

Évaluation automatique de l'érythème et de l'épaississement de la peau pour le diagnostic du psoriasis

Taoufik EL KABIR¹, Benjamin BRINGIER¹, Majdi KHOUDEIR¹, Jean Claude LECRON^{2,3}, Franck MOREL², Jean François JÉGOU²

¹Laboratoire XLIM, UMR 7252
CNRS, Univ. Poitiers, F-86000 Poitiers, France

²Laboratoire Inflammation Tissus Epithéliaux et Cytokines
Université de Poitiers, Poitiers, France

³Centre Hospitalier Universitaire de Poitiers
Poitiers, France

taoufik.el.kabir@univ-poitiers.fr

Résumé – En dermatologie, le traitement d'images permet la réalisation de mesures métrologiques sans contact et non invasive. Nous proposons dans cet article une méthodologie d'évaluation automatisée de la sévérité du psoriasis par la mesure des paramètres physiques de la peau. Ainsi, à partir de la colorimétrie et la géométrie obtenue par stéréo-photométrie, nous déterminons le niveau d'érythème et d'épaississement. Nos résultats montrent que pour un temps d'acquisition faible, les scores obtenus sont fortement corrélés avec ceux des dermatologues.

Abstract – In dermatology, image processing allows non-contact and non-invasive metrological measurements. In this article, we propose an automated methodology for assessing the severity of psoriasis by measuring the physical parameters of the skin. Thus, from the colorimetry and geometry obtained by photometric-stereo, we determine the level of erythema and skin thickness. Our results show that for a low acquisition time, the scores obtained are highly correlated with those of dermatologists.

1 Introduction

Le traitement d'images permet la réalisation de mesures métrologiques sans contact et non destructives. Ainsi en dermatologie, il constitue une approche originale d'aide au diagnostic. Parmi les centaines de maladies qui font la complexité de la dermatologie, le psoriasis tient une position importante. Il est évalué par les dermatologues en examinant les paramètres physiques tels que l'érythème (la rougeur) et l'épaississement de la peau. L'évaluation de ces paramètres cutanés reste subjective et peut varier d'un praticien à l'autre. Ainsi, un système d'aide au diagnostic par vision par ordinateur est nécessaire pour quantifier objectivement la sévérité du psoriasis.

Actuellement, il n'existe pas de méthode métrologique qui permet de caractériser l'érythème et l'épaississement de la peau qui soit basé sur un unique système d'acquisition. Ainsi, des relevés géométriques sont généralement utilisés pour caractériser la structure de la peau. Dans [1], la tomographie en cohérence optique est utilisée pour mesurer les couches internes suivant un profil. Pour des acquisitions de surfaces, un scanner laser est utilisé dans [2] mais l'intervention du praticien pour déterminer les zones d'analyse est nécessaire. Malheureusement, ces différentes méthodes ne permettent pas une analyse simultanée de la colorimétrie. La mesure de l'érythème repose donc sur l'utilisation de spectrophotomètres [3] ou d'images numé-

riques [4, 5] associées à des outils de calibration. Ces données colorimétriques sont ensuite traduites en indice d'érythème et de mélanine qui exprime le rapport entre la réflectance pour le rouge et le vert. À notre connaissance, la méthode la plus évoluée pour estimer conjointement ces deux paramètres repose sur un apprentissage profond [6], mais les acquisitions nécessitent un protocole spécifique et une sélection manuelle des zones d'intérêt par le praticien est nécessaire.

Dans nos travaux, nous proposons une méthodologie globale basée sur un seul système d'acquisition qui est la stéréo photométrie (SP)[7]. Elle permet de dissocier les constituants d'une image et ainsi extraire séparément la carte des hauteurs (géométrie) et l'albédo (colorimétrie). Nous évaluons à partir de l'albédo l'intensité de l'érythème et à partir de la carte des hauteurs de la peau l'épaississement. De cette façon, deux mesures physiques sont extraites, à la fois l'intensité du rouge pour l'érythème et l'élévation de la lésion la plus importante par rapport à la peau saine pour quantifier l'épaississement. Le système proposé est entièrement automatique et ne nécessite pas un paramétrage difficile, ce qui facilite son utilisation par les dermatologues.

