

Sujet de thèse

Métrologie de l'apparence

Conception d'un conoscope catadioptrique pour caractériser la BRDF des matériaux

DIRECTEUR DES TRAVAUX :

Gaël OBEIN

Maître de conférences

Mel : gael.obein@cnam.fr

Tél : 01 58 80 87 88

Présent à partir du 2 août 2010

DIRECTEUR DE THÈSE :

Annick RAZET

Professeur des universités

Mel : annick.razet@cnam.fr

Tél : 01 40 27 21 78

Présente jusqu'au 23 juillet 2010

ÉQUIPE CONCERNÉE :

INSTRUMENTATION ET RÉFÉRENCES POUR LA MESURE - EA 2367

CNAM (Conservatoire national des arts et métiers)

292 Rue Saint-Martin, 75141 PARIS CEDEX 03

Responsable : Marc HIMBERT

Professeur, chaire de métrologie

RÉSUMÉ DU PROJET DANS LEQUEL S'INSCRIT LA THÈSE :

Parmi les grandeurs-clefs permettant de caractériser de façon objective l'apparence de la surface des objets figure la fonction de distribution du facteur de réflexion bidirectionnel (BRDF). Pour déterminer la BRDF des surfaces, la métrologie française (MF) est en train de construire et caractériser un goniorélectromètre, dispositif spécifique original. Le laboratoire souhaite installer sur cet équipement une détection particulièrement innovante à base d'un conoscope catadioptrique qui, dans l'état actuel des simulations, laisse augurer des performances inégalées. L'objet de la thèse proposée est de développer, monter et caractériser cette détection.

DESCRIPTION DETAILLÉE DU PROJET

1. Contexte scientifique général

1.1. La métrologie de l'apparence et ses applications

Qu'est-ce que l'apparence ?

L'apparence peut être définie comme l'« aspect de l'expérience visuelle par laquelle les choses sont reconnues » [1]. Dans le monde industriel, l'apparence visuelle des produits est devenue, au fil des années, un paramètre de plus en plus critique, car il est étroitement impliqué dans les critères de choix et d'acceptabilité des clients. De ce constat est né au cours des 10 dernières années une demande de plus en plus pressante de mesures objectives de l'apparence des objets [2]. Mais comment quantifier de manière objective ce paramètre éminemment subjectif qu'est l'apparence ?

Un bon départ pour quantifier l'apparence d'un matériau est de mesurer sa couleur. La mesure de la couleur, la colorimétrie, est une science aujourd'hui avancée, qui a mené au développement d'un grand nombre d'équipements et de modèles permettant d'apprécier et de contrôler la couleur d'une surface. Aujourd'hui, elle fait toujours l'objet de nombreux travaux qui visent à rendre compte de la perception de la couleur.

Cependant, la demande croissante d'objets présentant des effets visuels sophistiqués a conduit les fabricants à réaliser des matériaux qui affichent bien plus qu'une couleur. Prenons pour exemple les objets colorés et brillants, translucides, métallisés et plus récemment, les objets nacrés ou goniochromatiques (i.e : objets dont la couleur varie avec l'angle d'observation). Aujourd'hui, au-delà d'une mesure de couleur, la caractérisation de ces nouveaux matériaux doit comprendre des mesures chromatiques en fonction de la géométrie d'illumination et d'observation. C'est le rôle de la goniospectrométrie.

1.2. La technique de la goniospectrométrie

La goniospectrométrie est une technique qui combine la mesure du facteur de réflexion (ou de transmission) d'une surface en fonction des directions d'illumination et d'observation. Les mesures goniospectrométriques sont encore rares. Cependant, elles trouvent des applications dans de nombreux domaines allant du contrôle qualité des matériaux gonioapparents aux modèles utilisés dans l'image de synthèse, en passant par la recherche sur les mécanismes de la perception visuelle.

