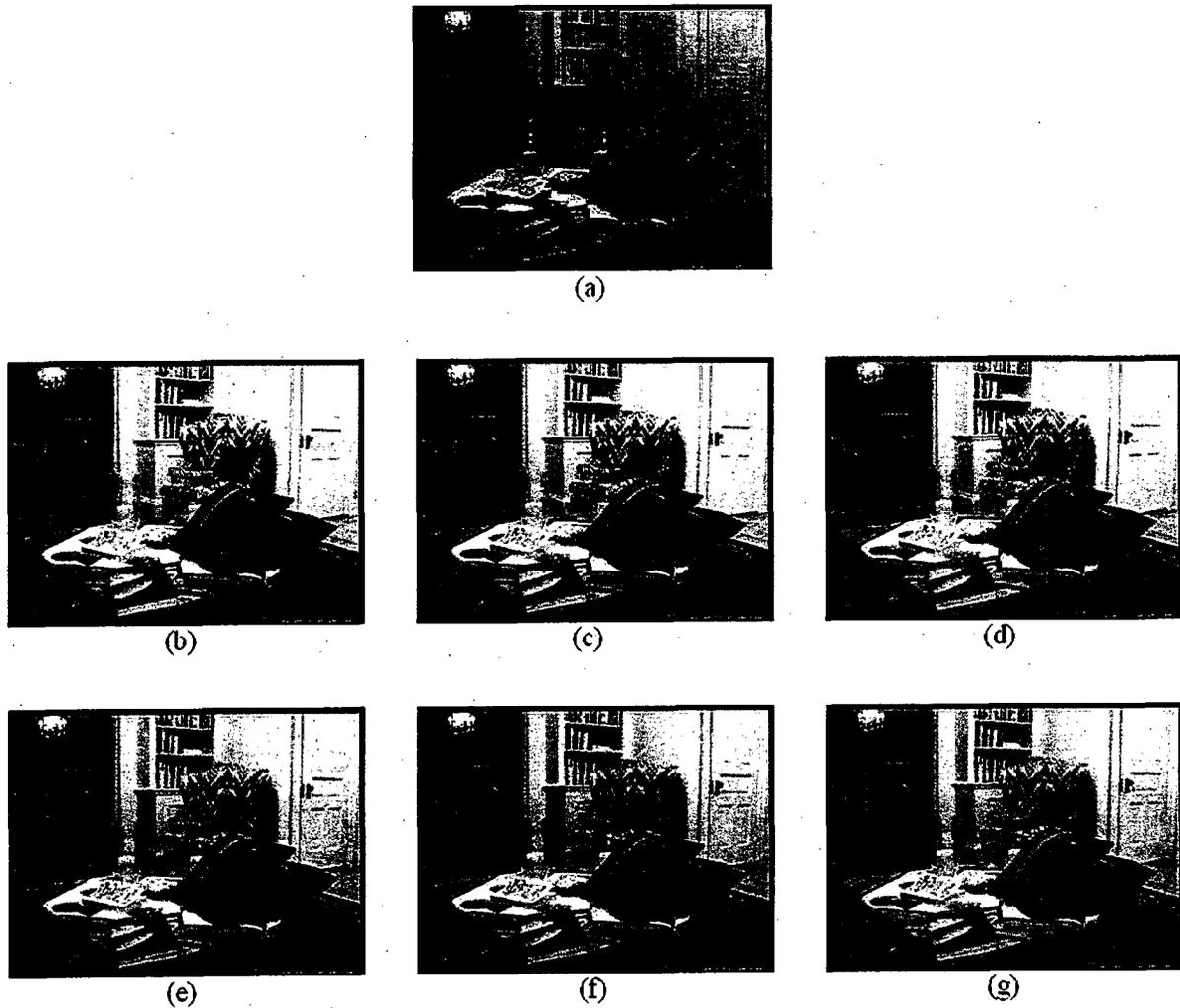
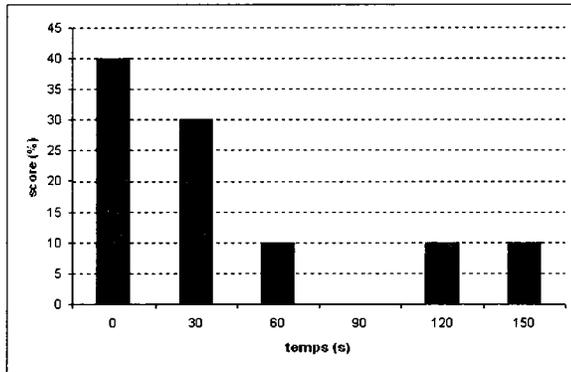
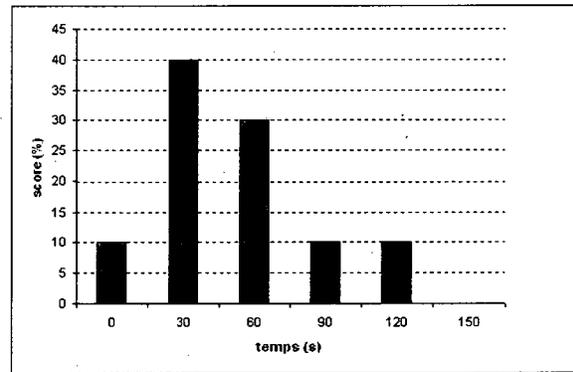


Figure 4.8 – Évaluation de l'adaptation à la lumière : (a) Image de référence, (b) image adaptée à 0 s, (c) image adaptée à 30 s, (d) image adaptée 60 s, (e) image adaptée 90 s, (f) image adaptée à 120 s, (g) image adaptée à 150 s.

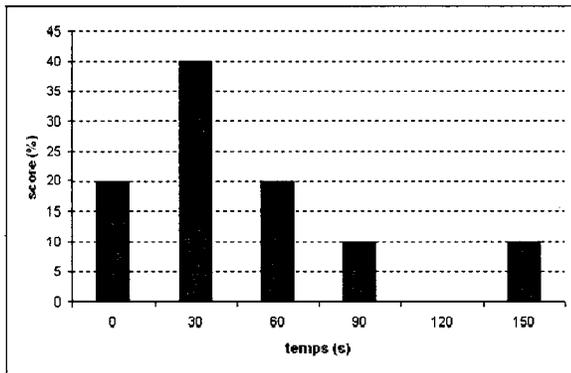
#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME



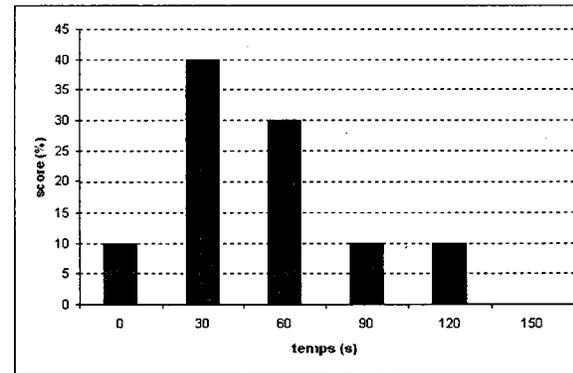
(a)



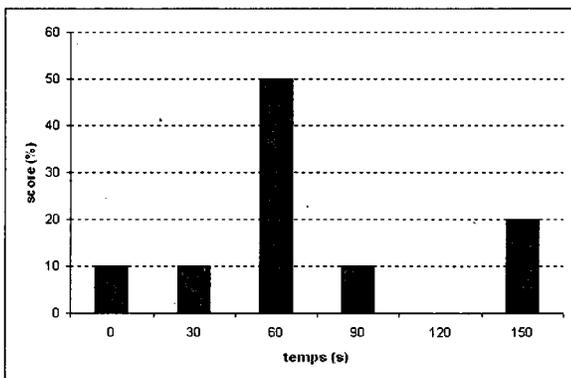
(d)



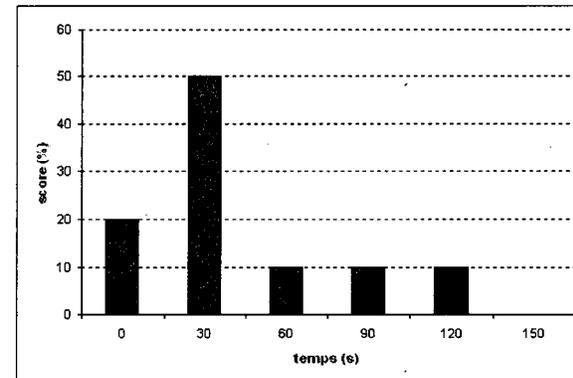
(b)



(e)



(c)



(f)

Figure 4.9 – Répartition des réponses des utilisateurs dans l'adaptation à la lumière : (a) à l'instant  $t = 0$  s, (b) à l'instant  $t = 30$  s, (c) à l'instant  $t = 60$  s, (d) à l'instant  $t = 90$  s, (e) à l'instant  $t = 120$  s, (f) à l'instant  $t = 150$  s.

## 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

4.8(d) à 20%). Nous pouvons confirmer que c'est un bon résultat parce que les 80% des utilisateurs montrent une bonne adaptation.

À  $t = 60$  s, 60% des utilisateurs ont choisi la bonne image qui est celle adaptée à  $t = 60$  s (figure 4.8(d)). Cela est un bon résultat surtout si les résultats de l'intervalle entre 30 s et 90 s sont pris en considération. Car 70% des utilisateurs ont donné leurs réponses dans cet intervalle (figure 4.8(c) à 10% et figure 4.8(e) à 10%).

À  $t = 90$  s, seulement 10% des utilisateurs ont choisi la bonne image (figure 4.8(e)). Nous remarquons que 80% des réponses sont concentrées dans la première minute. Cela explique que les utilisateurs trouvent que l'image adaptée à  $t = 90$  s est un peu sombre par rapport aux images adaptées dans la première minute. La même remarque s'applique aux images adaptées à  $t = 120$  s et  $t = 150$  s. En résumé, la méthode obtient une satisfaction élevée chez les observateurs durant la première minute. Au delà de cet intervalle, la satisfaction diminue puisque l'image affichée perd du contraste dans le temps, les utilisateurs gardent en mémoire les images avec de fort contraste qui sont plus agréables à voir.

