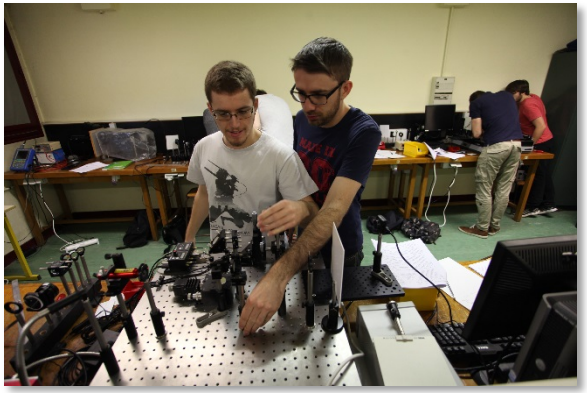
Imagerie 3D : construire son microscope tomographique

Gaël Latour, Marion Jacquey, Marie Godard, Vincent Guillet

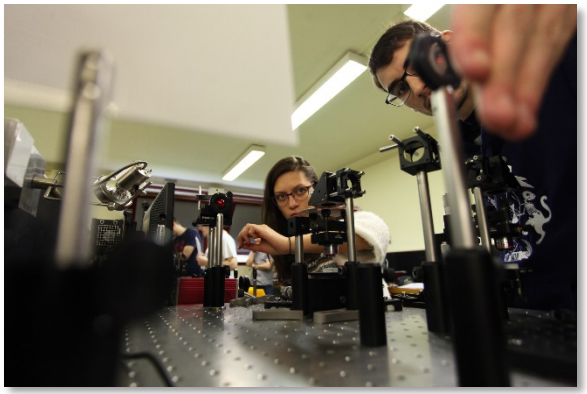
Université Paris-Sud

Objectifs pédagogiques



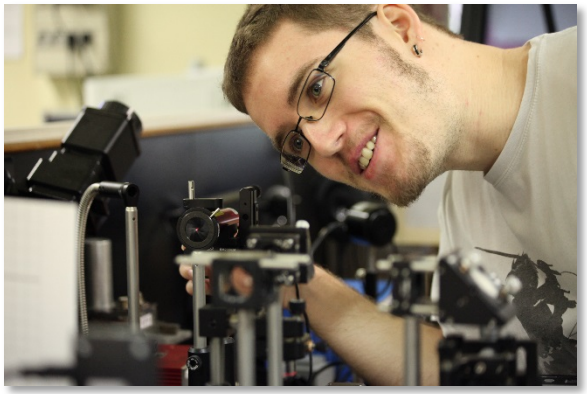
- Transmettre la passion de la physique expérimentale

découverte du travail expérimental en optique



- Mieux enseigner et mieux évaluer les savoirs et les savoir-faire en optique

augmenter la qualité et la quantité du travail pendant la séance et a posteriori



- Développer l'implication, l'autonomie, le regard critique et la prise d'initiatives des étudiants

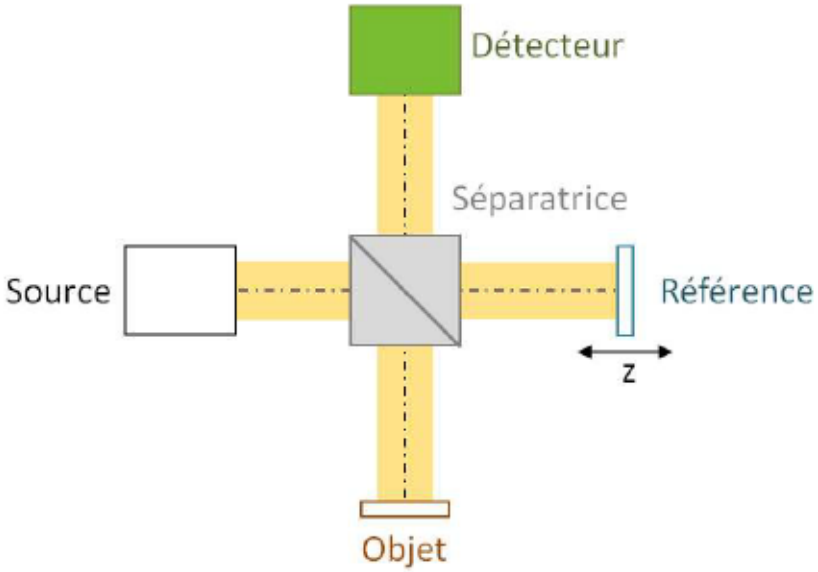
laisser le temps nécessaire pour surmonter les difficultés théoriques et expérimentales et pour s'approprier le projet

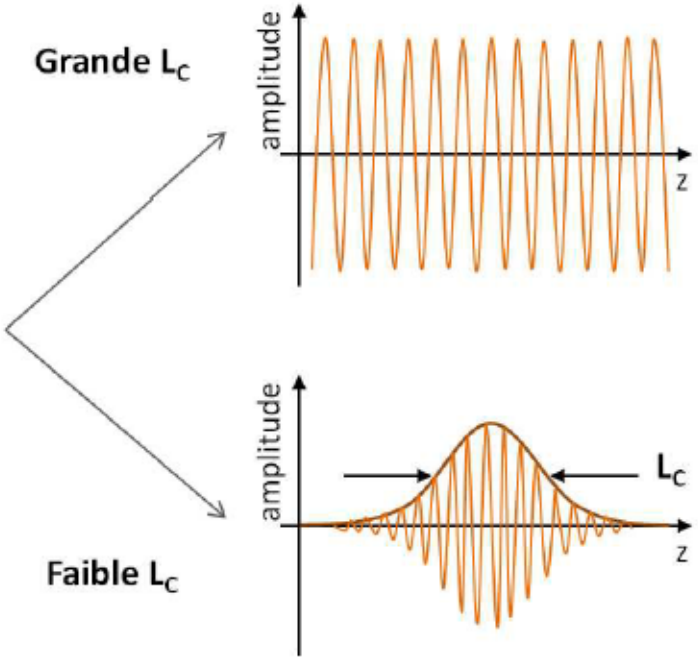
Tomographie par cohérence optique (OCT)

