



HAL
open science

Voir pour Toucher ? Caractérisation Optique de la Sensation d'Adhérence

Thomas Lacombe, Bruno Albert, Halise Dereli, Mélanie Tomczyk, Youva
Nait-Youcef, Jocelyn Philppa, Hughes Favreliere

► **To cite this version:**

Thomas Lacombe, Bruno Albert, Halise Dereli, Mélanie Tomczyk, Youva Nait-Youcef, et al.. Voir pour Toucher ? Caractérisation Optique de la Sensation d'Adhérence. QUALITA 2017, Aug 2017, Bourges, France. hal-01587088

HAL Id: hal-01587088

<https://hal.science/hal-01587088v1>

Submitted on 13 Sep 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Voir pour Toucher ?

Caractérisation Optique de la Sensation d'Adhérence

Thomas Lacombe*, Bruno Albert *[†], Halise Dereli*, Mélanie Tomczyk*,
Youva Nait-Youcef*, Jocelyn Philppa* and Hughes Favreliere*

*Laboratoire SYMME, Université Savoie Mont-Blanc, 74940 Annecy-Le-Vieux, France

[†]INEVA, 67400 Illkirch, France

Email: thomas.lacombe1@univ-smb.fr ; bruno.albert@ineva.fr

Abstract—Le domaine de la qualité en industrie a connu au cours des dernières décennies une séries d'études et d'innovations ayant eu pour but d'améliorer les perceptions rendues au travers des produits fabriqués. L'étape de validation de la qualité ne relève donc plus seulement de vérifications techniques, mais d'une diversité de contrôles qui correspondent aux sens impliqués lors de l'interaction avec un produit. Bien que le contrôle de la qualité visuelle ait été relativement bien étudié et instrumenté, la qualité associée au sens du toucher pose encore de nombreux problèmes en industrie. De plus, dans certains cas d'application, le contact avec les produits à des fins de validation n'est pas possible, ou entraînerait une dégradation de celui-ci. Ce projet a ainsi visé à étudier les possibilités de substitution du contrôle au toucher par un contrôle sans contact, plus précisément en ce qui concerne la perception de la sensation d'adhérence. Tout d'abord la performance de la perception visuelle humaine à des fins de contrôle haptique a été évaluée. Les résultats suggèrent qu'il n'est a priori pas possible de contrôler à l'œil nu la sensation d'adhérence. En revanche, cette étude montre qu'une instrumentation optique permet effectivement d'obtenir une mesure fiable de l'adhérence. En effet, l'acquisition d'images grâce à un système multi-éclairages et une analyse spécifique a permis d'établir des relations entre certains paramètres particuliers des images et une mesure d'adhérence avec contact sur divers échantillons.

I. INTRODUCTION

Le sens du toucher et de la vue sont utilisés quotidiennement, qu'il s'agisse de la vie de tous les jours, mais également dans des contextes industriels où les opérateurs sont parfois amenés à interagir avec des pièces afin de contrôler leur qualité. La perception de la qualité de certains produits est en effet devenu un axe économique majeur de certains fabricants (e.g. [1]), mais également un challenge scientifique lorsqu'il s'agit de mesurer la qualité perçue [2].

Le sens du toucher implique des phénomènes physiques et psychologiques complexes qui mènent à des perceptions très précises, mais également très subjectives. Les sensations tactiles sont obtenues grâce des récepteurs sensoriels localisés dans la peau [3]. Ces récepteurs peuvent être classés dans trois catégories suivant qu'ils sont capables de détecter une variation de chaleur (thermorécepteurs),

la douleur (nocicepteurs) ou encore des variations mécaniques telles que des variations de pression ou de vibration (mécanorécepteurs). Le processus de perception humaine implique une détection de stimuli par ces récepteurs qui transmettent ces informations au système nerveux sous forme de signaux électrochimiques. L'ensemble des signaux forme à ce stade la notion de sensation. Il existe notamment différentes sensations haptiques élémentaires [4], dont par exemple les sensations d'*adhérence*, de *relief*, de *dureté*, etc. La perception est générée par la suite grâce à l'intégration des connaissances, de l'expérience personnelle et des préférences de chaque personne [5]. Il est en revanche difficile de séparer les sensations des perceptions, et c'est souvent pour cela que la subjectivité du contrôleur intervient autant dans le contrôle de la qualité d'un produit.

