

Étude du profil d'épaisseur d'une lame de savon

Léry Monnerat

13/04/2022



Agenda

- **Objectif:**

- Mesurer l'épaisseur d'une lame de savon par comparaison
 - des franges d'interférences produites sous éclairage blanc
 - aux teintes de Newton

- **Structure de la présentation**

- Position théorique du sujet
- Dispositif Expérimental
- Exploitation des résultats
- Analyse des résultats

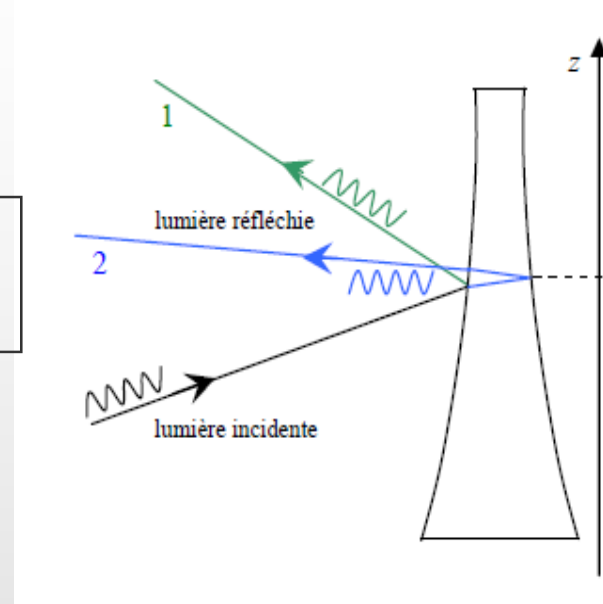
Position théorique du sujet

- Les réflexions successives sur les 2 interfaces, Air-Savon puis Savon-Air, interfèrent
- La différence de marche entre 2 rayons en fonction de l'altitude est $\delta(z) = 2ne(z)\cos(\theta_r)$, soit, $\delta(z) \approx 2ne(z)$, pour un angle de réfraction faible

- Le déphasage entre 2 rayons ainsi réfléchis est

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \delta + \pi$$
$$\Delta\phi \approx \frac{4\pi}{\lambda} ne + \pi$$

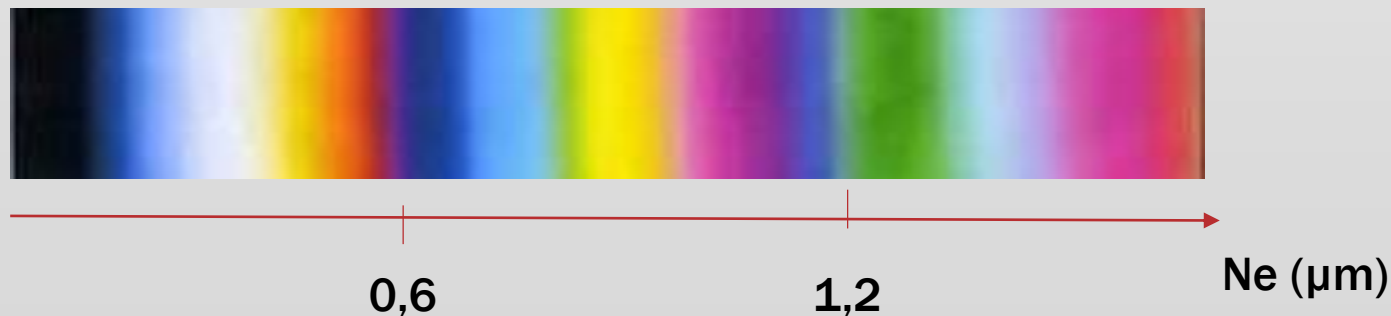
θ_r angle de réfraction
 n indice de réfraction
 $e(z)$ l'épaisseur



- 2 rayons issus d'une source cohérente et ainsi réfléchis s'ajoutent avec une différence de phase ainsi identifiée
 - Lorsque $\Delta\phi = 2k\pi$, les ondes réfléchies s'ajoutent avec cohérence de phase
 - Lorsque $\Delta\phi = (2k + 1)\pi$, les ondes réfléchies sont en opposition de phase et s'annulent