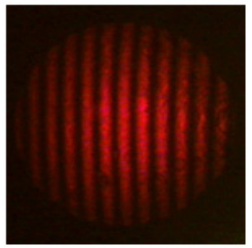
Technique d'imagerie biomédiale
Huang et al., Science (1991)

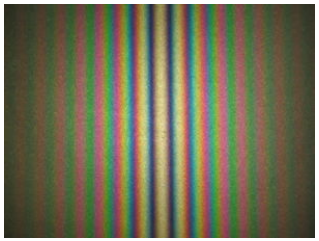
Imagrie 3D avec une résolution de l'ordre du micromètre

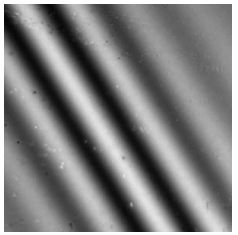
Interférométrie en lumière banche : interféromètre de Michelson







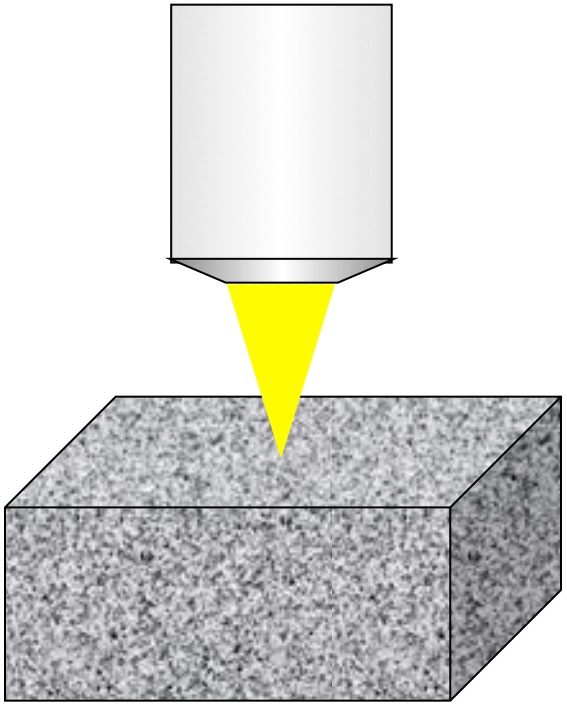




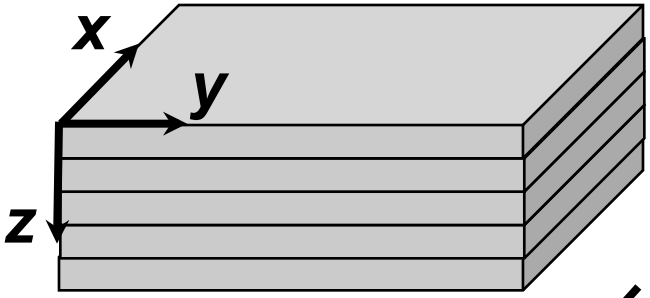
interférence localisée, interférogramme observable seulement à proximité du contact optique

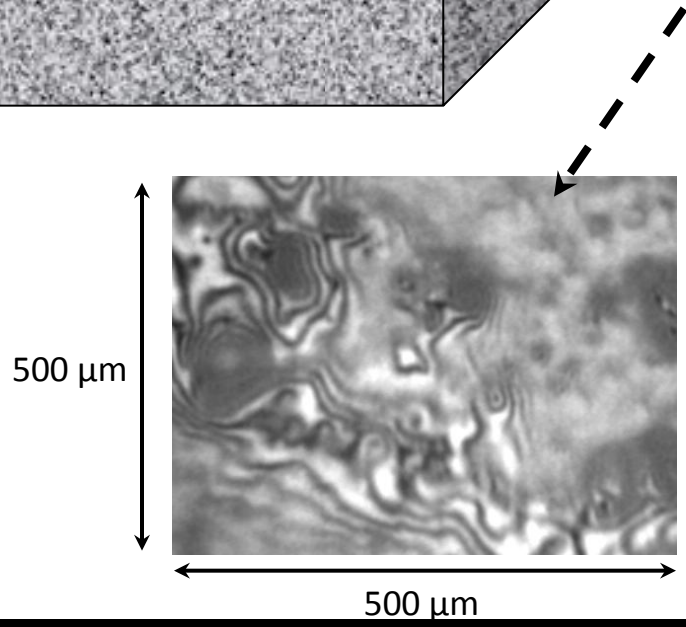
Beaurepaire *et al.*, Opt. Lett. (1998)

