

# Etude préliminaire de l'influence des fréquences spatiales sur l'apparence couleur

Olivier Tulet

Mohamed-Chaker Larabi

Christine Fernandez-Maloigne

Laboratoire SIC FRE 2731

Université de Poitiers

Blvd Marie et Pierre Curie, BP30179

86962 Futuroscope Cedex

{tulet, larabi, maloigne}@sic.univ-poitiers.fr

Concours Jeune Chercheur : Oui

## Résumé

Aujourd'hui, garantir la qualité couleur des produits est un réel challenge. C'est pour cette raison que les modèles d'apparence couleur ont été développés. Ces modèles corrigent et retournent la couleur perçue indépendamment de l'environnement. Ils prennent en compte de nombreux phénomènes qui peuvent altérer notre perception. Cependant ces modèles ne tiennent pas compte de certains phénomènes comme la sensibilité aux fréquences spatiales. Dans cette contribution, une approche basée sur des tests psychophysique pour résoudre ce problème est décrite. Ces tests sont basés sur un ajustement de la clarté, de la chroma et de la teinte de stimuli pour quantifier l'influence des fréquences spatiales sur la perception de l'observateur. Des résultats encourageants ont été obtenus et sont décrits dans ce papier.

## Mots clefs

CIECAM, fréquences spatiales, tests psychophysiques, modèle d'apparence couleur.

## 1 Introduction

De nos jours, la qualité de la couleur est un challenge très important dans l'industrie. En fonction du média sur lequel on se trouve, la couleur ne semble pas toujours identique comme par exemple l'image à l'écran qui semble différente de sa reproduction sur papier via une imprimante. Ce problème concerne le wysiwyg (what you see is what you get) pour lequel de nombreux modèles d'apparence couleur (CAM) ont été développés[1].

Le principal objectif du CAM est d'assurer une bonne reproduction de la couleur à travers différents média en introduisant les caractéristiques du système visuel humain (SVH)[2]. De nombreux CAM existent et sont dédiés à diverses applications (industrie textile, imprimerie, etc.).

Ces modèles ont été développés pour répondre à la requête incessante du monde industriel qui a besoin de standards. Ainsi, la CIE (Commission Internationale de l'éclairage) a normalisé en 1997 le CIECAM97 qui a ensuite été amélioré pour devenir le CIECAM02. Le CAM normalisé par la CIE prend en compte l'environnement d'un objet coloré pour compenser l'influence de ce dernier sur notre perception de la couleur.

La description du CIECAM est donnée par la figure 1 [3].

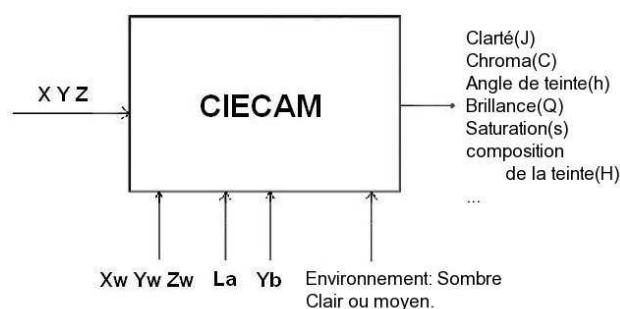


Figure 1 – Diagramme d'entrée/sortie du CIECAM

Cette figure décrit les entrées/sorties du CIECAM où les valeurs d'un stimulus d'entrée (dans l'espace de couleur XYZ) sont converties en attributs perceptuels en fonction de l'environnement donné.

Le but de cette transformation est de décorrélater la perception de ce stimulus de son environnement. Pour ce faire, le CAM passe par des étapes complexes comme l'adaptation chromatique, le calcul de la réponse des cônes et d'autres pour obtenir des attributs perceptuels.

Le CIECAM02 prend en compte un grand nombre de phénomènes relatifs à l'environnement du stimulus comme

l'effet de Hunt ou l'effet de Stevens, etc. Cependant la sensibilité aux fréquences spatiales n'est prise en compte dans aucun modèle d'apparence couleur. C'est sur cette problématique que nous nous sommes penché. Ainsi, comme le montre la figure 2-a, un stimulus placé dans deux environnements différents (noir et blanc) paraîtra différent d'un point de vue perceptuel. Ce même stimulus est corrigé par le CIECAM02 (figure 2-b) donnant ainsi un aspect similaire quelque soit l'environnement. Cependant en le modulant par une fréquence spatiale donnée, la correction devient inefficace.

