

Caractérisation spectrale d'un système d'impression jet d'encre à huit encres

Spectral characterization of an eight colorant inkjet system

Jon Y. Hardeberg, Jérémie Gerhardt

The Norwegian Color Research Laboratory, Gjøvik University College, Postbok 191, Teknologivn 22, 2802 Gjøvik, Norway
jon.hardeberg@hig.no, jeremie.gerhardt@hig.no

Manuscrit reçu le 14 janvier 2005

Résumé et mots clés

La mise au point expérimentale d'un système d'impression jet d'encre à huit canaux est présentée dans cet article. Le but de ce système est d'effectuer de la reproduction spectrale, c'est-à-dire de reproduire des images dans lesquelles les réflectances spectrales d'une scène ou d'images originales sont fidèlement reproduites. Pour caractériser le système, un modèle spectral de l'imprimante basé sur les équations du modèle spectral de Neugebauer modifié par Yule et Nielsen (YNSN) est ici exposé, discuté et évalué expérimentalement.

Dans sa forme initiale le modèle YNSN permet d'obtenir rapidement une estimation du comportement colorimétrique et spectral de l'imprimante. Connaissant les limites de ce modèle le travail de recherche présenté ici est une première étape en vue de futurs travaux en reproduction spectrale.

Reproduction spectrale, modèle spectrale d'imprimante, Neugebauer, Yule-Nielsen, système jet d'encre, imagerie multispectrale.

Abstract and key words

The experimental setup of a 8-channel inkjet printing system is proposed in this article. The aim is spectral reproduction, that is to reproduce picture within a spectral match with an original picture. A spectral model of the printer based on the Yule-Nielsen modified spectral Neugebauer YNSN equation is presented, discussed, and evaluated experimentally. This model can provide a fast estimate of the color response and spectral response of the printer. Although the spectral and colorimetric precision of the printer model leaves room for improvement, the presented research forms an interesting foundation for further research in the field of spectral color reproduction.

Spectral reproduction, spectral inkjet printer model, Neugebauer, Yule-Nielsen, inkjet printer, multispectral imaging.

Remerciements

Nous tenons à remercier Franck Fléty, ingénieur étudiant de l'École Française de Papeterie et des industries graphiques, qui a contribué à cette recherche lors d'un stage de fin d'étude dans notre laboratoire. Nous remercions également Jesper Hyldager et Unita ApS pour nous avoir fourni un jeu de cartouches d'encre pour nos expériences, ainsi que Lawrence Taplin pour son aide précieuse en Matlab. Nous sommes reconnaissant pour le support financier apporté par le Research Council of Norway, ainsi que le soutien apporté par les autres membres du Norwegian Color Research Laboratory, en particulier Sven Erik Skarsbø, Ivar Farup, Peter Nussbaum, and Ali Alsam.

1. Introduction

Il y a presque trente ans le professeur Hunt établissait le concept de reproduction spectrale [1]. Pourtant l'idée de reproduire une image ayant le même comportement physique que son original n'a pas été beaucoup étudiée depuis [2]. Après quelques techniques photographiques pionnières [3] dans ce domaine ce n'est que récemment que des études dans le domaine de la reproduction couleur utilisant des systèmes d'impression multi-canaux se sont penchées à nouveau sur ce sujet [4] [5] [6] [7] [8] [9].

Notre objectif est de reproduire une image avec une correspondance spectrale avec son original ou une scène photographique, ceci pour éliminer les problèmes de métamérisme liés au système classique d'impression à trois ou quatre encres. Une correspondance métamérique est valable uniquement sous un illuminant spécifique alors qu'une correspondance spectrale est vraie sous tous les illuminants.

Cette correspondance spectrale est possible uniquement par un choix judicieux de colorant [8] et un algorithme de sélection d'encre adéquat. Une première solution pourrait être d'obtenir une correspondance colorimétrique en utilisant un système d'impression classique et d'ajouter des encres pour réduire le métamérisme [9]. Une autre possibilité serait d'utiliser un modèle spectral de l'imprimante, le modèle spectral de Neugebauer [10] modifié par Yule et Nielsen [11] par exemple. Cette article décrit les résultats obtenus avec un système d'impression jet d'encre comprenant une imprimante jet d'encre disposant de cartouche interchangeables plus un jeu de cartouches. La feuille de papier à imprimer est passée huit fois dans l'imprimante, autant de fois que d'encres utilisées. Ce n'est pas un processus optimal, l'emploi de huit encres en même temps provoque des problèmes d'alignement dus aux multiples passages du papier dans l'imprimante. Néanmoins l'approche est suffisante pour des expérimentations scientifiques et nous permet de démontrer le concept de reproduction spectrale.

Premièrement nous présentons dans cet article le matériel utilisé pour nos expériences. Dans la deuxième partie nous introduisons le modèle utilisé ainsi qu'une explication de notre approche par modélisation spectrale de notre système d'impression à huit encres. Puis après la description des paramètres de fonctionnement du modèle spectral, nous discuterons les résultats obtenus dans nos expériences et des travaux en perspectives.

