

# PHOTOPHYSIQUE ET COULEUR CUTANÉE

G.E. PIÉRARD (1), E. UHODA (2),

**RÉSUMÉ :** Les propriétés optiques de la peau et des chromophores qu'elle contient guident et absorbent la lumière. La couleur cutanée qui en résulte peut être évaluée visuellement ou par des méthodes objectives. La spectrophotométrie, la colorimétrie par tristimulus et l'analyse informatisée d'images sont des méthodes bien codifiées. La mélanisation épidermique est détectée avec une grande sensibilité sous éclairage ultraviolet.

**MOTS-CLÉS :** *Carnation - Chromophore - Colorimétrie - Spectrophotométrie - Méthode ULEV*

## PROPRIÉTÉS OPTIQUES DE LA PEAU

Une réflexion directe se produit à l'interface entre l'air et le *stratum corneum*. Elle est due à une différence de l'indice de réfraction de l'air (1,0) et celui de la couche cornée (1,55). En raison du caractère anfractueux de la surface cutanée, la réflexion directe est essentiellement diffuse. Elle est importante pour le visible et l'IR (60%), mais reste modeste pour l'UV inférieur à 320 nm. Elle est plus importante chez le sujet blanc que chez le noir, et dans les zones cutanées où la couche cornée est compacte.

En pratique, la réflectance totale est le rapport de l'intensité du rayonnement réfléchi à l'intensité du rayonnement incident. Elle varie avec la couleur de peau en fonction des quantités de mélanine et d'hémoglobine qui sont les principaux absorbants. Cette propriété physique permet d'apprécier le phototype et de mesurer la pigmentation. Cette réflectance est composée non seulement de la réflexion directe à la surface cutanée, mais aussi des rayons rétro-réfléchis et diffractés à des niveaux plus profonds de la peau.

Par le phénomène de diffraction, la lumière modifie sa direction sans changer son spectre de longueurs d'onde. Ceci est dû à la présence de particules non absorbantes et d'interfaces entre des milieux de nature différente. Au niveau de l'épiderme, la diffraction est principalement due à l'interface entre les cornéocytes et l'air ainsi qu'aux grains de kératohyaline.

La diffraction est également la propriété optique dominante du derme. Elle augmente le trajet à parcourir par les photons avant d'être absorbés. Le phénomène est d'autant plus marqué que les longueurs d'onde sont courtes. Compte tenu de la localisation des chromophores et des caractéristiques de la diffraction

## SKIN PHOTOPHYSICS AND COLOURS

**SUMMARY :** The optical properties of skin and of chromophores orientate and absorb light. The resulting skin colour can be assessed by visual inspection or by objective methods. Spectrophotometry, tristimulus colorimetry and computerized image analysis are well codified methods. Epidermal melanisation is detected with great sensitivity under ultraviolet light illumination.

**KEYWORDS :** *Carnation - Chromophore - Colorimetry - Spectrophotometry - ULEV method*

intradermique, la transmission de la lumière dans la peau est plus profonde pour la lumière de grande longueur d'onde.

L'absorption du rayonnement UV se fait à différents étages de la peau. La couche cornée absorbe près de 70 à 80 % des UVB du fait de la présence dans la kératine d'acides aminés polaires (acide glutamique, asparagine, sérine), dont le spectre d'absorption se situe dans les UVB. L'acide urocanique participe au même mécanisme d'absorption des UVB par le passage de façon réversible de la forme *trans* à la forme *cis*. Ce produit de désamination de l'histidine est sécrété dans la sueur lors de l'exposition solaire, surtout chez les sujets à peau noire. Trois pigments absorbent électivement certaines longueurs d'ondes : la mélanine pour les UV et le visible dont elle convertit l'énergie sous forme de chaleur (conversion photo-phonon), les caroténoïdes pour le visible, et l'hémoglobine pour les fractions du spectre de 410 à 430 nm et de 540 à 580 nm.

La diffraction est très importante dans la couche cornée qui présente une structure pseudocristalline formée par les filaments de kératine alignés parallèlement à la surface cutanée. La mélanine diffracte le rayonnement dont la longueur d'onde est voisine de la taille des mélanosomes, les courtes longueurs d'onde étant plus diffusées que les grandes longueurs d'onde.

La transmission de la lumière dans la peau est la résultante des phénomènes optiques précités. La majorité du rayonnement UVB de 290 à 315 nm est absorbée par la couche cornée. Cependant, 20 à 30 % atteignent le corps muqueux et environ 10 % le derme. La majorité du rayonnement UVA et visible pénètre dans l'épiderme. Seule une partie atteint le derme du fait de l'absorption par la mélanine. Le rouge et l'IR traversent facilement l'épiderme, le derme et atteignent l'hypoderme.