D'autre part, l'œil a pour rôle de former des images. De manière similaire au toucher, les informations remontent au cerveau, grâce à un nerf optique unique pour chaque œil, et sont interprétée par celui-ci afin de former une perception visuelle d'un objet ou produit. Le sens de la vue nous permet notamment de percevoir les formes et la géométrie d'objets, certaines textures de surface, ainsi que les couleurs. De plus, la perception visuelle est amenée à être modifiée en fonction de différents paramètres, comme par exemple l'angle et de la luminosité selon lesquels une pièce est regardée [6].

Par rapport au toucher et en considérant le contrôle de la qualité en industrie, la vue a l'avantage de ne pas nécessiter de contact avec le produit, et donc de ne pas entraîner de possibles dégradations de celui-ci. De plus, l'instrumentation optique ainsi que les traitements associés ont fait récemment de grandes avancées dans le but d'identifier des anomalies visuelles, laissant entrevoir des possibilités d'automatisation de la mesure de perception visuelle. En revanche, peu d'études ont montré un possible lien entre mesure visuelle et perception haptique. Dans ce contexte, il a été envisagé d'étudier les possibilités de mesure de sensations propres au toucher, sans contact avec le produit considéré. L'exemple de la sensation d'*adhérence* sera développé au cours de ce document. Elle est définie comme "la sensation d'étirement ou de retenue de la peau lors du contact avec la surface d'un objet" [4], [7].

Cette sensation peut en effet être un enjeu important de la satisfaction client comme cela a pu être observé chez différents acteurs industriels et notamment en ce qui concerne la fabrication de montres de luxe, ou encore l'injection plastique dans le domaine automobile.

L'objectif de cette étude peut être en définitive résumé en une question simple : est-il possible de voir pour toucher ? Deux aspects de cette question peuvent être distingués et étudiés : la capacité de la perception visuelle humaine à prévoir une sensation haptique, et la possibilité de caractérisation instrumentée via par exemple des mesures optiques.

Dans un premier temps, l'étude s'est focalisée sur la performance de la perception visuelle humaine afin de mesurer la sensation d'adhérence. Les résultats sont présentés en section II. Puis dans un second temps, il a été question d'étudier une éventuelle relation entre une mesure optique instrumentale sans contact et une mesure avec contact liée à la sensation d'adhérence. Les détails de l'instrumentation utilisée sont présentés en section III, ainsi que les résultats de corrélation observés. L'établissement d'une relation entre mesure optique et mesure au toucher signifierait notamment la possibilité de contrôler certains éléments de la qualité haptique de pièces sans les toucher.

II. PERFORMANCE DE LA PERCEPTION VISUELLE DE L'ÊTRE HUMAIN À DES FINS DE CONTRÔLE HAPTIQUE

Lors de cette étude, des tests visuels et haptiques ont été réalisés par quinze participants sur douze échantillons de matière visibles dans le tableau I. Les plaques utilisées sont composées de films polymère collés à une plaque rigide. Ces films sont d'épaisseur comprise entre 0,1 et 3 millimètres, de composition différente et de niveau d'intensité de la sensation d'adhérence a priori différents. Il se différencie visuellement par leur couleur, leur brillance, la matière et l'uniformité de la matière. Quelques caractéristiques utiles de ces plaques, définies de manière empirique en consensus, ont été listées (Tableau I).

A. Panel de participants et tests effectués

Il a été demandé aux sujets, âgés de 18 à 40 ans, de parcourir des plaques revêtues de films polymère de composition différente et de niveau de sensation d'adhérence à priori différentes, de manière haptique et visuelle. Étant donné qu'il est difficile pour des sujets non entraînés de caractériser l'intensité de la sensation d'adhérence de manière absolue, des comparaisons par paires d'échantillons ont été réalisées. Les sujets avaient pour instruction d'observer les plaques par paires, de déterminer au sein de chaque paire de manière visuelle laquelle des plaques correspondait selon lui à la sensation d'adhérence la plus élevée. Le même procédé était ensuite suivi de manière haptique, c'est à dire en parcourant les échantillon au toucher. Les paires ont été choisies de manière arbitraire parmi les différents échantillons. Durant le test, l'ordre de présentation était arbitraire. Par ailleurs,

