

Spectromètre IR frugal et open-source pour le tri du plastique

Présentation en 5 slides. Juin 2020.

Projet porté par deux ingénieurs entrepreneurs:

- **Mejdi** NCIRI, président d'IMPACT PHOTONICS
- **Vivien** HENRY, président d'INDUCTIVE BRAIN

Mejdi a été diplômé de l'Institut d'Optique en 2010, puis s'est spécialisé en spectroscopie. De 2012 à 2017 il a dirigé ARCHIMEJ TECHNOLOGY, une startup qui a développé et breveté un spectromètre innovant pour l'analyse de la chimie du sang. Mejdi est membre du réseau d'entrepreneurs biotech du GENOPOLE ainsi que du réseau des Fablab (diplôme de la FABACADEMY du MIT en 2018). Depuis Février 2019 il a créé IMPACT PHOTONICS, une TPE qui développe des instruments de spectroscopie en open-source hardware.

Vivien a été diplômé de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest en 2015, puis s'est spécialisé en électronique analogique et embarqué. Depuis Avril 2019 il crée son activité de développeur électronique indépendante: INDUCTIVE BRAIN où il intervient sur des projet tant industriels qu'artisansaux .

IMPACT PHOTONICS



Where there is a light, there is a way.

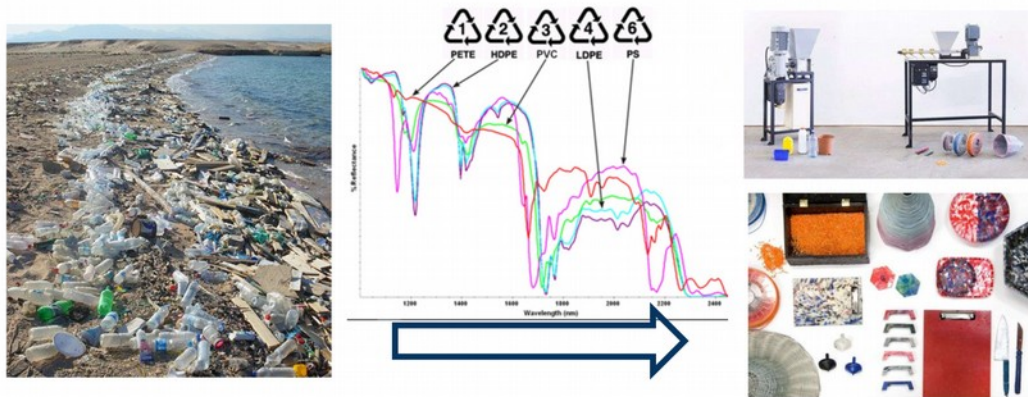


Contexte et enjeux

A peine 10% des déchets plastique sont aujourd'hui recyclés. Le tri du plastique usagé constitue la 1^{ère} étape incontournable de son recyclage.

Les gros centres de recyclage utilisent une méthode de tri très efficace basée sur des spectromètres infra-rouge très rapide et très onéreux. Les petites structures décentralisées utilisent quant à elles des méthodes manuelles qualitatives qui ne permettent pas de trier efficacement tous les types de plastiques, ni les éclats de petite taille. Aucune solution n'existe aujourd'hui à petite échelle et à très bas coût.

Plusieurs projets travaillent à démocratiser les techniques de valorisation des déchets plastiques à plus petite échelle et à moindre coût. Par exemple la communauté PRECIOUS PLASTIC ou l'expédition PLASTIC ODYSSEY.



L'ambition du projet est de concevoir un petit spectromètre infra-rouge capable de trier les différents types de plastique. L'enjeu est de faciliter le recyclage local et autonome des déchets plastique.