### 4.1.5 Évaluation de l'adaptation au reflet

Nous utilisons dans l'évaluation de l'adaptation au reflet les deux types d'évaluations objective et subjective.

Pour l'évaluation objective, le principe est de faire une comparaison entre une image référence et une image traitée avec l'algorithme implanté. Cette comparaison est effectuée avec la différence ( $\Delta E_{94}$ ). Cette évaluation est difficile à reproduire parce que nous ne disposons pas d'images avec reflet. Pour cela, nous nous sommes contentés de simuler les images avec reflet en prenant une image  $I$  et en lui rajoutant du reflet à des degrés différents (1%, 5%, 10%, 20% et 30%) en considérant que ce reflet est uniforme à travers tout l'écran. Le reflet simulé est calculé à partir de la lumière ambiante. À partir de l'image capturée par la caméra, l'illuminant est estimé avec la méthode du monde gris puis converti dans l'espace HSL. Soit  $(H_{\Phi}, S_{\Phi}, L_{\Phi})$  l'illuminant estimé, le reflet est calculé par

$$\begin{aligned}H_{reflet} &= H_{\Phi} \\S_{reflet} &= kS_{\Phi} \\V_{reflet} &= kL_{\Phi},\end{aligned}\tag{4.2}$$

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

où  $k$  est le coefficient de réflexion de l'écran. Nous devons, aussi, calculer la différence ( $\Delta E_{94}$ ) entre l'image référence et l'image avec reflet pour la comparer avec la différence entre l'image référence et l'image traitée, afin d'avoir une idée sur la correction effectuée.

Nous avons pris deux types d'images, une à l'extérieur sous la lumière  $D65$  et l'autre à l'intérieur sous la lumière  $A$ . Le reflet est calculé à des degrés différents (1%, 5%, 10%, 20% et 30%) de la lumière ambiante, à savoir  $D65$  ou  $A$  et nous avons obtenu les résultats présentés dans les tableaux 4.4 et 4.5.

D'après les résultats présentés aux tableaux 4.4 et 4.5, nous remarquons que la méthode implantée réduit largement l'effet du reflet pour les différents degrés car les différences calculées  $\Delta E_{94}$  montrent bien cette correction. Elle est autour de 97% pour l'image de l'intérieur et 99% pour l'image de l'extérieur. Pour tous les degrés de reflets, la différence entre l'image corrigée et l'image référence ( $\Delta E_{AC}$ ) est toujours inférieure à la différence entre l'image référence et l'image avec reflet ( $\Delta E_{AB}$ ).

En ce qui concerne l'évaluation subjective, le protocole suivi dans l'expérience requiert des images avec reflet, des images traitées avec la méthode implantée et une image référence où l'utilisateur se réfère pour prendre sa décision c'est-à-dire quelle est l'image la plus proche de l'image référence. Le matériel utilisé dans cette expérience est un ECL 14Po pour la visualisation. Nous affichons à la fois les trois images à savoir, l'image référence, l'image avec reflet et l'image avec reflet traitée avec notre algorithme de réduction de reflet. Plusieurs degrés de reflet sont simulés (5%, 10%, 20% et 30%). Nous avons utilisé comme dans le cas de l'évaluation objective une image de l'intérieur et une autre de l'extérieur. Les utilisateurs sont appelés à comparer entre l'image avec reflet et l'image avec reflet traité et de prendre une décision sur l'image la plus proche de l'image référence en terme de luminosité et de couleurs. La réponse des utilisateurs concernant l'image la plus proche est

Reflet(%)	1%	5%	10%	20%	30%
$\Delta E_{94}(AB)$	0.006	0.5282	1.1287	2.3380	3.3232
$\Delta E_{94}(AC)$	0	0.0109	0.034	0.0786	0.1288
Correction (%)	100	97.9	96.9	96.6	96.1

tableau 4.4 – Différence  $\Delta E_{94}$  entre l'image référence et les images avec reflet et corrigées pour une image de l'intérieur (A : image référence, B : image avec reflet, C : image corrigée).

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

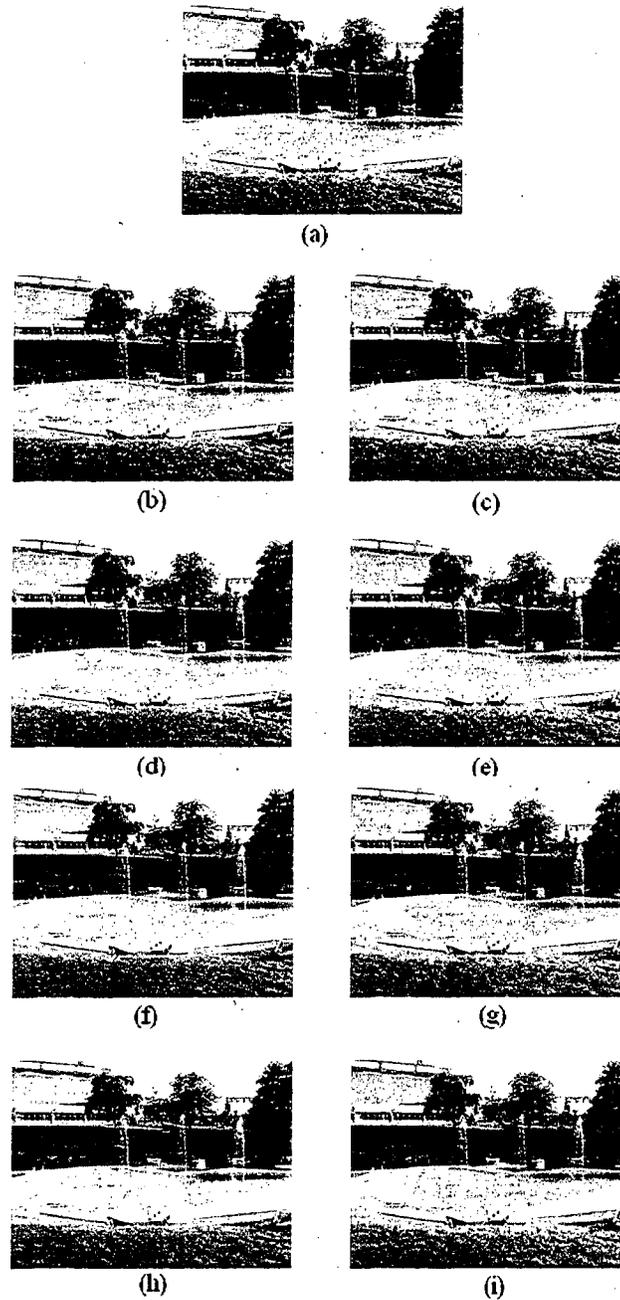


Figure 4.10 – Évaluation de l'adaptation au reflet : (a) Image originale (sans reflet), (b) image avec 5% de reflet, (c) image avec 5% de reflet corrigée, (d) image avec 10% de reflet, (e) image avec 10% de reflet corrigée, (f) image avec 20% de reflet, (g) image avec 20% de reflet corrigée, (h) image avec 30% de reflet, (i) image avec 30% de reflet corrigée.

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

Reflét(%)	1%	5%	10%	20%	30%
$\Delta E_{94}(AB)$	0.1956	0.9384	1.9450	4.1916	6.0071
$\Delta E_{94}(AC)$	0	0.0022	0.0073	0.0364	0.0858
Correction (%)	100	99.7	99.6	99.1	98.5

tableau 4.5 – Différence  $\Delta E_{94}$  entre l'image référence et les images avec reflet et corrigées pour une image de l'extérieur (A : image référence, B : image avec reflet, C : image corrigée).

présentée sur la figure 4.11.

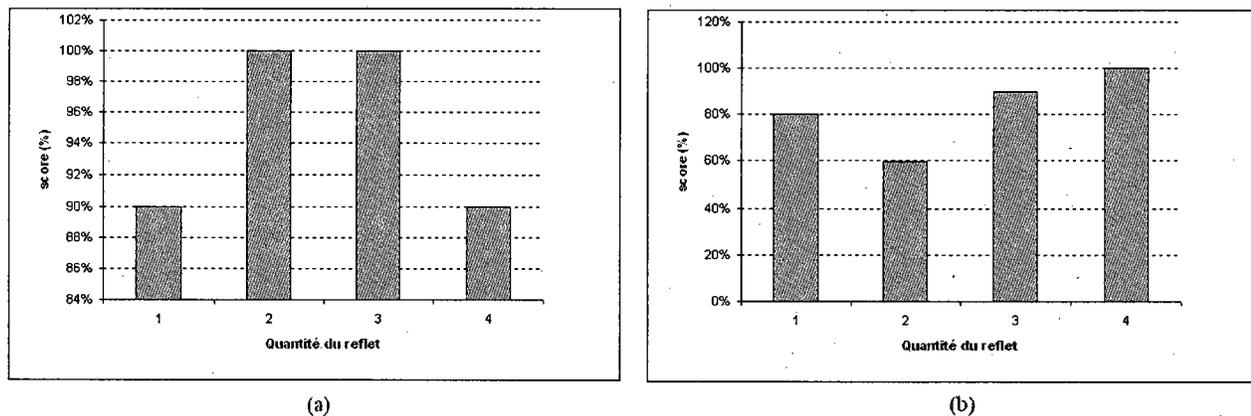


Figure 4.11 – Répartition des réponses des candidats pour l'adaptation au reflet : (a) Pour une image de l'intérieur, (b) pour une image de l'extérieur

D'après ces résultats, nous constatons que les utilisateurs optent toujours pour l'image corrigée et ce pour tous les degrés de reflet utilisés. Pour l'image de l'intérieur, la moyenne est de 95% de choix pour l'image corrigée. Ceci confirme les résultats obtenus dans l'évaluation objective où la différence  $\Delta E_{94}$  en l'image référence et l'image corrigée est négligeable par rapport à celle entre l'image référence et l'image avec reflet. De même pour l'image de l'extérieur, le test montre que les utilisateurs choisissent toujours l'image corrigée et donne une moyenne de 82.5% pour cette image. Ceci confirme aussi les résultats obtenus dans le test objectif concernant cette image.