Position théorique du sujet

- Ainsi, pour chaque longueur d'onde (λ) et pour une épaisseur (e) donnée, les zones de recombinaison en phase (et respectivement en opposition) diffèrent
- En illumination monochromatique, on verra donc apparaître des franges sombres correspondant aux zones de recombinaison en opposition de phase
 - 2 franges sombres successives témoignent donc d'une différence d'épaisseur de la lame de :
$$\Delta e = \frac{\lambda}{2n}$$
- En illuminant avec une source blanche cohérente (toutes les longueurs d'onde présentes, issues d'une même source), un irisation colorée apparaît, correspondant à la recombinaison des différentes longueurs d'onde déphasées dont l'intensité de chaque composante (résultat de la recombinaison après déphasage) dépend de l'épaisseur.
 - En considérant une décomposition de la couleur en composante Rouge, Verte et Bleue, chaque point de la zone d'interférence aura une intensité de Rouge, de vert et de bleu différentes, donnant lieu à un panel de couleur irisée
- Pour en déduire l'épaisseur de la lame, il convient de comparer la couleur résultant de l'interférence avec une échelle de couleur théorique, l'échelle de Newton
 - Elle fournit l'épaisseur optique (ne) en fonction de la couleur observée



Dispositif expérimental

▪ 3 étapes



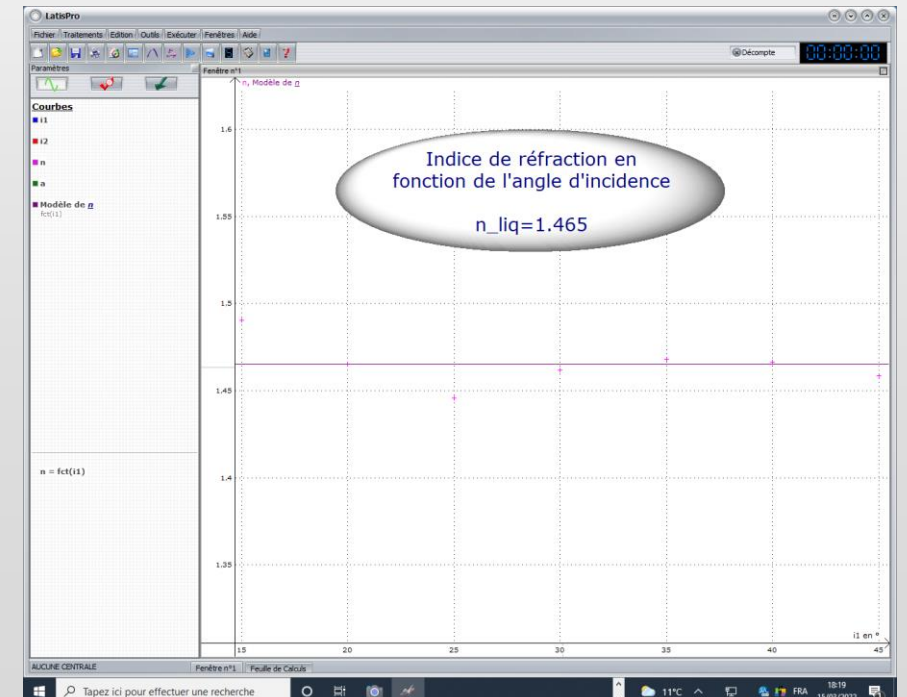
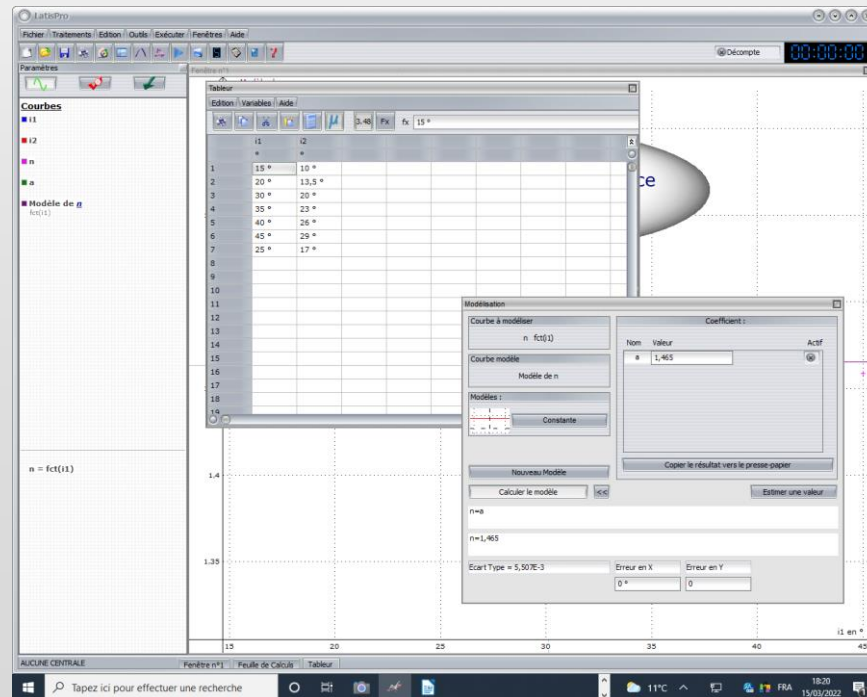
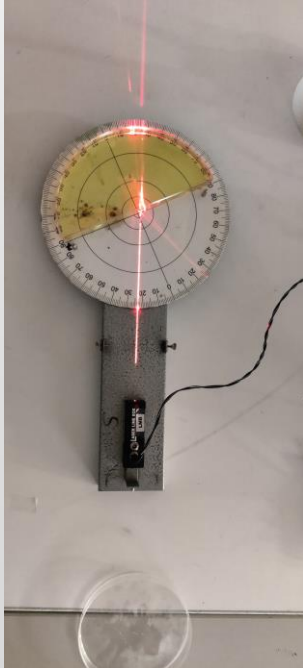
- La lame de savon est constituée d'une solution savonneuse.
- Le mesure de l'épaisseur par interférométrie dépend de la bonne connaissance de l'indice de réfraction (cf équation)
- Il convient de mesurer d'abord cet indice de refraction

