

Matériaux et propriétés psychosensorielles

Intégrer les propriétés sensorielles des matériaux dans un cahier des charges - le cas de l'aspect métallique

Par Jenny Faucheu

École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, 158 Cours Fauriel, Saint-Étienne, France

Contact : faucheu@emse.fr

La matière est au cœur de la conception d'un objet, du plus simple au plus complexe. Le choix d'un matériau peut influencer l'interaction entre l'utilisateur et l'objet produit. Une démarche est présentée, résolument centrée sur les sciences et l'ingénierie des matériaux et appliquée au cas de l'aspect métallique des matériaux. Elle a pour but de considérer les propriétés sensorielles des matériaux en tant que caractéristiques fondamentales de ces derniers afin qu'elles puissent être intégrées dans un cahier des charge de conception ou de production au même titre que leurs propriétés mécaniques et physiques.

La matière est au cœur de la conception d'un objet, du plus simple au plus complexe. Le choix d'un matériau peut influencer l'interaction entre l'utilisateur et l'objet produit. Il paraît sensé de considérer que les propriétés sensorielles d'un matériau devraient intervenir dès les premières étapes de la conception d'un produit au même titre que les propriétés mécaniques ou thermiques, par exemple. Cependant, le manque de critères et de descripteurs mesurables concernant les propriétés sensorielles rend cette intégration difficile. Cette intégration est l'enjeu de l'étude conjointe des propriétés intrinsèques des matériaux et leurs propriétés sensorielles [1,2], c'est-à-dire celles perçues par l'homme. Cet article a pour but d'aborder cette méthodologie de recherche basée sur un triptyque reliant sensations, matière et caractérisation physicochimique dans le but d'améliorer le cycle de conception d'un objet. Nous verrons, dans un premier temps, comment sont abordées les propriétés sensorielles dans l'industrie via l'analyse sensorielle puis nous illustrerons quelques aspects de notre méthodologie de travail à travers un exemple portant sur « l'aspect métallique », visuel et tactile.

Dans l'industrie du packaging, on s'intéresse à l'aspect de surface des emballages, comme par exemple les bouteilles en verre « givré » [4] qui apportent une perception de fraîcheur. Les données collectées sont traitées par des méthodes statistiques classiques. On parle alors de métrologie sensorielle et il est possible de définir des normes. Le nombre d'évaluateurs, leur niveau d'entraînement et la méthode d'évaluation utilisée seront fonction des données que l'on cherche à obtenir. Ainsi, en contrôle qualité, il suffit souvent de comparer le contretypé à un échantillon de référence pour obtenir sa validation ou non. Dans une démarche de conception, ces épreuves discriminatives sont d'un intérêt plus limité, on préférera des épreuves descriptives permettant d'associer un espace sémantique à l'objet ou des épreuves hédoniques permettant de dresser les préférences des utilisateurs.

L'aspect métallique : aspect visuel et tactile

L'évaluation sensorielle dans l'industrie

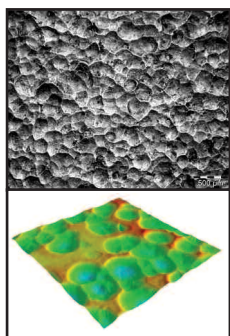
Pour aborder l'interaction homme-objet, l'analyse ou évaluation sensorielle [3] est utilisée depuis de nombreuses années par l'industrie agroalimentaire et a été transférée à d'autres domaines industriels qui voient dans cette méthode un outil pour appréhender de manière quantitative les perceptions des utilisateurs. Dans l'industrie automobile, le bruit d'une portière qui claque, l'odeur ou le toucher des pièces plastiques de l'habitacle sont étudiés.