En ce qui concerne l'évaluation subjective de la méthode, pour le reflet global, à l'extérieur dans un milieu fortement illuminé, nous avons fait appel à cinq utilisateurs et nous

## 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

avons affiché l'image sous la forte lumière du soleil, puis nous avons activé l'opération de l'adaptation au reflet. Les utilisateurs ont tous indiqué que la méthode n'apporte aucun changement sur l'image. Cela peut s'expliquer par le fait que le changement apporté n'est pas perceptible par le système visuel humain parce que le seuil du plus petit contraste perceptible est plus grand que ce changement apporté par la méthode.

Concernant le temps d'exécution de l'adaptation au reflet, il est estimé à 0.86 s pour une image de 150 X 114 pixels sur le Pharos traveller 137.

### 4.1.6 Évaluation de l'adaptation géométrique

Dans cette adaptation, nous utilisons l'évaluation subjective uniquement parce qu'il n'y a pas de critère objectif qui répond à notre test.

Pour effectuer l'expérience, nous avons procédé de la façon suivante. Nous avons besoin d'une caméra pour la capture du visage. Pour cela, nous avons utilisé une webcam. Elle fait l'acquisition du visage dont la position est calculée par l'équation (2.15). La caméra prend des photos à une distance de 40 cm pour des angles ( $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$  et  $30^\circ$ ). Puis l'algorithme effectue l'adaptation géométrique. Les images adaptées seront utilisées par la suite dans l'évaluation subjective. Pour ce faire, l'utilisateur se met à 40 cm en face de l'écran (pas de déviation) pour regarder l'image référence. Après, il se met à des positions différentes ( $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ) pour regarder les quatre images adaptées présentées dans la figure 4.12 et décide quelle image est plus proche de l'image référence. Les réponses des utilisateurs sont présentées dans la figure 4.13.

Les résultats de ce test sont présentés dans la figure 4.13. Pour un angle  $\alpha = 10^\circ$ , nous remarquons que 70% des utilisateurs ont choisi la bonne image c'est-à-dire, celle avec une rotation de 10% (figure 4.12.b), de plus 20% ont choisi l'image la plus proche directement c'est-à-dire, celle avec une rotation de  $15^\circ$ . Au total, nous avons 90% entre  $10^\circ$  et  $15^\circ$ , ce qui est un résultat très satisfaisant.

Pour un angle  $\alpha = 15^\circ$  : 40% des utilisateurs ont choisi l'image adaptée avec  $15^\circ$  de rotation. Et il y a 30% qui ont choisi des images proches d'elle (c'est-à-dire, avec des angles de  $10^\circ$  et  $20^\circ$  figure 4.12.b et 4.12.d). Au total, 70% des utilisateurs, leurs réponses se trouvent dans l'intervalle  $[10^\circ, 20^\circ]$ , et 30% pour l'image adaptée à  $30^\circ$ . Cela indique que le résultat est satisfaisant pour cet angle aussi.

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

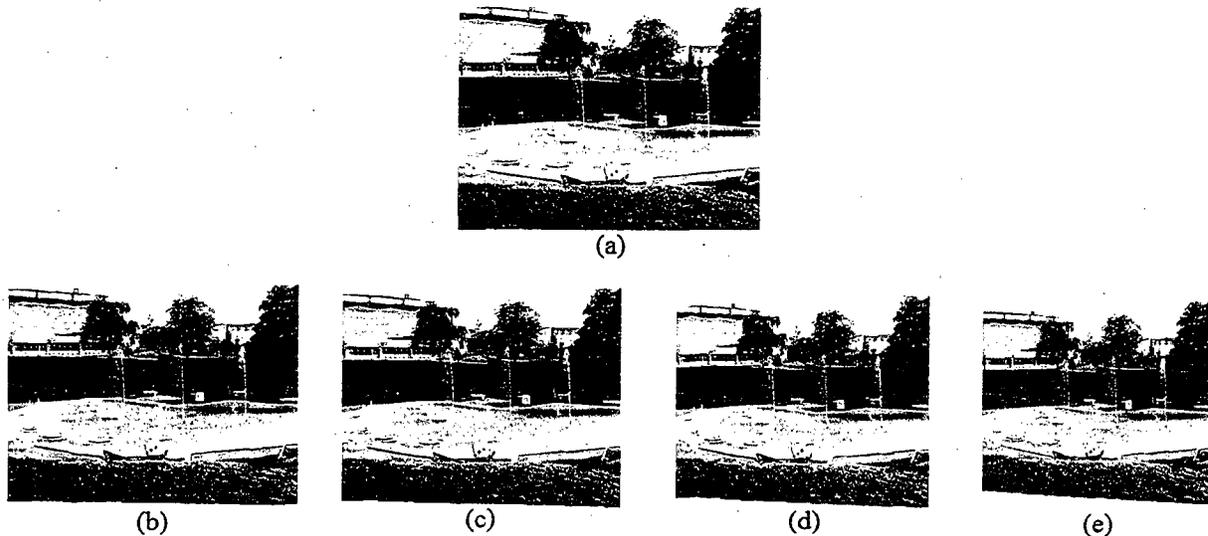


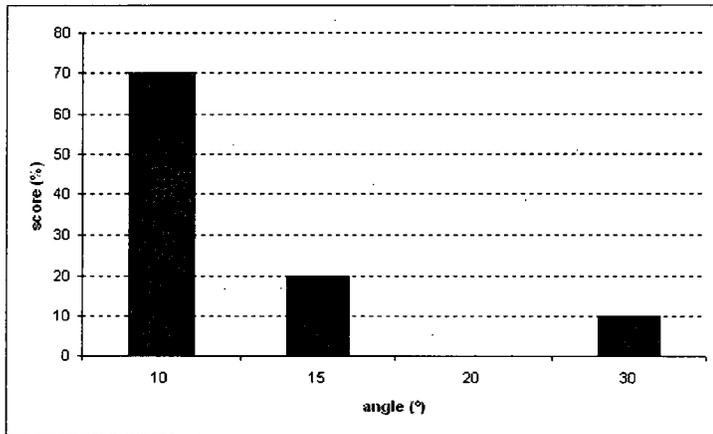
Figure 4.12 – Évaluation de l'adaptation géométrique : (a) Image originale, (b) image adaptée à 10°, (c) image adaptée à 15°, (d) image adaptée à 20°, (e) image adaptée à 30°.

Pour  $\alpha = 20^\circ$  : seulement 20% des utilisateurs ont choisi l'image adaptée avec 20% de rotation mais il y a 70% qui ont choisi une image proche de l'image exacte. Cela indique que la précision diminue pour cet angle. Pour  $\alpha = 30^\circ$  : 40% des utilisateurs ont choisi l'image adaptée avec 30° de rotation. 60% ont fait un choix entre l'image exacte et l'image la plus proche qui est celle adaptée avec un angle de 20° et 40% des résultats étaient pour les images adaptées à 10° et 15°. Donc, la satisfaction des utilisateurs diminue quand l'angle augmente.

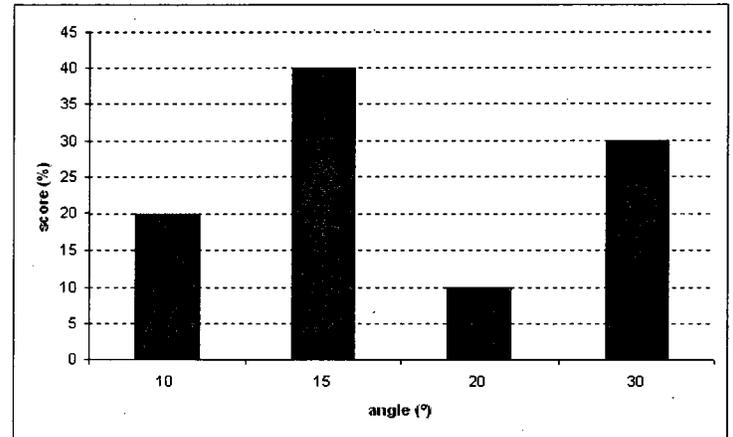
D'après ces résultats, nous constatons que l'adaptation géométrique fonctionne avec une précision acceptable pour les faibles angles que fait l'utilisateur avec l'écran et que la satisfaction des usagers diminue quand cet angle augmente. Dans le cas d'un dispositif mobile pour la visualisation des images, l'utilisateur ne s'écarte pas trop par rapport à l'écran. Ce qui mène à des faibles angles de rotation.