TABLE I
CARACTÉRISTIQUES ET ILLUSTRATION DES ÉCHANTILLONS UTILISÉES

N° plaque	Visuel				Haptique			Image
	Couleur	Aspect matière	Brillance /5	Uniformité /3	Relief /3	Dureté /3	Uniformité /3	
6	Noire	Feutré	1	3	2	2	3	
7	Noire	Plastique	4	2	1	1	2	
8	Noire	Plastique	3	2	1	3	2	
9	Anthracite	Feutré	2	2	2	1	2	
10	Anthracite	Plastique	2	1	1	2	3	
11	Anthracite	Plastique	5	2	1	3	3	
12	Noire	Plastique	5	2	3	3	2	
13	Anthracite	Ardoise	2	2	2	3	3	
14	Beige	Bois	2	2	1	3	3	
19	Beige	Bois	1	2	3	3	3	
26	Noire	Feutré	1	3	2	2	3	
31	Grise	Ardoise	1	2	1	3	3	

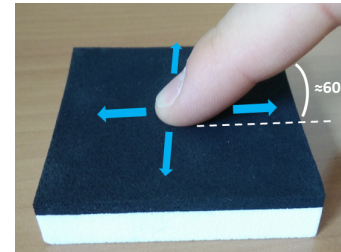


Fig. 1. Procédure d'exploration au toucher.

le but n'étant pas à ce stade de réaliser de classement, les comparaisons ont été faites pour chaque paire uniquement, sans croiser les paires ce qui aurait augmenté significativement la durée des tests par personne.

Concernant les conditions de parcours du doigt, en accord avec un des modes d'exploration indiqués pour la sensation d'adhérence, i.e. mouvement tangentiel avec le doigt [4], il a été imposé aux testeurs de positionner leur index avec un angle d'environ 60 degrés entre le doigt et la surface, puis de parcourir la plaque en tirant et poussant le doigt, verticalement, puis horizontalement (comme illustré en Figure 1).

N° paire	Echan tillon 1	Echan tillon 2	Visuel			Haptique		
			Ratio moyen du plus adhérent	Ecart type	Echantillon le plus adhérent (*=significatif)	Ratio moyen du plus adhérent	Ecart type	Echantillon le plus adhérent (*=significatif)
1	7	9	-0,33	0,49	(9)	0,60	0,41	7 *
2	8	10	0,07	0,52	(8)	0,60	0,41	8 *
3	11	13	-0,73	0,35	13 *	-0,87	0,26	13 *
4	6	26	-0,20	0,51	(26)	0,47	0,46	6 *
5	14	19	-0,07	0,52	(19)	-0,60	0,41	19 *
6	12	31	0,20	0,51	(12)	-0,33	0,49	(31)

Fig. 2. Résultats des performances de perception de la sensation d'adhérence à l'œil et au toucher.

B. Résultats de performances à l'œil et au toucher

La Figure 2 présente les résultats obtenus. Pour chaque test, une note -1 était donnée si l'échantillon 2 était considéré comme étant le plus adhérent, 1 s'il s'agissait de l'échantillon 1, ou 0 si les deux étaient perçus comme similaires. On observe qu'en moyenne les tests visuels ne donne pas de résultats pouvant conclure à une différence entre les échantillons proposés, contrairement aux tests haptiques pour lesquels les échantillons ayant l'intensité d'adhérence la plus élevée ont pu être identifiés de manière significative pour 5 paires sur 6. Par ailleurs la variation des résultats donnés par les participants est plus grande pour les tests visuels.