2. Equipement et matériel

Nous avons utilisé l'imprimante jet d'encre Hewlett Packard Deskjet 1220c pour nos expériences. Cette imprimante offre la possibilité de remplacement de la cartouche d'encre noire par d'autres couleurs. Ces cartouches supplémentaires ont été fournies par Collins Ink Corporation [12], voir figure 1. Le pilote de l'imprimante par défaut en travaillant sous WinXP n'a pas été utilisé car il ne fonctionnait qu'en mode RGB. Nous avons uti-

lisé le logiciel Ghostscript avec le pilote Uniprint et les options «HP Deskjet 690 Normal gamma 2.0». Ainsi sur un fichier CMJN envoyer à l'impression seul le plan noir était imprimé par l'encre présente dans l'emplacement de la cartouche noire. Les fichiers ont été imprimés avec un tramage par diffusion d'erreur de type Floyd-Steinberg [13].

Le modèle spectral a été mis en place avec Matlab 6.1. Les mesures des réflectances spectrales ont été prises par le spectrophotomètre Spectrolino de GretagMachbeth, mesures prises de 380 nm to 730 nm avec intervalles de 10 nm.

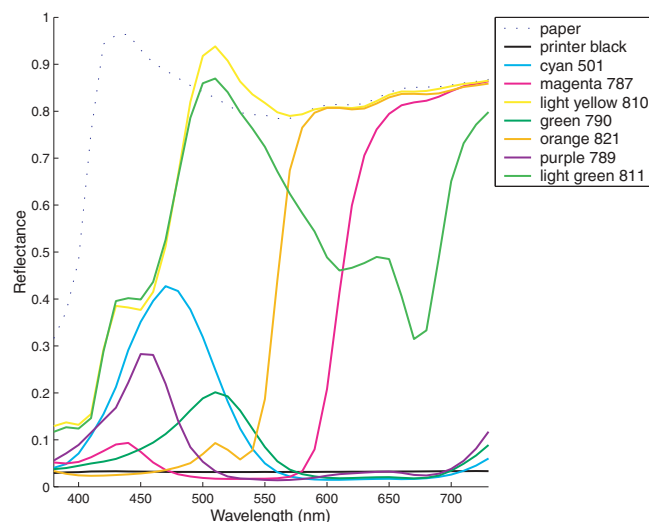


Figure 1. Réflectances spectrales des 8 encres et du papier à notre disposition.

3. Modélisation spectrale

3.1. Description du Modèle

Nous avons décidé d'utiliser le modèle spectral de Neugebauer modifié par Yule-Nielsen (YNSN) [14] pour caractériser le comportement spectral de notre imprimante. Dans sa forme initiale (équation 1) le modèle spectral de Neugebauer nous dit que la prédiction de la réflectance spectrale $\hat{R}(\lambda)$ d'une combinaison d'encre est égale à la somme pondérée des réflectances spectrales des Primaires de Neugebauer.

$$\hat{R}(\lambda) = \sum_{i=1}^{2^k} w_i R_{i,max}(\lambda). \quad (1)$$

On appelle Primaires de Neugebauer (PNs) toutes les combinaisons possible entre les encres utilisées pour l'impression. Si l'impression est effectuée avec k encres, ces primaires correspondent aux combinaisons à une, deux, trois jusqu'à k encres, avec ici $k > 3$. Huit encres ou colorants de base font corres-

pondre $2^k = 2^8 = 256$ PN. $R_{i,max}(\lambda)$ est la réflectance spectrale de la i ème PN où le max signifie que chaque encre présente dans la PN a une valeur de 100 % de recouvrement du papier, w_i est un facteur exprimant cette véritable valeur de recouvrement du papier pour chacune de ces PN, w_i est fonction des valeurs effectives de chaque colorant $c_{eff,j}$ constituant la PN,

$$w_i = \prod_{j=1 \rightarrow n} \left\{ \begin{array}{l} c_{eff,j} \text{ si l'encre } j \text{ est présente dans} \\ \text{l}'i\text{ème PN,} \\ (1 - c_{eff,j}) \text{ sinon.} \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Lorsqu'une goutte d'encre est déposée sur le papier une partie du colorant se répand sur la surface d'impression, ce qui résulte en un gain de taille de la goutte. La véritable valeur de recouvrement du papier pour une valeur théorique $c_{théo,j}$ envoyée à l'imprimante est appelée valeur effective $c_{eff,j}$ de recouvrement du papier.