Nous remarquons aussi que les bords obliques de l'image adaptée ne sont pas parfaitement droits. Cela revient au placement des pixels dans leur nouvelles positions. Les dispositifs d'affichage ne permettent pas, aussi, un traçage exact des lignes obliques à cause de la structure de l'écran qui affiche l'image sous forme de pixels carrés. Concernant le temps de calcul, il est estimé à 14.15 s pour une image de 115 X 114 pixels sur la Pharos traveller

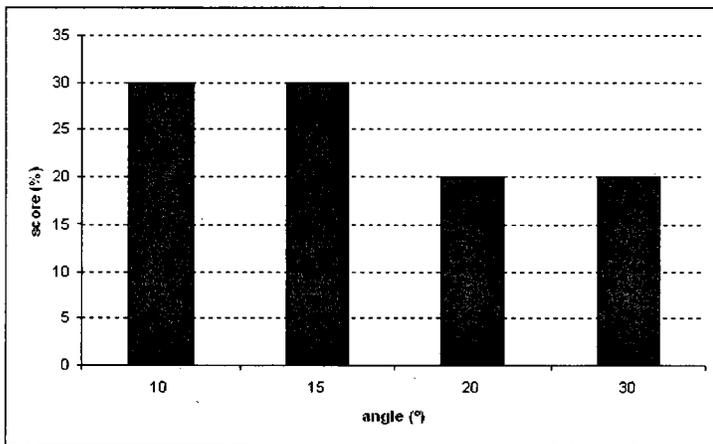
#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME



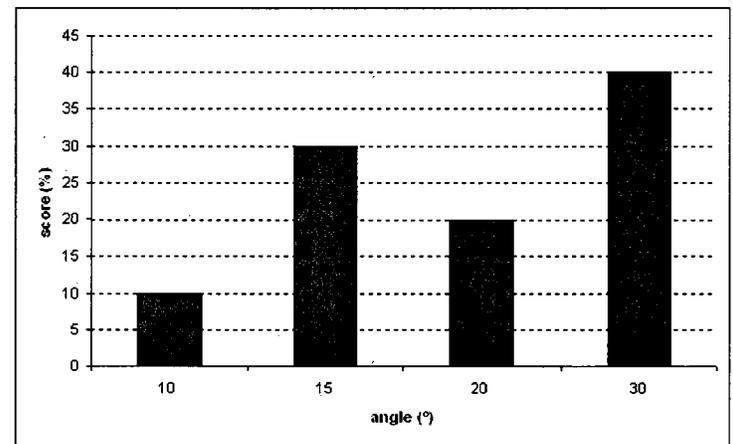
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4.13 – Résultats du test sur l'adaptation géométrique. a) Pour un angle de rotation de 10°, b) Pour un angle de rotation de 15°, c) Pour un angle de rotation de 20°, d) Pour un angle de rotation de 30°

## 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

137.

### 4.1.7 Évaluation de la méthode de réduction de la consommation de l'ECL

Cette partie est consacrée à tester la méthode utilisée pour réduire la consommation électrique de l'ECL d'une façon objective. Pour cela, deux expériences sont effectuées, la première concerne la mesure de l'énergie réduite et la deuxième concerne le calcul du contraste des différentes parties de l'image.

Pour la mesure de l'énergie réduite, idéalement il faut mesurer l'énergie consommée à chaque niveau du rétro-éclairage et cela demande des appareils de mesure spécialisés. Cependant, nous ne disposons pas de ces équipements. Nous nous contentons de commenter les résultats du tableau 2.1.

Pour le calcul du contraste, nous avons procédé de la manière suivante : le contraste global de l'image est calculé avec l'équation (1.1) pour voir l'évolution du contraste de l'image adaptée en fonction du  $\Delta n$ . Puis, nous choisissons manuellement des régions de fort, moyen et faible contraste et regardons l'évolution du contraste dans ces régions. Nous avons obtenu les courbes de la figure 4.14. Pour le contraste global de l'image, nous constatons qu'il diminue à chaque fois que le  $\Delta n$  augmente. Cela est dû à l'augmentation de la luminance de l'image qui cause une diminution du contraste (lissage des détails). En ce qui concerne les différentes régions choisies (fort, moyen et faible contraste), nous constatons que la région de fort contraste ne présente pas de changement de contraste car les détails apparaissent toujours malgré l'augmentation de la luminance de l'image. Par contre, pour la région de moyen contraste, le contraste présente une petite diminution quand la luminance de l'image augmente. Cela est dû aux faibles détails présents dans l'image qui ont tendance à disparaître avec l'augmentation de la luminance de l'image. Pour la région de faible contraste, nous constatons une constance du contraste, parce qu'elle présente de très faibles détails, c'est quasiment une région uniforme et donc l'augmentation de la luminance ne l'influence pas trop.

La deuxième partie de l'évaluation de cette méthode est consacrée aux tests subjectifs. Le protocole expérimental de ce test est le suivant : pour effectuer ce test, il faut avoir un dispositif de communication mobile. Dans notre cas, c'est un HP Ipaq 6955. Il possède dix

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

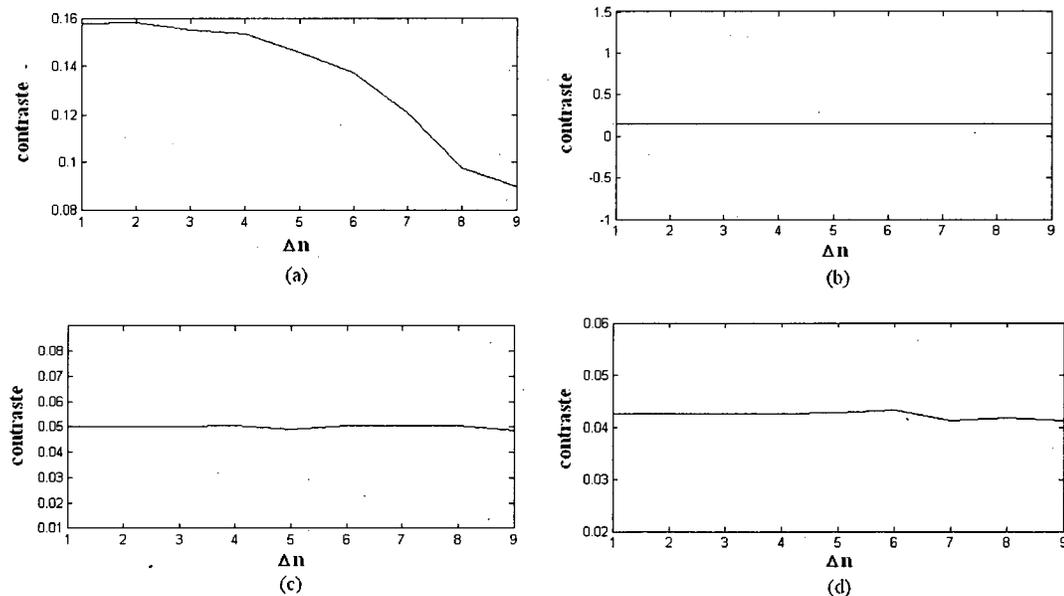


Figure 4.14 – Évolution du contraste en fonction du niveau du rétro-éclairage : (a) Contraste global, (b) contraste des régions de forte texture, (c) contraste des régions de moyenne texture, (d) contraste des régions de faible texture.

niveaux de rétro-éclairage. Dans notre expérience, les niveaux sont changés manuellement.

L'expérience consiste à afficher une image référence avec le niveau maximum de rétro-éclairage ( $n = 10$ ). Puis, diminuer le niveau de rétro-éclairage manuellement et afficher à chaque fois l'image adaptée correspondant à ce niveau. Les utilisateurs sont appelés à comparer entre l'image référence et l'image adaptée et à donner son degré de similitude avec l'image originale. L'échelle de décision étant une échelle de 1 à 5 (1 : qualité très mauvaise, 2 : qualité mauvaise, 3 : qualité moyenne, 4 : bonne qualité, 5 : très bonne qualité). Les images adaptées sont présentées dans la figure 4.15 et les satisfactions obtenus par ce test dans la figure 4.16.

D'après les résultats présentés dans la figure 4.16, nous pouvons constater que, les observateurs sont très satisfaits, ils estiment que l'image obtenue est similaire ou se rapproche beaucoup de l'image originale affichée sans réduction du rétro-éclairage (entre 80% et 90% de satisfaction pour les niveaux de 5 à 9). La moyenne des observations dans cet intervalle est supérieure à 4 pour laquelle l'image est jugée de bonne qualité. Pour les autres niveaux du rétro-éclairage (de 1 à 4), les usagers ont jugé que l'image est de qualité moyenne car