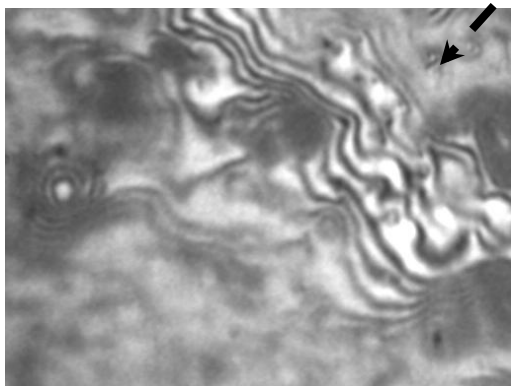
Acquisition des données



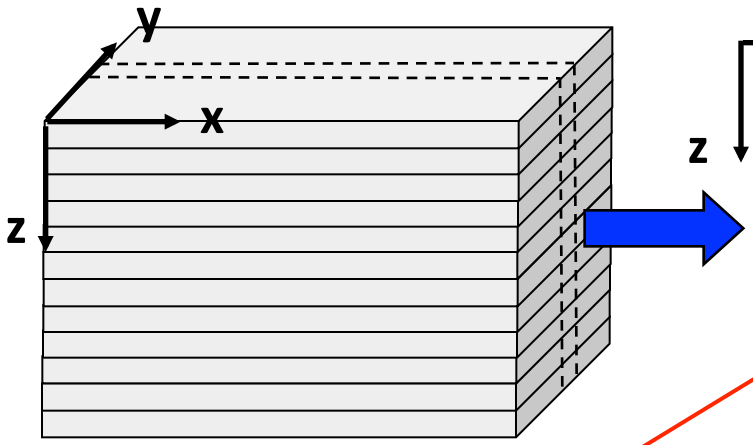
Pour chaque position de l'objet, enregistrement d'une image