Dans le cas d'une impression couleur trois encres, cyan, magenta et jaune (c_1 , c_2 et c_3), les $2^3 = 8$ PN seront les trois colorants cités, plus les combinaisons de cyan et magenta, cyan et jaune, magenta et jaune, cyan et magenta et jaune plus le papier. Les poids w_i associés à ces PN sont obtenus avec le modèle statistique de Demichel [15] (équation 2) et sont présentés pour trois colorants dans les équations suivantes :

$$\begin{aligned} w_0 &= (1 - c_1)(1 - c_2)(1 - c_3), \\ w_1 &= c_1(1 - c_2)(1 - c_3), \\ w_2 &= (1 - c_1)c_2(1 - c_3), \\ w_3 &= (1 - c_1)(1 - c_2)c_3, \\ w_{12} &= c_1c_2(1 - c_3), \\ w_{13} &= c_1(1 - c_2)c_3, \\ w_{23} &= (1 - c_1)c_2c_3, \\ w_{123} &= c_1c_2c_3, \end{aligned} \quad (3)$$

où par exemple w_0 est le poids associé au papier, w_1 le poids associé à l'encre cyan, w_{23} le poids associé à la PN constituée de magenta et de jaune et ainsi de suite. Le modèle de Demichel suppose que les gouttes d'encres sont réparties sur le papier de façon aléatoire. Il est intéressant de remarquer que la somme des poids obtenus par ce modèle $\sum w = 1$.

Pour améliorer le modèle de Neugebauer, Yule et Nielsen [11] ont introduit un facteur n dans l'équation de Neugebauer,

$$\hat{R}(\lambda) = \left(\sum_{i=1}^{2^K} w_i R_{i,max}(\lambda)^{1/n} \right)^n. \quad (4)$$

Ce facteur prend en compte les multiples interactions entre le papier et les encres [16], c'est-à-dire les rayons de lumière pénétrant le papier par une zone vierge d'encre et ressortant par des parties non vierges d'encre ainsi que les rayons pénétrant des régions recouvertes d'encre et ressortant par des parties vierges d'encre. Même si ce facteur peut s'expliquer physiquement [16]

il est normalement déterminé empiriquement. Quand n est égal à 1, l'équation 4 correspond au modèle spectral Neugebauer original décrit plus haut.

3.2. Construction du modèle

Il est nécessaire pour construire ce modèle de déterminer expérimentalement certains paramètres de l'équation 4, le facteur n , les réflectances spectrales des PN $R_{i,max}(\lambda)$ ainsi que les valeurs effectives de recouvrement du papier pour chaque encre $c_{eff,j}$ [17].

Pour cela nous avons imprimé et mesuré des rampes de chaque encre et les PN. Nos rampes sont constituées de 21 échantillons de valeur de recouvrement théorique $c_{théo,j}$ allant de 0 % à 100 %. Nous avons pour cela créé un fichier (voir figure 5) à imprimer comprenant les rampes, les PN et une partie constituée de 351 échantillons de composition aléatoire pour tester l'efficacité du modèle. Chaque pixel de chaque plan d'encre a un niveau $\in [0; 255]$, 0 % de valeur de recouvrement du papier pour un niveau à 0, 50 % pour un niveau à 127.5 et 100 % pour un niveau à 255.

Le facteur n est obtenu par itération en travaillant sur les rampes de chaque encre, voir figure 2. La valeur du facteur n donnant la plus petite différence par RMS (*Root Mean Square*) spectrale E_{RMS} [18] [16] entre les mesures des rampes et leurs prédictions avec notre modèle YNSN est sélectionnée. Les prédictions et mesures des rampes de l'encre noire et l'encre cyan sont présentées dans les figures 3 et 4.

Comme nous le voyons dans la figure 5 certaines parties du fichier test imprimé sont très sombres, en particulier les PN constituées de plus de 4 encres où le volume d'encre déposé est supérieur à 400 % par position imprimable. Pour contourner ce problème et réussir à évaluer notre modèle pour des zones

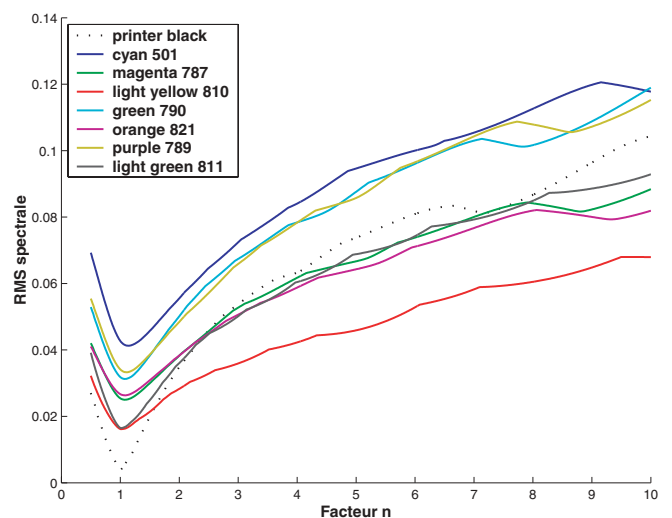


Figure 2. Evolution de la E_{RMS} entre les prédictions des rampes et leurs mesures suivant la valeur du facteur n pour le modèle de IMP100.

claires et des zones sombres avec plus de 4 encres, nous imprimons le même fichier avec 50 % comme valeur maximum de recouvrement du papier par colorant, figure 6.