En comparant les résultats des tests visuels aux caractéristiques des échantillons, on peut remarquer que la brillance de la plaque est le critère qui semble le plus tromper les testeurs lors du test visuel. En effet, les matières mates avec une couleur plutôt claire semblent être perçues comme plus adhérentes. Les plaques de couleurs foncées avec une forte brillance et un aspect plastique sont décrites comme moins adhérentes, donc comme plus glissantes. L'exemple des plaques 7 et 9 illustrent bien ce phénomène. En effet, la plaque 7 étant légèrement plus brillante que la plaque 9, c'est elle qui a été considérée (en moyenne) comme la plus glissante par nos testeurs en condition uniquement visuelle. En conclusion, ces résultats montrent qu'il n'est pas possible pour un humain de différencier visuellement ces échantillons par rapport à la perception de la sensation d'adhérence. Naturellement le sens du toucher est beaucoup plus approprié pour cela.

C. Validation des résultats avec les deux sens

Un second test a également été réalisé afin d'observer la capacité de coordination, ou justement ici de décoordination des sens de la vue et du toucher. La Figure 3 présente les deux étapes de ce test. Celui-ci consistait à demander aux testeurs de toucher un échantillon et d'en observer un autre en même temps, puis à modifier l'échantillon observé visuellement sans modifier celui touché et de recommencer le test. Il leur était ensuite posé la même question que précédemment pour le test haptique (ne sachant pas qu'il s'agissait en fait du même échantillon touché deux fois). De plus, les deux échantillons vus étaient

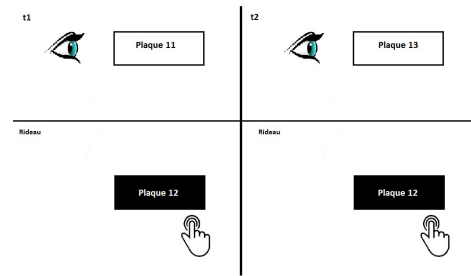


Fig. 3. Étapes du test permettant de tromper visuellement la perception haptique.

choisis pour avoir des intensités d'adhérence extrêmes (très faible et très élevée), établis d'après les essais précédents.

Les résultats montrent que seul 35 % des participants ont reconnu qu'il s'agissait en fait du même échantillon, touché deux fois de suite. Ce test montre donc que la perception visuelle peut assez largement tromper la perception haptique de la sensation d'adhérence.

D. Conclusion sur les performances de la perception à l'œil nu de sensation propres au toucher

Lorsque l'on considère le contrôle d'un produit en milieu industriel, les résultats obtenus lors de ces tests indiquent qu'il serait inapproprié, voir contre-indiqué d'utiliser le sens de la vue à des fins de contrôle haptique, pour ce qui est de la sensation d'adhérence. En effet, bien que les participants n'étaient pas formés à cette tâche, la mauvaise performance visuelle observée, ainsi que l'influence de l'aspect visuel sur la capacité de discrimination haptique, pourraient impacter les performances de contrôle d'un contrôleur humain.

III. ETUDE DES CORRÉLATIONS INSTRUMENTATION OPTIQUE - PERCEPTION HAPTIQUE

Il semble donc naturel, au vue des résultats obtenus précédemment et des récentes avancées technologiques des capteurs et méthodes de traitement, de considérer le potentiel de mesure instrumentée de la perception haptique, et de la sensation d'adhérence en particulier.

A. Instrumentation avec contact

Comme indiqué précédemment, l'être humain est par nature plus performant lorsqu'il s'agit de comparer, plutôt que de caractériser de manière absolue. Une méthode relativement simple de caractérisation de l'angle de frottement d'un matériau est de placer l'échantillon sur une plaque plane initialement horizontale, d'incliner cette plaque et de relever l'angle à partir duquel l'échantillon se met à glisser. Cette mesure simple a donc été réalisée pour tous les échantillons utilisés, en utilisant une plaque en plastique. Cela suppose bien sûr de prendre en compte le poids des pièces, qui est ici relativement similaire pour tous les échantillons, à plus ou moins 5 grammes. L'erreur de mesure est ainsi estimée à plus ou moins 3 degrés.

TABLE II
COMPARAISON DES MESURES D'ANGLE DE FROTTEMENT AUX
RÉSULTATS DE PERCEPTION HAPTIQUE.

