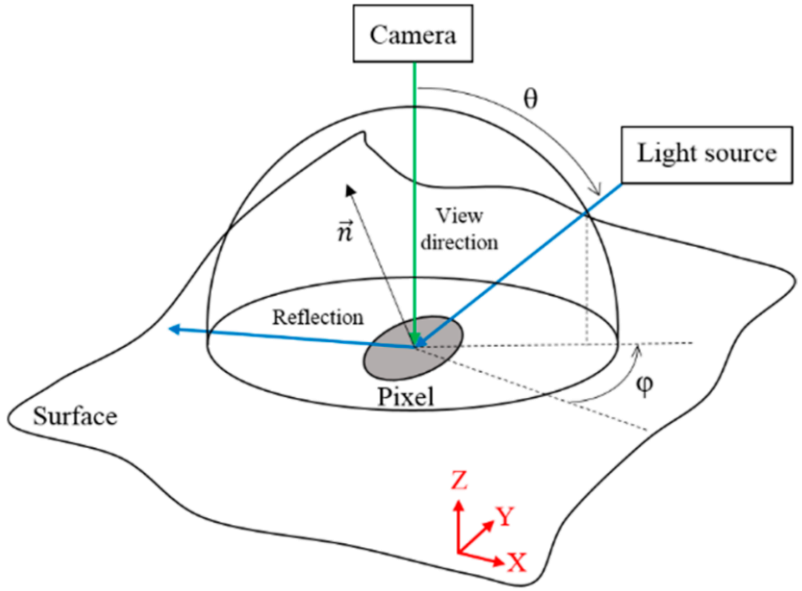
Journée GDR TACT/SurfTopo

Mesure et caractérisation topographique des surfaces
par méthode de réflectance

Dr. Julie Lemesle, chargée de projets industriels (Valutec)

Méthode de réflectance

- Principe : illuminer une surface à des positions angulaires différentes pour mettre en évidence des signatures morphologiques particulières



Plus connu sous le nom **RTI**
(Reflectance Transformation Imaging)

- Informations récoltées :
  - Information topographique (hauteurs, pentes et courbures) grâce à la réflexion de la lumière
  - Information sensorielle de type visuelle

Exemples de signatures : défaut d'usinage, fissure, scratch, orientation de fibre, coup de pinceau, ride, pore, etc.

Méthodologie d'analyse topographique par réflectance

Fonctionnalité et/ou intégrité d'une surface

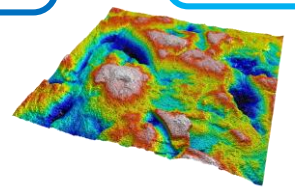
→ Mesures topographiques par profilomètre

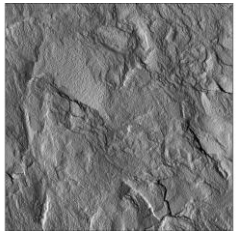
→ Décomposition multi-échelle des topographies

→ Compréhension des mécanismes à partir de signatures morphologiques

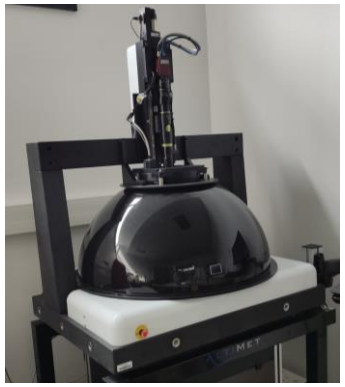
→ Recherche de paramètres de caractérisation de surfaces pertinents

→ Simulation de la réflectance sur les topographies
Détermination des angles de lumière pertinents





Mesures par réflectance avec un système de référence
Validation des angles pertinents



Construction d'un appareil de réflectance portable pour la mesure in situ et/ou en laboratoire
Adapté à la surface étudiée (modulable)
Mode exploratoire et expertise

MorphoLight

Approche frugale
Utilisation d'un smartphone
Coût réduit
Mode exploratoire uniquement

ANR RTI 4.0

Développement d'un appareil portable - MorphoLight

UNIVERS ET MODES DE FONCTIONNEMENT

Réflectance | Hybride | Topographie

- Mode exploratoire
- Mode fonctionnalité
- Mode contrôle

MULTI-ECHELLE

Zoom contrôlable

MULTISPECTRAL

LEDs adressables:
- Intensité de lumière
- Longueur d'onde

ERGONOMIE ET AUTONOMIE

- Poids d'environ 3 kg
- Peut être tenu dans la main
- Powerbank

MorphoLight

IMAGERIE HAUTE-RESOLUTION

- Image couleur et en niveau de gris (au choix)
- High Dynamic Range
- Focus Stacking ➔ **topographie**

MODULABLE

En hardware et software

INTERCONNECTE

Wi Fi | USB

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

- Logiciel de visualisation
- Détection et classement des signatures morphologiques
- Calcul de paramètres d'images
- Possibilité de calcul de pentes/courbures

Visualisation des données en temps réel ou en différé

Lemesle, J.; Bigerelle, M. A New RTI Portable Instrument for Surface Morphological Characterization. *Hardware* **2024**, 2, 66-84.

