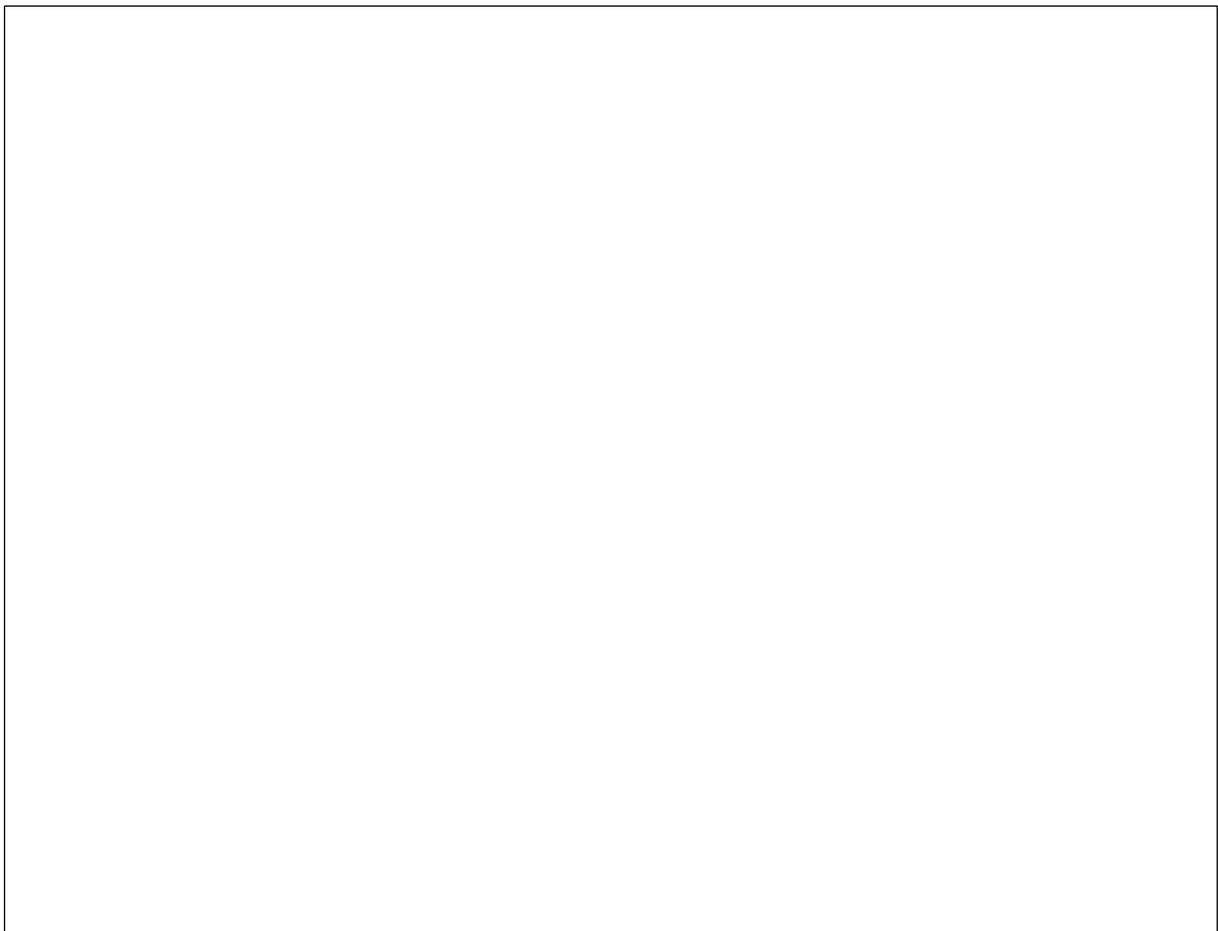


Rapport bibliographique



2023/2024

[Tapez ici]

SOMMAIRE

résumé/abstract.....	1
Glossaire	2
1-Introduction	3
1-Principe de la spectrométrie proche infra-rouge	3
2- Les polymères classiques et leur spectre NIR.....	4
2- le fonctionnement du plastic scanner.....	4
4-Fabrication	6
5-Les composants et prix.....	7
6-Conclusion	8
7-Référence	9

RESUME/ABSTRACT

Les polymères sont une grande source de pollution provoquant la mort d'animaux ainsi que la pollution des sols et des eaux comme nous le dit le site info ONU « *le plastique représente 85% des déchets marins et prévient que d'ici à 2040, les volumes de pollution plastique qui se déversent dans les zones marines vont presque être multipliés par trois* »(1), il devient donc de plus en plus important d'améliorer le recyclage des plastiques. Comme beaucoup de pays ayant mis en place des usines de traitement des déchets, mais pour encore beaucoup de pays en développements ces déchets sont triés manuellement et pas en entières car beaucoup sont classé comme inconnu par manque d'outils permettant de les identifier. Cette étude a pour but de mettre en lumière un projet collaborative visant à créer un outil d'identification des polymères abordable et facile d'utilisation pour permettre à une plus grande partie du monde un accès au recyclage.