Résultats de comparaison haptique en termes d'adhérence	Différence d'angle (degrés)
Ech 7 > Ech 9	41
Ech 8 > Ech 10	16
Ech 11 < Ech 13	7
Ech 6 > Ech 26	8
Ech 14 < Ech 19	-6
Ech 12 < Ech 31	-21

Afin de valider la correspondance avec la perception d'adhérence humaine, ces mesures d'angle de frottement ont été comparées aux résultats de comparaison par paire. Ces informations sont résumées dans le tableau II. Les mesures d'angles correspondent effectivement aux comparaisons humaines. Seule la paire 11-13 présente une correspondance inverse, mais leurs angles respectifs sont très proches en considérant également l'erreur de mesure. Ces valeurs ont donc pu être utilisées afin d'étudier la correspondance avec une mesure instrumentée sans contact.

B. Instrumentation sans contact

Nous présentons brièvement dans cette partie le dispositif utilisé pour réaliser les mesures sans contact des pièces. Il s'agit d'un dôme multi-éclairages capable de réaliser des prises de vue d'une pièce suivant 96 angles d'éclairages, illustré par la Figure 4.

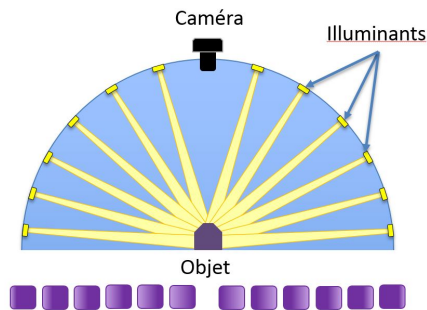


Fig. 4. Vue schématique en coupe du dôme multi-éclairage et illustration de quelques images acquises.

Chaque LED éclaire de manière alternative la surface et une acquisition d'image est faite pour chacune d'elle. Chaque image, convertie au préalable en niveau de gris, est ensuite traduite en paramètres de texture via une transformation en matrice de cooccurrence sur laquelle est calculée 6 caractéristiques, parmi celles proposées par Haralick [8] : contraste, dissimilarité, homogénéité, énergie, corrélation et second moment angulaire. Pour chaque paramètre, on obtient ainsi une distribution de 96 valeurs, correspondant aux 96 images d'une même pièce. Certains paramètres statistiques (percentils 5% et 95%, médiane, kurtosis et skewness) sont enfin calculés

sur cette distribution. Chaque pièce est alors décrite par 30 paramètres (6 paramètres d'Haralick x 5 paramètres statistiques des distributions). La Figure 5 illustre de manière graphique le déroulement de cette procédure.

Nous avons alors cherché à observer s'il est possible d'établir des corrélations entre ces paramètres issus des images, et les mesures d'angle d'adhérence établies précédemment.

C. Etude de corrélation

La première étape de cette étude a été l'analyse d'une potentielle relation linéaire entre les paramètres de texture extraits des images suivant le protocole précédent, et les mesures d'angles réalisées sur les pièces. Une régression multilinéaire a été menée et permet d'observer une relation entre 5 paramètres mesurés et les mesures d'angles, avec un très bon coefficient de détermination supérieur à 90%. La Figure 6 présente la distribution des résidus en fonction de la valeur prédite par le modèle, qui permet de mettre en évidence la bonne capacité du modèle à prédire les valeurs des angles. Comme indiqué sur la Figure 6, l'erreur de prédiction maximale par rapport à la plage de mesure observée est de 7% sur les valeurs présentées. Ces résultats permettent de montrer que, dans ces conditions particulières, il est possible de modéliser de manière satisfaisante une relation multilinéaire entre une mesure avec contact liée à l'adhérence de films polymère et des mesures optiques sans contact de ces mêmes surfaces. N'ayant pas plus d'échantillons à disposition que ceux utilisés pour calculer le modèle, aucune étude plus poussée n'a été pour le moment menée sur la capacité de prédiction pour des mesures additionnelles. Ceci constitue une perspective de travail pour la suite de cette exploration.