Cet article se décompose en trois parties. Après avoir présenté la méthode d'acquisition, nous expliciterons notre méthode d'évaluation de sévérité de l'érythème et de l'épaissis-

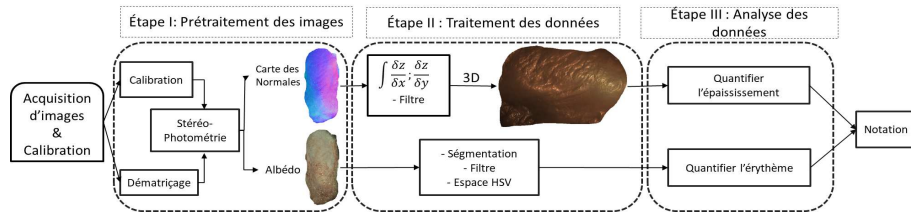


FIGURE 1 – Vue d’ensemble et aperçu de notre méthode.

sement. Enfin, des expérimentations sur des peaux de souris et un protocole clinique pour générer les différentes sévérités de psoriasis sont réalisées, suivi de discussion et de conclusion.

2 Évaluation de la sévérité du psoriasis

Dans cette section, nous décrivons les éléments-clés de la méthode proposée, de la technique employée pour l’acquisition aux méthodes d’analyse utilisées pour évaluer et attribuer les scores pour chaque paramètre du psoriasis. La figure 1 montre un aperçu de notre approche. La technique d’acquisition utilisée est la stéréo photométrie [7]. Elle repose sur deux principes : l’inversion de la fonction de distribution de la réflectance bidirectionnelle (BRDF) et la configuration d’un système avec différentes positions d’éclairage (figure 2). Son avantage est d’extraire simultanément l’albédo et la carte des normales des surfaces analysées, même en cas de forte rugosité. L’analyse de la colorimétrie et du relief extrait par le biais de la SP permet d’évaluer la sévérité du psoriasis.

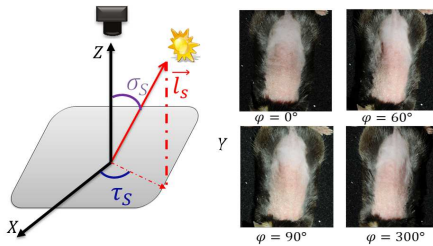


FIGURE 2 – De gauche à droite : Définition géométrique des angles σ_s et τ_s ; Exemple d’images utilisées sous différents angles d’éclairages.

2.1 Érythème

L’érythème est une lésion caractérisée par une rougeur élevée par rapport à la peau saine. Ainsi, il est nécessaire d’acquérir des zones saines et des lésions d’érythème, soit sur la même photographie, soit sur deux différentes. La carte de couleur (albédo) estimée par la SP est utilisée pour évaluer l’intensité du rouge de la peau. Sachant que l’albédo représente uniquement la couleur de la peau en chaque point, sans ombre ni spécularité, il est utilisé pour réaliser une segmentation entre la peau avec et sans érythème.

En raison de la forte corrélation entre les composantes R, G et B, nous mettons en place une méthode de segmentation

adaptative dans l’espace couleur *HSV*. La première phase de segmentation consiste à conserver la teinte correspondante au rouge, qui se situe entre 330° et 60° en passant par 0° dans le cercle chromatique de la composante teinte (H). Cela permet d’éliminer des composants de la peau tels que les poils qui peuvent gêner la segmentation de la lésion, mais aussi garantir la robustesse aux différentes couleurs de peau. À partir du reste de l’image et toujours dans l’espace HSV, nous réalisons une segmentation automatique de l’érythème basée sur l’analyse de l’histogramme de la saturation. La composante *S* est en relation directe avec l’état de la peau, notamment la rougeur. La présence d’une importante valeur de saturation du rouge signifie la présence d’érythème due à une inflammation cutanée. Comme le montre la figure 3, trois zones d’intensité de saturation du rouge se distinguent. La première correspond à une forte saturation et donc à la présence d’érythème. La troisième zone à la particularité d’avoir une faible saturation, et donc l’absence d’érythème. Enfin, c’est dans la zone intermédiaire de l’histogramme qu’un seuil peut-être choisi pour l’étape de segmentation.