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

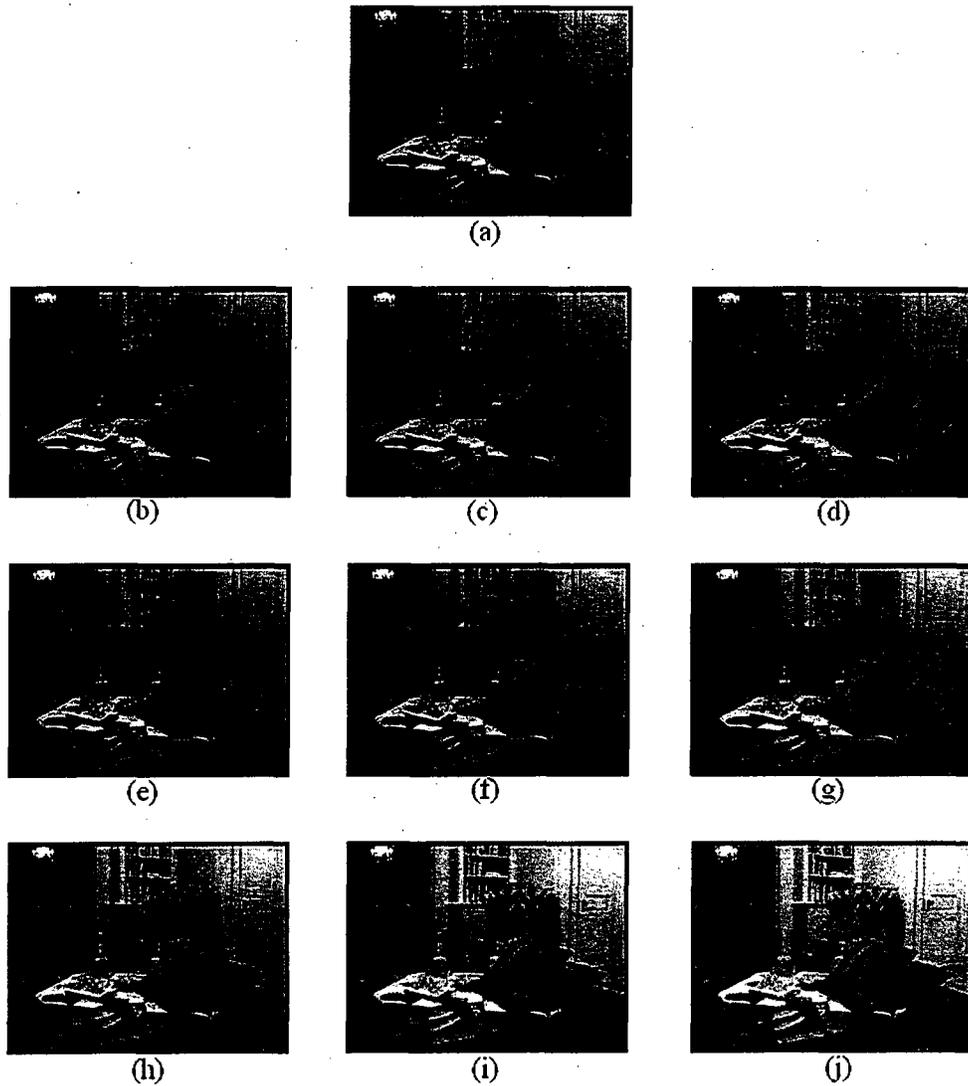


Figure 4.15 – Images affichées lors de l'évaluation de la consommation de l'ECL : (a) Image référence, (b) image adaptée au niveau  $n = 9$ , (c) image adaptée au niveau  $n = 8$ , (d) image adaptée au niveau  $n = 7$ , (e) image adaptée au niveau  $n = 8$ , (f) image adaptée au niveau  $n = 7$ , (g) image adaptée au niveau  $n = 6$ , (h) image adaptée au niveau  $n = 5$ , (i) image adaptée au niveau  $n = 4$ , (j) image adaptée au niveau  $n = 3$ .

## 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

la moyenne des observations se situe entre 3.4 et 3.6. Il est à noter, aussi, qu'il y a des utilisateurs qui ont indiqué une grande satisfaction pour ces derniers niveaux où ils ont jugé que l'image est de très bonne qualité et se rapproche beaucoup de l'image de référence. Cela nous mène à faire des compromis lors de l'utilisation de cette méthode. Nous pouvons choisir une valeur de rétro-éclairage  $n \in [2, 9]$  car elle donne une meilleure qualité de l'image et moins d'énergie consommée. Pour ces valeurs, nous avons un gain d'énergie estimé entre 10% et 80% de la puissance totale consommée par le rétro-éclairage d'après l'étude effectuée par Liang *et al.* [30], et une qualité de l'image qui reste satisfaisante. Pour le temps d'exécution de cette méthode de réduction de la consommation de l'énergie, il est estimé à 0.38 s sur le Pharos traveler 137.

### 4.1.8 Évaluation des méthodes de correction pour daltoniens

Dans l'évaluation de ces méthodes nous nous contentons d'évaluer les méthodes de correction pour les dichromates parce que, pour les trichromates anormaux la déformation causée par l'anomalie est linéaire et il suffit d'appliquer l'équation (3.8) pour retrouver les vraies couleurs de l'image.

En ce qui concerne les dichromates, le test est effectué par simulation. Nous disposons du simulateur que nous avons présenté dans la section 3.2.1 [2]. Ce simulateur produit une image telle qu'elle est perçue par un dichromate. Nous disposons, aussi, d'images tests qui peuvent montrer la différence entre un trichromate normal et un daltonien. Ces images sont prises du test de dépistage de déficience de la vision de couleurs de Ishihara [1] et pour l'affichage nous avons utilisé un ECL d'ordinateur dans une salle éclairée par une lumière de type  $F^2$ .

Le principe du test est le suivant. D'une part, une image référence  $I$  est affichée sur l'écran. À l'aide du simulateur, nous faisons sa visualisation telle qu'elle est perçue par un dichromate, l'image résultante est  $I_o$ . D'autre part, nous allons prendre l'image référence  $I$  et lui faire le traitement proposé à la section 3.2.2, l'image résultante sera alors  $I_c$  qui va être affichée pour le dichromate. Dans notre cas, l'image  $I_c$  passe par le simulateur pour produire une image comme celle perçue par le daltonien, l'image résultante sera  $I'_o$ . À la fin, nous faisons une comparaison visuelle entre  $I_o$  et  $I'_o$  pour remarquer la différence qu'il y a entre les deux images perçues, avant et après traitement tel qu'illustré dans la figure 4.17.

## 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

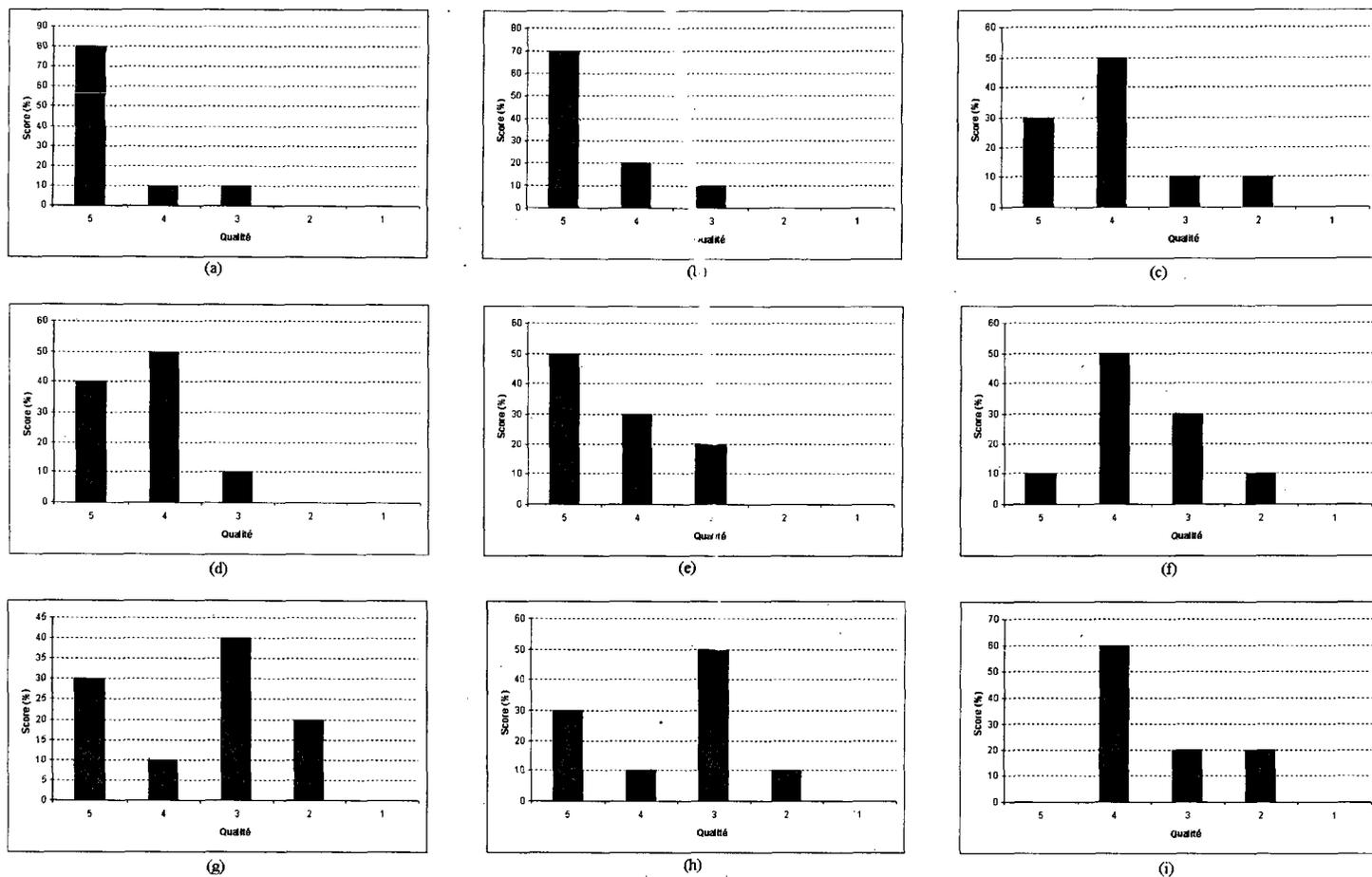


Figure 4.16 – Satisfaction des utilisateurs au test de réduction de la consommation d'énergie pour chaque niveau du rétro-éclairage (n) : (a)  $n = 9$ , (b)  $n = 8$ , (c)  $n = 7$ , (d)  $n = 6$ , (e)  $n = 5$ , (f)  $n = 4$ , (g)  $n = 3$ , (h)  $n = 2$ , (i)  $n = 1$ .

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

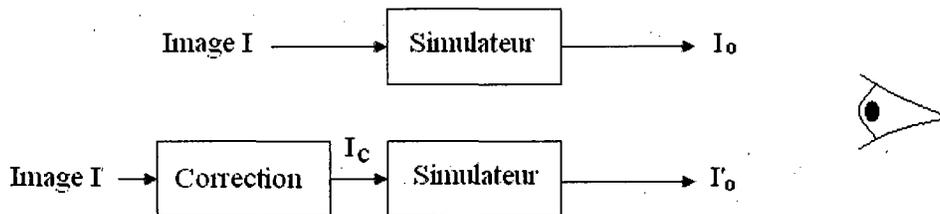


Figure 4.17 – Illustration de la comparaison entre les deux images résultantes  $I_o$  et  $I'_o$ .

La figure 4.18 illustre la démonstration de la correction des couleurs pour les protanopes et les deuteranopes.