Il est également à noter que dans ce cas particulier, la régression multilinéaire fonctionne bien pour modéliser la relation de corrélation, mais que des méthodes comme la régression par réseaux de neurones pourraient être utilisés dans le cas de relations plus complexes. Ce type de régression a d'ailleurs déjà été utilisé par H.Zhang, K.Dana et K.Nishino pour modéliser une relation entre une mesure de friction et une mesure de réflectance pour des surfaces diverses [9]. De plus, l'utilisation d'autres paramètres pour décrire les images, comme les propriétés d'histogrammes ou les motifs locaux binaires par exemple, ou encore le traitement de types d'images contenant plus d'information offrent de nombreuses possibilités quant à la modélisation d'autres corrélations. La combinaison entre les très nombreuses informations qu'il est possible d'obtenir via une mesure optique et les différentes méthodes de modélisation existantes ouvre des perspectives très vastes quant à la poursuite de ce type d'études.

IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, et pour répondre à notre questionnement de départ, il semble donc difficile de voir pour toucher par le biais de la perception optique humaine. Néanmoins, une

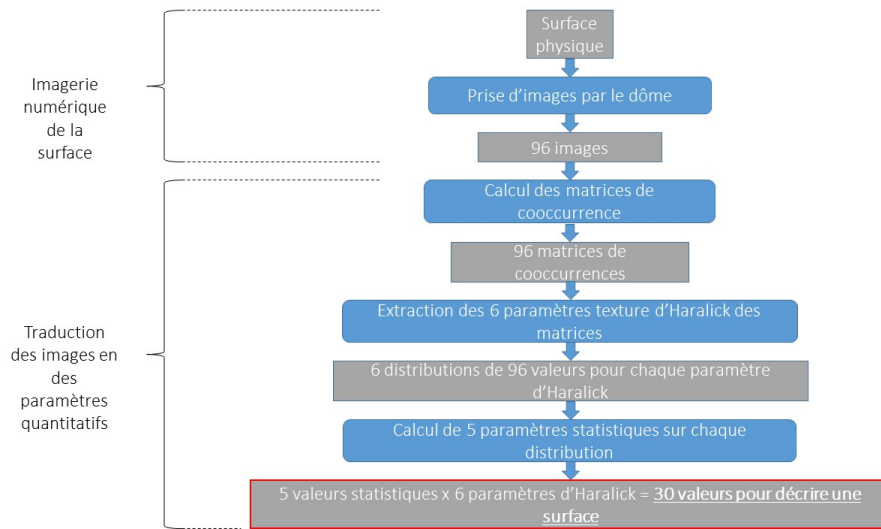


Fig. 5. Algorithme graphique de la conversion des surfaces en 30 paramètres quantitatifs.

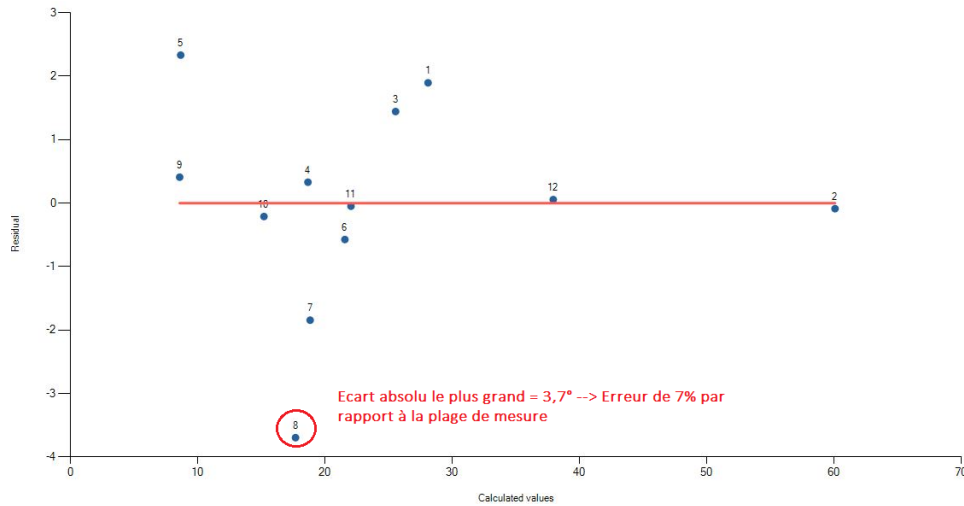


Fig. 6. Résidus (écarts entre valeurs prédites et valeurs mesurées) en fonction des valeurs d'angles prédites par le modèle.

étude expérimentale a permis de mettre en évidence la possibilité, dans un cas particulier, de voir pour toucher via une mesure optique instrumentale.