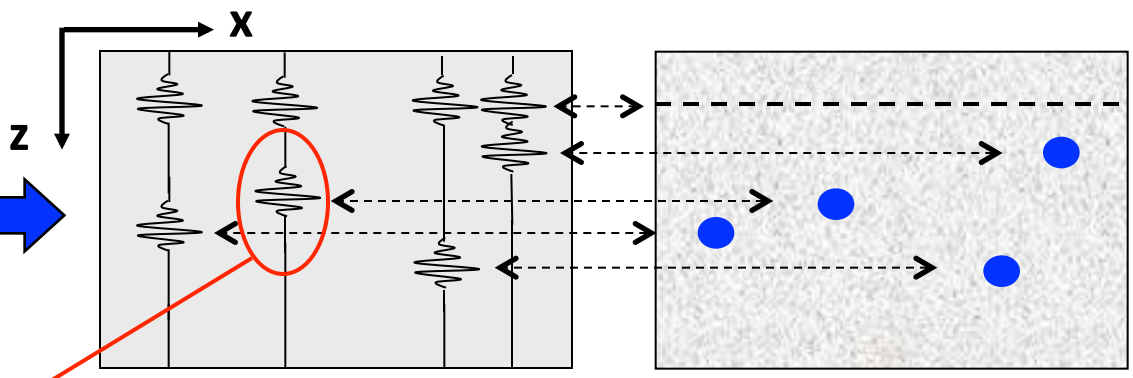






Traitement des données : reconstruction d'une image

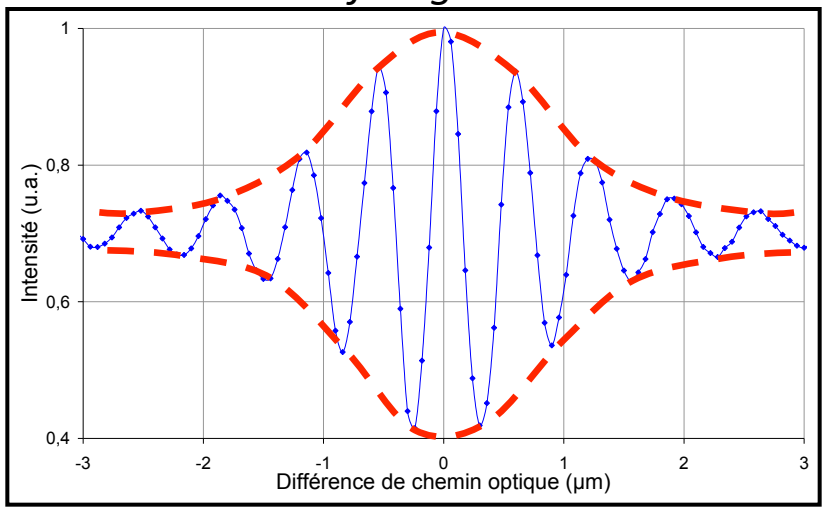




coupe x-z

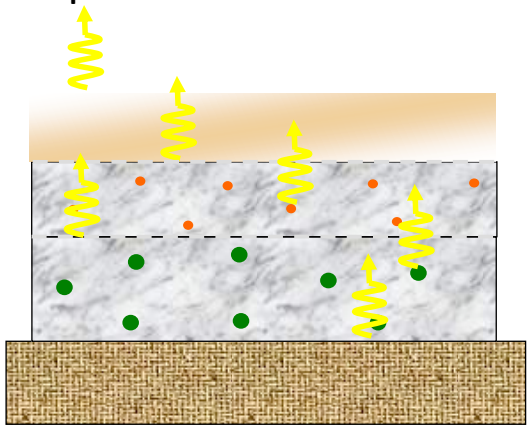
Reconstruction axial de l'objet

Interférogramme



Enveloppe de l'interférogramme

➔ information spatiale



Contraste des images

variations de l'indice de réfraction (interfaces, particules…

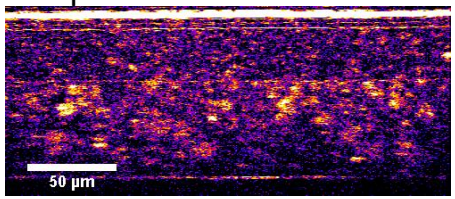
Quelques exemples…

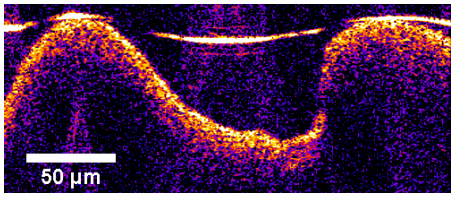
Matériaux : couches stratifiées

Deux couches de peintures stratifiées

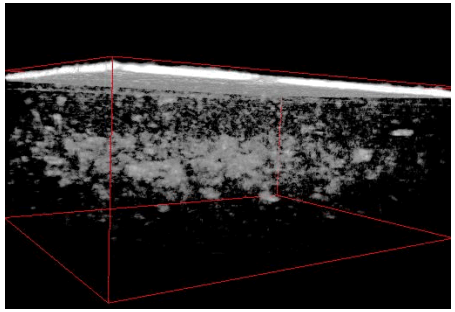
Peinture + couche de vernis

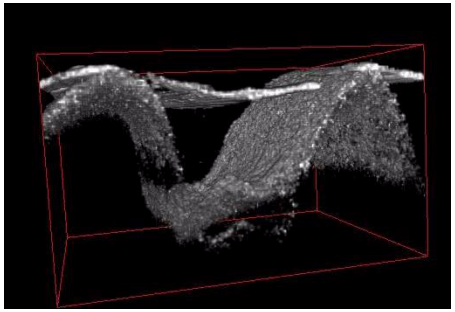
2D



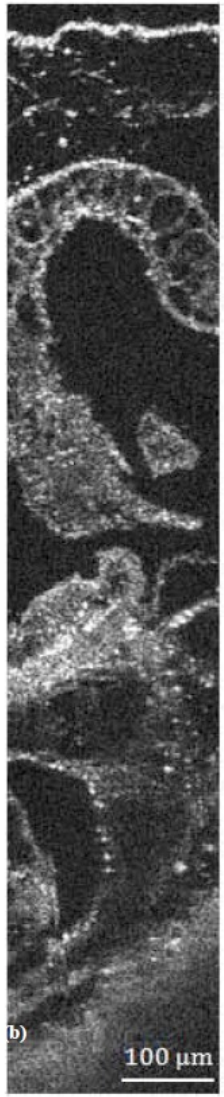


3D





Imagerie biologique : têtard

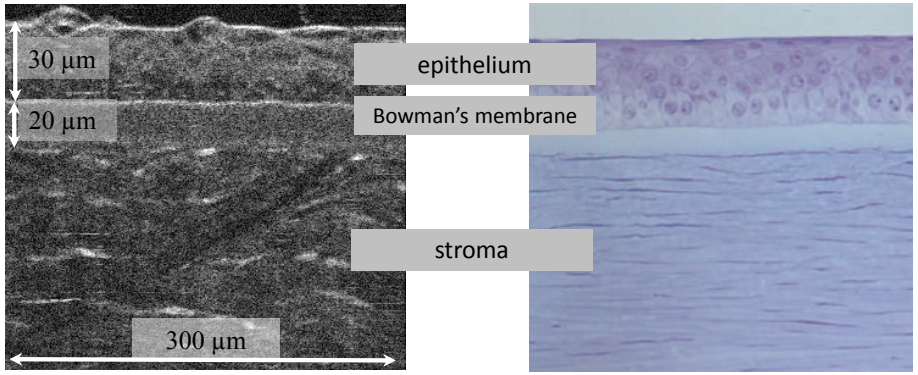


Imagerie biomédicale : ophtalmologie

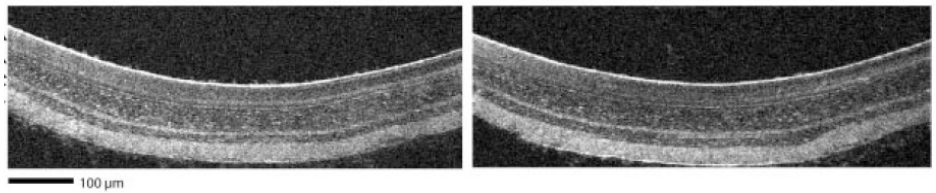
cornée

FF-OCT

Stained histological section



rétine



Grieve *et al.*, IOVS (2004)
Sacchet *et al.*, Opt. Express (2008)
Latour *et al.*, Appl. Opt. (2009)
Latour *et al.*, J. Biomed. Opt. (2010)

Un projet pour enseigner l'optique à l'université

- Optique géométrique

réalisation d'un microscope conventionnel, réalisation et alignement d'un éclairage de Köhler, imagerie avec une caméra