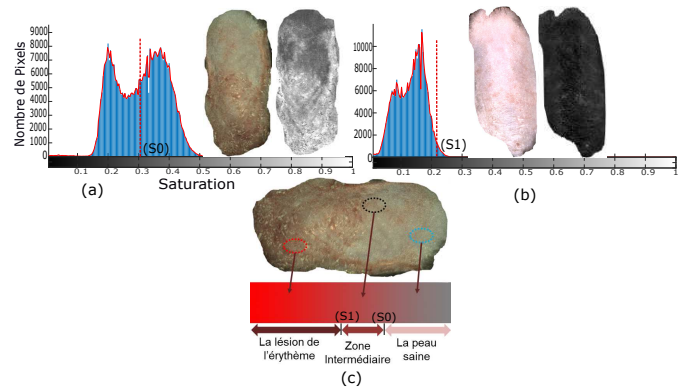


FIGURE 3 – (a)(b) Deux exemples d’histogrammes de la composante de saturation. A droite de chaque histogramme, une image RGB de l’albédo et de sa saturation; (c) Les trois régions de saturation de la peau dans la carte RGB de l’albédo.

La détermination de ce seuil adaptatif se fait automatiquement en se basant sur le coefficient du kurtosis de l’histogramme de saturation de la peau. Comme le montre la figure 3, l’allure de ce dernier est directement liée aux propriétés de couleur de la peau analysée. Lorsque la saturation de la peau est homogène, les valeurs de l’histogramme sont centrées autour de la moyenne, ce qui affecte la disparité de l’histogramme de satu-

ration. Dans ce contexte, deux cas sont possibles. Si le coefficient du kurtosis est inférieur à 0, cela signifie qu'il y a une faible probabilité de présence d'érythème, et donc le seuil S1 sera utilisé (figure 3). Inversement, s'il est supérieur à 0, le seuil correspondant à S0 sera utilisé. À partir de la zone segmentée l'intensité de la rougeur est calculé selon l'équation suivante :

$$AG = \frac{\mu_R}{\mu_R + \mu_G + \mu_B} \quad (1)$$

AG est une mesure de la concentration du rouge, avec μ_R , μ_G et μ_B les valeurs moyennes consécutives des composantes R, G et B de l'espace RGB de la peau segmentée. Ensuite, la norme l1 entre AG_E de l'érythème et la peau normale AG_H est calculée. La dernière étape consiste à attribuer le score de sévérité en fonction de l'agressivité de la rougeur.

La méthode proposée repose sur une quantification physique de la concentration de la rougeur de la peau. Ainsi l'approche respecte la méthodologie des dermatologues pour l'évaluation de l'érythème.

2.2 Épaississement de la peau

La carte de normales obtenue par la SP porte l'information de l'orientation de chaque point de la surface. Son intégration permet d'estimer la cartographie 2.5D de la surface de la peau. La figure 4 montre des exemples des reconstructions des peaux utilisées. Sachant que la peau malade possède une rugosité plus importante que la partie saine. L'ensemble des détails de surface est présent, y compris les micro-variations dues à la lésion du psoriasis. Ainsi, l'objectif est de mesurer l'élévation entre la lésion la plus importante de la surface et la peau saine autour, sans prendre en compte la forme de la partie analysée. À partir de la cartographie estimée, la première étape consiste à identifier l'endroit où les variations de texture sont les plus importantes. Pour cela, un algorithme d'entropie locale est utilisé pour identifier la zone la plus texturée au regard des variations d'élévations. Il est appliqué suivant des fenêtres de 1.5 mm^2 ce qui correspond à un périmètre de taille 9×9 au voisinage de chaque pixel. Les mesures d'entropie locale pour la discrimination de texture sont définies comme suit :

$$E = - \sum (p * \log_2(p)) \quad (2)$$

avec p la probabilité d'occurrence des valeurs de pixels. Une image parfaitement plane et homogène à une entropie de zéro.

Par la suite, le profil entre la lésion la plus importante repérée et la peau normale autour est extrait. La figure 4 montre un exemple des lignes de profils sélectionnées par la méthode, pour trois cartes des hauteurs à différents degrés de sévérité. Comme le montre la courbe des données sélectionnées, la lésion avec un score de 4 représente des déviations verticales importantes dues à l'épaississement de la peau. Généralement, suivant la norme ISO 17450 – 1 : 2011, un profil de surface est divisé en trois composantes, à savoir la rugosité, l'ondulation et la forme. La partie rugueuse est la plus fine et la plus impactée par l'épaississement. Afin d'évaluer uniquement la rugosité causée par le psoriasis sans prendre en compte les autres