- Dispositif d'éclairage de la lame par une source blanche
- Projection de la zone d'interférence par une lentille sur un écran
- Photo de l'écran et des irisations pour analyse colorimétrique

- Développement d'un logiciel Python pour analyser les couleurs de la photo et les comparer à l'échelle de newton
- Déduction de l'épaisseur
- Analyse critique de la précision de mesure

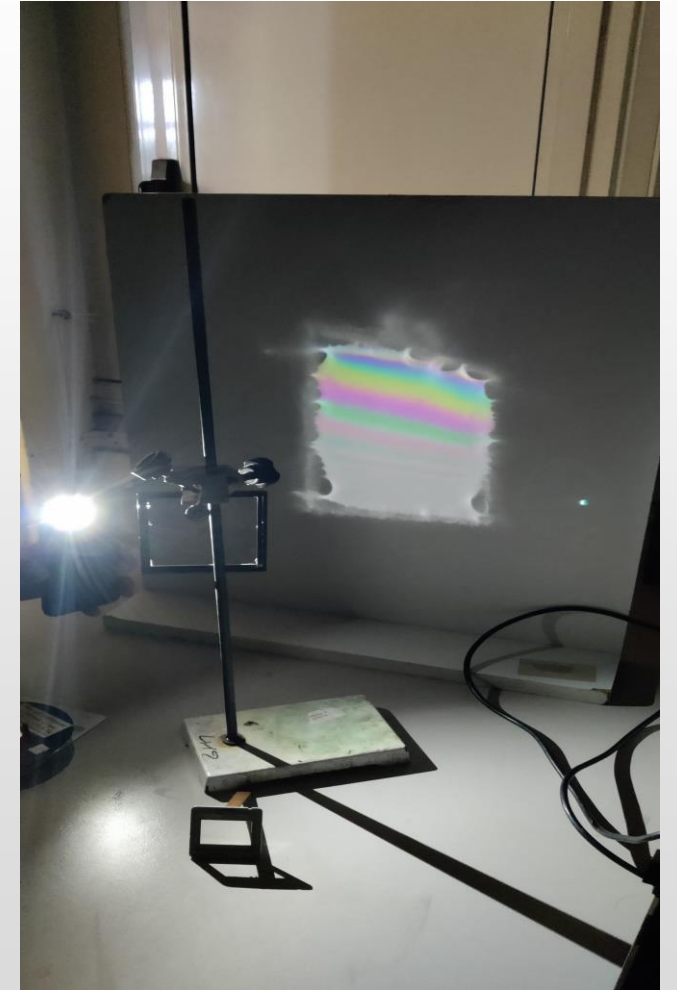
Dispositif expérimental – Mesure de l'indice de réfraction