Dans ce domaine, la grandeur mesurée s'appelle la « fonction de distribution du facteur de réflexion bi-directionnel » plus connue sous son acronyme anglophone BRDF (pour *Bi-directionnel Reflectance Distribution Function*). La BRDF caractérise intégralement la réflexion lumineuse à la surface d'un matériau. En cela, sa mesure s'inscrit comme un outil indispensable pour la mesure de l'apparence car elle permet de connaître en détail le signal qui entre dans l'œil. C'est ce signal qui, capturé et traité par le système visuel, générera les attributs de l'apparence, tel que la couleur, le brillant, la texture, etc. Une connaissance précise du signal à l'entrée du système visuel est indispensable dans le but de mettre en relation la sensation visuelle et une mesure physique. La BRDF se mesure à l'aide d'un gonioréfectomètre.

1.3. Objectif du projet global

L'objectif du projet BRDF est de doter la métrologie française d'un équipement de référence de mesure de BRDF, un goniorélectomètre, ayant le niveau requis pour l'étude métrologique de l'apparence des matériaux

2. Contenu du projet du laboratoire sur la BRDF

2.1. Etat de l'art

Un goniorélectomètre est systématiquement constitué de 3 éléments : une source lumineuse, un support d'échantillon et un récepteur. On distingue deux types de goniorélectomètres, qui s'appuient sur deux technologies différentes.

La première technologie, la plus répandue, consiste à déplacer au moins deux des trois éléments selon différents angles, afin d'obtenir les 4 degrés de liberté qui permettent d'éclairer l'échantillon selon n'importe quelle direction du demi-espace et de mesurer la lumière réfléchiée par ce dernier selon n'importe quelle direction du demi-espace. Bien qu'elle soit la plupart du temps entièrement automatisée, la réalisation d'une mesure complète de BRDF avec ce type d'équipement prend plusieurs heures. En revanche, une telle construction peut permettre d'atteindre une excellente résolution angulaire et spectrale.

La seconde technologie est plus récente. Elle substitue les déplacements mécaniques des éléments par un système d'optique appelé « conoscope ». Le principe du conoscope consiste à combiner une optique de Fourier et un capteur CCD pour acquérir la luminance dans plusieurs directions de réflexion simultanément.

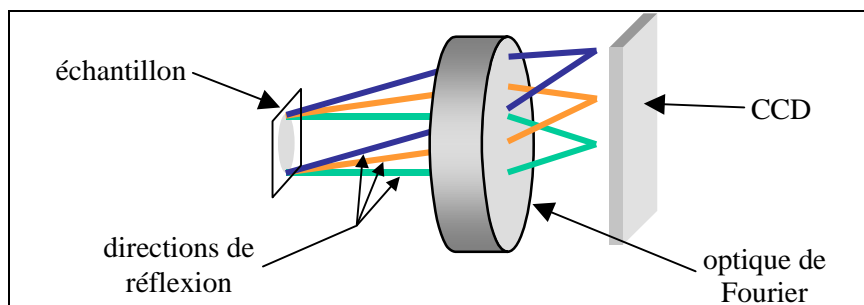


Schéma de principe du conoscope

Si le principe de ces équipements est simple, leur réalisation requiert une ingénierie optique et électronique relativement sophistiquée. Pour cette technologie, le temps de mesure est réduit à quelques dizaines de minutes. En revanche, les résolutions angulaire et spectrale sont limitées et ne permettent pas la réalisation de mesures de BRDF de haut niveau d'exactitude.