GLOSSAIRE

NIR infrarouge proche (Near Infra Red)

IR Infrarouge

DEL Diode Électro Luminescente

PET PolyÉthylène Téréphtalate

PP PolyPropylène

PS PolyStyrène

PVC Polychlorure de vinyle (Poly Vinyl Chloride)

HDPE Polyéthylène haute densité (High-Density PolyEthylene)

PLS PLastic Scanner

1-INTRODUCTION

1-PRINCIPE DE LA SPECTROMETRIE PROCHE INFRA-ROUGE

La spectrométrie est l'étude du spectre émis par un matériaux dans notre cas un polymère, après contact entre le polymère et un rayonnement IR qui fais vibrer ou met en mouvement les molécules organiques du matériau lié par des liaison spécifique qui absorbe certaine fréquence.

Chaque liaison possède une fréquence de résonance qui lui est propre et c'est l'analyse de l'absorption ou de la réflectance de la lumière IR par ces liaisons, qui nous permet de déterminer quel type de liaison est présente dans le polymère et par conséquent sa composition.

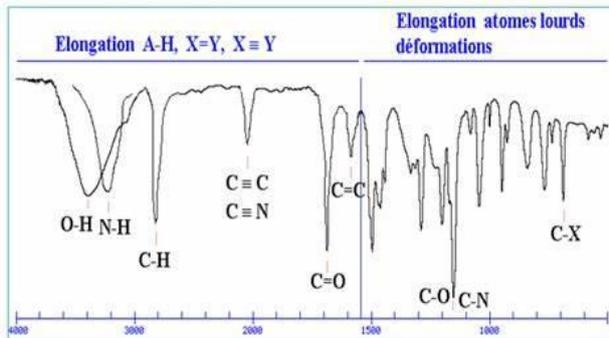


FIGURE 1 : FREQUENCE DE RESONNANCE

Nous parlerons dans cette étude spécifiquement de la spectrométrie NIR utilisé pour la première fois en 1964 par une équipe de chercheur américain de l'Instrumentation Research Lab et qui est une méthode d'analyse utilisé dans les industrie pharmaceutique, agroalimentaire, chimique, plasturgique, etc.

La spectrométrie NIR utilise la région proche IR du spectre électromagnétique (d'environ 700 à 2 500 nanomètres). En mesurant l'absorption de la lumière diffusée à travers un échantillon, permettant de déterminer rapidement les propriétés d'un matériau sans l'altéré même sur des surfaces irrégulières.

Plus précisément la spectrométrie utilisée par le PLS est appelée en anglais « Discrete NIR spectroscopy » et consiste à ne mesurer que certaine longueur d'onde en utilisant des LED IR a certaine longueur d'onde connu, contrairement à la spectroscopie continue où le spectre complet est mesuré en utilisant par exemple un prisme sur le quel en émet une lumière IR

Cette étude a pour but d'appliqué à la reconnaissance des polymères classiques, l'analyse de Spectre NIR de polymère inconnu et de les comparer avec une base de données des spectres des polymères dit « classiques » permettant d'identifier de manière simple et rapide n'importe quel polymère.

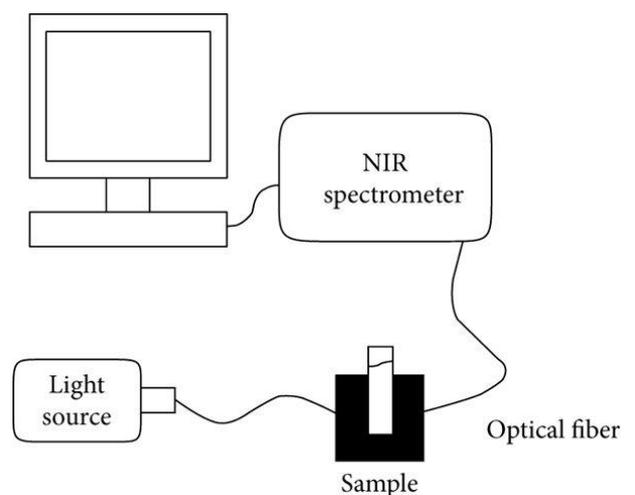


FIGURE 2 : REPRESENTATION D'UN SPECTROMETRE NIR

2- LES POLYMERES CLASSIQUES ET LEUR SPECTRE NIR

Nous prendrons lors de cette étude comme polymère classiques le PET, PP, PS, PVC, HDPE étant les polymères les plus utilisés (figure 1). Ils consistaient en 2018 plus de 50% des polymères utilisés dans le monde.