Nous appellerons le premier fichier test l'imprimante 100 % (IMP100 figure 5) dont la valeur maximale de recouvrement par encre est 100 % et le second fichier l'imprimante 50 % (IMP50 figure 6) dont la valeur maximale de recouvrement par encre est 50 %. Le modèle de IMP50 utilise pour ses prédictions un facteur n déterminé à partir des rampes des encres de 0 à 50 % de recouvrement maximum ainsi que les valeurs des mesures des réflectances spectrales des PN dont chaque encre est mise au niveau maximum de 50 % de recouvrement.

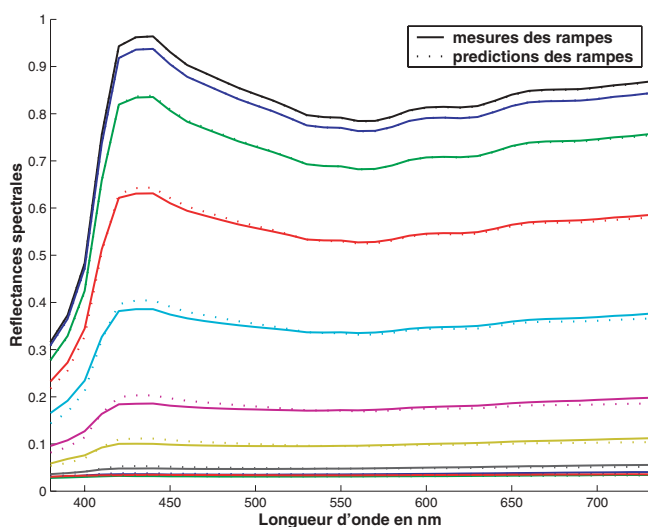


Figure 3. Mesures et prédictions des rampes de l'encre noire.

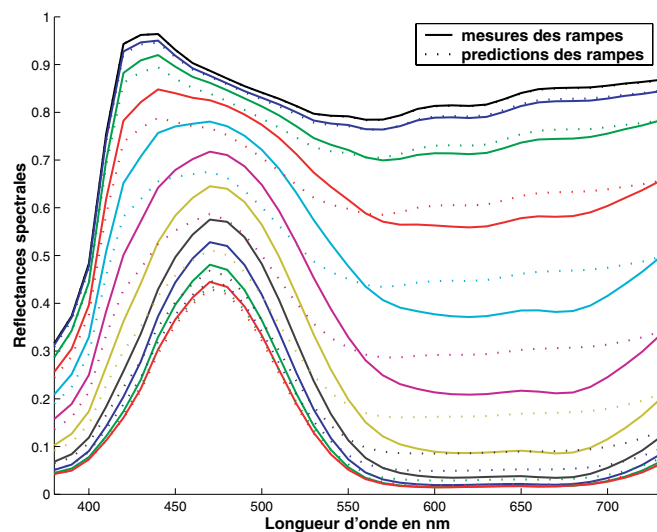


Figure 4. Mesures et prédictions des rampes de l'encre cyan.

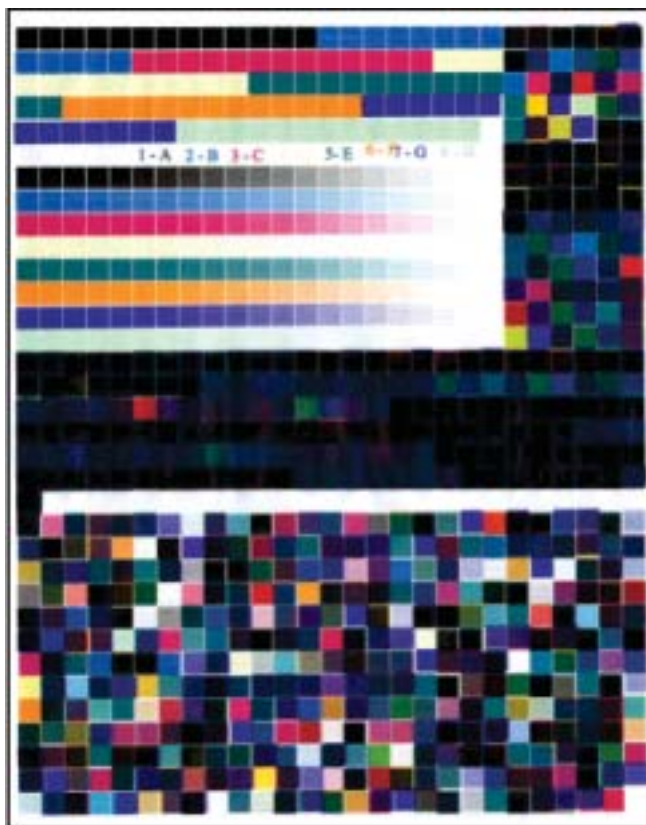


Figure 5. Mire imprimée avec l'imprimante 100% IMP100.