Les matériaux utilisés dans la constitution d'un objet peuvent présenter une grande variété d'aspects de surface qui peuvent être recherchés dans un but esthétique ou subis du fait de contraintes techniques. On parlera de surface brillante, mate, courbe, collante, abrasive, grasse, lisse, rugueuse, grumeleuse, structurée, bariolée, chinée, rayée, etc. Ces descripteurs peuvent être associés à une ou plusieurs familles de sensations selon les récepteurs sensoriels sollicités. La brillance et la couleur sont associées essentiellement à la vue. Le relief de surface, lui, peut être associé à plusieurs sens tels que le toucher et la vue bien sûr, mais aussi l'ouïe du fait du bruit

émis quand la surface est parcourue du bout du doigt, par exemple. Parce qu'il est associé à des notions de qualité, de durabilité, de noblesse des matières, parfois d'artisanat, l'aspect métallique a une place de choix parmi les objets de grande consommation (pour le packaging, l'automobile, le bâtiment ou encore le textile). On peut trouver certaines modalités de l'aspect métallique dans toutes les familles de matériaux : des carrelages, des textiles ou des cuirs aux reflets métalliques, des peintures métallisées scintillantes ou réfléchissantes comme des miroirs. Cependant, on s'accordera facilement à dire que même s'ils peuvent présenter un « aspect métallique », ces matériaux ne « sont pas » métalliques... parce que le textile et le cuir sont souples, le carrelage est cassant, ou encore que le plastique métallisé est léger et chaud au toucher. En étudiant plus en détails les critères qui entrent ou pas dans la description de l'aspect métallique, le lien entre propriétés physiques intrinsèques au métal et propriétés perçues pourra être mieux compris.

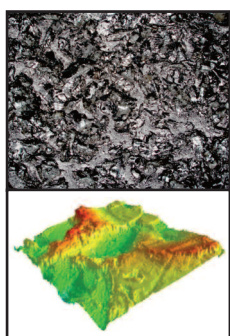
Approche méthodologique en proposant des descripteurs mesurables pour optimiser le cycle de création/production

Surfaces métalliques texturées



▲ Figure 1 : Image optique de la surface sablée par projection de particules de grenaille et reconstitution 3D.

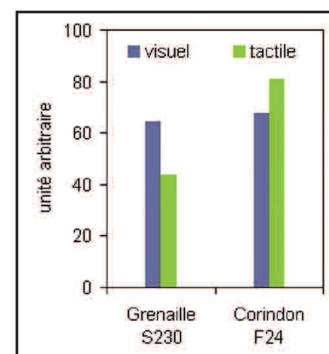
▼ Figure 2 : Image optique de la surface sablée par projection de particules de corindon et reconstitution 3D.



Une surface métallique peut être texturée par sablage, c'est-à-dire par projection d'une poudre abrasive sur la surface. Selon la forme et la dureté de la poudre, les caractéristiques topographiques de la surface métallique peuvent être très différentes. Considérons deux échantillons d'aluminium texturés par sablage. La figure 1 montre une surface sablée par projection de particules de grenaille d'acier (S230, granulométrie 0,6-0,9 mm) qui sont caractérisées par leur forme sphérique comme le montre la reconstruction 3D de la surface. La figure 2 montre une surface sablée par projection de particules de corindon (F24, granulométrie 0,6-0,85 mm) qui sont caractérisées par une forme pyramidale et des arêtes tranchantes. La surface traitée devient alors scintillante. Les deux surfaces sablées présentent un relief très différent.

Ces deux échantillons ont été ajoutés à une série de quinze autres échantillons métallisés ou métalliques présentant des texturations de surfaces différentes. Il a été demandé à 10 individus non entraînés de classer ces échantillons le long d'une table en ordre croissant de rugosité perçue, en essayant de corrélérer différence perçue et distance laissée entre les échantillons. Ainsi, deux échantillons perçus comme ressemblants seront plus proches