Cas d'application n°1 : caractérisation mécanique (1/2)

Etape 1
Images de réflectance

Etape 2
Génération de maps de normales, des pentes et des courbures de surface

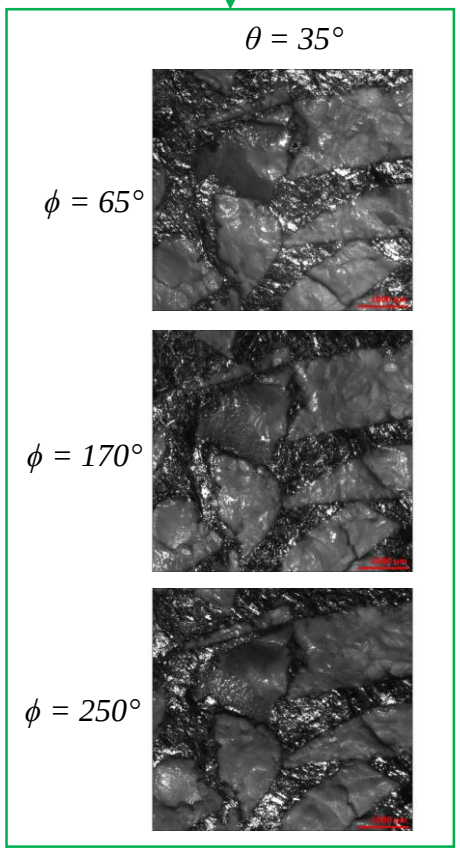
Etape 3
Conversion des maps 2D en surfaces 3D

Etape 4
Segmentation des surfaces

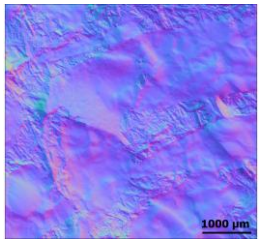
Etape 5
Filtrage multi-échelle des surfaces

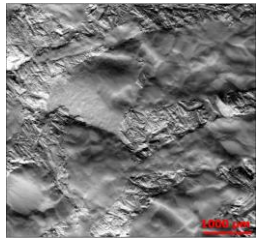
Etape 6
Calcul de paramètres de rugosité

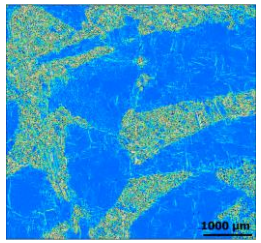
Etape 7
Analyse statistique



Altimet RTI

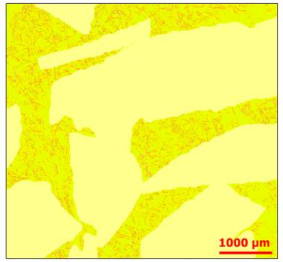

Normales

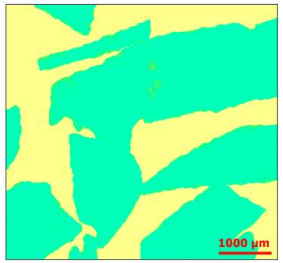

Pentes


Courbures de Mehlum

Hauteurs remplacées par les niveaux de gris

Courbures de Mehlum


Métal


Céramique

Décomposition multi-échelle :
- Filtres passe-haut, passe-bas et passe-bande
- Échelle étudiée : 2 à 4500 µm

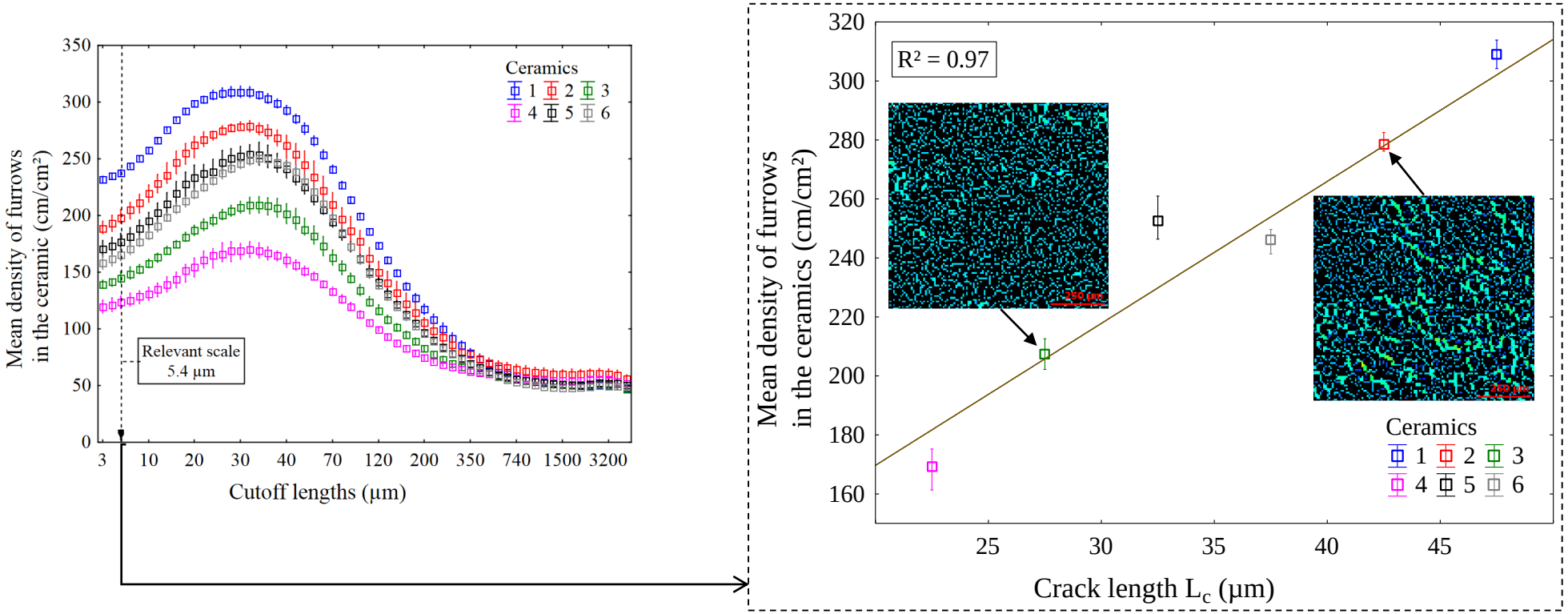
Bootstrap
+
Analyse de corrélation

Paramètres (normes ISO 25178, EUR 15178N et ASME B46.1) :
- ➔ Hauteur (Sa, Sq, Sz, etc)
- ➔ Hybrides (Sdq, Sdr)
- ➔ Fonctionnels
- ➔ Espacement (Spd, Spc, S10z, etc)
- ➔ Motifs (densité de plis, aire des motifs, etc.)