- Optique ondulatoire

interféromètre de Michelson, cohérence temporelle, transformée de Fourier

- Imagerie numérique

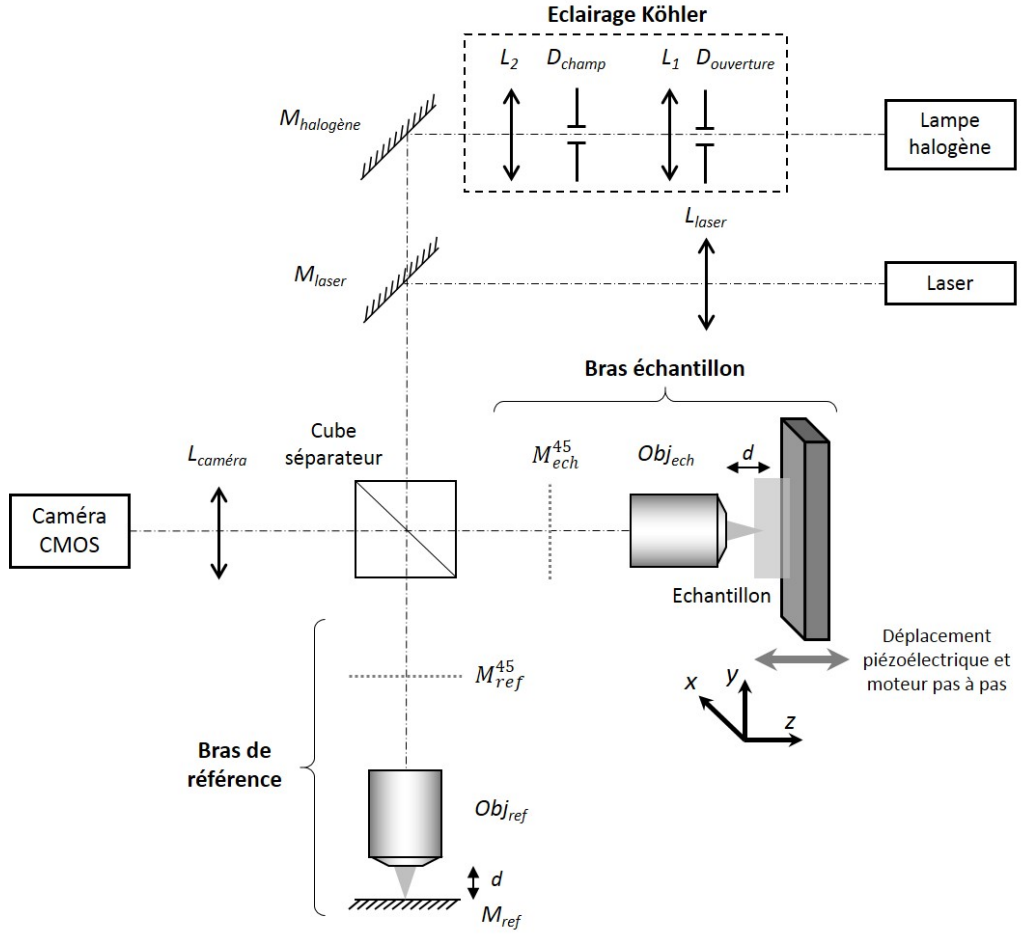
champ de vue, temps d'exposition, échantillonnage, résolutions, sensibilité