en position sur la table que deux échantillons perçus comme très différents. La distance entre le premier échantillon et le dernier était en moyenne de 3,5 m. Les données ont été normalisées de telle sorte que le premier échantillon soit à l'indice 0 et le dernier à l'indice 100. Les positions des échantillons présentés ici sont tracées sur la figure 3. Deux séries d'expériences ont été mises en œuvre, dans la première, l'évaluateur avait les yeux bandés et faisait l'évaluation à l'aide de ses doigts (« tactile »), dans la deuxième, l'évaluateur ne pouvait pas toucher les échantillons et évaluait la rugosité à l'aide de ses yeux (« visuel »). On constate par ailleurs que l'échantillon scintillant présentant des facettes (« corindon ») est perçu plus rugueux que l'échantillon « grenaille » ; ainsi, la pulpe des doigts différencie aisément un relief anguleux d'un relief plus arrondi. En revanche, par le biais seul des yeux, le cerveau n'assigne pas préférentiellement une sensation rugueuse plus forte pour l'échantillon « corindon ». Les deux échantillons sont positionnés de manière similaire. Cette expérience souligne la complémentarité et le désaccord possible des capteurs sensoriels pour l'analyse de stimuli complexes tels que le relief de surface. Par ailleurs, il apparaît indispensable de considérer la forme d'une rugosité de surface comme descripteur et non seulement une rugosité moyenne pour analyser son lien avec la perception.

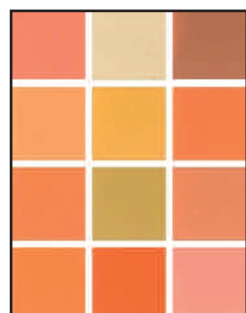


▲ Figure 3 : Résultats des évaluations « visuelle » et « tactile » de la rugosité perçue des échantillons avec (grenaille et corindon).

Couleur des surfaces métalliques

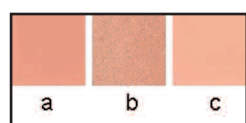
La couleur résulte de l'interaction entre la lumière, la matière et l'homme [5]. Elle n'a de sens que lorsque ces trois sujets sont définis. Ainsi, la couleur d'un objet change lorsque l'éclairage change et la couleur d'un objet n'est pas forcément perçue de la même manière par tous les individus. Il existe des méthodes normalisées permettant de définir dans des environnements contrôlés des couleurs mates, exemptes de reflets en faisant référence aux mires colorimétriques. Mais dans le cas des métaux, comment appréhender la couleur ? Du point de vue physique, la couleur des métaux peut-être modélisée par le modèle de Drude-Lorentz [6] (le modèle du dipôle oscillant) qui décrit le comportement du matériau au cours d'une interaction avec une onde électromagnétique incidente, et plus précisément le comportement des électrons de conduction d'un métal. La couleur du métal est alors déterminée par l'énergie de seuil de transition interbandes, c'est-à-dire l'énergie nécessaire pour faire passer un électron de la bande de valence (électrons liés aux noyaux atomiques) dans la bande de conduction (électrons libres délocalisés). Si ce seuil se trouve dans le domaine du spectre du visible, le métal apparaît coloré. C'est le cas du cuivre et de l'or, dont les seuils se situent respectivement vers 590 nm et 496 nm et qui absorbent donc les photons en dessous de ces longueurs d'onde. Si le seuil se trouve à des longueurs d'onde plus basses (dans l'ultraviolet), le métal apparaît sans couleur et fortement réfléchissant. C'est le cas de l'argent

et de tous les métaux alcalins (sodium, magnésium, etc.). Si le seuil se trouve dans l'infrarouge, le métal apparaît sans couleur et moins réfléchissant. C'est le cas de la plupart des métaux de transition (palladium, nickel, étain, etc.). Du point de vue physique, cette approche de la couleur des métaux est viable, cependant elle se limite à un cas idéal, celui du métal pur monocristallin, peu réaliste du point de vue des sciences des matériaux car un métal réel se caractérise par un grand nombre de cristaux séparés par des joints de grains et la présence d'oxydes et d'impuretés susceptibles de modifier la couleur perçue. Du point de vue sensoriel, du fait de la présence de la réflexion métallique, la couleur est particulièrement sensible à l'environnement. Pourtant, de manière spontanée, des personnes interrogées diront que l'aluminium est gris, l'or est jaune et le cuivre est rouge-orangé. Peut-on être plus précis quant à la perception de la couleur d'un métal ? En se plaçant dans des conditions d'éclairage contrôlées, une centaine de patches colorés mats, présélectionnés dans des nuances rose, orange, rouge et ocre ont été disposés sur une table. Il a été demandé à douze personnes de choisir le patch qui représentait le mieux la couleur du cuivre (ils pouvaient les manipuler un à un pour les comparer). Cette procédure simplifiée, qui est loin d'être comparable à un protocole normalisé d'évaluation sensorielle, permet de mettre en évidence l'image mentale de la couleur du cuivre d'un groupe d'individus. La couleur choisie par chacun d'eux est dictée par leur expérience personnelle. Ainsi, ils peuvent