Cas d'application n°1 : caractérisation mécanique (1/2)

Paramètre pertinent pour discriminer l'endommagement des céramiques :

➔ **densité de plis pour un filtre passe-bande à 5,4 µm sur les courbures de Mehlum**



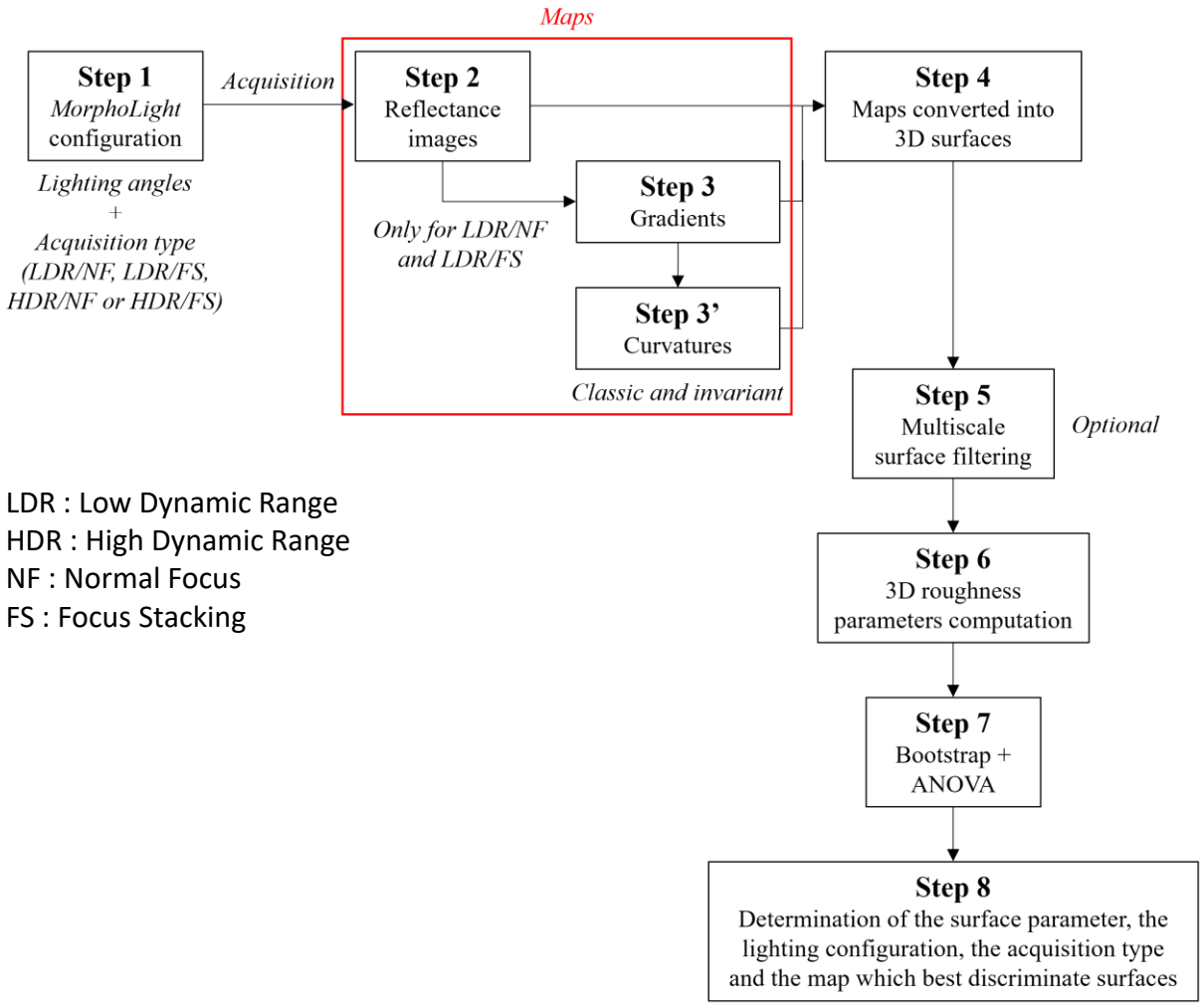
Forte corrélation entre la ténacité de la céramique et son endommagement représenté par le nombre de scratchs

Lemesle, J.; Robache, F.; Le Goic, G.; Mansouri, A.; Brown, C.A.; Bigerelle, M. Surface Reflectance: An Optical Method for Multiscale Curvature Characterization of Wear on Ceramic–Metal Composites. *Materials* **2020**, *13*, 1024.

Cas d'application n°2 : art (1/2)

Objectif : caractériser et comparer deux zones d'un tableau ayant la même palette de couleurs (ciel et mer)