- Utilisation de la loi de Descartes sur un volume d'eau savonneuse
- Mesure de l'angle de réfraction en fonction de l'angle d'incidence
- Régression sur l'indice de réfraction
- Indice de Réfraction = 1,465



Dispositif expérimental – Expérimentation lame de savon

- Illumination d'une lame constituée de la même solution savonneuse
- Projection sur un écran
- Photo de l'écran avec un téléphone portable
 - Qualité chromatique de l'appareil photo numérique non maîtrisée, aucun étalonnage
- Extraction de la zone d'intérêt sur la photo



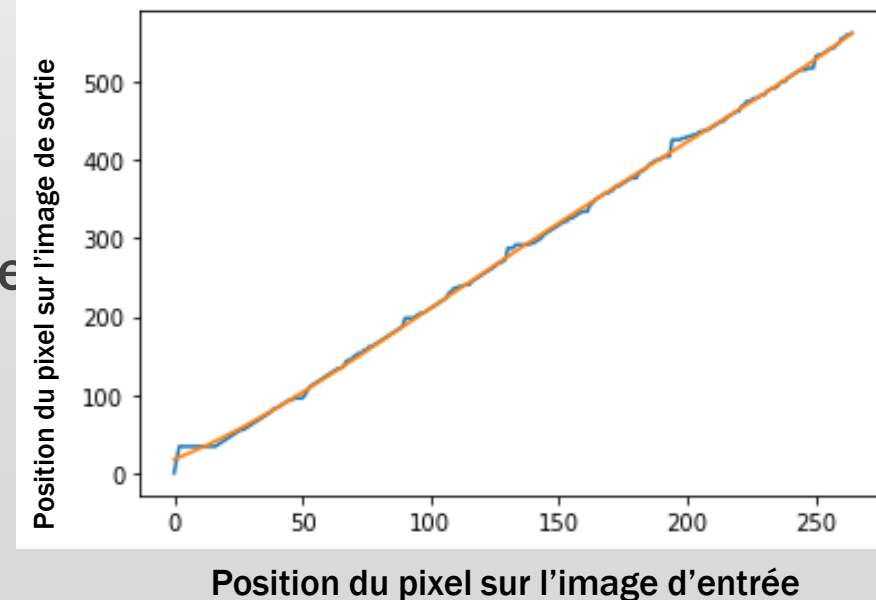
Dispositif expérimental – Analyse des résultats

- Développement d'un programme Python
 - Pour chaque pixel de la photo,
 - Extraction des composantes rouge, verte et bleue
 - Recherche sur l'image de référence de l'échelle de newton, le pixel dont la couleur se rapproche au plus près de la couleur extraite (par minimisation de la norme 2)



Echelle de Newton de référence

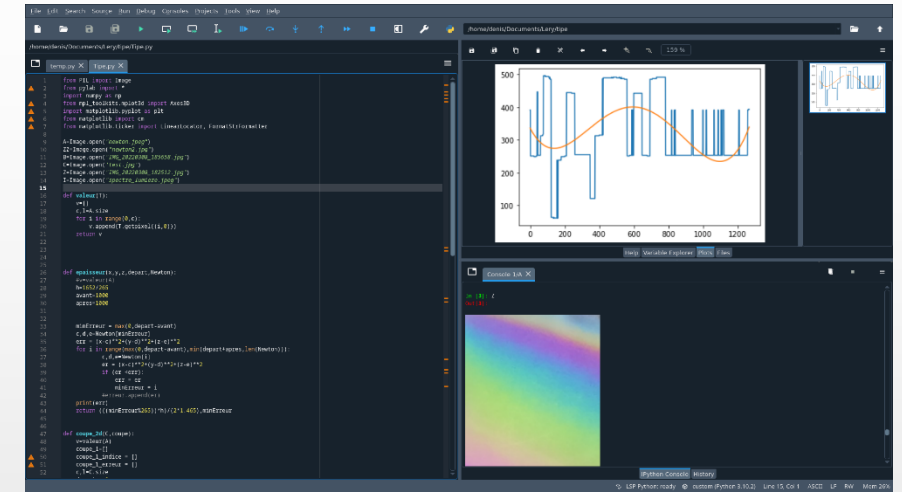
- Stratégie de Validation du programme
 - Application de la recherche sur l'étalon lui-même après application d'un filtre de luminosité pour modifier l'entrée
 - L'identité est bien retrouvée
 - => Le logiciel est fonctionnellement validé