avoir été en contact avec des objets en cuivre ou n'avoir jamais vu de cuivre ou encore n'avoir vu que des objets dits d'« aspect cuivré » (peinture, flacon...). Douze patches différents mais dans des nuances proches ont été choisis (Fig. 4).

◀ Figure 4 : Patches de couleurs choisis dans la première partie de l'expérience. (Les couleurs reproduites peuvent différer des couleurs évaluées).



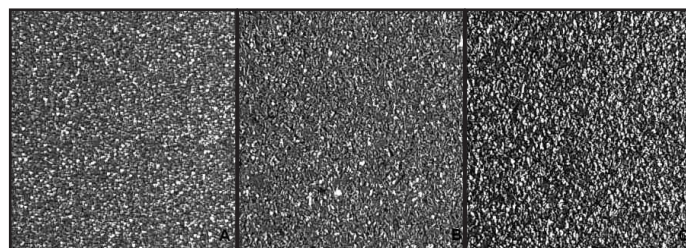
◀ Figure 5 : Comparaison entre les patches sélectionnés (a-80 %, c-20 %) et l'échantillon de cuivre à contretyper (b). (Les couleurs reproduites peuvent différer des couleurs évaluées).

Par la suite, un échantillon de cuivre sablé a été présenté à ces mêmes personnes (Fig. 5). Le choix d'un échantillon sablé permet d'éviter une réflexion de type miroir sur l'échantillon, cependant l'échantillon reste scintillant, ce qui rend la définition d'une couleur difficile. Cette fois, avec l'échantillon sous les yeux, il leur a été demandé de choisir à nouveau un patch. Lors de cette expérience, 80 % des personnes interrogées ont choisi le même patch. Ainsi, malgré l'aspect réfléchissant et scintillant du matériau, les individus ont pris une décision identique liée à leur capacité à la fois de moyenner une couleur sur une surface scintillante mais aussi de percevoir une différence de couleur plus ou moins grande entre un patch de couleur mate et la couleur perçue de l'échantillon métallique.

Cette expérience en deux temps permet, d'une part, de mettre en évidence l'importance du vécu d'une personne sur son image mentale d'une sensation et, d'autre part, souligne la capacité de l'œil à détecter des différences de couleurs.

Imiter l'aspect scintillant du métal

Une multitude de méthodes est disponible pour transformer une surface quelconque en surface « métallique » (peinture, dépôt sous vide, dépôt électrolytique...). L'aspect métallique est ainsi reproduit de manière, soit à rappeler certaines modalités seulement du métal (scintillement, réflexion, brillant, teinte...), soit de manière à « tromper l'œil » en mimant toutes les modalités de l'aspect métallique. D'autres voies de production employant des plastiques chargés de particules de céramique ou de métal ont pour but de mimer les propriétés thermiques et la densité du métal. Ici nous ne considérerons que l'imitation des modalités « brillant » et « scintillant » du métal. Les photos de la figure 6 présentent trois aspects métalliques de type « sablé » obtenus par trois méthodes différentes. L'image A montre une pièce lisse de PVC recouverte d'une peinture métallisée contenant des paillettes (particules micrométriques d'aluminium de type plaquettes) qui permettent de donner un aspect scintillant dû aux différentes orientations des paillettes. L'image B représente une plaque d'aluminium ayant été sablée par projection de corindon F24 (particules abrasives tranchantes de granulométrie 0,650-0,800 mm). Ce traitement entraîne la formation d'une surface rugueuse présentant des facettes de l'ordre de grandeur des particules de corindon. L'image C montre une réplique en résine époxy de l'échantillon B recouverte d'une peinture de type « aspect chromé » c'est-à-dire ayant un rendu de métal poli miroir.