peinture à l'huile « Harbor Scene »
peint par Max Savy

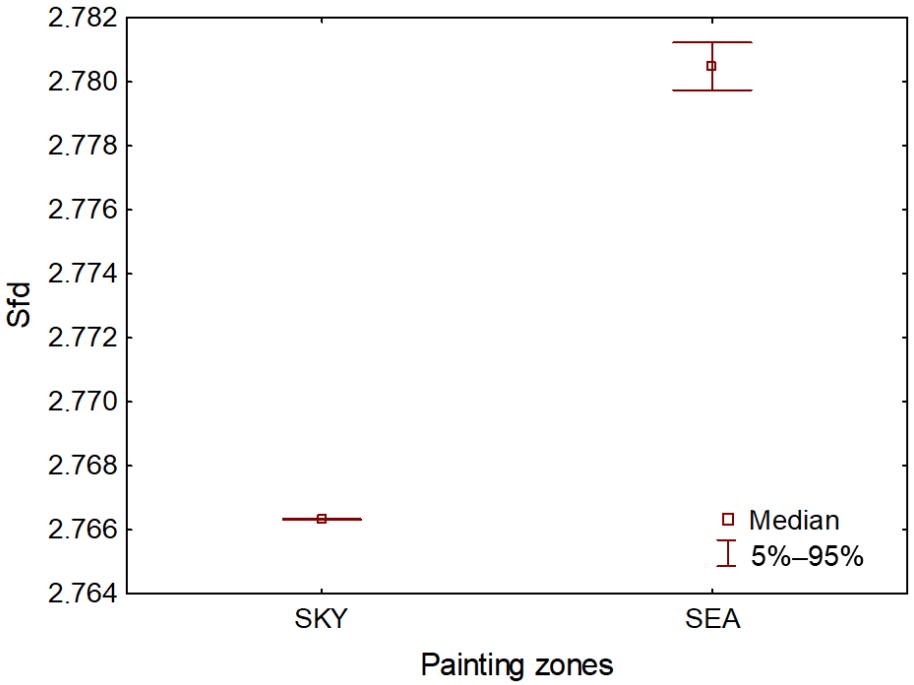


LDR : Low Dynamic Range
HDR : High Dynamic Range
NF : Normal Focus
FS : Focus Stacking

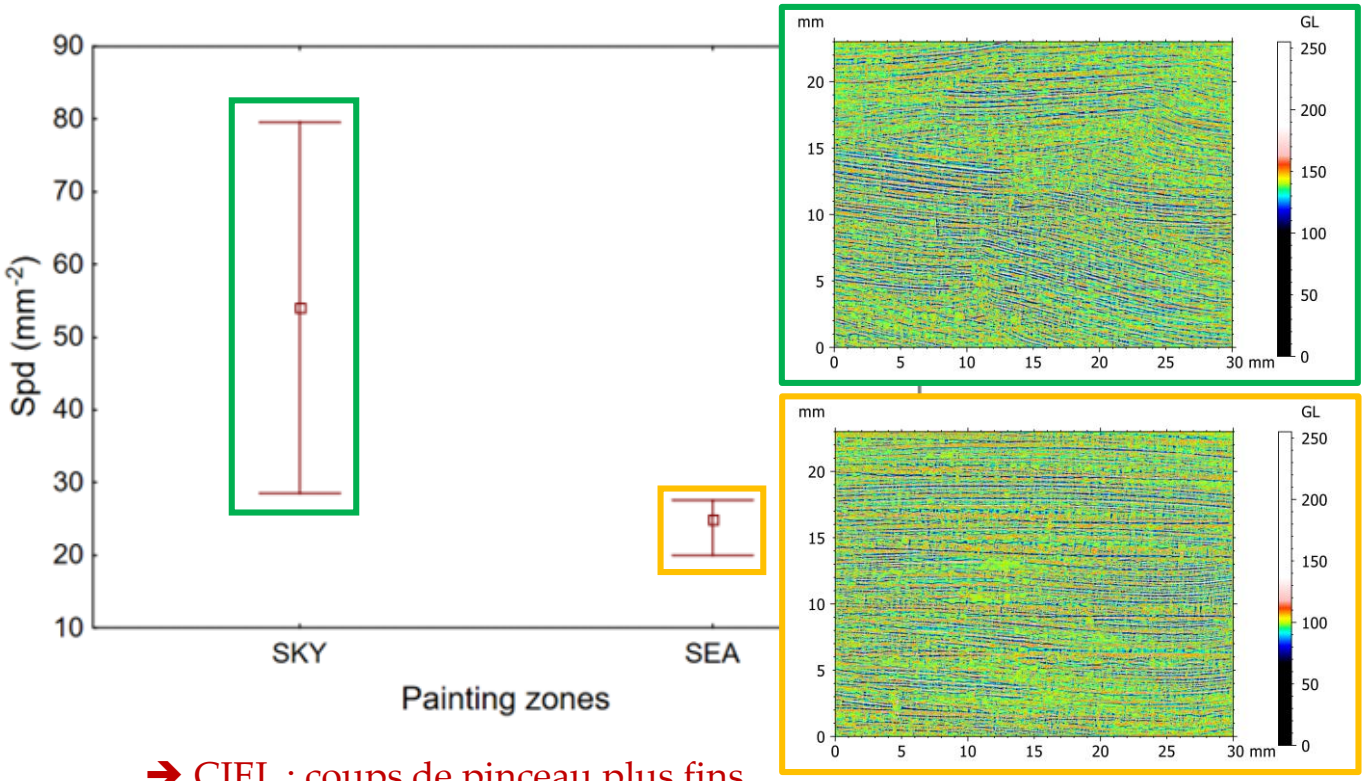
Lemesle, J.; Bigerelle, M. A New RTI Portable Instrument for Surface Morphological Characterization. *Hardware* **2024**, 2, 66-84.

Cas d'application n°2 : art (2/2)

	Images de réflectance	Maps de courbures/pentes
Paramètre discriminant	Sfd (dimension fractale)	Spd (densité de pics)
Map	Images de haute résolution (HDR + FS) Angles de lumière : (θ, ϕ) = (30°, 225°)	Courbures moyennes