Dispositif expérimental – Analyse des résultats

1. Analyse brute de l'image

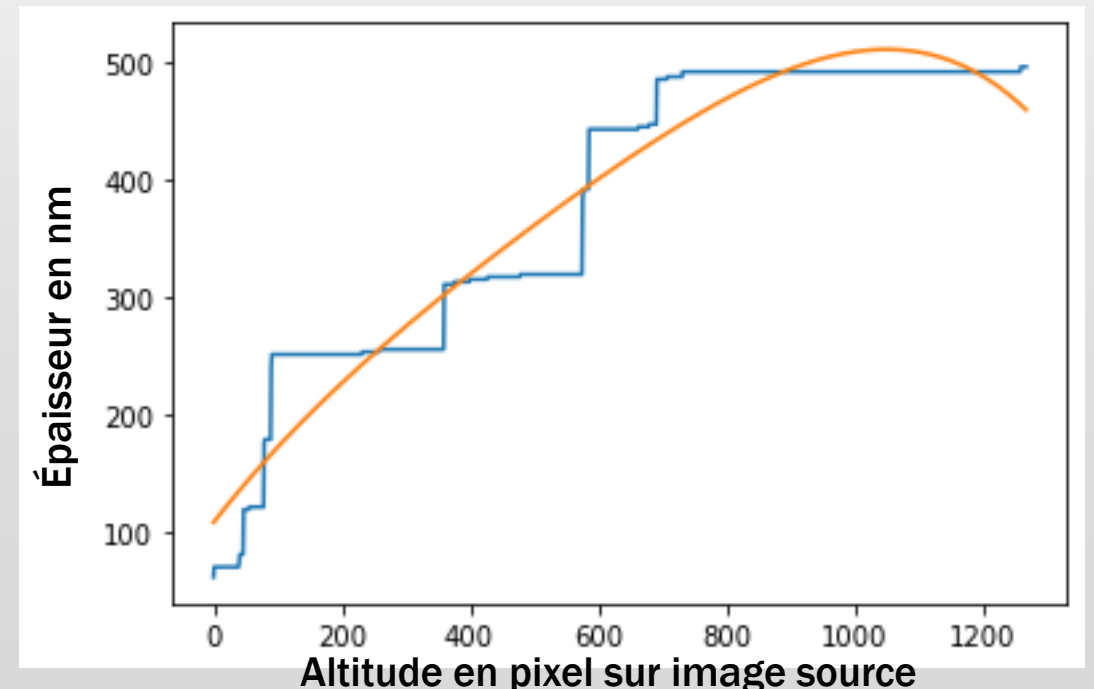
- De nombreuses irrégularités et discontinuités
- L'appareil photo a 2 effets:
 - Bruits sur la mesure, ie certains pixels sont bruités
 - Distorsion de la chromatique du fait du manque de qualité du capteur CCD
- Pour éliminer le bruit sur les pixel: stratégie de moyennage de $N \times M$ pixel de l'image d'entrée (équivalent à un filtrage passe bas du bruit)
 - Très peu d'effet sur le résultat.
 - **Le problème vient donc de la distorsion chromatique du capteur**



Dispositif expérimental – Analyse des résultats

- Compensation de la distorsion chromatique du capteur photo
1. Mise en place d'une stratégie de recherche par proximité
 - Pour éviter les sauts sur l'échelle de Newton, une recherche en contraignant l'évolution de l'épaisseur est mise en place
 - A un incrément d'altitude sur l'image source ne peut correspondre un saut sur l'échelle de newton que de 50 pixels vers la droite