L'image 4.18.a représente l'image originale affichée sur l'écran pour un protanope. Celui-ci perçoit cette image de la manière représentée sur l'image 4.18.b, nous remarquons la disparition du chiffre (8) de cette image. Le protanope confond alors le chiffre (8) avec le fond de l'image, à cause de l'anomalie qu'il présente au niveau de la perception du rouge et du vert. L'image 4.18.c représente la correction apportée à l'image 4.18.a en utilisant la méthode de distribution de l'erreur de Fidaner *et al.* [19]. Et la figure 4.18.d représente l'image corrigée en utilisant notre méthode décrite dans la section 3.2.2. Nous remarquons que pour les deux images corrigées, le chiffre (8) réapparaît dans l'image. De plus, il est encore plus claire dans l'image 4.18.d où la différence entre le fond de l'image et le chiffre (8) est faite sans aucune difficulté.

De même pour le deuteranope, l'image 4.18.e représente l'image originale affichée sur l'écran. l'image 4.18.f est l'image perçue par le deuteranope où le chiffre (8) disparaît de l'image. L'image 4.18.g est l'image corrigée par la méthode de Fidaner *et al.* pour le deuteranope et l'image 4.18.h est l'image perçue par le deuteranope après la correction appaortée à l'image 4.18.e par notre méthode. Dans les deux cas, le chiffre (8) réapparaît et encore l'image obtenue par notre méthode donne un résultat très concluant car le chiffre (8) apparaît clairement et sans difficulté.

Dans le cas du tritanope, nous avons utilisé l'image 4.18.i qui contient le chiffre (56) qu'un trichromate normal peut percevoir. Un tritanope perçoit l'image 4.18.j où le chiffre (56) disparaît. La méthode de correction de Fidaner *et al.* donne l'image 4.18.k, nous remarquons, toujours, que le chiffre (56) n'apparaît pas. L'image 4.18.l est le résultat de notre méthode.

#### 4.1. ÉVALUATION DES MÉTHODES DU SYSTÈME

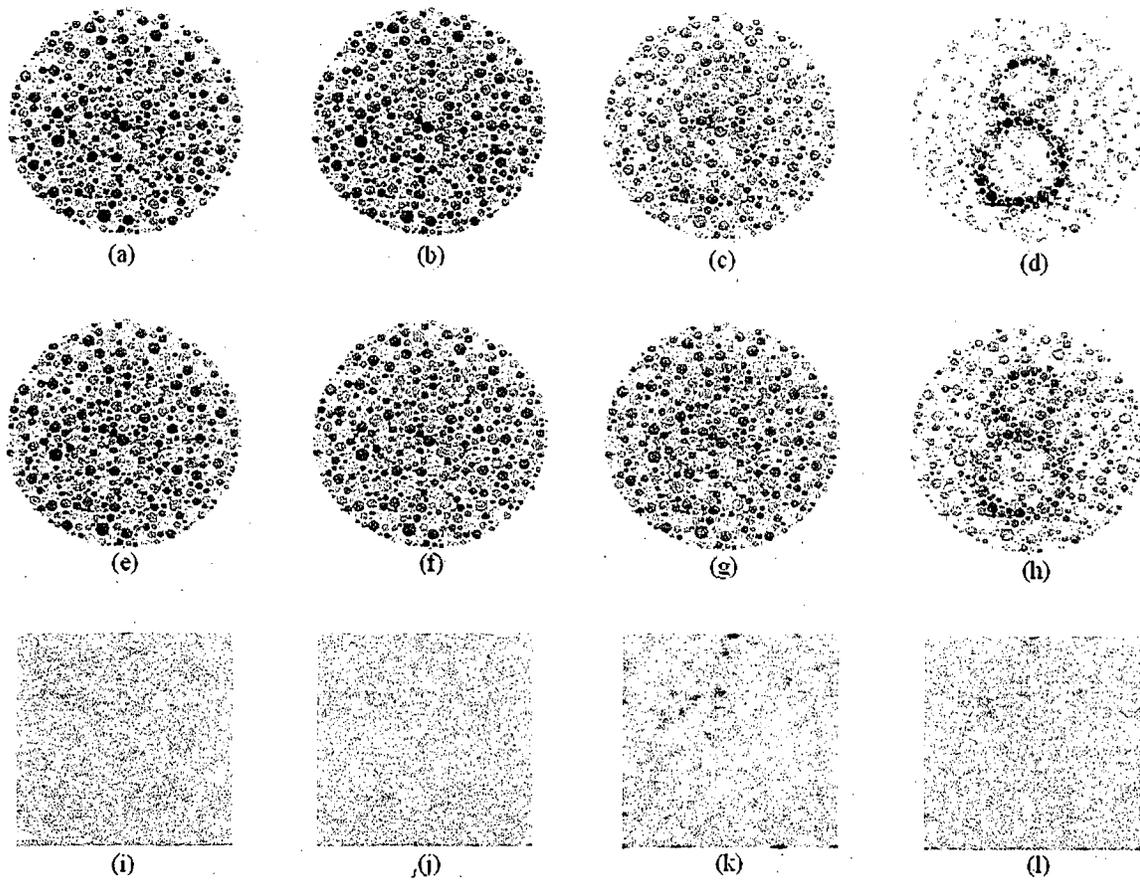


Figure 4.18 – Évaluation de la correction des couleurs pour les dichromates : a) Image originale, b) image perçue par le protanope, c) image corrigée avec la méthode de Fidaner *et al.* [19], d) image corrigée avec notre méthode et perçue par le protanope, e) image originale, f) image perçue par le deuteranope, g) image corrigée avec la méthode de Fidaner *et al.*, h) image corrigée par notre méthode et perçue par le deuteranope, i) image originale, j) image perçue par le tritanope, k) image corrigée avec la méthode de Fidaner *et al.*, l) image corrigée avec notre méthode et perçue par le tritanope.

## 4.2. ÉVALUATION GLOBALE DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

Elle fait apparaître le chiffre (56) et la distinction avec le fond de l'image est claire. Le calcul du PSNR entre l'image  $I_o$  et l'image  $I'_o$  donne 18.52 dB pour la protanopie, 25.53 dB pour la deuteranopie et 22.67 dB pour la tritanopie.

Nous pouvons conclure que la méthode utilisée pour la correction de couleurs pour les dichromates a atteint son objectif (les images utilisées dans le test sont le plus mauvais cas pouvant se présenter à un daltonien). Un dichromate pourra faire la séparation entre les objets dont il faisait confusion avant la correction de l'image. Cependant, cette méthode présente quelques limites qui concernent les couleurs perçues par le daltonien. Prenons le cas de la deuteranopie, nous avons testé la méthode avec une personne deuteranope avec la figure 4.19. Le sujet remarque le changement effectué sur la bande verte de l'image après la correction, par contre la couleur rouge disparaît et il la perçoit comme du vert alors qu'elle apparaissait rouge pour lui. La même chose est remarqué lors de l'utilisation du simulateur de la vision dichromatique, la couleur rouge change d'apparence et devient verdâtre. Concernant le temps de calcul, il est estimé à 0.5 s.

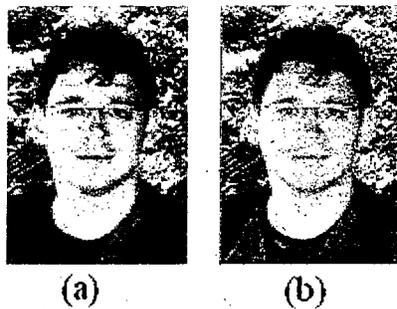


Figure 4.19 – (a) Image originale, (b) image corrigée pour le deuteranope.

## 4.2 Évaluation globale du système de visualisation contextuelle

Pour l'évaluation globale du SVC, nous nous contentons de l'évaluation subjective, parce que nous ne disposons pas de référence pour effectuer l'évaluation objective. Le protocole expérimental suivi dans cette évaluation est le suivant. Le SVC a été implémenté sur un ordinateur portable, muni d'une caméra qui joue le rôle du capteur des paramètres

## 4.2. ÉVALUATION GLOBALE DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

externes (intensité de lumière, couleur de lumière et position d'usager).

L'usager se déplace avec l'ordinateur dans différents milieux. D'un milieu sombre à un autre moyennement et fortement illuminé, et vice-versa. Il se déplace aussi entre des milieux de couleur de lumières différentes par exemple d'un milieu caractérisé par une lumière incandescente ( $F2$ ) à un autre possédant une lumière du jour ( $D65$ ) et donne son avis concernant les changements que l'image a subi. Enfin, l'usager prend plusieurs positions par rapport à l'écran et note les changements effectués sur l'image.

Nous avons constaté, pour le changement d'illumination, que lors du déplacement du milieu sombre au milieu fortement illuminé que le contraste de l'image a augmenté et que sa luminosité nous permet de percevoir l'image pour distinguer les détails (voir figure 4.20). De plus le reflet global engendré par la forte illumination sur l'écran est réduit. Cependant, le reflet spéculaire demeure toujours. Pour le réduire, il faut utiliser des filtres anti-reflet. Lors du passage de d'un milieu fortement illuminé à un milieu faiblement illuminé ou

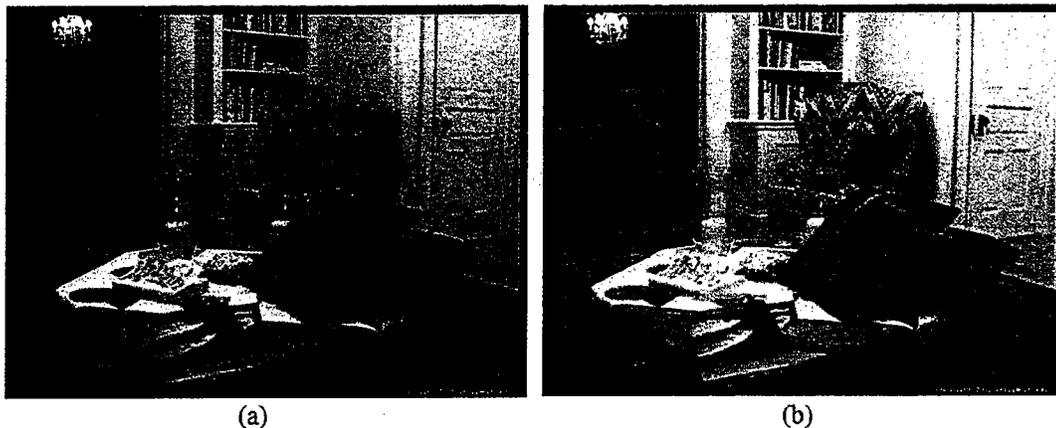


Figure 4.20 – Passage au milieu fortement illuminé : (a) Image affichée dans un milieu à l'intérieur (salle), (b) image affichée à l'extérieur sous une forte intensité lumineuse.

sombre, la luminosité de l'image diminue et l'image est perçue avec une intensité permettant de voir tous les détails sans être ébloui par l'intensité de l'écran (figure 4.21).