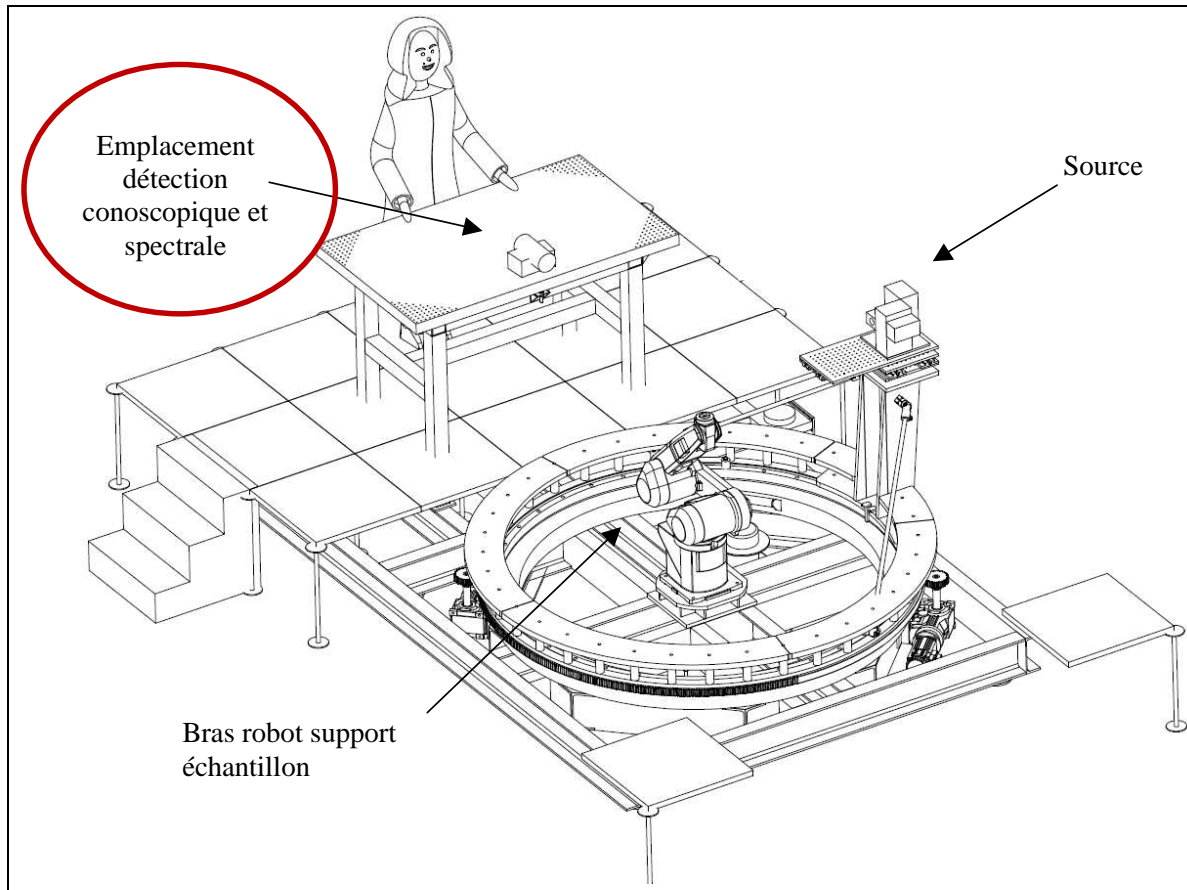
Quelle que soit la technologie utilisée, la réalisation d'un goniorélectomètre reste l'affaire des laboratoires. Il existe quelques fabricants qui proposent de tels produits, cependant, ces produits sont destinés aux industriels et ne remplissent pas les exigences requises par les laboratoires nationaux de métrologie.

Aujourd'hui, en métrologie, seuls deux instituts nationaux de métrologie déclarent dans leurs capacités de mesure et d'étalonnage, des possibilités de mesure de BRDF :

- La PTB (Allemagne), avec un goniorélectomètre pour les mesures de BRDF de 300 nm à 1 100 nm [3] ;
- Le NIST (USA), avec un goniomètre "plan" pour les mesures de BRDF de 200 nm à 1 100 nm [4].

2.2. Un appareil hybride

D'une étude bibliographique exhaustive des différents goniorélectromètres existants et de l'analyse des forces et faiblesses de chacun, nous avons décidé de construire un modèle hybride, qui alliera des déplacements mécaniques avec une détection de type conoscope. Une vue générale de l'installation est proposée ci-dessous.



*Croquis du projet de goniorélectromètre de l'INM ;
la partie détection concerne le sujet de thèse*

2.3. Une détection innovante, élément clef du montage

L'intégration d'un conoscope dans un système goniorélectrométrique académique est une première. La principale difficulté vient de l'éloignement du dispositif par rapport à l'échantillon à mesurer. Une pré-étude, permettant de vérifier la faisabilité du système, a été réalisée en 2008 par Yves Candéla, élève ingénieur de l'École supérieure d'optique, et est consignée dans un document de 30 pages et disponible au laboratoire.