Au-delà des défis d'ingénieries (optique, mécanique, électronique) qu'il représente, l'originalité du projet est de répondre à des besoins socio-économiques fondamentaux:

- Design frugal: BOM (coût de fabrication main d'œuvre et logistique exclu) inférieur à 200€
- Fabrication compatible avec les technologies des Fablabs : Impression 3D, Découpe laser, électronique SMD, fraisage numérique, thermoformage.
- Hardware et firmawre open-source: chacun est libre de copier, réparer, améliorer, customiser.
- Bases-de-données spectrales et algorithmes d'analyse open-source: pérennité du système et garanti de la qualité du résultats

Etat de l'art

Prix des systèmes de spectroscopie IR

- Spectromètre de recherche ou industriel : 20k à 200k€.
- Spectromètre à faible résolution spectrale (~10nm): 800 à 1000€. Par exemple le TIDA-00554 de TEXAS INSTRUMENT, ou le PLASTELL de MATOHA.
- Spectromètre à très faible résolution spectrale (~100nm) : 100 à 300€. Par exemple le REREMETER de REAL RECYCLING.

Le prix des détecteurs linéaire ou matriciel dans le SWIR est assez élevé. Cependant les ingénieurs ont depuis peu accès à des **sources et détecteurs SWIR miniature à faible coût**. Par exemple :

- La photodiode *003-151-001* d'ADVANCED PHOTONICS (package 1206, 800-1700nm, 2€/pièce)
- La LED *MTSM0012-843-IR* de MARKTECH OPTOELECTRONICS (package 1206, 1150-1250nm, 10€/pièce)

Chimométrie du plastique

Il est possible de trier les « principaux » types de plastiques en ne mesurant que deux bandes spectrales de 100nm de large autour de 1200 et 1650nm.

Source : Information stratégique partagée par PELLENC ST, industriel expert et leader international du tri plastique.

Cahier des charges

Le spectromètre doit être capable de mesurer le spectre de réflexion diffuse d'échantillons solides sur les bandes **1100-1250nm** et **1550-1700nm** avec les performances suivantes :

- BOM < 200€
- Petite taille (~150x150x300mm)
- RSB ~ 100
- Faible consommation électrique (5V / 1A)
- Résolution ~10nm
- 1 à 5 secondes par mesure

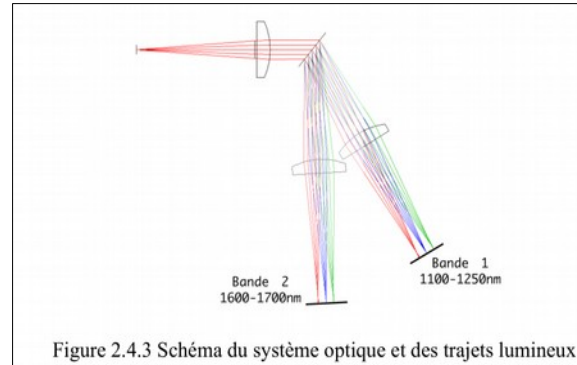
Cibles

A long terme, les marchés ciblé sont les micro-ateliers de valorisation des déchets plastiques. Déchets que l'on trouve principalement sur les littoraux des pays en voie de développement.

A court terme, le marché cible est la niche des fablabs et des communautés académique ainsi que « maker/DIY » qui travaillent sur les problématiques du tri et de la valorisation des déchets plastiques

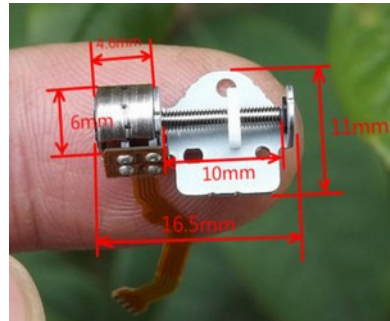
Idées générales du design :

- On part d'un spectromètre « classique » à réseau plan, optimisé pour imager chaque bande d'intérêts sur un petit segment de 6mm.