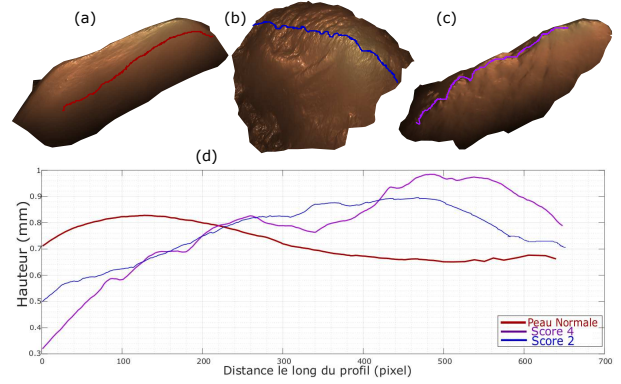


FIGURE 4 – Reconstruction 2.5D de peau (a) normale, (b) score 2, et (c) score 4; (d) tracé des données extraites pour une peau normale (Rouge), lésion score 2 (Blue), et lésion score 4 (Magenta).

composantes de la surface, nous procédons à une interpolation polynomiale quadratique de la forme du profil sélectionné précédemment. Ce type d'interpolation est le plus adapté aux primitives géométriques dans une petite zone. Il est décrit suivant cette équation :

$$Z_2(x) = a_2x^2 + a_1x + a_3 \quad (3)$$

ainsi, la forme de la partie analysée est séparée par soustraction entre la droite extraite et l'estimation de la forme calculée par interpolation. finalement, un score de sévérité compris entre 0 et 4 est assigné suivant la valeur de l'élévation de la peau analysée. De cette manière, la même approche réalisée par les dermatologues est automatisée, et permet de garantir la répétabilité du score quelque soit le praticien qui l'évalue.

3 Expérimentation et résultats

Pour standardiser le niveau de sévérité de l'érythème et de l'épaississement, nous utilisons un modèle de psoriasis appliqué à la peau de souris et qui reproduit les mêmes symptômes observés chez l'humain. La peau du dos des souris de race C57BL6/J (Janvier Labs) a été préalablement rasée, épilée, puis traitée par application locale quotidienne de crème Aldara 5% (Meda Pharma) pendant 5 jours pour provoquer du psoriasis, comme décrit précédemment dans [8]. Pour avoir un panel représentatif des sévérités possibles, les images ont été acquises à différents moments du traitement, du jour 0 (peau normale) au jour 5 (inflammation maximale de la peau). Ainsi, un score de sévérité sur une échelle de 0 à 4 (0 : aucun ; 1 : faible ; 2 : modéré ; 3 : marqué ; 4 : sévère) est attribué par un dermatologue pour chaque paramètre. Les protocoles et les animaux ont été approuvés par le comité régional d'éthique pour l'expérimentation animale (COMETHEA-N°84) sous le numéro d'autorisation 2015120416521678.

Notre système d'acquisition est composé d'un appareil photo de type reflex (Nikon D300S) et d'un objectif 200mm. La résolution des images obtenues est de 4320×2868 pixels et une surface de $142.7 \text{ mm} \times 94.7 \text{ mm}$. Le système d'éclairage est

composé de 12 lampes placées sur un plan parallèle à la surface analysée et distribuées suivant 2 cercles dont le centre est l'appareil photo. Pour optimiser la taille du système, les angles zénithaux ont été fixés à une valeur faible soit $\sigma_1 = \frac{\pi}{6}$ et $\sigma_2 = \frac{\pi}{12}$ avec respectivement $\tau_1 = [0, \frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}, \pi, \frac{4\pi}{3}, \frac{5\pi}{3}]$ et $\tau_2 = [\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{6}, \frac{7\pi}{6}, \frac{3\pi}{2}, \frac{11\pi}{6}]$ pour les angles azimuthaux. Cette configuration permet de minimiser le nombre d'éclairages afin de limiter le temps d'acquisition sans impacter la qualité de la carte des hauteurs et de l'albédo estimés. La méthode proposée est appliquée à 11 souris atteintes de psoriasis et 12 positions d'éclairages, soit un total de 132 photos acquises. Ainsi, deux scores de sévérité compris entre 0 et 4 sont calculés à la fois pour l'érythème et l'épaississement de la peau. La performance de la méthode est évaluée en comparant le niveau de similitude des scores calculés et ceux fournis par les dermatologues.