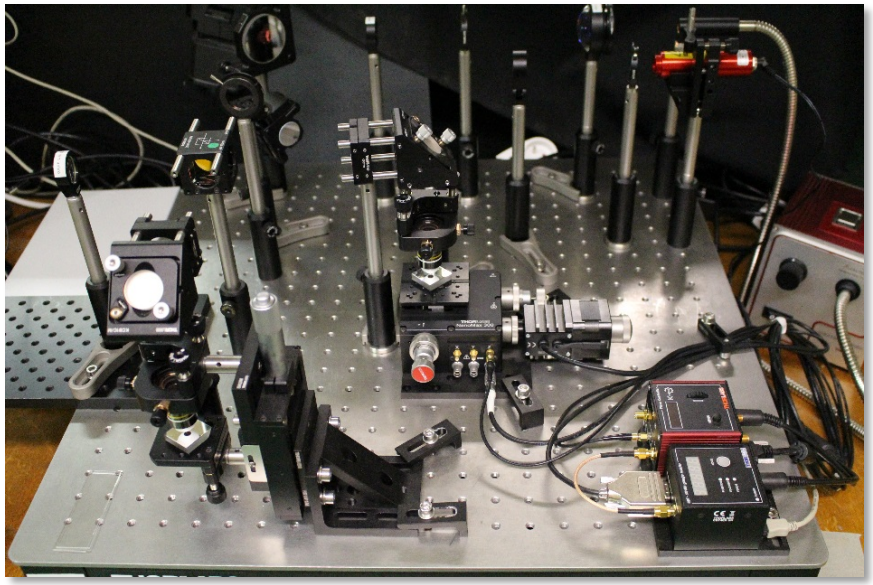
Niveau requis : L3

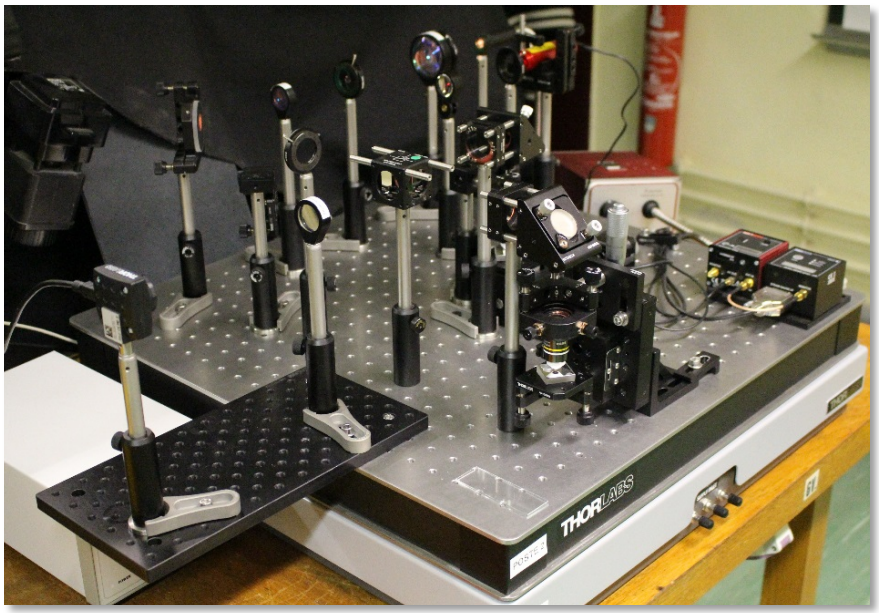
Dans notre cas : étudiants de M1 (physique fondamentale) et M2 Ingénierie de l'optique (UPMC/Paris-Sud)

- 2015-2016 : 90 étudiants
- 2016-2017 : 90 étudiants

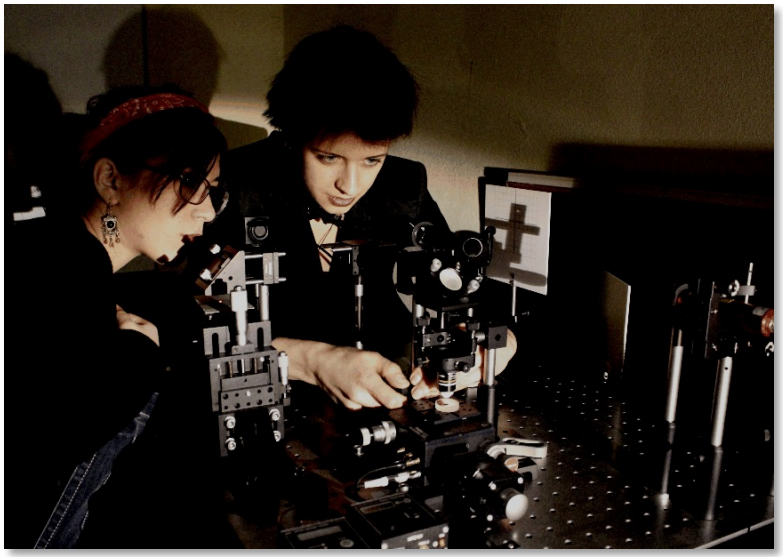
OCT plein champ : montage optique







Trois jours pour construire son microscope 3D



- **Jour 1: bases optiques de l'interférométrie en lumière blanche**

interféromètre de Michelson, réglages et alignement, contact optique, cohérence temporelle, caractérisation des propriétés spectrales de filtres

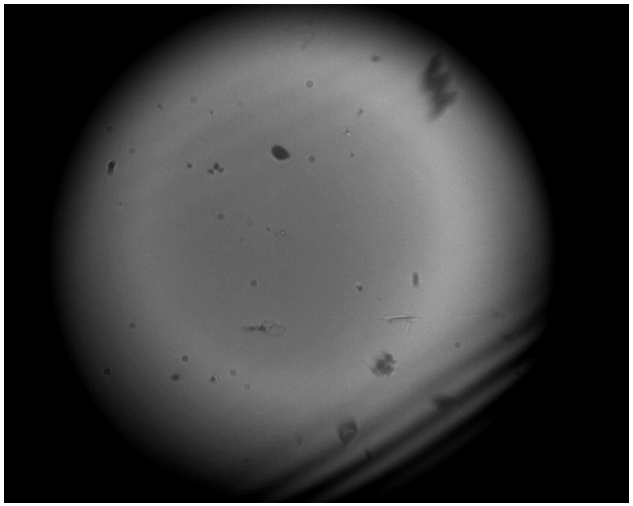
- **Jour 2 : construction et réglages de l'OCT**

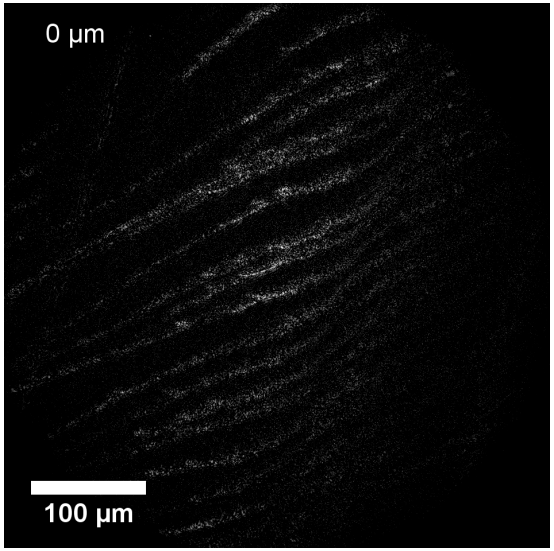
identification des éléments optiques, assemblage et réglages optiques en 3D, imagerie avec un objectif de microscope, illumination de Köhler, caméra 2D