Réseau 600 traits/mm
Lentilles F40mm D12.5mm

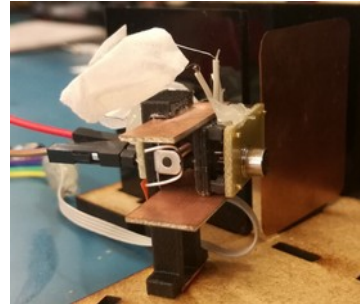
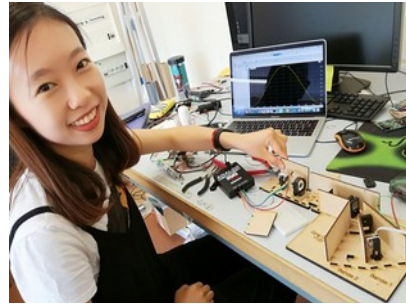
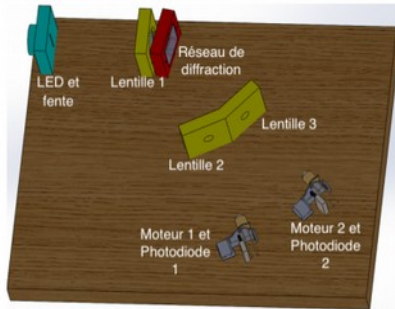
- Tout les éléments optiques sont fixes, à l'exception de la photodiode qui va « scanner » mécaniquement chaque bande. Pour contrôler ce scan, on utilisera un micro moteur-pas-à-pas dont le coût est très abordable (1 à 2€/pièce).



- Le flux des LED SWIR étant faible (\sim mW/str), ainsi que la réflectivité des plastiques (qq %): le photo signal est extrêmement faible. Le transimpédance a donc un gain de plusieurs M Ω et on module les LEDs (\sim 100kHz) pour opérer à une détection synchrone.

Développements passés

En 2017-2018, sur une demande PLASTIC ODYSSEY, Mejdi a l'idée d'un design de spectromètre capable de scanner des petites bandes du SWIR pour un coût très faible. Qing CHU réalise son stage-de-fin-d'études d'ingénieur sur le sujet et abouti à la réalisation d'une première preuve de concept: **QING 1**.

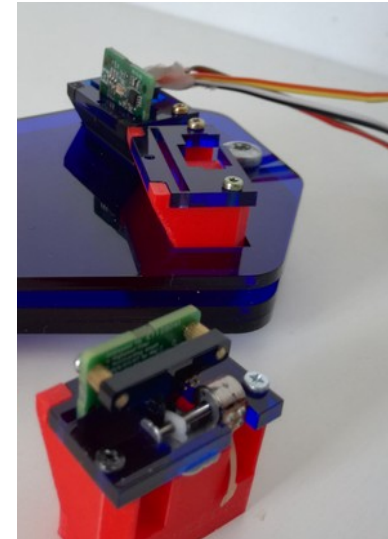
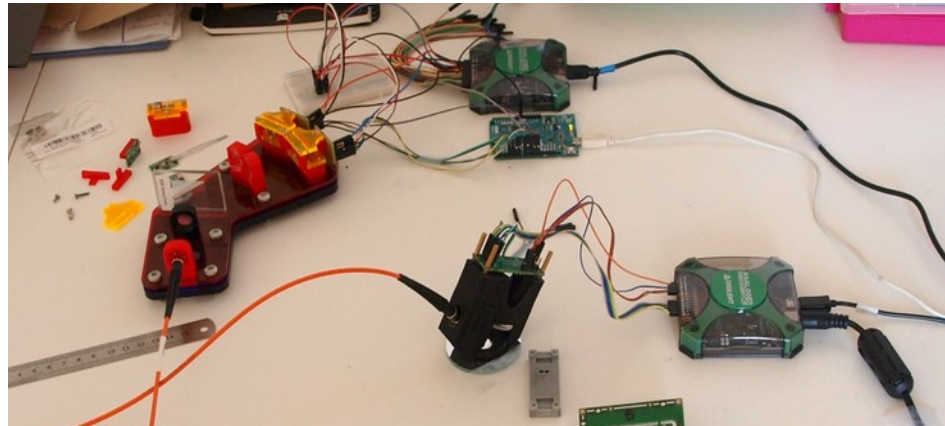
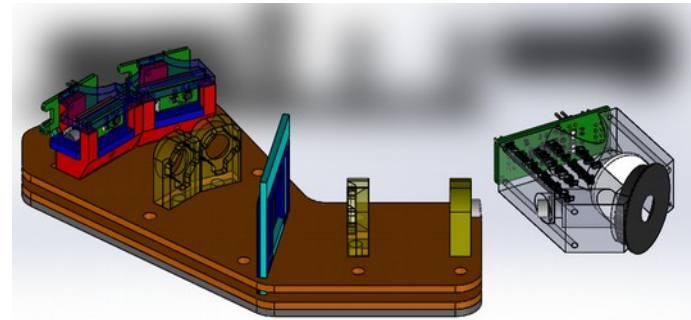