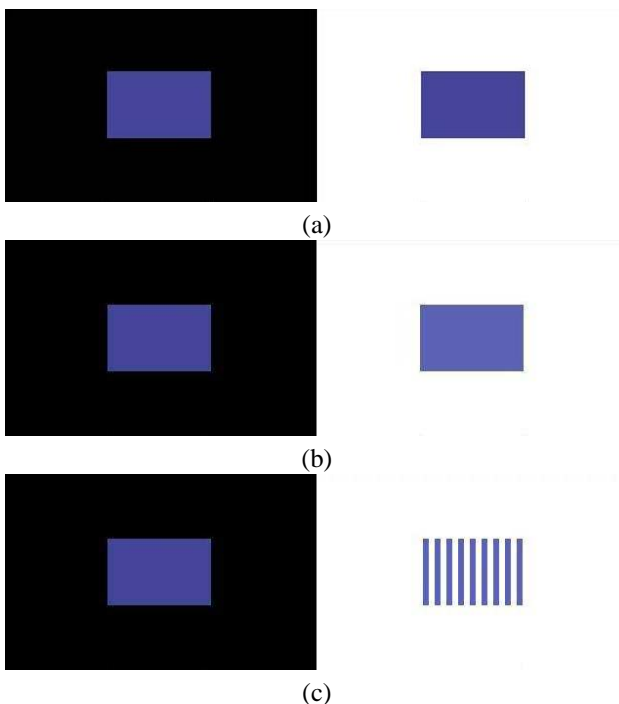


Figure 2 – a : Stimuli uniformes avec différents arrières plan. b : Couleur de (a) corrigée, c : introduction d'une fréquence spatiale à (b)

Ce problème est un vrai challenge car beaucoup d'images sont naturellement construites de fréquences spatiales (comme pour une texture par exemple). C'est pourquoi bon nombre d'auteurs recommandent d'intégrer ce phénomène aux CAMs [1, 4, 5] tout en mesurant les difficultés liées à cette tâche.

Ainsi, le but de ce travail est d'étudier l'effet des fréquences spatiales sur l'apparence de la couleur et de l'intégrer dans le CAM normalisé par la CIE.

L'approche proposée ainsi que les expériences menées seront décrites dans la section 2. La section 3 est dédiée aux résultats obtenus. Cette contribution se terminera par une conclusion dans laquelle nous décrirons les travaux à venir.

## 2 Approche proposée

Comme décrit précédemment, le but de cette étude est de quantifier l'influence des fréquences spatiales sur la perception de la couleur.

Cette quantification permettra de corriger les variations de la perception dues aux fréquences tout comme les modèles courants corrigent les variations dues aux données relatives à l'environnement.

Le but de cette étude est d'extraire un modèle du comportement du SVH à l'aide de tests psychophysiques. Ces tests vont permettre de mesurer la différence perçue entre un motif uniforme et un motif avec une certaine fréquence spatiale. Il va falloir réaliser cette mesure sur trois critères de sorties du CIECAM que nous avons choisi pour leur pertinence. Ceci permettra de voir comment ces derniers varient en fonction de la fréquence spatiale. Ces tests seront aussi réalisés sur les couleurs primaires afin de mesurer l'influence des fréquences sur telle ou telle composante couleur.

Les tests psychophysiques nécessitent une préparation rigoureuse autant pour la création des motifs que du choix de l'environnement. Les sections suivantes décrivent cette préparation.

### 2.1 Salle psychophysique

Pour obtenir une bonne quantification de l'influence des fréquences spatiales avec des tests psychophysiques un environnement normalisé doit être utilisé.



Figure 3 – Salle psychophysique

Conformément au standard ISO 3664 [6] cet environnement doit respecter plusieurs conditions comme par exemple la couleur des murs qui doit être neutre ou la chromaticité de l'arrière plan qui doit correspondre à un illuminant D65.

Notre salle psychophysique répond à toutes les conditions de ce standard et est donc utilisée pour notre expérimentation. Un autre point important est le choix et la calibration de l'écran. Pour cette expérience, nous utilisons un SONY® FW900 de ratio 16/10 et de dia-

gonale 24 pouces. Le calibrage couleur du tube CRT a été réalisé avec le calibre d'écran EYE-ONE monitor Mach 1.1 color calibrator du GretagMacbeth® et vérifié (éventuellement corrigé) à l'aide des mesures effectuées avec un spectro-colorimètre PR-650 SpectraScan.