Figure 6. Mire imprimée avec l'imprimante 50% IMP50.

4. Résultats

Les mesures de la partie du fichier test créée aléatoirement sont comparées à leur prédiction obtenue par notre modèle. Nous utilisons plusieurs métriques pour évaluer la différence entre prédictions et mesures: différence E_{RMS} (équation 5), RMS spectrale relative E_{RRMS} (équation 6) et différence colorimétrique ΔE_{ab}^* [19], et ΔE_{94}^* [20] sous l'illuminant $D50$ et observateur à 2° .

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{36} \sum (r(\lambda_i) - \hat{r}(\lambda_i))^2}. \quad (5)$$

$$E_{RRMS} = 100 \sqrt{\frac{1}{36} \sum \left(\frac{r(\lambda_i) - \hat{r}(\lambda_i)}{r(\lambda_i)} \right)^2}. \quad (6)$$

Dans les équations ci-dessus $r(\lambda_i)$ et $\hat{r}(\lambda_i)$ représentent respectivement les réflectances spectrales mesurées et prédites pour chaque échantillon de couleur imprimé.

Les résultats de nos expériences, les prédictions des réflectances spectrales des deux imprimantes, pour deux valeurs du facteur n ($n = 1$ et une seconde valeur obtenue après optimisation, figure 2) sont présentées pour IMP100 dans le Tableau 1, pour IMP50 dans le Tableau 2.

À la lecture des résultats nous pouvons dire que le modèle de IMP50 est plus performant que le modèle de IMP100. Mise à part la différence par E_{RMS} les autres métriques (E_{RRMS} , ΔE_{ab}^* et ΔE_{94}^*) sont plus petites. Les échantillons imprimés par IMP100 étant très sombres les valeurs de réflectances sont peu élevées, ce qui explique les meilleures différences obtenues par E_{RMS} entre les deux modèles. De plus le facteur n obtenu après optimisation est proche de 1, ce qui explique également la faible amélioration des résultats pour cette seconde valeur du facteur n . Les répartitions des différences par E_{RRMS} et ΔE_{94}^* pour ces deux modèles, suivant le volume total d'encre par échantillon, sont présentées dans les figures 7 et 8.

Mais afin d'évaluer plus précisément ces deux modèles nous avons utilisé les paramètres du modèle de IMP100 pour prédire les réflectances des échantillons de test imprimés par IMP50, ainsi les mêmes combinaisons d'encres sont comparées en prédiction. Nous appellerons ce modèle le modèle de IMP100 bas niveau. Le tableau 3 présente les résultats des prédictions des échantillons de test de IMP50 avec le modèle de IMP100 bas niveau. Les figures 9 et 10 présentent ces prédictions suivant les métriques et distributions décrites précédemment, voir aussi figure 11 quelques exemples de prédictions par ces deux modèles avec les mesures spectrales des patches.

Le modèle de IMP50 est plus performant pour des combinaisons d'échantillon dont le volume d'encre total $< 400\%$. Nous observons que les échantillons du modèle de IMP100 sont mieux prédits pour des combinaisons à volume d'encrage élevé, volume total $> 300\%$. Globalement le modèle de IMP100 est plus performant que le modèle de IMP100 bas niveau. Le modè-

le de YNSN se comporte mieux pour prédire des combinaisons d'encre dont les valeurs de recouvrement sont proches des celles des PNs.

L'analyse de nos résultats, leur comparaison avec ceux d'autres chercheurs nous pousse à croire que des améliorations sont possibles, en effet Taplin et Berns [7] obtiennent une moyenne de RMS de 0.012 pour un système d'impression jet d'encre à 6 encres avec le modèle YNSN, tandis que Wyble et Berns [14] obtiennent 0.05 pour le même modèle avec 4 encres.

Adapter la valeur de recouvrement des colorants constituant les PNs $R_{i,max}(\lambda)$ suivant les combinaisons d'encre à prédire augmente les performances du modèle. Cette approche du modèle spectral de Neugebauer qui vise à utiliser plusieurs valeurs pour les PNs [21] et combiner au facteur n introduit par Yule et Nielsen [22] tend à produire les meilleurs prédictions. Mais cette dernière approche demande aussi de définir plus de paramètres pour construire le modèle spectral d'une imprimante [18].