➔ MER plus rugueuse et hétérogène avec de plus faibles courbures

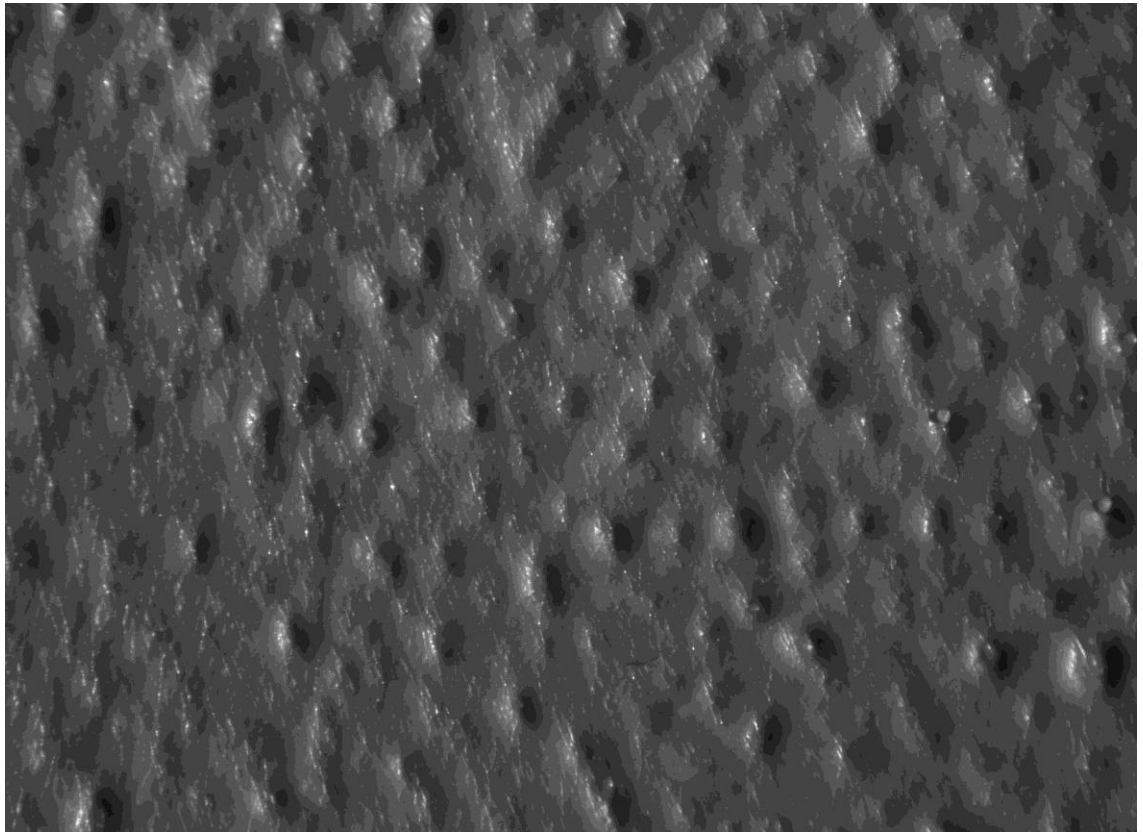


➔ CIEL : coups de pinceau plus fins

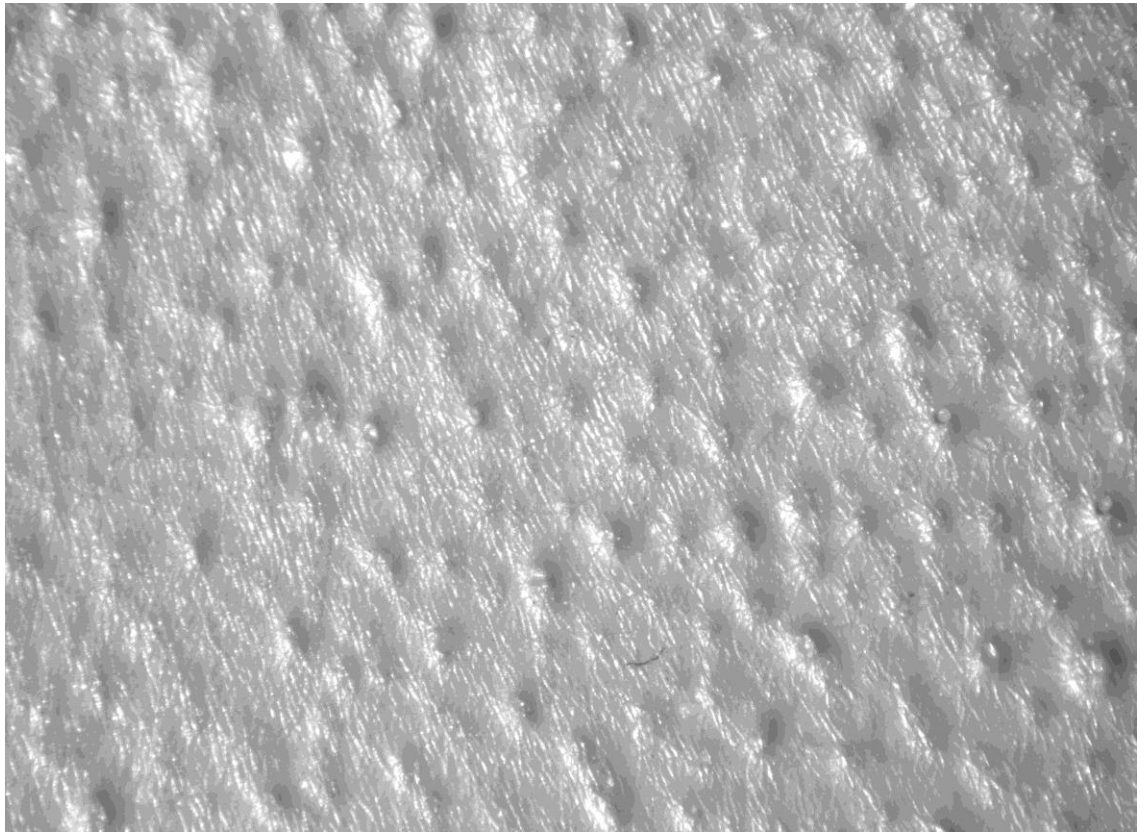
Cas d'application n°3 : peau artificielle (1/3)