Étudiante
Encadrants

Qing CHU
Simon BERNARD
Mejdi NCIRI
François BALEMBOIS
Le 2 avril - le 28 septembre 2018
Photonics FabLab du bâtiment 503

Période du stage
Lieu du stage

En 2019, grâce au financement de PLASTIC ODYSSEY, Mejdi poursuit le développement du spectromètre; qui abouti à la réalisation d'un nouveau prototype capable de mesurer de manière répétable le spectre d'émission de LED infra-rouge : **QING 2**.



CF :

Rapport technique complet: http://impact-photonics.com/doc/Qing2_Final_report.pdf

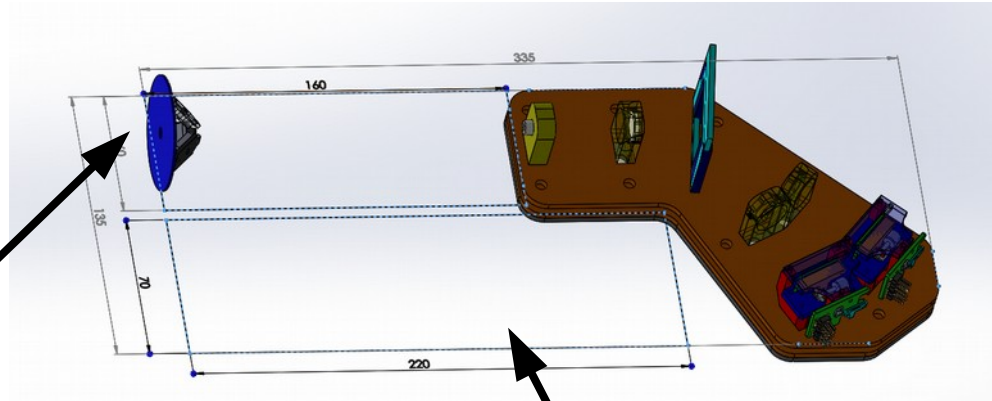
Vidéo du spectromètre en fonctionnement : http://impact-photonics.com/img/QING2_mono-band.mp4

Développements en cours

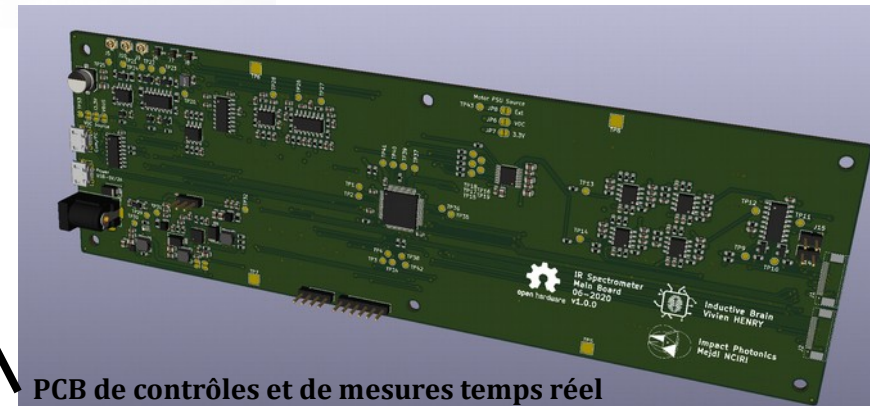
Pour finaliser le projet - c'est à dire en faire un produit capable de mesurer le spectre de réflexion d'échantillons plastique - il faut encore optimiser le flux lumineux collecté et la qualité d'amplification post transimpédance (pré ADC). Il faut en outre intégrer l'électronique de mesure et de contrôle sur un unique PCB.

Mejdi et Vivien s'y sont attelés depuis le début de l'année 2020, en parallèle de leurs activités principales. Ils proposeront le résultat de leur travail en pré-vente (crowdfunding) en début 2021 ?...

Ci-dessous, en avant-première, des images du produit en cours de développement :



Système d'illumination



PCB de contrôles et de mesures temps réel