Tableau 1. Moyennes des différentes métriques utilisées entre mesures et prédictions, mesures des échantillons imprimés par IMP100 et prédictions de ces échantillons par le modèle de IMP100.

n	E_{RMS}		$E_{RRMS}[\%]$		ΔE_{ab}^*		ΔE_{94}^*	
	Ave.	Max	Ave.	Max	Ave.	Max	Ave.	Max
1.000	0.0436	0.17	11.53	29.980	12.64	58.24	9.55	45.97
1.039	0.0438	0.17	11.55	28.963	12.57	57.56	9.53	45.42

Tableau 2. Moyennes des différentes métriques utilisées entre mesures et prédictions, mesures des échantillons imprimés par IMP50 et prédictions de ces échantillons par le modèle de IMP50.

n	E_{RMS}		$E_{RRMS}[\%]$		ΔE_{ab}^*		ΔE_{94}^*	
	Ave.	Max	Ave.	Max	Ave.	Max	Ave.	Max
1.000	0.0505	0.176	9.564	27.70	7.50	18.46	6.03	16.57
1.006	0.0504	0.176	9.545	27.61	7.48	18.35	6.02	16.50

Tableau 3. Moyennes des différentes métriques utilisées entre mesures et prédictions, mesures des échantillons imprimés par IMP50 et prédictions de ces échantillons par le modèle de IMP100.

n	E_{RMS}		$E_{RRMS}[\%]$		ΔE_{ab}^*		ΔE_{94}^*	
	Ave.	Max	Ave.	Max	Ave.	Max	Ave.	Max
1.000	0.071	0.179	12.892	26.486	12.93	31.02	10.05	21.870
1.039	0.073	0.187	13.278	27.536	12.94	30.74	10.17	21.864

Les autres sources d'erreurs proviennent de la prise de mesure, du comportement de l'imprimante, en effet devoir passer huit fois la feuille à imprimer induit des problèmes d'alignement évident. De plus le pilote utilisé ne permet pas de profiter pleinement de la résolution optimale de l'imprimante, ce qui occa-

sionne dans les bas niveaux des perturbations importantes. Enfin un choix de papier et d'encres sans agent fluorescent (contrairement à nos encres Light Yellow et Light Green) devraient augmenter les performances du modèle.

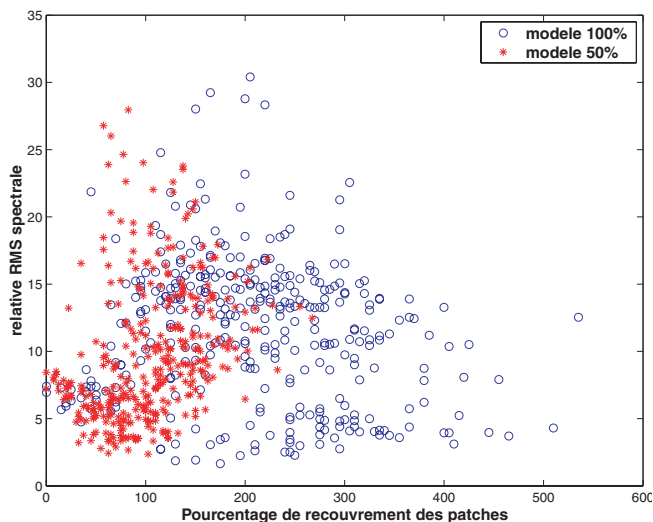


Figure 7. E_{RRMS} entre mesures et prédictions pour chaque échantillon en fonction du volume total d'encre par échantillon pour les IMP100 et IMP50.

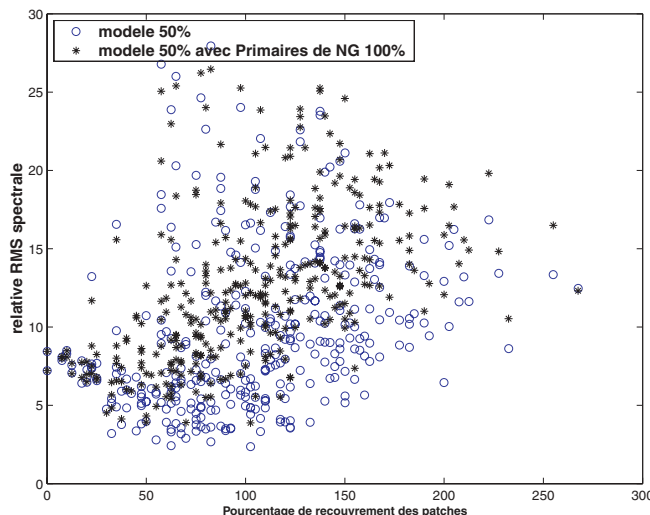


Figure 9. E_{RRMS} entre mesures et prédictions des échantillons de IMP50 avec modèle de IMP50 et modèle de IMP100 en fonction du volume total d'encre par échantillon.

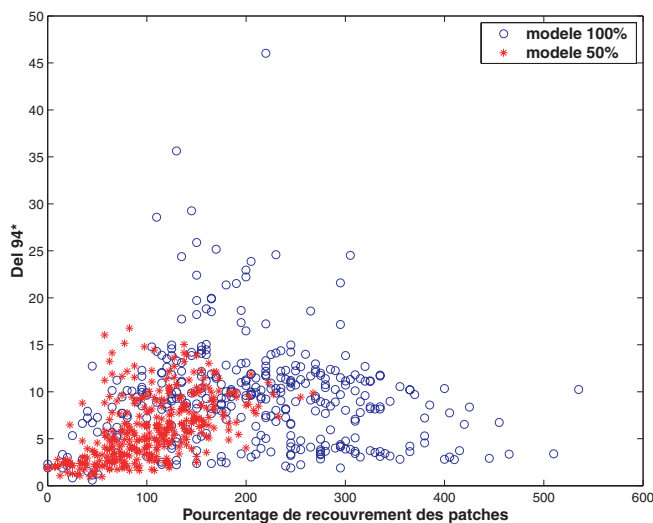


Figure 8. ΔE_{94}^* entre mesures et prédictions pour chaque échantillon en fonction du volume total d'encre par échantillon pour les IMP100 et IMP50.