▲ Figure 6 : Trois échantillons d'aspect métal sablé (lumière blanche incidente à 45° et prise de vue à 90° par rapport à la surface des échantillons).

Sur les photographies (prises dans les mêmes conditions d'angles et d'éclairage) de ces échantillons, l'aspect des deux échantillons non métalliques semble être acceptable. En effet sous cet angle, ces deux échantillons ressemblent à l'échantillon en métal sablé. Pour le cas A, les différentes orientations des paillettes entraînent des réflexions dans différentes directions de la lumière incidente mimant ainsi les facettes de l'échantillon sablé. Ainsi, la lumière réfléchie dans la direction de l'observateur émanant de l'échantillon A, pourtant lisse, s'apparente à la lumière réfléchie de l'échantillon B, pourtant très rugueux. Pour l'échantillon C, la réplique en résine a pour but de reproduire la rugosité microscopique et millimétrique de l'échantillon B, et la peinture qui est appliquée ensuite reproduit le métal massif (la rugosité se voyant un peu modifiée par l'application de cette couche de peinture). En réalité, l'échantillon A, observé à des angles plus rasants, montre immédiatement les limites de ce type de solution pour obtenir un aspect métallique satisfaisant. En effet, d'une part, les paillettes ne permettent pas de recréer les effets d'ombrages obtenus par sablage. D'autre part, une peinture est toujours composée d'une partie liante en polymère entre les pigments et cette phase polymère a tendance à donner à la surface un aspect de type vernis (par définition, un vernis

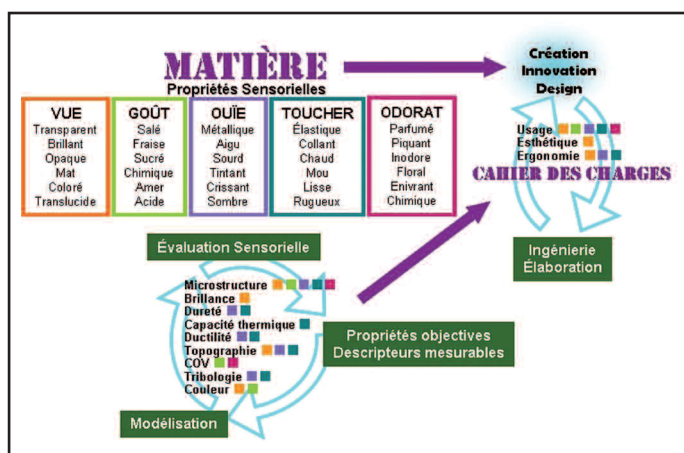
est une peinture sans pigments) et de ce fait introduit une réflexion particulière à l'échantillon qui n'est pas forcément compatible avec une réflexion de type métallique. En ce qui concerne, l'échantillon C, une fois encore une observation sous un autre angle met en évidence les faiblesses de cette métallisation. Contrairement au cas précédent, la présence d'une réelle rugosité permet d'obtenir les effets d'ombrage. Cependant, l'application d'une peinture apporte le même biais que précédemment mais a en plus tendance à adoucir les facettes de la réplique en résine. Dans le cas de l'aspect visuel des surfaces métalliques, la notion d'angle d'observation et de mouvement est un paramètre essentiel à considérer pour pouvoir apprécier les effets de brillance et d'ombrage. Ainsi, on peut imaginer qu'un meilleur résultat pourra être obtenu en effectuant une réplique en résine de la surface sablée suivie d'un revêtement par dépôt sous vide de métal (quelques centaines de nanomètres d'épaisseur de métal pur). Ces exemples montrent que l'analyse des propriétés intrinsèques d'un matériau (topographie, composition, microstructure, dureté, ténacité, conductivité thermique...) est un levier pertinent pour la compréhension des propriétés sensorielles du matériau mis en situation.