## 2.2 Présentation des stimuli

Le cône de vision binoculaire est optimum pour un angle de 10-12 degrés d'angle visuel. C'est pourquoi un rectangle s'étendant sur une surface de 10 degrés d'angle visuel a été choisi pour cette étude. Les stimuli sont construits avec les trois couleurs primaires (rouge, vert, bleu) avec des fréquences variant de 1 à 17 cpd et sont modulés en crénaux. Ces configurations permettent d'obtenir 63 tests différents. La figure 4 donne un exemple de condition de visualisation.

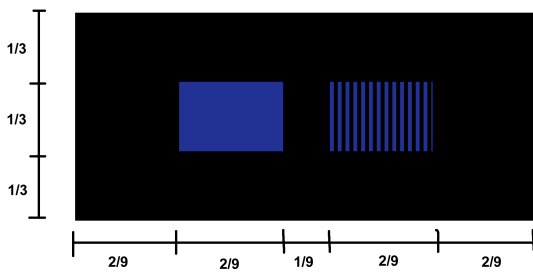


Figure 4 – Exemple de test psychophysique avec un stimulus bleu à une fréquence donnée

Cette figure montre la répartition du stimulus sur l'écran. Avec la distance écran-observateur d'un mètre cinquante et la résolution de l'écran on retrouve le cône de vision décrit plus haut.

## 2.3 Procédure de test

Dans ce test psychophysique, il est demandé à l'observateur d'ajuster un critère sur la couleur comme la clarté (J), la chroma (C) ou la teinte (h) dans le but d'obtenir une similarité entre un motif uniforme et un motif modulé par une fréquence spatiale. Cette première étude a été réalisée avec un arrière plan noir dans le but de réduire le nombre de tests psychophysiques. Ces tests prennent beaucoup de temps d'une part pour la construction des motifs et d'autre part pour le recrutement et le passage des observateurs.

La procédure de test est la suivante :

- Après différentes mesures sur sa vision (tests d'Ishihara, tests d'acuité visuelle) l'observateur est installé dans la salle psychophysique à la distance d'un mètre cinquante de l'écran.

- La procédure de test lui est expliquée ainsi que les différentes tâches à accomplir.
- Le test commence, et l'observateur doit régler un et un seul des trois critères (J,C,h) du motif possédant une fréquence spatiale dans le but d'obtenir la même couleur que le motif de référence. Le critère que l'utilisateur peut régler lui est inconnu pour ne pas influencer son jugement.
- Ce dernier point est répété 63 fois avec trois couleurs primaires, sept fréquences différentes et 3 critères de sortie du CIECAM02 (J,C,H)

De plus la séquence de test est tirée aléatoirement à chaque nouvel observateur.

## 2.4 Observateurs

Pour obtenir des statistiques correctes, l'ITU [ITU500] recommande d'avoir au minimum 15 observateurs. Le tableau 1 donne La répartition des observateurs qui ont passé le test en fonction de leur sexe et de leurs affections visuelles.

	Normal	Myope	Autres affections	Total
Homme	10	5	1	16
Women	2	3	0	5
Total	12	8	1	21

Tableau 1 – Tableau des observateurs

## 3 Résultats et discussion

Cette section décrit les résultats de notre expérience ainsi que le développement de notre modèle.

Les figures 5, 6 et 7 montrent l'écart perçu par l'observateur entre le motif uniforme et celui avec une fréquence spatiale sur l'un des trois critères J, C et h. Ces figures illustrent le fait que sur un fond noir la différence perçue sur la clarté et sur la chroma augmentent en fonction de la fréquence spatiale. La figure 7 montre un comportement angulaire, ce qui confirme la nature de la teinte.

Ce comportement était prévisible à cause de l'augmentation de la répartition du noir sur le motif. Cependant cette expérience permet de quantifier cette augmentation qui n'est pas linéaire. Quelques phénomènes incompréhensibles sont encore visibles aux fréquences moyennes (9 à 11 cpd). Ces problèmes seront étudiés dans de prochaines expériences. La seconde partie de l'étude permet de regarder l'influence des fréquences spatiales séparément sur les hommes et les femmes. La figure 8 illustre le fait que les femmes semblent plus sensibles que les hommes pour une variation des fréquences spatiales sur la teinte du rouge.