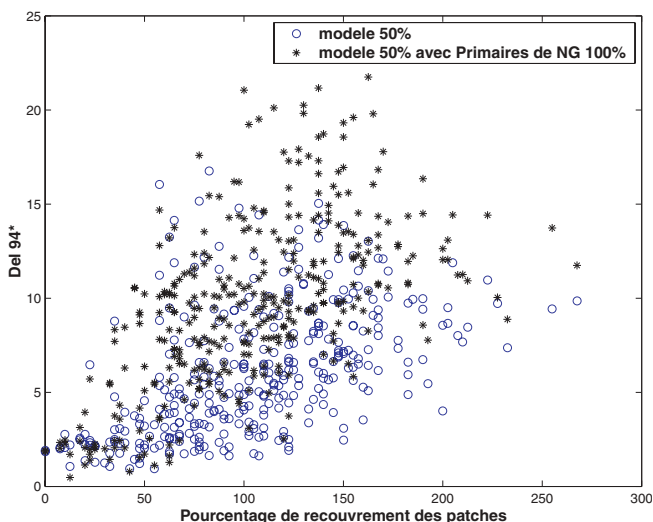


Figure 10. ΔE_{94}^* entre mesures et prédictions des échantillons de IMP50 avec modèle de IMP50 et modèle de IMP100 en fonction du volume total d'encre par échantillon.

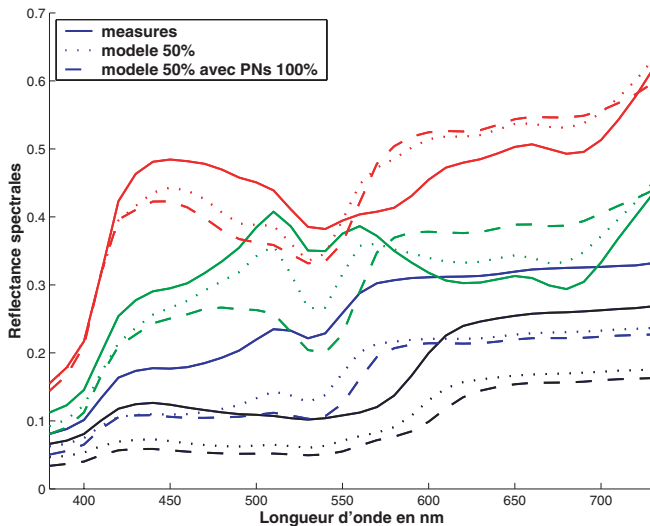


Figure 11. Exemples de spectres prédits par les modèles de IMP50 et de IMP100 par rapport aux mesures des spectres des échantillons imprimés par IMP50.

5. Conclusion

Les réglages d'un système d'impression jet d'encre 8 encres pour de la reproduction couleur spectrale ont été présentés. Un modèle de ce système basé sur le modèle de Neugebauer modifié par Yule-Nielsen a été exposé, discuté et évalué expérimentalement. Cette étape de caractérisation spectrale de l'imprimante est une étape primordiale dans le but de communiquer en données spectrales avec l'imprimante. Bien que le modèle employé soit imparfait, dans sa version initiale avec un seul niveau par NPs, ce travail de recherche est une base nécessaire pour des expérimentations plus poussées dans le domaine de la reproduction spectrale. L'inversion du modèle YNSN est une des prochaines étapes pour établir cette communication, c'est-à-dire envoyer directement des images spectrales converties en combinaison d'encres, encres qui seront ensuite déposées sur la papier. Il y a dans ce domaine de nombreuses possibilités à explorer, tant dans les réglages de systèmes multi-canaux, que dans l'amélioration de la précision des estimations, que dans la sélection d'un groupe d'encres [23] ou dans l'inversion du modèle [24] pour être capable de reproduire réellement des images couleur multispectrales.

Références

[1] R.W.G. HUNT, *The Reproduction of Colour in Photography, Printing and Television*. Kingston-upon-Thames, England, 3 édition, 1975. (Now in 6th Edition, Wiley, 2004).