Le système doit s'appuyer entièrement sur des miroirs, afin de minimiser la lumière parasite et les aberrations chromatiques. L'objectif final est d'obtenir un dispositif qui permettra, en un seul cliché, de mesurer la répartition de la luminance dans un cône de $\pm 1^\circ$, avec un pas de $0,03^\circ$ et une résolution meilleure que $0,01^\circ$.

C'est pour réaliser cette partie de l'équipement, innovante et cruciale que nous recrutons un doctorant.

3. Sujet de la thèse, compétences requises

3.1. Sujet

Le sujet de la thèse est la conception, la réalisation et la caractérisation du conoscope décrit ci-dessus. Notre objectif est d'obtenir une résolution angulaire au moins égale à celle de l'œil. Le pouvoir de résolution angulaire de l'œil est la plus petite distance angulaire qui existe entre deux objets que l'œil puisse discerner. Cette limite dépend de l'éclairage des objets et des sujets eux-mêmes. Globalement, nous admettons que, pour un objet bien éclairé et contrasté, ce pouvoir de résolution correspond à 2 minutes d'angle soit $0,03^\circ$ [5]. Nous recherchons une résolution angulaire d'au moins $0,01^\circ$.

3.2. Compétences requises

Essentielles :

- Optique : réalisation de montages optiques
- Maîtrise d'un logiciel de simulation (OSLO).
- Optoélectronique : Pilotage de capteur CCD.
- Métrologie : Evaluation d'incertitudes.

Souhaitées :

- Avoir des connaissances en physique générale et matériaux
- Utilisation de logiciel de commande (Labview)
- Anglais scientifique, écrit, lu et parlé
- Meticulosité dans l'exécution et goût pour le travail expérimental
- Avoir un goût prononcé du travail expérimental en équipe

4. Informations complémentaires

4.1. Locaux

L'équipement est actuellement en cours de montage dans les locaux de l'Institut national de métrologie du CNAM, 61 Rue du Landy, 93210 La Plaine St Denis. Il sera installé à terme dans des locaux neufs, aménagés au 1^{er} étage du bâtiment Maxwell du LNE, 29 Avenue Roger Hennequin, 78197 Trappes Cedex. La livraison des locaux est programmée pour début 2012. Un déménagement surviendra donc durant la thèse. L'équipe minimisera l'impact de ce déménagement sur le travail du doctorant.

4.2. Calendrier

La thèse commencera dès la mise en place du financement, à savoir le 1^{er} septembre ou le 1^{er} octobre 2010.

Une ébauche de calendrier des tâches est proposée ci-dessous.

2010	2011	2012	2013
- Définition du cahier des charges - Etude bibliographique	- Simulations - Montage prototype	- Optimisation - Réalisation programme de contrôle - caractérisation métrologique	Mise en place de la procédure d'étalonnage Rédaction thèse et article

4.3. Budget

Le projet s'inscrit dans le cadre de la métrologie française. Il est donc effectué en plein partenariat avec le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), qui coordonne celle-ci. Il est expertisé par le Comité scientifique « Thermique et Optique » du Comité de la métrologie et a reçu un avis scientifique très favorable. Il fait l'objet d'un financement par les crédits de la métrologie.

5. Références

- [1] Christie, J. S., « Evaluation of the attribute of appearance called gloss », *CIE-Journal*, **5**, 2, 41-56, 1986.
- [2] CIE 175-2006, *A framework for the measurement of visual appearance*, 2006.
- [3] Hünerhoff, D., Grusemann, U. and Höpe A., "New robot-based gonireflectometer for measuring spectral diffuse reflection", *Metrologia*, **43**, S11–S16, 2006.
- [4] Proctor J. E. & Barnes P. Y., "NIST High Accuracy Reference Reflectometer-Spectrophotometer", *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, **101**, 619-627, 1996.
- [5] SURREL JOELLE, « *Optique Instrumentale Optique de Fourier* ». Paris ; Ellipses, 1996.