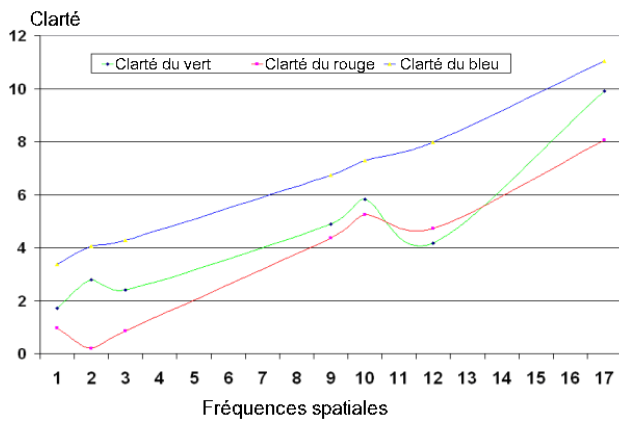


Figure 5 – Clarté perçue en fonction de la fréquence spatiale sur un arrière plan noir

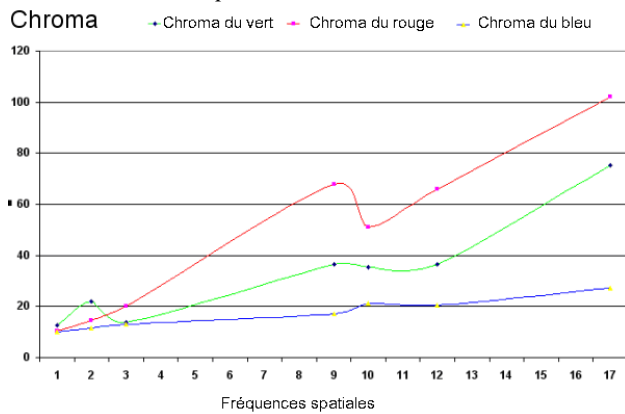


Figure 6 – Chroma perçue en fonction de la fréquence spatiale sur un arrière plan noir

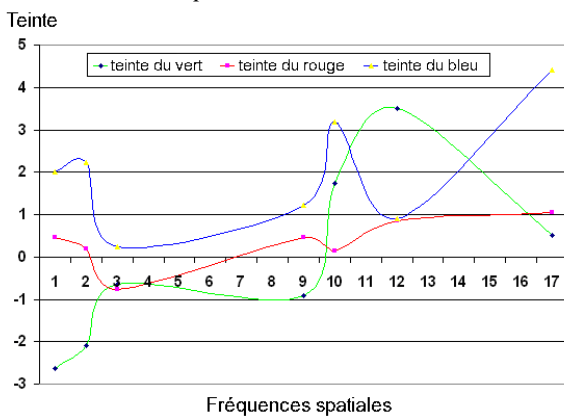


Figure 7 – Teinte perçue en fonction de la fréquence spatiale sur un arrière plan noir

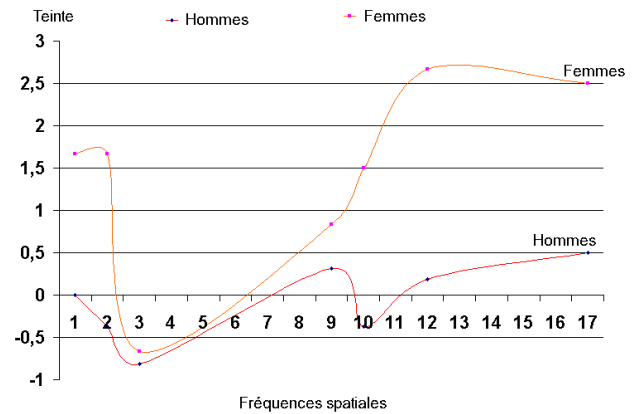


Figure 8 – Teinte du rouge perçue par les hommes et les femmes en fonction de la fréquence spatiale pour un arrière plan noir

Les données obtenues par la campagne d'évaluation ont permis la construction d'un premier modèle. Pour certaines fréquences, un grand écart-type a été mesuré entre les différents observateurs, c'est pourquoi le critère de Chauvenet [7] a été utilisé pour rejeter les valeurs incohérentes. Le modèle simple choisi est une courbe de degré 2.