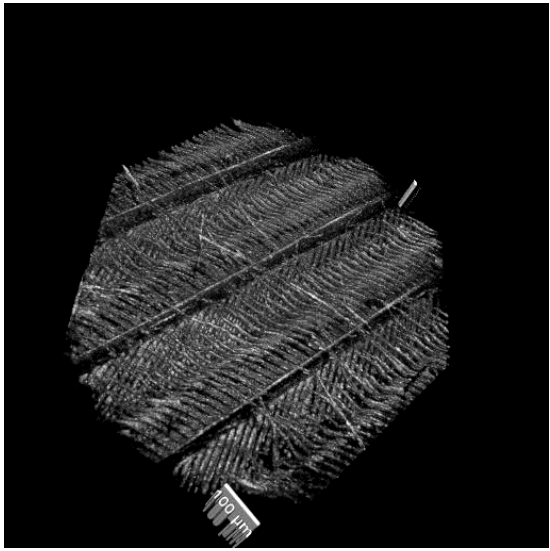
- **Jour 3: caractérisation de l'OCT, acquisition des données, traitement des images**

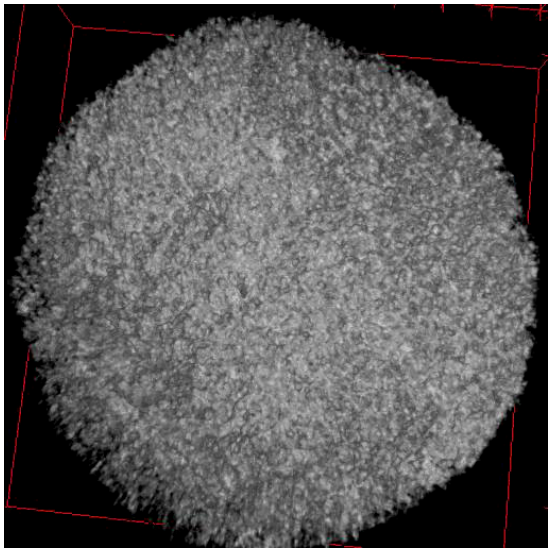
Imagerie tomographique

Films obtenus par les étudiants









Caractères innovants du projet

- La construction d'un système d'imagerie de A à Z

prise de conscience de la capacité à assembler un système d'imagerie à partir de leurs connaissances et de leur savoir-faire

- L'aspect ludique et la dynamique de groupe

plaisir de l'assemble et du réglage fin des différents éléments (cf. Légo, Mécano), temps disponible pour l'entraide et la comparaison entre les montages, les données

- Une restitution entièrement numérique

films (2D ou 3D) font partie des objectifs du projet, restitution des images et du compte-rendu sous format numérique

- Manipulation de matériel de précision

matériel de qualité qui assure souplesse et précision, une limitation des résultats liée à leur habileté expérimentale et non au matériel

- Prix abordable en regard des performances atteintes

autour de 11 k€ par système d'imagerie, dans notre cas : 6 postes pour l'accueil de 12 étudiants

Brève immersion…

https://www.canal-u.tv/video/scavo/lumiere_sur_un_enseignement_innovant_construire_son_microscope_tomographique.34721

Perspectives

Depuis mars 2016 : environ 180 étudiants ont suivi le projet
Questionnaire d'évaluation (70 réponses) : très bons retours

- Essaimage dans d'autres universités

Institut d'Optique, Aix-Marseille Université, Centrale Marseille

- Commercialisation d'un kit éducatif (Thorlabs) ? THORLABS

- Vers une refonte des UE d'optique expérimentales en L1/L2

fil rouge pour l'enseignement de l'optique : l'imagerie numérique

- *L1 (optique géométrique) : imagerie numérique (microscopie, photographie…)*
- *L2 (ontique ondulatoire) : construction d'instruments optique (interféromètre de Michelson, spectromètre numérique)*

Remerciements

Enseignants : *G. Latour, M. Jacquey, V. Guillet, M. Godard*

Soutien technique : *B. Pilette*

Soutien logistique et matériel : *Société Thorlabs*

Financements : *Université Paris-Sud, Université Paris-Saclay, labex PALM, société Thorlabs*

Le mot de la fin aux étudiants…

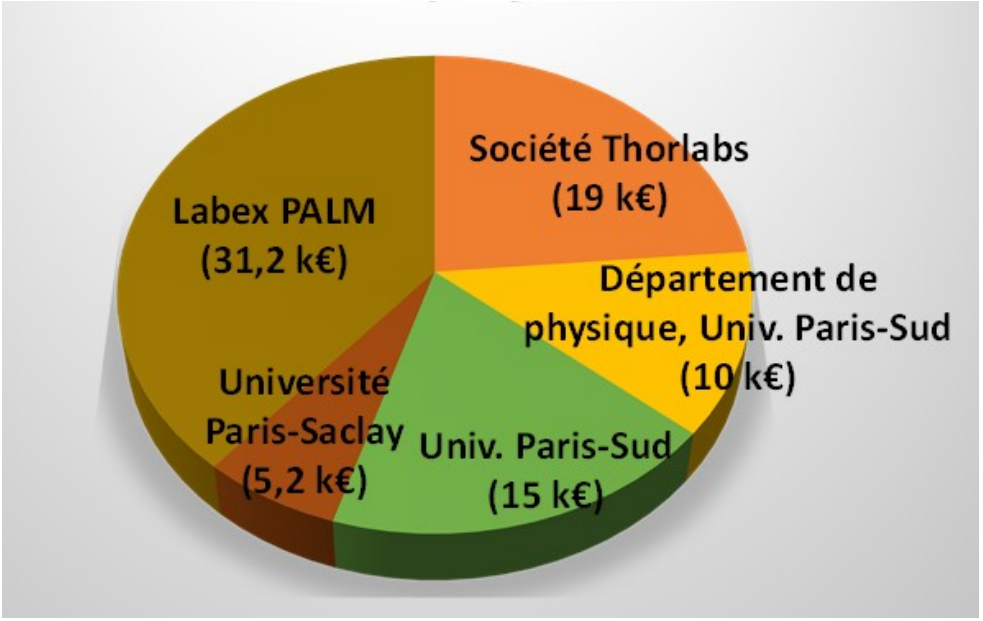
On travail avec du matériel de laboratoire, on fait des montages de pointe, et on a de belles images à la fin !