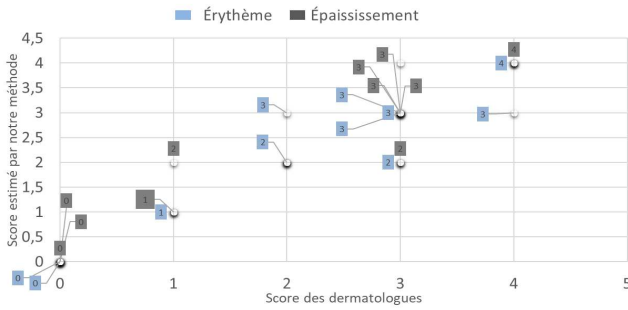


FIGURE 5 – Comparaison entre score clinique et notre méthode pour chaque paramètre.

La figure 5 montre les résultats de scores obtenus à partir de l'albédo et la carte des hauteurs. Compte tenu de la corrélation entre les indicateurs de sévérité calculés (Eq.1 et élévation de la peau) et la répartition des scores, les intervalles correspondant à chaque échelle de sévérité sont identifiés sans processus de classification particulier. Les scores obtenus sont fortement corrélés avec ceux des dermatologues, avec un coefficient d'agrément de $R_E = 0,727$ et $R_T = 0,8182$ respectivement pour l'érythème et l'épaississement de la peau. R est calculé suivant cette relation :

$$R = \frac{\text{Scores smilaires}}{\text{Nombre de cas analysés}} \quad (4)$$

Pour les cas où une non-similitude est constatée, le score calculé par notre méthode est au voisinage du score fourni par le dermatologue. Ainsi, aucun grand écart n'est remarqué. L'utilisation des scores non arrondis améliore l'agrément des scores calculés par rapport aux scores de référence, avec respectivement des coefficients d'agrément de $R_E = 0,8182$ et $R_T = 0,9091$ respectivement pour l'érythème et l'épaississement.

La séparation de l'information géométrie et couleur permet la réalisation d'une mesure physique qui respecte la méthodologie recommandée par les dermatologues. À noter que cette séparation n'est pas possible à partir d'une seule image.

4 Conclusion

Dans ce travail, un système d'évaluation de la gravité de l'érythème et de l'épaississement de la peau dans le contexte du psoriasis est développé. La méthode sépare automatiquement les différentes caractéristiques de la peau et extrait ces paramètres. Afin de fournir des mesures objectives qui permettent un suivi personnalisé de chaque patient, ce qui permet aux dermatologues d'évaluer avec précision l'efficacité du traitement. L'extraction de la géométrie et de la colorimétrie en plus de l'attribution des deux scores est accomplie en moins d'une minute. Ainsi, le temps de diagnostic est réduit et la dépendance à seulement un examen clinique visuel du psoriasis est évitée.

Références

- [1] H. Morsy et al. *Optical coherence tomography imaging of psoriasis vulgaris : correlation with histology and disease severity*. Archives of Dermatological Research, v302 p105-111, 2010.
- [2] M.H.A. Fadzil et al. *Objective Assessment of Psoriasis Lesion Thickness for PASI Scoring using 3D Digital Imaging*. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, p109-115, 2010.
- [3] A. Raina et al. *Recovery from tanning induced by narrow-band UVB phototherapy in brown-skinned individuals with psoriasis : Twelve-month follow-up*. Journal of Dermatological Science, v57 p12-18, 2010.
- [4] A. Raina et al. *Objective measurement of erythema in psoriasis using digital color photography with color calibration*. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Engineering and Technology, p3333-3336, 2015.
- [5] D. Delgado, B. Ersboll, J.M. Carstensen. *An image based system to automatically and objectively score the degree of redness and scaling in psoriasis lesions*. 13th Danish Conference on Image Analysis and Pattern Recognition, v46 p130-137, 2004.
- [6] V.K. Shrivastava, N.D. Londhe, R.S. Sonawane, J.S. Suri. *Exploring the color feature power for psoriasis risk stratification and classification : A data mining paradigm*. Computers in Biology and Medicine, v65 p54-68, 2015.
- [7] B. Shi et al. *A Benchmark Dataset and Evaluation for Non-Lambertian and Uncalibrated Photometric Stereo*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, p1-10, 2018.
- [8] M. Pohin et al. *Oncostatin M overexpression induces skin inflammation but is not required in the mouse model of imiquimod-induced psoriasis-like inflammation*. European Journal of Immunology, v46 p1737-1751, 2016.