Caractérisation morphologique de la peau

200 µm



Pore de la peau



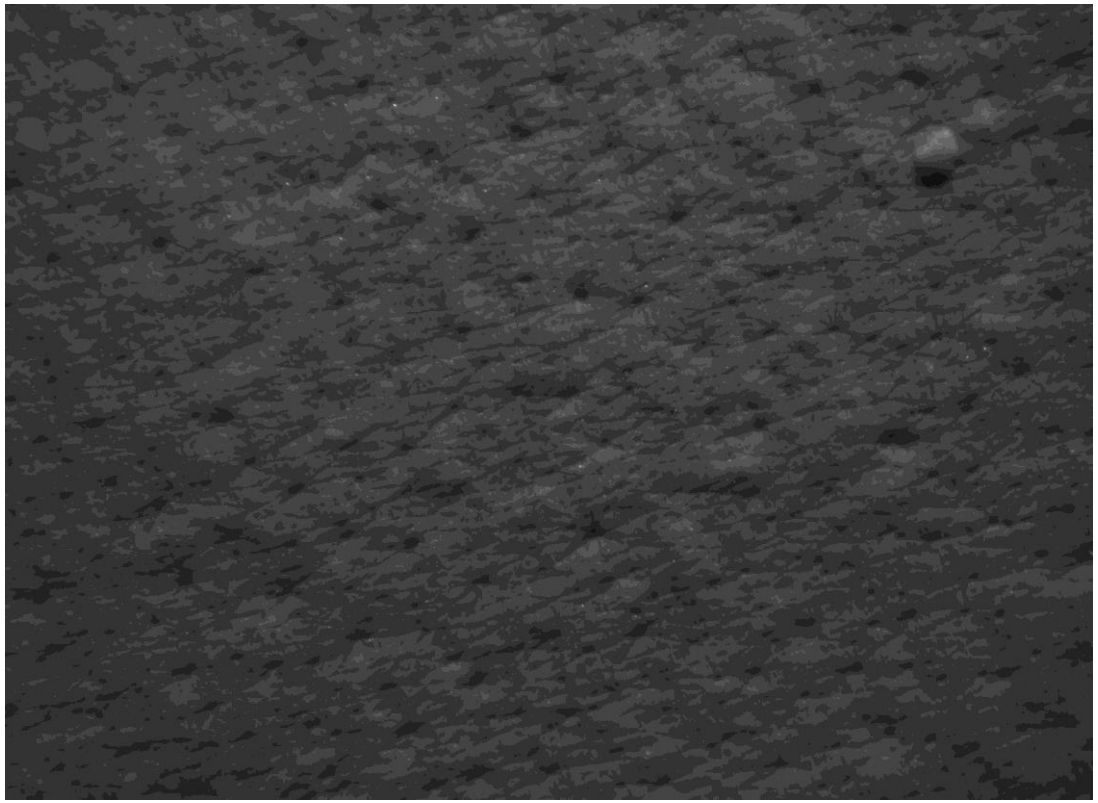
Ride de la peau

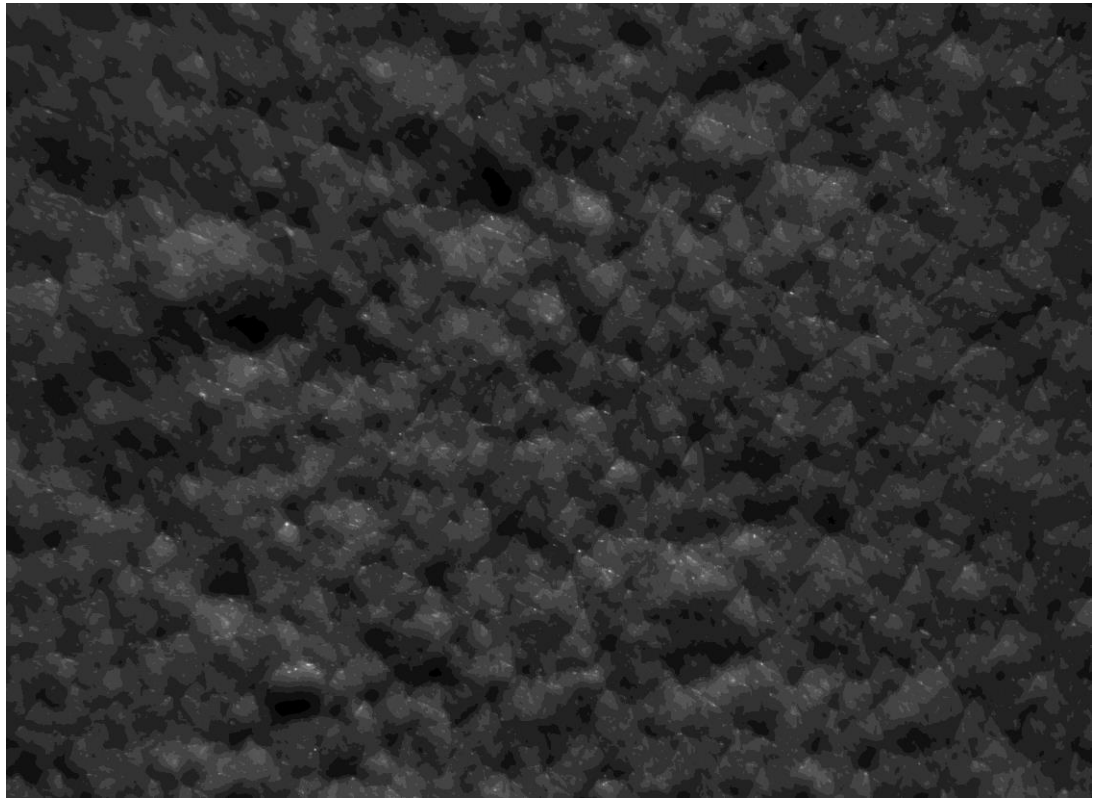
Cas d'application n°3 : peau artificielle (2/3)