On conçoit de A à Z le projet. On doit être méticuleux et ordonné. On a le temps de se tromper et de recommencer. On travaille sur une technique expérimentale assez récente et le résultat final est sympa

Les résultats que nous pouvons obtenir sont géniaux !

Soutiens financiers

- APP Paris-Sud : **15 k€ TTC**
- Département de physique : **10 k€ TTC**
- Paris-Saclay (School Basic Sciences) : **5,2 k€ TTC**
- Labex PALM : **31,2 k€ TTC**
- Thorlabs company: **19 k€ TTC**



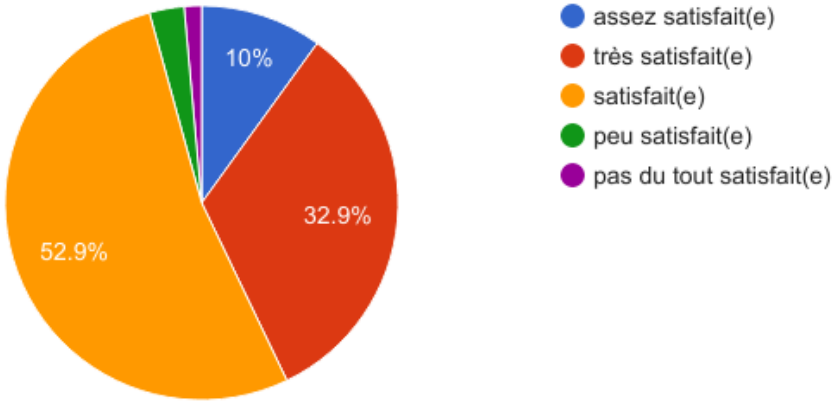
Total : 80 k€ TTC
(6 postes optiques, soit 12 étudiants)

La retour des étudiants

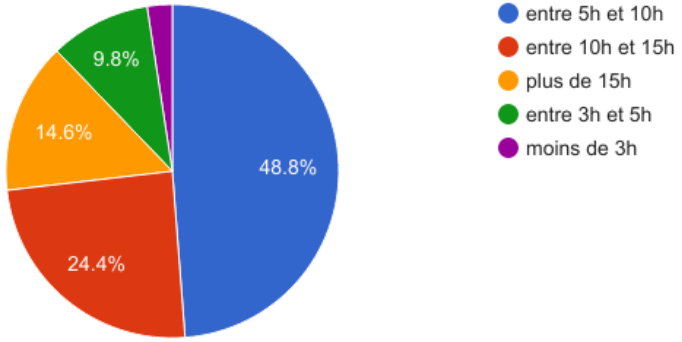
Questionnaire d'évaluation sur les années 2015-2016 et 2016-2017

➔ 70 réponses

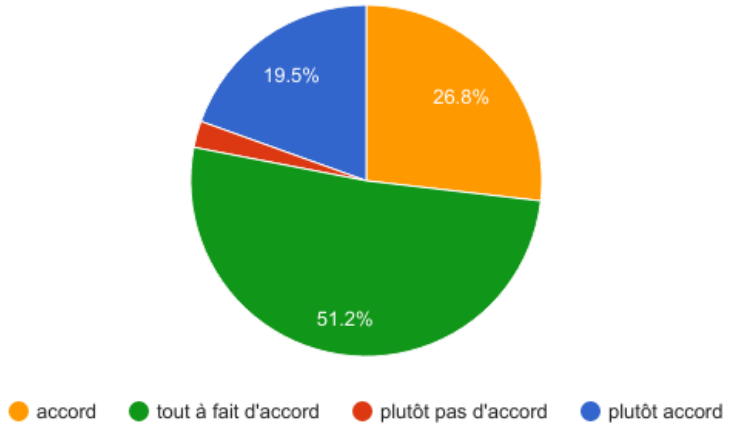
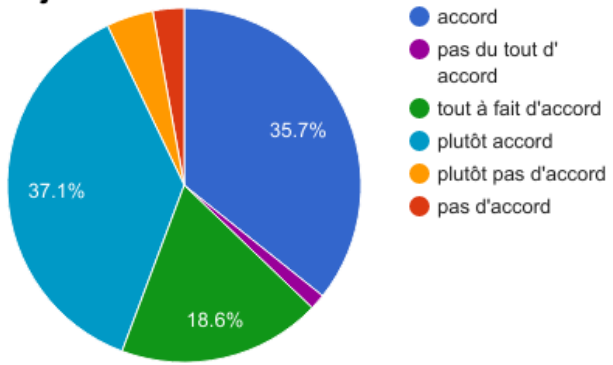
Niveau de satisfaction global sur l'ensemble des trois jours ?



Temps passé en dehors de la séance



Je pense que ce projet expérimental m'a été bénéfique dans le cadre de ma formation.



Vous avez globalement surmonté les difficultés rencontrées au cours de ce projet.