(1) Chargé de Cours, Chef de Service, (2) Assistant, CHU du Sart Tilman, Service de Dermatopathologie

## PERCEPTION DES COULEURS

Une couleur naturelle résulte de la transformation de la lumière blanche en une lumière colorée suite à une interaction avec la matière. La nature de la lumière incidente, celle de la matière et la fonction du récepteur, c'est-à-dire l'oeil et le cerveau, influencent la perception des couleurs.

L'œil humain perçoit les radiations électromagnétiques d'une longueur d'onde comprise entre 400 et 700 nm. La vision de la couleur est trichromatique, associant la perception du bleu, du rouge et du vert. C'est la combinaison de ces trois stimulus qui permet de distinguer une palette de plusieurs centaines de teintes différentes.

Il existe de grandes différences de perception physiologique des couleurs entre différentes espèces animales et l'Homme. Cette affirmation repose sur la constatation de différences majeures des récepteurs de la couleur au niveau de la rétine. Dans le domaine de la pathologie, le daltonisme est l'exemple typique d'une anomalie génétique de la perception de certaines couleurs.

Sur le plan de la physique, une couleur résulte de la combinaison de l'absorption et de la diffusion de la lumière. L'absorption transforme certaines longueurs d'onde de la lumière incidente en une autre forme d'énergie. La diffraction, la réflexion et la réfraction modifient le trajet et parfois décompose le spectre lumineux.

Au-delà de ces principes de base, la compréhension de tous les phénomènes physiques influençant les couleurs reste imparfaite. Il est cependant évident que la taille des particules éclairées est un facteur important déterminant leur couleur.

## CHROMOPHORES ET COULEUR CUTANÉE

La couleur de la peau dépend en grande partie de la combinaison de molécules et de particules appelées chromophores qui absorbent certaines longueurs d'onde de la lumière.

Trois types principaux de chromophores sont normalement présents dans l'épiderme. L'eumélanine et la phaeomélanine présentes dans les mélanocytes et les kératinocytes sont respectivement brun foncé et jaunâtre à rouge brunâtre. Elles ont un large spectre d'absorption dans la lumière visible et ultraviolette. Des caroténoïdes sont des lipides d'origine exogène ayant une teinte jaunâtre. Ils peuvent, en certaines circonstances de surcharge, s'accumuler en abondance dans la couche cornée.

Trois chromophores sont présents dans les réseaux vasculaires sanguins. L'oxyhémoglobine est rouge vif alors que l'hémoglobine réduite est

rouge bleuâtre. La bilirubine a une teinte jaune. Des mélanocytes, des naevocytes et des mélanophages présents dans le stroma conjonctif renferment les chromophores mélaniques en quantités variables.

D'autres chromophores cutanés d'importance mineure incluent les bases pyrine et pyrimidine, la phénylalanine, la tyrosine, le tryptophane, la cystéine, l'acide urocanique, les porphyrines, la riboflavine et divers stéroïdes.

## ECHELLES VISUELLES DES COULEURS

En utilisant des supports colorés de référence, il est possible de réduire sensiblement la variabilité interindividuelle de l'appréciation des couleurs. Le système le plus employé est l'échelle des couleurs de Munsell.

L'échelle de Munsell n'est pas adaptée aux nuances de la couleur de la peau. On lui substitue d'autres gammes de teintes. Un exemple est celui du Melanotest® (Roche) proposant 6 couleurs de référence dans l'évaluation des tumeurs pigmentaires.

## SPECTROPHOTOMÉTRIE

La spectrophotométrie analyse différentes longueurs d'onde de la lumière. En pratique, il en existe deux systèmes différents selon qu'ils étudient l'ensemble du spectre visible ou des fractions spécifiques de celui-ci.

### A) SPECTROPHOTOMÉTRIE GLOBALE

La spectrophotométrie globale explore l'entière du spectre de la lumière visible, le plus souvent celle émise par une lampe au xénon. L'interprétation des spectrogrammes est délicate à réaliser.

### B) SPECTROPHOTOMÉTRIE SÉLECTIVE

La spectrophotométrie sélective analyse quelques bandes étroites du spectre visible. Le but est de mesurer l'influence de chromophores particuliers sur la couleur globale de la peau. En théorie, l'index mélanique quantifie la mélanine et l'index érythémal quantifie l'hémoglobine. Cependant, la valeur de l'index érythémal est influencée par celle de l'index mélanique. Ce dernier dépend aussi en partie du niveau de saturation en oxygène de l'hémoglobine. En pratique, un érythème sévère diminue significativement l'index mélanique. La bilirubine est un autre chromophore accessible à cette méthode biométrologique non invasive.