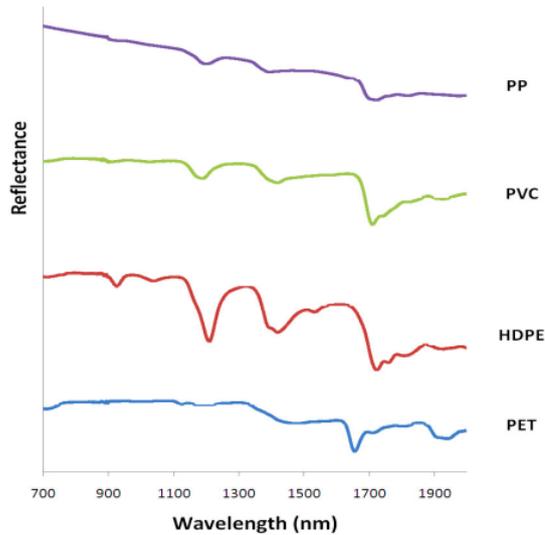


FIGURE 4 : SPECTRE DE REFLECTANCE DES POLYMERES CLASSIQUES(4)

TABLEAU 2 : POLYMERES UTILISES DANS LE GRAPHIQUE DES RATIOS

Type	Colors	Color in Figure 2	Number of Items
PET	white, transparent-blue, transparent-green	blue	3
HDPE	blue, light-blue, white	cyan	8
PP	white, transparent-white	green	3
PS	white	magenta	2



Ha Thi Hoang Nguyen, Pengxu Qi, Mayra Rostagno, Amr Feteha, Stephen A. Miller, *Journal of Material Chemistry*, 2018 doi : 10.1039/C8TA00377G

FIGURE 3 : GRAPHIQUE DE LA DISTRIBUTION DES TYPE DE POLYMERE(2)

Cependant les spectres IR utilisés dans le PLS sont différents des spectres IR utilisés en spectrophotométrie qui sont des graphiques à 2 axes entre la réflectance et la longueur d'onde.

Tandis que les spectres montrés par le logiciel du PLS sont des graphiques à 3 axes entre les ratios des réflectances. La couleur représente le matériau et les 3 axes montrent si dessus sont les 3 axes dit les plus intéressants par le principal développeur, plus le matériau analysé est proche d'un amas de points d'une certaine matière plus il est possible que le matériau analysé soit le même que celui de l'amas.

TABLEAU 1 : RATIO DES LONGUEUR D'ONDE

Ratio1	$R_{(1200\text{nm})}/R_{(1300\text{nm})}$
Ratio2	$R_{(1450\text{nm})}/R_{(1550\text{nm})}$
Ratio3	$R_{(1550\text{nm})}/R_{(1650\text{nm})}$

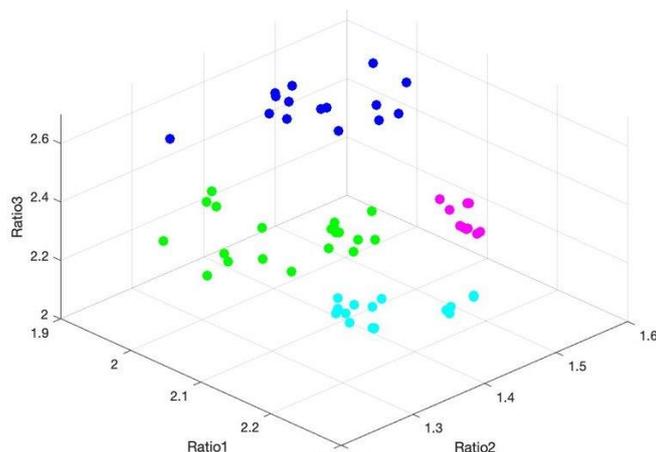


FIGURE 5 : GRAPHIQUE DES RATIOS DE POLYMERES

2- LE FONCTIONNEMENT DU PLASTIC SCANNER

Le PLS est composé de plusieurs parties dont 6 grandes parties : le capteur, les DEL IR, le circuit imprimé, le boîtier, l'interface et le logiciel.