Passons maintenant à l'effet de la couleur de la lumière sur l'image. Lors de l'affichage d'une image prise sous une lumière incandescente ( $A$ ) dans un milieu fluorescent, l'image avait une apparence jaunâtre, après la correction, l'apparence de l'image a changé et donne l'impression d'être plus réaliste en regardant l'image visualisée.

## 4.2. ÉVALUATION GLOBALE DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

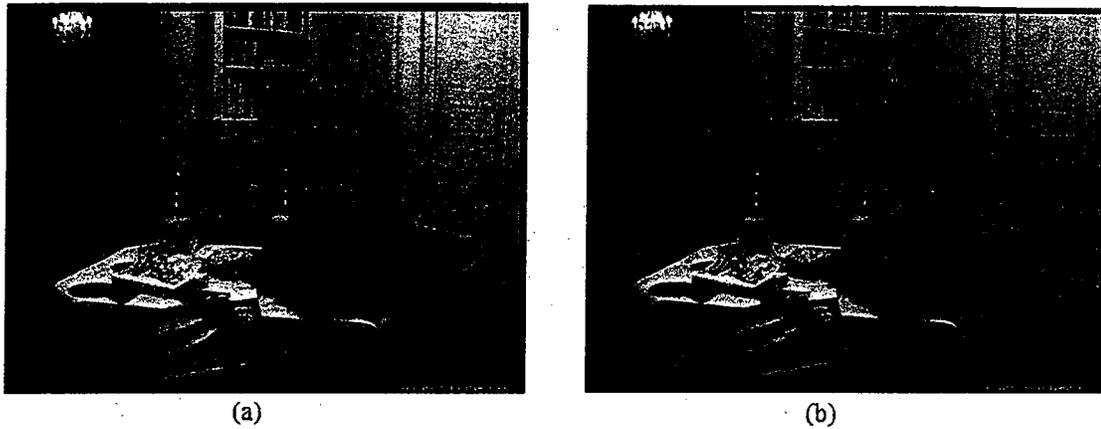


Figure 4.21 – Passage à l'obscurité : (a) Image affichée dans un milieu à l'intérieur (salle), (b) image affichée dans un milieu sombre.

Pour le passage à la lumière du jour ( $D65$ ), la même image perd son apparence jaunâtre et prend une apparence proche de la réalité comme le montre la figure 4.22.

Passons maintenant à l'influence de la position de l'utilisateur. Pour montrer l'effet de ce paramètre (position), l'utilisateur se met à droite et à gauche de l'écran. Nous constatons un changement dans l'angle d'affichage de l'image. Cette image tend à être le plus possible face à l'utilisateur 4.23.

## 4.2. ÉVALUATION GLOBALE DU SYSTÈME DE VISUALISATION CONTEXTUELLE

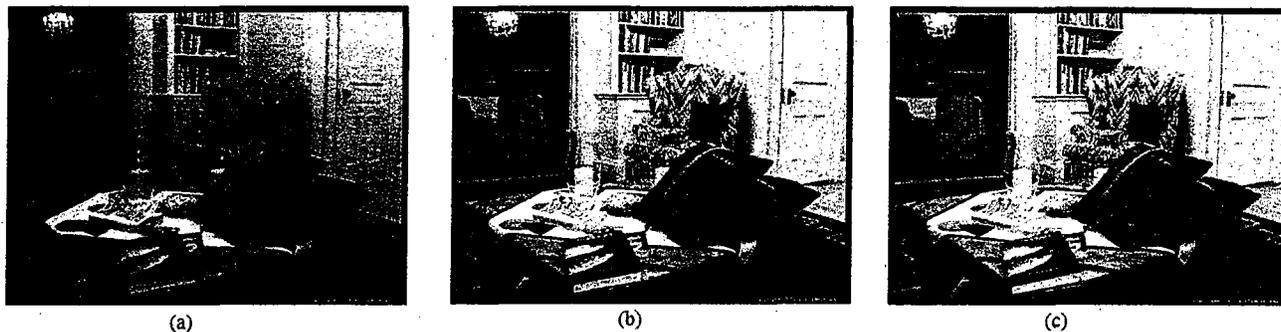


Figure 4.22 – Changement de couleur de la lumière : (a) Image capturée dans un milieu à l'intérieur sous l'illuminant *A*, (b) image affichée sous l'illuminant *D65*, (c) image affichée sous l'illuminant *D65*.

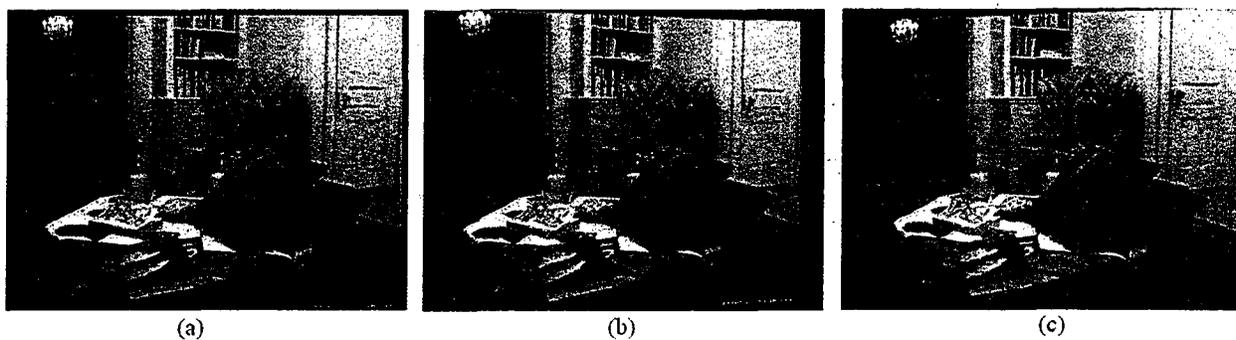


Figure 4.23 – Changement de position par rapport à l'écran : (a) Utilisateur face à l'écran, (b) utilisateur à droite de l'écran de  $18^\circ$ , (c) utilisateur à gauche de l'écran de  $18^\circ$ .

# Conclusion

La visualisation contextuelle est un concept important dans l'utilisation des appareils de communication mobile (PDA, Palm, téléphone intelligent). À partir des spécificités de l'utilisateur, les conditions d'illumination de l'environnement de visualisation et des caractéristiques de l'appareil mobile, il s'avère intéressant de concevoir un système qui prend en charge tous ces paramètres en entrée. Puis, il fournit une image à la sortie en fonction de ces paramètres. Cette image possède les propriétés d'être la plus proche possible de l'image au moment de son acquisition. Le SVC est le système qui réalise toutes les opérations allant de l'acquisition du contexte (environnement de visualisation, spécificités de l'utilisateur, caractéristique de l'écran) jusqu'à l'affichage de l'image. Nous avons présenté dans ce mémoire les méthodes permettant de réaliser un tel système ainsi que leur implémentation sur un dispositif mobile.

Nous avons vu, dans une première étape, le fonctionnement du système visuel humain et nous avons cité toutes les opérations qu'il peut effectuer ainsi que des anomalies qui peuvent l'affecter. Dans la deuxième étape, nous avons modélisé le SVC et différentes méthodes qu'il peut comporter. Nous avons tenu compte des différentes adaptations réalisées par le système visuel humain comme l'adaptation à la lumière et à l'obscurité, l'adaptation chromatique et l'appréciation des différents contrastes pour les appliquer, par la suite, dans l'affichage de l'image sur un écran. Le SVC comporte les opérations suivantes : l'adaptation chromatique, l'adaptation à la lumière, l'adaptation à l'obscurité, la compensation du reflet, l'adaptation géométrique et enfin, une méthode qui permet la réduction de la consommation de l'ECL du dispositif mobile. Dans la troisième étape, nous avons étudié le problème de daltonisme. Des méthodes pour la correction de la vision des couleurs pour les daltoniens ont été modélisées puis implémentées dans le SVC. En premier lieu, nous avons présenté la correction des couleurs pour les trichromates anormaux. Cette correction

## CONCLUSION

permettra, à cette catégorie de daltonien, une vision normale des couleurs. En second lieu, nous avons présenté une méthode pour la correction des couleurs pour les dichromates. Cette méthode permet aux dichromates de distinguer entre les différentes couleurs.

Dans la dernière étape, nous l'avons consacré pour l'évaluation des différentes méthodes implémentées dans le SVC. Des évaluations objectives et subjectives ont été effectuées sur les différentes opérations du SVC pour avoir une idée sur leurs efficacités. Nous avons pu confirmer les résultats obtenus par les critères objectifs avec des résultats subjectifs, notamment pour l'adaptation chromatique et l'adaptation au reflet. Pour les opérations évaluées avec les critères subjectifs uniquement, les résultats obtenus sont satisfaisants pour les différentes méthodes. Cependant, nous recommandons qu'il y ait des améliorations à porter sur le SVC, notamment dans l'estimation de l'intensité de la lumière ainsi que sa couleur. Pour améliorer le temps d'exécution, une implémentation qui prend en compte l'architecture électronique du dispositif est nécessaire pour assurer l'exploitation optimale de toutes les ressources disponibles. Pour la correction des couleurs pour les daltonien, nous recommandons de prendre en charge l'apparence des couleurs et ne pas se concentrer uniquement sur la séparation d'objets.