## COLORIMÉTRIE PAR TRISTIMULUS DANS LES SYSTÈMES CIE

La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) a défini des systèmes de notation des couleurs. Ce sont les couleurs globales qui sont quantifiées alors que la nature des chromophores n'est en rien identifiée.

### A) SYSTÈME NORMALISÉ CIE 1931 Yxy

Le premier système de notation est appelé CIE 1931 Yxy. Les axes x et y définissent une surface des couleurs. La valeur Y est exprimée en pourcentage, la valeur 100 étant attribuée au blanc. Il n'y a pas de corrélation linéaire entre les évaluations CIE Yxy et la perception visuelle des couleurs.

### B) SYSTÈME NORMALISÉ CIE 1976 L\*a\*b\*

#### Paramètres conventionnels

Le système CIE 1976 L\*a\*b\* est bien adapté en médecine puisqu'il apporte un aspect quantitatif corrélé avec la perception visuelle. Il repose sur l'usage de trois grandeurs physiques. La première est une caractéristique d'intensité évaluant le caractère clair ou foncé d'un objet sans tenir compte de la teinte proprement dite. C'est la luminance L\* dont l'échelle d'évaluation s'étend de la valeur 0 pour le noir jusqu'au 100 pour le blanc absolu (fig. 1). La seconde caractéristique d'une couleur concerne sa longueur d'onde dominante. La troisième caractéristique est le facteur de pureté indiquant comment la couleur considérée se rapproche plus ou moins d'une teinte pure.

L'ensemble de la longueur d'onde dominante et du facteur de pureté constitue la chromacité. Celle-ci est appréciée sur deux échelles, a\* et b\*. La chromacité a\* évalue le spectre du rouge (valeur + 100) au vert (valeur - 100). La chromacité b\* évalue le spectre du jaune (valeur + 100) au bleu (valeur - 100). Un disque des couleurs peut ainsi être représenté lorsque les chromacités a\* et b\* sont présentées sur deux axes orthogonaux.

Lorsque l'axe de la luminance L\* est placé perpendiculairement au centre du disque des chromacités, on réalise une représentation du monde des couleurs sous la forme d'une sphère.

Les mesures dans le système CIE L\*a\*b\* se prêtent bien à certains calculs combinant les valeurs individuelles de variables choisies. Les formules les plus utilisées sont les suivantes, incluant l'index érythémal colorimétrique (IEC) et la différence absolue de couleur (DE\*ab)\*

$$\Delta L^* = \text{différence entre 2 valeurs de } L^*$$

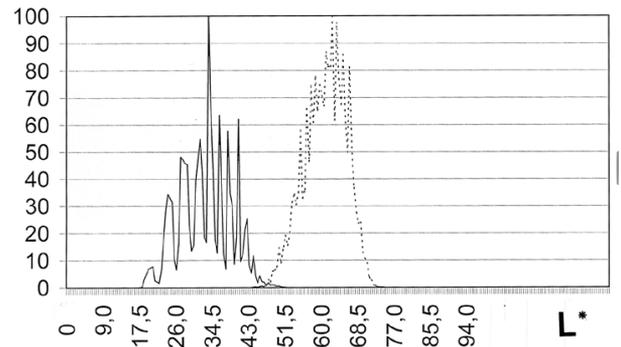


Fig. 1 : Spectres de distribution des valeurs L\*d'une peau claire (pointillés) et d'une peau très foncée (ligne continue)

$$\Delta a^* = \text{différence entre 2 valeurs de } a^*$$

$$\Delta b^* = \text{différence entre 2 valeurs de } b^*$$

$$\text{Chroma } C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0,5}$$

$$\text{IEC} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2]^{0,5}$$

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0,5}$$

Le volume des couleurs de la peau (VCP) dans l'espace CIE L\*a\*b\* ne représente de toute évidence qu'une partie du volume de toutes les couleurs. Le VCP d'une zone photoprotégée est vertical et de forme arquée, bordé par les valeurs L\* entre 20 et 75, et dans l'espace jaune orangé avec a\* > 0, b\* > 0 et b\* > a\*. Du fait de la nuance de type jaune orangé de la peau, avec une composante jaune b\* en moyenne deux fois plus importante que la composante rouge a\*, le volume de couleur de peau se situe dans l'espace plus proche du plan L\* Λ b\* que du plan L\* Λ a\*.