les résultats sont assez probants
Beaucoup moins de discontinuité



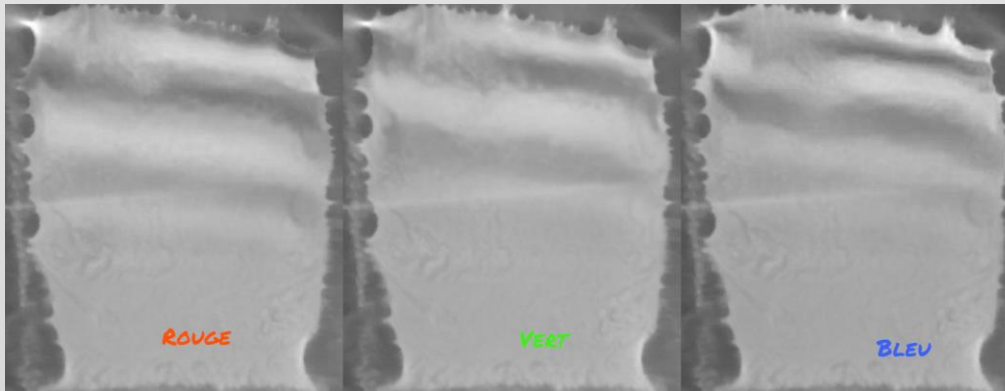
Dispositif expérimental – Analyse des résultats

- Compensation de la distorsion chromatique du capteur photo

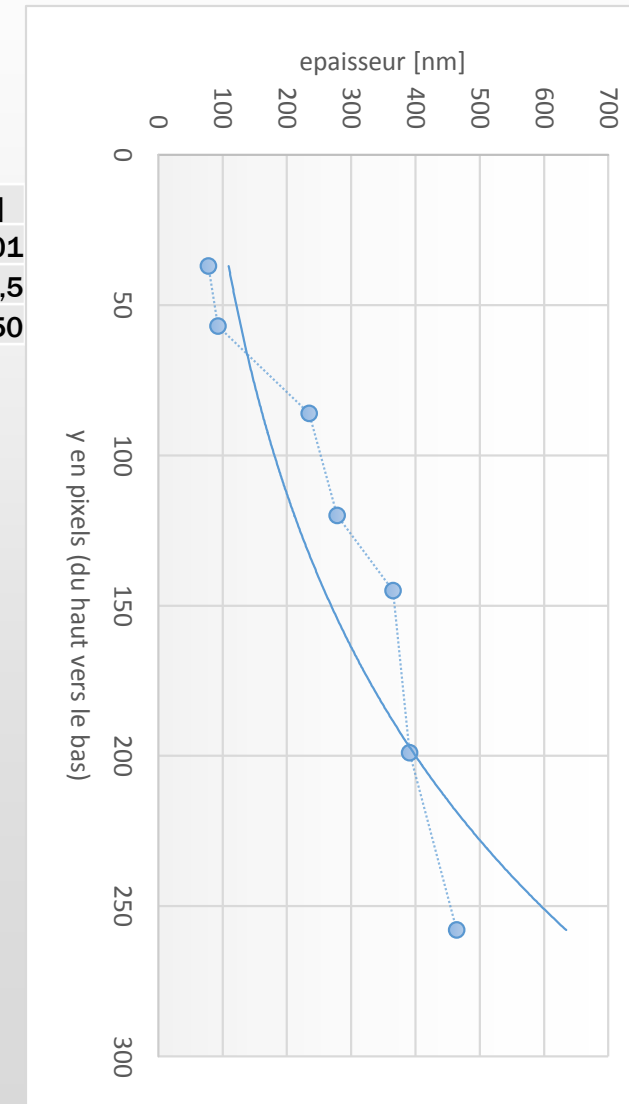
2. Vérification par analyse Monochromatique

- Extraction des canaux R,V,B et analyse des franges
- Pour chaque couleur, une longueur d'onde
- Chaque position de frange pour une couleur donnée correspond une épaisseur
- Régression exponentielle sur le résultat
- **Le profil est bien confirmé**

	landa [nm]
Rouge	701
Vert	534,5
Bleu	450



Franges correspondant
au rouge, vert, bleu
à différentes positions



Conclusion

- Le dispositif expérimental mis en place a pu mettre en évidence
 - la capacité à déterminer l'épaisseur de la lame de savon
 - Mais aussi, les difficultés liées à la distorsion induite
 - Par l'appareil photo
 - Possiblement par l'étalon lui-même de l'échelle de Newton
- Une recherche algorithmique permettant de minimiser l'impact de ces distorsion a été implémentée
- Une phase d'étalonnage s'avère cependant nécessaire pour une mesure plus précise
 - Calibration de la chromatique de l'appareil photo
 - Validation de l'échelle de référence