Conclusion

Notre démarche, résolument centrée sur les sciences et l'ingénierie des matériaux, a pour but de considérer les propriétés sensorielles des matériaux en tant que caractéristiques fondamentales de ces derniers afin qu'elles puissent être intégrées dans un cahier des charge de conception ou de production au même titre que leurs propriétés mécaniques et physiques. La figure 7 décrit cette démarche qui repose sur l'étude conjointe des propriétés sensorielles de matériaux via l'évaluation sensorielle et des propriétés physicochimiques des matériaux via les outils de l'ingénierie des matériaux (caractérisation et modélisation).

En effet s'il apparaît intuitivement que certaines perceptions (« froid », « lourd », brillant », ...) peuvent être reliées directement à des propriétés physiques élémentaires (la conductivité thermique, la densité, l'indice de réfraction), d'autres perceptions mettent en jeu des interactions entre modalités sensorielles et nécessitent un protocole et une démarche adaptée pour être

▼ Figure 7 : Schéma de la démarche d'ajout des propriétés sensorielles dans un cahier des charges.



mesurées quantitativement. Une description « objective », c'est-à-dire reproductible et indépendante de l'évaluateur, de ces modalités est possible dans une certaine mesure, comme le montrent les deux exemples précédents. Notre démarche entraîne l'ajout d'un nouvel axe, associé aux propriétés sensorielles des matériaux, au référentiel des « propriétés classiques » des matériaux. Ceci permettra de créer un langage commun entre les différents acteurs de l'innovation, designers, ingénieurs, ou responsables du marketing. L'objectif n'est pas de substituer la démarche du technicien à celle du créateur, mais de lever les ambiguïtés engendrées par des définitions ou des descripteurs vagues ou peu pertinents. Ce faisant, les parties réellement créatives du processus de conception retrouvent leur place : celle qui ne peut se réduire à des descripteurs quantifiés. En rendant objectif ce qui n'était que faussement subjectif du fait d'une définition vague ou inadaptée, on souhaite que chacun trouve la place qui lui revient dans le processus d'innovation.

Remerciements :

L'auteur remercie l'entreprise Omnisablage pour la production des échantillons sablés, la société Stil pour les reconstructions 3D des surfaces des échantillons et les étudiants et le personnel de l'école des Mines de Saint-Étienne pour leur participation aux diverses évaluations.

Références :

- [1] Institut Carnot Sensominer www.communaute.carnot-mines.eu
- [2] A. Fuga, Matériaux et propriétés psychosensorielles, *Matériaux et Techniques Hors Série 2009*, 2-4
- [3] F. Depledt, *Évaluation sensorielle manuel méthodologique*, 3^e Ed., Tec et Doc Lavoisier (2009)
- [4] A. Dumenil-Lefebvre, *Intégration des aspects sensoriels dans la conception des emballages en verre : mise au point d'un instrument méthodologique à partir des techniques d'évaluation sensorielle*, thèse de doctorat de l'école nationale supérieures des arts et métiers (2006)
- [5] M. Elias, J. Lafait, *La couleur : lumière, vision et matériaux*, Echelles - Belin (2006)
- [6] P. Callet, *Couleur-Lumière, couleur-matière, Sciences en actes - Diderot multimedia* (2008)

Jenny Faucheu, Enseignante-Chercheuse à l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne.

Docteur-Ingénieur en Sciences et Ingénierie des Matériaux, sa thématique de recherche est centrée sur l'étude des propriétés sensorielles des matériaux par l'utilisation d'outils complémentaires issus des sciences des matériaux et de la métrologie sensorielle. Ses intérêts scientifiques rejoignent ses orientations pédagogiques par son implication dans le développement de l'enseignement de la conception « by design* » dans le cursus Ingénieur Civil des Mines.



*Approche de la conception par l'intégration de paramètres non seulement techniques mais aussi sociétaux, perceptifs et environnementaux pour apporter une réponse globale à une problématique industrielle.