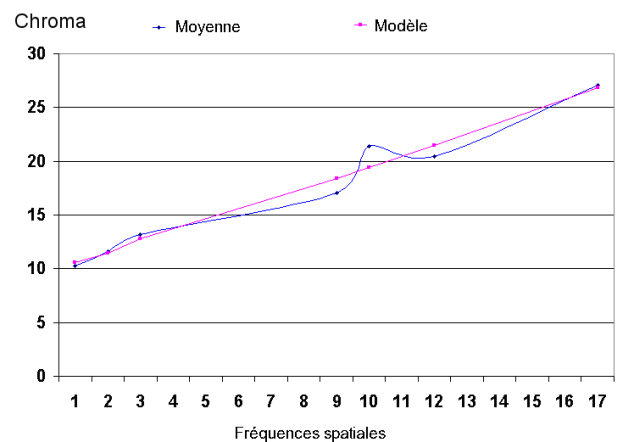


Figure 9 – Courbe obtenue pour la chroma du bleu et son modèle

La figure 9 montre un exemple de modélisation de la chroma du bleu. On peut voir que le modèle suit la courbe de résultat obtenue par le test. Cependant on peut observer qu'il y a certains problèmes aux alentours des fréquences spatiales 10 et 12.

Ce modèle a été intégré au CIECAM02 afin de corriger des motifs modulés par une fréquence spatiale. Un exemple est donné par la figure 10. Dans cette figure, il est possible de constater que le motif de la figure 10-b paraît plus similaire que celui de la figure 10-a.

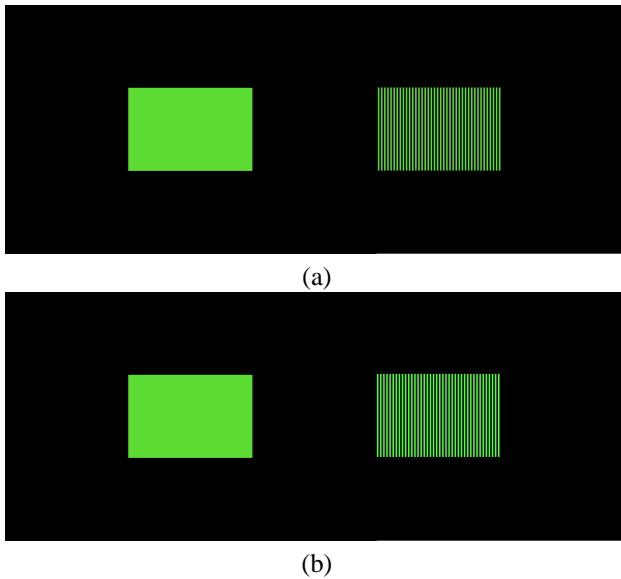


Figure 10 – (a) motif sans correction, (b) motif avec correction

## 4 Conclusion

Dans cette contribution, une méthode basée sur des tests psychophysiques qui permettent de prendre en compte l'influence des fréquences spatiales sur l'apparence de la couleur et ses résultats ont été décrits. Résultats avec lesquels un premier modèle a été obtenu et intégré dans le CIE-CAM02. La correction obtenue avec ce modèle est très encourageante.

Il serait intéressant d'affiner les résultats, l'expérience et le modèle pour prendre plus précisément en compte un comportement du SVH en fonction des fréquences spatiales. L'influence de l'arrière plan est aussi une étude à mener et des tests sur ce dernier point sont en cours. Une fois toutes ces expériences menées et les résultats obtenus validés, il serait intéressant d'intégrer une correction de l'apparence de la couleur en fonction des fréquences temporelles, ce qui est essentiel dans le domaine de l'apparence pour des images animés.

## Références

- [1] M.D.Fairchild. *Color appearance model*. Addison-Wesley, Massachusetts, 1997.
- [2] N. Moroney, M.D. Fairchild, R.W.G. Hunt, C.J Li, M.R. Luo, , et T. Newman. The ciecam02 color appearance model. Dans *IS&T/SID 10th Color Imaging Conference*, pages 23–27, Scottsdale, Novembre 2002.
- [3] Garette M. Johnson. The quality of appearance. *Munsell Colour Science Laboratory*, Janvier.
- [4] M.R. Luo et R.W.G. Hunt. The structure of the cie 1997 colour appearance model (ciecam97s). Dans *Color Research and Application*, pages 138–146, University of Derby, Mackworth Rd., Derby DE22 3BL, England, Décembre 1998.
- [5] Brian A. Wandell. *Foundations of vision*. Sinauer Associates, Inc, Massachusetts, 1995.
- [6] ITU-R Recommendation BT.500-10. *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*. ITU, Geneva Switzerland, 2000.
- [7] John R. Taylor. *The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. Softback, Colorado, 1997.