Les couleurs individuelles de la peau se répartissent de haut en bas dans ce volume en fonction de l'intensité de la pigmentation mélanique naturelle, en un faisceau de points de luminance L\* décroissante. Ces points constituent des axes de mélanisation qui structurent le volume dans sa longueur, et se distribuent dans sa section en fonction de la nuance et de la chromacité des mélanges des chromophores naturels.

#### Angle typologique individuel

En prenant pour référence le point central du plan horizontal médian de l'espace L\*a\*b\*, c'est-à-dire celui correspondant à L\* = 50, a\* = b\* = 0, on peut définir un aspect de la couleur de la peau par son altitude angulaire. Ceci conduit à la définition de l'angle typologique individuel (ATI°) selon :

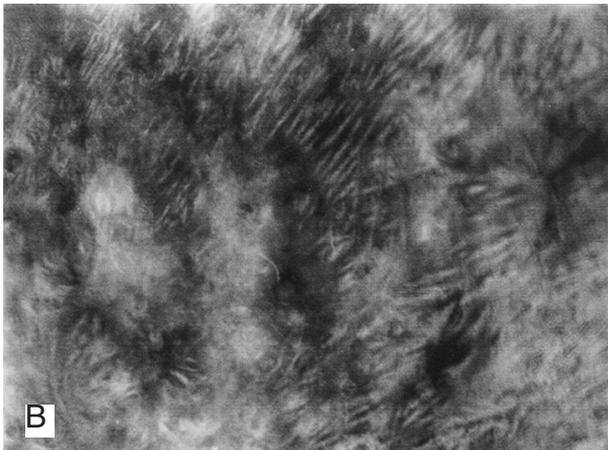
$$\text{ATI}^\circ : \text{Arc tangente } [(L^*-50) b^{-1}] \times 180 \times \pi^{-1}$$

dans lequel l'arc tangente est exprimé en radians.

L'utilisation des deux composantes L\* et b\* retenues dans la formulation de ATI° et celle du plan L\* Λ b\* pour la projection du volume de cou-



Fig. 2 : Analyse infomatisée d'images de la peau d'un sujet mélanoderme examinée par dermoscopie



B

leur de la peau apparaît donc appropriée pour l'approche de la typologie colorimétrique. Ainsi, par le calcul de  $ATI^\circ$ , il est possible d'évaluer des variations de la couleur cutanée relatives à la mélanisation.

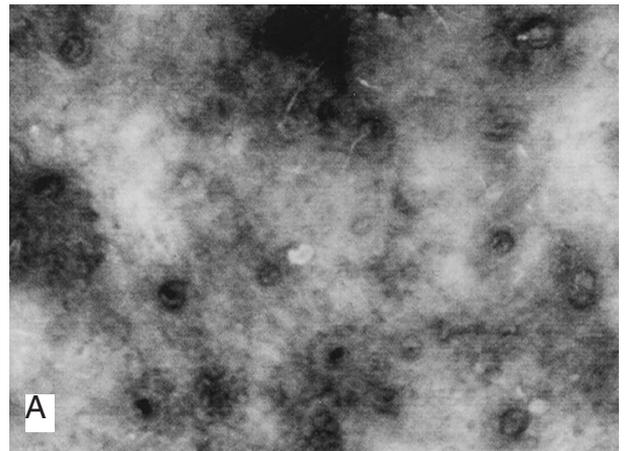
Il est possible d'utiliser le plan de projection  $a^*Ab^*$  de VCP pour étudier certains aspects particuliers de la physiopathologie telle que l'actinodermatose.

#### ANALYSE D'IMAGES

L'analyse informatisée d'images est utilisée pour la quantification des couleurs. L'avantage de cette méthode par rapport aux mesures colorimétriques réside dans la possibilité d'étudier l'hétérochromie d'une zone cutanée (Fig. 2).