Evolution de la peau d'une personne au cours du temps

(θ, φ) = (11°, 77°)

200 µm





30 ans

Peau lisse avec des petits pores peu profonds

40 ans

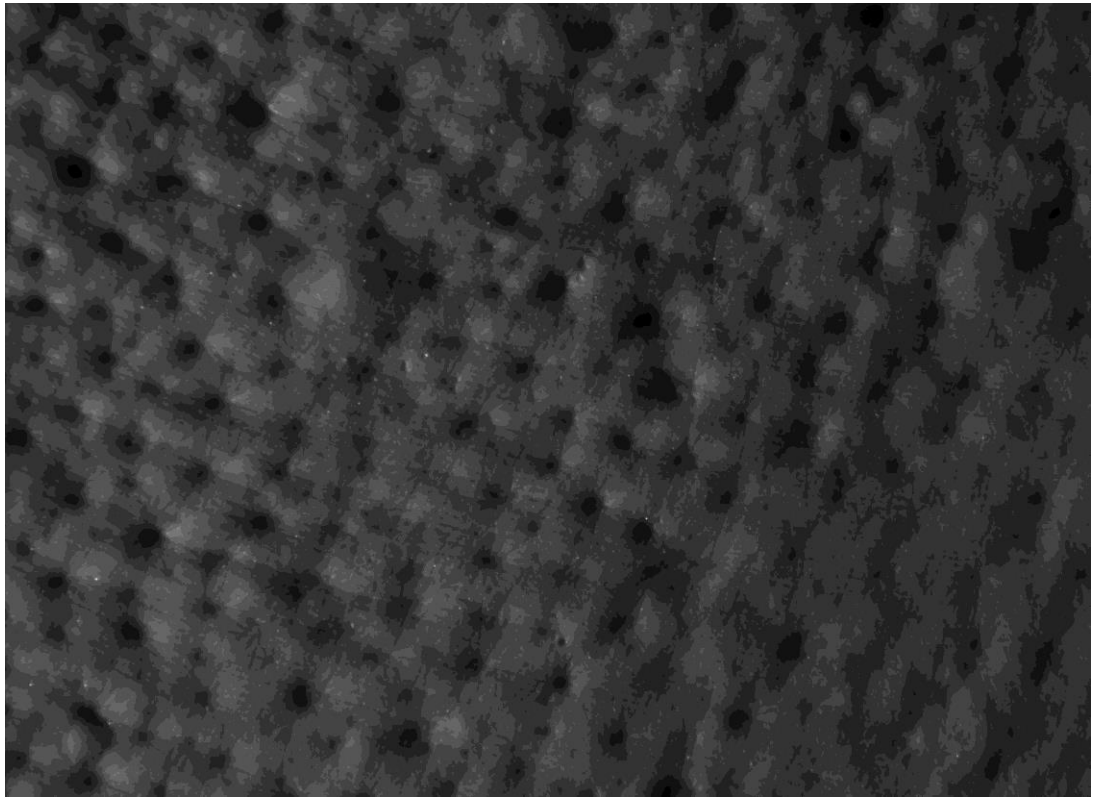
Peau rugueuse avec de larges pores

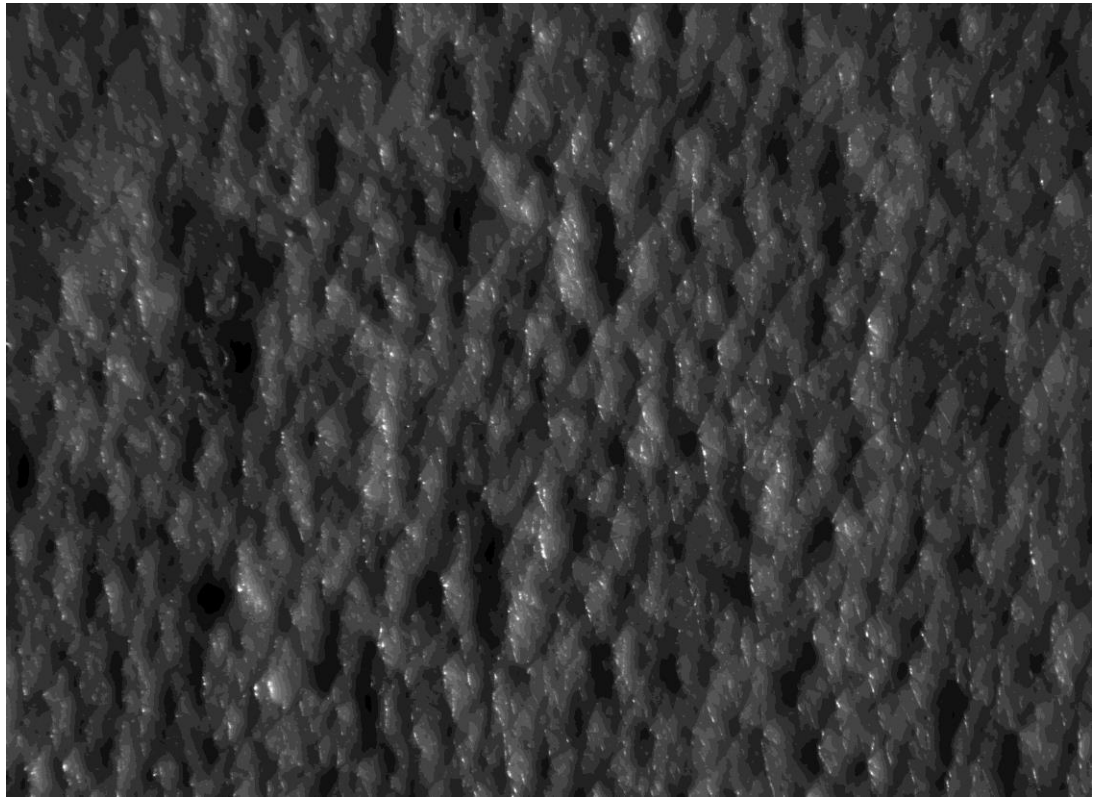
Cas d'application n°3 : peau artificielle (2/3)