Cette étude a en effet montré dans un premier temps la difficulté pour un être humain de percevoir visuellement la sensation d'adhérence propre au sens du toucher. Le contrôle à l'œil nu de la qualité perçue haptique d'un produit, en ce qui concerne la notion d'adhérence, semble donc fortement contre-indiqué. Il serait en revanche possible de mesurer la perception d'adhérence grâce à une instrumentation optique spécifique. En effet, un système composé d'une caméra, de multiples éclairages, ainsi que d'une méthode de traitement basée sur les matrices de cooccurrence, a permis l'établissement d'une corrélation multilinéaire relativement simple, mais néanmoins fiable, avec des mesures d'adhérence avec contact, pour une série d'échantillons composés d'état de surface relativement

divers. Pour pousser plus loin cette étude, il faudrait également réaliser une estimation des incertitudes de mesures sur le protocole utilisé pour obtenir les mesures d'angles liés à l'adhérence. Cela permettrait d'interpréter de meilleure manière les écarts observés dans l'étude de corrélation.

Ces résultats ouvrent donc de belles perspectives dans le but de permettre une instrumentation sans contact de la perception liée au sens du toucher. En particulier, des analyses plus précises de l'ensemble des sensations haptiques d'un plus grand nombre d'échantillons permettrait probablement des modélisations encore plus précises et génériques. De plus, l'étude d'autres instruments optiques, et notamment des systèmes de type analyseur de surface pourrait possiblement mettre en lumière d'autres sensations propres au sens du toucher telles que les sensations de *résidu* ou de *chaleur* par exemple. Ainsi, il serait

possible, suivant le contexte d'application et les matériaux impliqués, de pouvoir proposer une instrumentation adaptée au contrôle industriel.

REMERCIEMENTS

Les personnels des laboratoires SYMME et LISTIC de l'Université Savoie Mont Blanc ayant participé aux expériences menées sont cordialement remerciés, ainsi que Maurice Pillet, Jean-Luc Maire et Gilles Maurice pour leur conseils et encadrement.

REFERENCES

- [1] A.-S. Guerra, "Métrologie sensorielle dans le cadre du contrôle qualité visuel," Ph.D. dissertation, Université de Savoie, 2008.
- [2] J. L. Maire, M. Pillet, and N. Baudet, "Measurement of the perceived quality of a product - Characterization of aesthetic anomalies," *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 63–69, 2013.
- [3] D. De Rossi and E. P. Scilingo, "Skin-like sensor arrays," *Encyclopedia of sensors*, vol. 10, pp. 1–22, 2006.
- [4] B. Albert, C. Zanni-Merk, F. de Bertrand de Beuvron, J.-l. Maire, M. Pillet, J. Charrier, and C. Knecht, "A Smart System for Haptic Quality Control - Introducing an Ontological Representation of Sensory Perception Knowledge," in *Proceedings of the 8th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*. Porto: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2016, pp. 21–30. [Online]. Available: <http://www.scitepress.org/DigitalLibrary/Link.aspx?doi=10.5220/0006048300210030>
- [5] B. Albert, J. L. Maire, M. Pillet, C. Zanni-merk, F. de Bertrand de Beuvron, C. Knecht, and J. Charrier, "Generic and structured description of tactile sensory perceptions," in *KEER*, Leeds, UK, 2016.
- [6] N. Baudet, "Maîtrise de la qualité visuelle des produits - Formalisation du processus d'expertise et proposition d'une approche robuste de contrôle visuel humain," Ph.D. dissertation, Université de Grenoble, 2012.
- [7] S. Lederman and R. L. Klatzky, "Haptic perception: A tutorial," *Attention, perception & psychophysics*, vol. 71, no. 3, pp. 1439–1459, 2009.
- [8] R. M. Haralick, K. Shanmugam *et al.*, "Textural features for image classification," *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, no. 6, pp. 610–621, 1973.
- [9] H. Zhang, K. Dana, and K. Nishino, "Friction from reflectance: Deep reflectance codes for predicting physical surface properties from one-shot in-field reflectance," in *European Conference on Computer Vision*. Springer, 2016, pp. 808–824.