- [2] J.-M. FOURNIER, Lippmann color reproduction. *Proceedings IS&T SID Tenth Color Imaging Conference*, p. 7-9, 2002.
- [3] G. LIPPMANN, La photographie des couleurs. *CRAS*, 112:274, 1891 and *Bull. Soc Franç. de Photo.*, 2e série, 7 p. 74, 1891.
- [4] T. KOHLER and R. S. BERNS, Reducing metamerism and increasing gamut using five or more colored inks. *IS&T's Third Technical Symposium On Prepress, Proofing, and Printing*, p. 24-29, 1993.
- [5] D.Y. TZENG and R.S. BERNS, Spectral based ink selection for multipleink printing II. optimal ink selection. *The Seventh Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications*, p. 182-187, Novembre 1999.
- [6] M. R. ROSEN, E. F. HATTENBERGER and N. OTHA, Spectral redundancy in a 6-ink ink-jet printer. *IS&T 2003 PICS Conference*, p. 236-243, 2003
- [7] L. A. TAPLIN and R. S. BERNS, Spectral color reproduction based on a six-color inkjet output system. *The Ninth Color Imaging Conference*, p. 209-212, Novembre 2001.
- [8] D.-Y. TZENG, *Spectral-Based Colour Separation Algorithm Development for Multiple-ink Color Reproduction*. PhD thesis, Rochester Institute of Technology, Septembre 1999.
- [9] D.-Y. TZENG and R. S. BERNS, Spectral-based six-color separation minimizing metamerism. *The Eight Color Imaging Conference: Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications*, p. 342-347, Novembre 2000.
- [10] H.E.J. NEUGBAUER, Die Theoretischen Grundlagen Des Mehrfarbendruckes. *Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie Photophysik und Photochemie*, 36(4), 1937.
- [11] J.A.C. YULE and W.J. NIELSEN, The penetration of the light into paper and its effect on halftone reproductions. *TAGA Proc. 1951*; 3: 65-76.
- [12] J. Y. HARDEBERG and J. GERHARDT, Characterization of an eight colorant inkjet system for spectral color reproduction. *Proceedings CGIV 2004*, p. 263-267, 2004.
- [13] R. W. FLOYD and L. STEINBERG, An adaptive algorithm for spatial greyscale. *Proceedings of the Society for information Display*, 17(2):75-77, 1976.
- [14] D. R. WYBLE and R.S. BERNS, A critical review of spectral models applied to binary color printing. *Color Research Applications*, 25(1):4-19, 2000.
- [15] M.E. DEMICHEL, *Le procédé*, Vol. 26:17-21, 1924.
- [16] R. BALA and G. SHARMA, *Digital Color Imaging Handbook*, chapitre 5 Device Characterization, p. 337-357. CRC Press, 2003.
- [17] S.-L. CHANG, Y.-T. LIU and S.-Z. YEH, A method to estimate Fractional Areas of Neugebauer Primary Colors. *IS&T SID Color Imaging Conference*, p. 97-100, 1995.
- [18] L. TAPLIN, Spectral modeling of a six-color inkjet printer. Master thesis in color science, Rochester Institute of Technology, Décembre 2001.
- [19] *Colorimetry*, volume 15.2 of *CIE Publications*. Central Bureau of the CIE, Vienna, Austria, 2 édition, 1986.
- [20] F. H. IMAI, M. R. ROSEN and R. S. BERNS, Comparative study of metrics for spectral match quality. In *Proceedings of CGIV'2002, First European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision*, p. 492-496, Poitiers, France, 2002.
- [21] K. J. HEUBERGER, Z. M. JING, and S. PERSIEV, Color transformation and lookup tables. *TAGA Proceedings*, 2:863-881, 1992.
- [22] R. ROLLESTON and R. BALASUBRAMANIAN, Accuracy of Various Types of Neugebauer Model. *IS&T and SID Color Imaging Conference: Transforms and Transportability of Color*, p. 32-37, 1993.
- [23] A. ALSAM and J.Y. HARDEBERG, Optimal colorant design for spectral colour reproduction. *Proceedings IS&T SID Twelfth Colour Imaging Conference*, p. 157-162, 2004.
- [24] M. MAHY and P. DELABASTITA, Inversion of the Neugebauer Equation. *COLOR research and application*, 21(6):404-411, Décembre 1996.



Jon Y. Hardeberg

Jon Y. Hardeberg a reçu son doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications à Paris en 1999, son travail de recherche portait sur l'acquisition et la reproduction d'image couleur utilisant une approche colorimétrique et multispectrale. Il a ensuite travaillé comme ingénieur couleur chez Conexant Systems à Redmond, Washington, USA. Il est actuellement Professeur Associé au *Norwegian Color Research Laboratory* au *Gjøvik University College* en Norvège où il mène une activité d'enseignement et de recherche dans le domaine de l'imagerie couleur.



Jérémie Gerhardt

Jérémie Gerhardt a obtenu sa maîtrise EEA en 2000 et son DESS d'Imagerie Electronique en 2002 à l'Université Pierre et Marie Curie. Après un projet de fin d'étude en impression couleur grand format chez Océ PLT à Créteil il a débuté son Ph.D en reproduction couleur multispectrale au *Norwegian Research Color Laboratory* situé au *Gjøvik University College* en Norvège et il est pour ce travail rattaché à l'ENST à Paris.