#### MÉLANISATION ÉPIDERMIQUE OBSERVÉE SOUS LUMIÈRE ULTRAVIOLETTE

Dans la vie d'un individu, une des premières conséquences néfastes de l'exposition de la peau



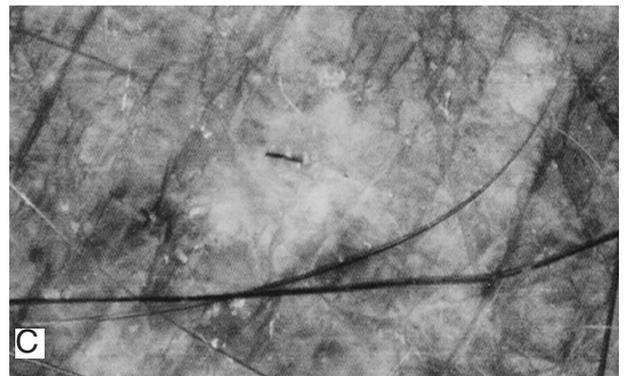
A

Fig. 3 : Aspect de la peau du front en lumière ultraviolette

a) : Mélanodermie infraclinique hétérogène

b) : Mélanodermie infraclinique intense

c) : Hypomélanose maculaire signant une abolition focale de la production de mélanine photoprotectrice



C

aux ultraviolets est un trouble fonctionnel des mélanocytes. Certains sont activés alors que d'autres perdent leur capacité de synthétiser et de transférer la mélanine. Il en résulte une hétérochromie cutanée. Cette première étape d'une héliodermie est indiscernable à l'œil nu. Elle est cependant révélée par l'emploi d'une caméra mesurant la filtration d'ultraviolets de grande longueur d'onde par l'épiderme. La lumière émise est de type UVA (365 nm de longueur d'onde). Elle est en partie absorbée par la mélanine lors de son passage dans l'épiderme.

Ce qui atteint le derme est partiellement transformé en lumière visible (420 nm de longueur d'onde) par les propriétés fluorescentes du collagène. La fraction de cette lumière réfléchie vers la surface de la peau est à nouveau filtrée par la mélanine dans sa traversée de l'épiderme. Comme l'absorption des radiations lumineuses par la mélanine est 3 à 5 fois plus importante pour les longueurs d'onde de 360 nm et de 420 nm que pour l'ensemble du spectre visible, le contraste

entre les zones riches et pauvres en mélanine est près de 10 fois supérieur lors de l'observation en lumière ultraviolette plutôt qu'en lumière ambiante. Cette propriété peut bénéficier de nouvelles techniques photographiques (Fig. 3). La différence entre les clichés en lumière blanche et ultraviolette est alors impressionnante. Cet examen révèle des zones sombres où la fonction mélanocytaire de protection est préservée, qui contrastent avec des zones claires où elle est déficiente. Les résultats sont quantifiés par analyse informatisée d'images. L'importance de l'hétérochromie est vraisemblablement un facteur de risque au développement de cancers cutanés (9).

## RÉFÉRENCES

1. Hermans JF, Henry F, Piérard-Franchimont C, Piérard GE.— Quantification analytique du vieillissement du système mélanocytaire. Implication dans la détermination objective du risque de cancers cutanés. *Ann Gerontol*, 2001, **15**, 233-239.
2. Hermans JF, Petit L, Hermans-Lê T, Piérard GE.— Analytic quantification of phototype-related regional skin complexion. *Skin Res Technol*, 2001, **7**, 168-171.
3. Piérard GE.— EEMCO guidance for the assessment of skin colour. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 1998, **10**, 1-11.
4. Deleixhe-Mauhin F, Piérard-Franchimont C, Piérard GE.— Introduction au monde de la couleur en médecine. *Rev Med Liège*, 1991, **46**, 607-612.
5. Petit L, Piérard-Franchimont C, Saint Léger D, et al.— Subclinical speckled perifollicular melanosis of the scalp. *Eur J Dermatol*, 2002, **12**, 565-568.
6. Uhoda E, Petit L, Piérard-Franchimont C, Piérard GE.— Ultraviolet light enhanced visualization of cutaneous signs of carotene and vitamine A dietary deficiency. *Acta Clin Belg*, 2004, **59**, 97-101.
7. Petit L, Fogouang L, Uhoda I, et al.— Regional variability in mottled photo-induced melanoderma in the elderly. *Exp Gerontol*, 2003, **38**, 327-331.
8. Hermans JF, Petit L, Piérard-Franchimont C, et al.— Unraveling the patterns of subclinical phaeomelanin-enriched facial hyperpigmentation. Effect of depigmenting agents. *Dermatology*, 2000, **201**, 118-122.
9. Quatresooz P, Petit L, Uhoda I, et al.— Mosaic subclinical melanoderma. An Achilles heel for UV-related epidermal carcinogenesis? *Int J Oncol*, 2004, **25**, 1763-1768.

Les demandes de tirés à part sont à adresser au Prof. G.E. Piérard, Service de Dermatopathologie, CHU du Sart Tilman, 4000 Liège.  
E-mail : gerald.pierard@ulg.ac.be