# Bibliographie

- [1] « Le test d'Ishihara », 2002.  
<http://daltonien.free.fr/>.
- [2] « Color Blindness Simulator », 2009.  
<http://www.etre.com/tools/colourblindsimulator/>.
- [3] B. BARRY, B. LEEA, C. VIVIANNE, P. JOEL et S. HAO. « Chromatic adaptation in red green cone-opponent retinal ganglion cells of the macaque ». Journal of Vision Research, 48(26) :2625–2632, 2008.
- [4] W. BEAUDOT. « Le traitement neuronal de l'information dans la rétine des vertébrés ». Thèse de doctorat, Département d'informatique, INPG (Grenoble), Grenoble, France, 1994.
- [5] B. BENOIT. « Le système visuel humain au secours de la vision par ordinateur ». Thèse de doctorat, INPG (Grenoble), INP Grenoble, France, 2007.
- [6] R. BOOTHE. Perception of visual environment. Springer, 2002.
- [7] H. BRETTEL, F. VIÉNOT et J. MOLLON. « Computerized simulation of color appearance for dichromats ». Journal of Optical Society of America, 14(10) :2647–2656, 1997.
- [8] H. BRETTEL, F. VIÉNOT et J. MOLLON. « Digital Video Colourmaps for Checking the legibility of Displays by Dichromats ». Journal of Color Research and Application, 24(4) :243–252, 1999.
- [9] H. CAULFIELD, J. FU et S. YOO. « Artificial color image logic ». Information Sciences, 167(14) :1–7, 2004.

## BIBLIOGRAPHIE

- [10] W. CHENG, H. YU et P. MASSOUD. « Power minimization in a backlit TFT-LCD display by concurrent brightness and contrast scaling ». IEEE Transactions on Consumer Electronics, pages 25–32, 2004.
- [11] I. CHOI, H. SHIM et N. CHANG. « Low-power color TFT LCD display for hand-held embedded systems ». Dans Proceedings of the 2002 international symposium on Low power electronics and design, pages 112–117, 2002.
- [12] A. DEVLIN. « Perceptual Fidelity for Image Display ». Thèse de doctorat, Computer Science, University of Bristol, Bristol, UK, 2004.  
<http://www.cs.bris.ac.uk/Publications/Papers/2000103.pdf>.
- [13] F. DHALLEINE. « Modélisation d'un système de visualisation contextuelle ». Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Département d'informatique, Sherbrooke, Québec, Canada, 2007.
- [14] F. DURAND et J. DORSEY. « Interactive Tone Mapping ». Dans Proceedings of the Eurographics Workshop on Rendering Techniques, pages 219–230, London, UK, 2000.
- [15] J. ELKINS. How to use your eyes. Routledge, 2000.
- [16] M. FAIRCHILD. Color appearance models. Wiley, 2005.
- [17] A. FERWERDA. « Elements of Early Vision for Computer Graphics ». IEEE Computer Graphics and Applications, 21(5) :22–33, 2001.
- [18] A. FERWERDA, N. PATTANAİK, P. SHIRLEY et P. GREENBERG. « A model of visual adaptation for realistic image synthesis ». Dans Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 249–258. ACM, 1996.
- [19] O. FIDANER, P. LIN et O. NEVRAN. « Analysis of Color Blindness ». Rapport Technique, Stanford University, Stanford Center for Image Systems Engineering, Stanford, California, USA, 2005.
- [20] N. HADJKHANI et R. TOOTELL. « Projection of rods and cones within human visual cortex ». Human Brain Mapping, 9 :55–33, 2000.
- [21] B. HEISELE, T. SERRE et T. POGGIO. « A Component-based Framework for Face Detection and Identification ». International Journal of Computer Vision, 74(2) :167–181, 2007.

## BIBLIOGRAPHIE

- [22] J. HELVING. « Implementing the Viola-Jones face detection algorithm ». Mémoire de maîtrise, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark, 2008.
- [23] Y. HIGASHIJIMA, S. TAKANO et K. NIIJIMA. « Face recognition using Long Haar-Like filters ». Dans Proceedings of the Image and Vision Computing, pages 43–48, 2005.
- [24] D. JIANG, Q. GUOPING et C. MIN. « Comprehensive Fast Tone Mapping for High Dynamic Range Image Visualization ». International Conference on Pattern Recognition, 2 :847–850, 2004.
- [25] N. KATOH, K. NAKABAYASHI, M. ITO et S. OHNO. « Effect of Ambient Light on Color Appearance of Soft Copy Images ». Journal of Electronic Imaging, 7(4) :794–806, 1998.
- [26] J. KIM, S. CHANG, L. CHEOL et H. YEONG. « Illuminant Adaptive Color Reproduction Based on Lightness Adaptation and Flare for Mobile Phone ». International Conference on Image Processing, pages 1513–1516, 2006.
- [27] G. KOVACS, A. KUCSERA, I. Gyorgy et K. WENZEL. « Enhancing Color Representation for Anomalous Trichromats on CRT Monitors ». Color Research and application, 26(61) :273–276, 2004.
- [28] Nabil Karim LAHMAR. « Apport du contenu visuel à l’adaptation chromatique ». Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Département d’informatique, Sherbrooke, Québec, Canada, 2007.
- [29] Y. LE GRAND. Optique physiologique. Masson, 1972.
- [30] C. LIANG, S. BOSSI, S. MOHAPATRA, M. EL-ZARKI, V. NALINI et D. NIKIL. « Quality adapted backlight scaling (QABS) for video streaming to mobile handheld devices ». Dans International conference on networking, pages 662–671, 2005.
- [31] Y. MA, X. GU et Y. WANG. « Color discrimination enhancement for dichromats using self-organizing color transformation ». Information Sciences, 179(6) :830–843, 2009.
- [32] T. MEDJELDI, D. ZIOU et A. BERNARDI. « Image Processing with Minimal Energy Application to the Visual Communication Systems ». submitted to Journal of Visual Communication and Image Representation, 2008.

## BIBLIOGRAPHIE

- [33] K. NAOYA et K. NAKABAYASHI. « Applying Mixed Adaptation to Various Chromatic Adaptation Transforms ». Dans Proceedings of Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems Conference, pages 299–305, Montréal, QC, Canada, 2001.
- [34] N. OHTA et A. ROBERTSON. Colorimetry. Wiley, 2006.
- [35] E. PELI. « Contrast in Complex Images ». Journal of Optical Society of America, 7(10) :2032–2040, 1990.
- [36] O. RINNER et R. KARL. « Time course of chromatic adaptation for color appearance and discrimination ». Journal of Vision Research, 40(14) :1813–1839, 2000.
- [37] G. ROUGERON et B. PÉROCHE. « Color Fidelity in Computer Graphics : a Survey ». Computer Graphics Forum, 17(1) :1067–1081, 2002.
- [38] H. ROWLEY, S. BALUJA et T. KANADE. « Neural Network-Based Face Detection ». IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 20(1) :23–38, 1998.
- [39] H. SCHNEIDERMAN et T. KANADE. « Object Detection Using the Statistics of Parts ». International Journal of Computer Vision, 56(3) :151–177, 2004.
- [40] G. SCHULTZ. « Nobel prize 1994 for Medicine/Physiology ». Mol.Med., 73 :121–122, 1995.
- [41] Y. SEUNGJI, M. YONG, Edward K. et J. LEE. « Quantification and Standardized Description of Color Vision Deficiency Caused by Anomalous Trichromats Part I : Simulation and Measurement ». Journal of Image and Video Processing, 2008(7) :1–9, 2008.
- [42] Y. SEUNGJI, M. YONG, Edward K. et J. LEE. « Quantification and Standardized Description of Color Vision Deficiency Caused by Anomalous Trichromats Part II : Modeling and Color Compensation ». Journal of Image and Video Processing, 2008(7) :1–12, 2008.
- [43] A. SHARMA. Understanding Color Management. Thomson, 2004.
- [44] S. SÜSTRUNK, J. HOLM et G. FINLAYSON. « Chromatic Adaptation Performance of Different RGB Sensors ». Dans IS&T/SPIE Electronic Imaging, volume 4300, pages 172–183, San Jose, CA, USA, 2001.
- [45] P. SUDEEP, L. MANEV, M. SHIVAJIT, D. NIKIL et V. NALINI. « Dynamic Backlight Adaptation for Low-Power Handheld Devices ». IEEE Design and Test of Computers, 21(5) :398–405, 2004.

## BIBLIOGRAPHIE

- [46] P. VIOLA et M. JONES. « Robust Real-Time Face Detection ». International Journal of Computer Vision, 57(2) :137–154, 2004.
- [47] V. WEIGER et T. GEVERS. « Color constancy based on the grey-edge hypothesis ». Dans Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, pages 722–725, 2005.
- [48] G. WYSZECKI et W. STILES. Color science. Wiley, 2000.
- [49] M. YANG, D. KRIEGMAN et N. AHUJA. « Detecting Faces in Images : A Survey ». IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 24(1) :34–58, 2002.
- [50] M. YONG et Y. SEUNGJI. « Color adaptation for anomalous trichromates ». International Journal of Imaging Systems and Technology, 14(1) :16–20, 2004.
- [51] R. ZHANG, P. TSAI, J. CRYER et M. SHAH. « Shape from Shading : A Survey ». IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21 :690–706, 1999.
- [52] G. ZHIBING et W. SHIN-TSON. Transflective Liquid Crystal Displays. Wiley, 2010.
- [53] D. ZIOU et K. LAHMAR. « Contribution of Visual Content to chromatic Adaptation ». article à soumettre.