Comparaison de deux personnes de 40 ans

(θ, φ) = (14°, 192°)

200 µm





Personne A

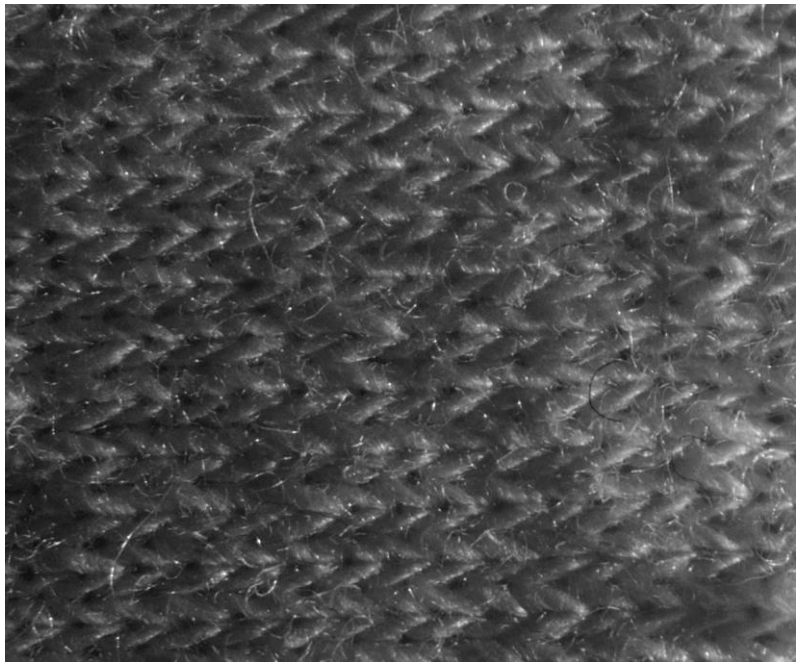
Nombre important de pores

Personne B

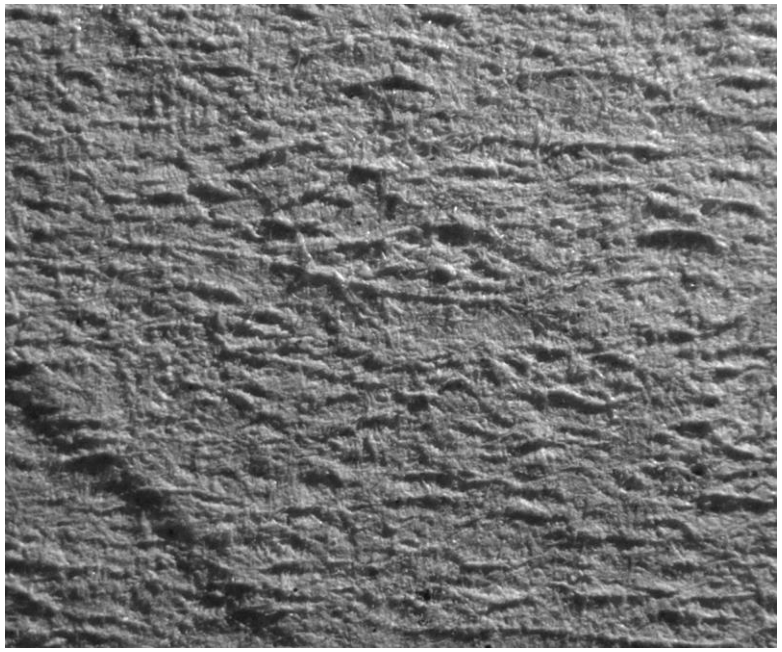
Peau plus rugueuse

Autres exemples d'études sur des surfaces à fibres

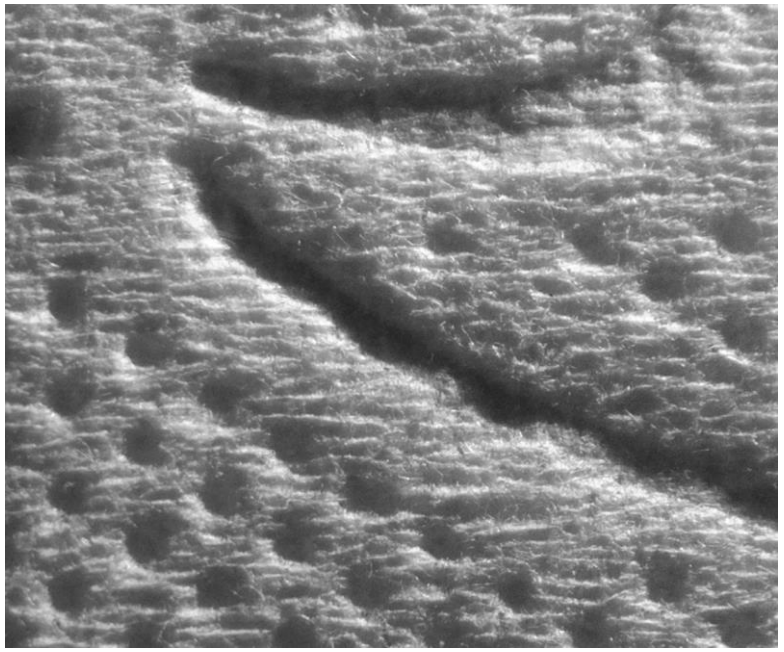
10 mm



Tissu (lin)



Papier toilette,
bas de gamme (rêche)



Papier toilette,
haut de gamme (doux)

Etude de l'organisation des fibres

Etude de l'impact de la rugosité du papier sur la peau

MERCI

julie.lemesle@uphf.fr