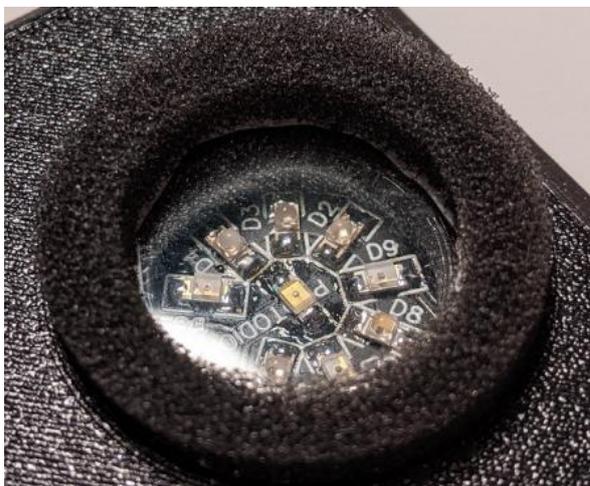


FIGURE 6 : IMAGE DE LA DISPOSITION DES DEL IR ET DU CAPTEUR

Le capteur est situé au centre de la zone d'émission de lumière.

Les DEL IR (dont les longueurs d'onde sont de 850nm, 960nm, 1050nm, 1200nm, 1300nm, 1450nm, 1550nm, 1650nm) sont positionnées en cercle au tour du capteur et sont allumées une après l'autre de manière brève.

La photodiode ou capteur capte la réflectance de la lumière IR émise par les DEL qui n'ont pas été absorbée par les liaisons du matériau. Le boîtier est dans la plupart des cas fabriqué en 3D en suivant les dimensions fournies par le créateur ou celle mesurée si le circuit imprimé diffère de celui utilisé dans les démonstrations.



FIGURE 9 : GRAPHIQUE DES RATIO DE POLYMERES

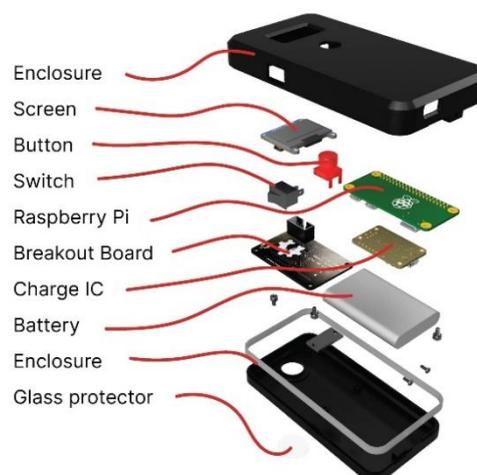


FIGURE 7 : COMPOSANT DU PLS

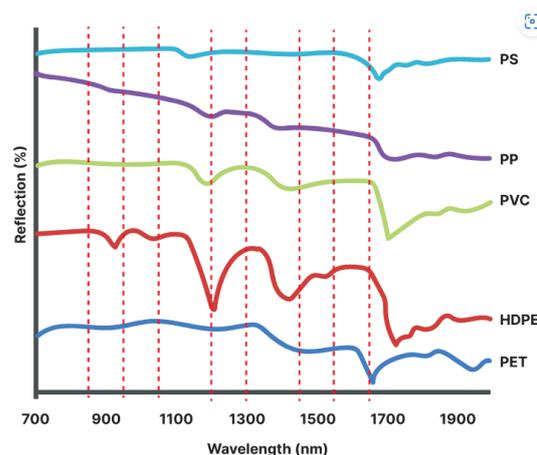


FIGURE 8 : SPECTRE IR AVEC LONGUEUR D'ONDE DES DEL IR INDIQUE

Le logiciel permet la prédiction et l'analyse des différentes longueurs d'onde captées et ainsi nous informe quel type de polymère est-ce.

Pour l'explication du fonctionnement nous utiliserons comme référence le dernier modèle actuellement sorti.

Pour démarrer et utiliser le PLS il faut appuyer sur le bouton central, lors de

l'utilisation il suffit de plaquer le PLS contre le polymère inconnu et d'appuyer sur le bouton centrale les DEL IR s'allumeront l'une après l'autre à un intervalle connu tandis que la photodiode captera les longueurs d'ondes refléter et le logiciel les comparera à une base de données dans polymère connu suite à cela le nom du polymère étant le plus susceptible d'être le polymère inconnu sera afficher sur l'écran

4-FABRICATION

Le PLS peut différer selon les utilisateurs étant un projet open source il peut être modifier par l'utilisateur cependant il existe un kit vendu par Jerry DE VOS qui est l'instigateur de ce projet et donc qui sera la base pour l'explication de la fabrication du PLS dans cette étude.

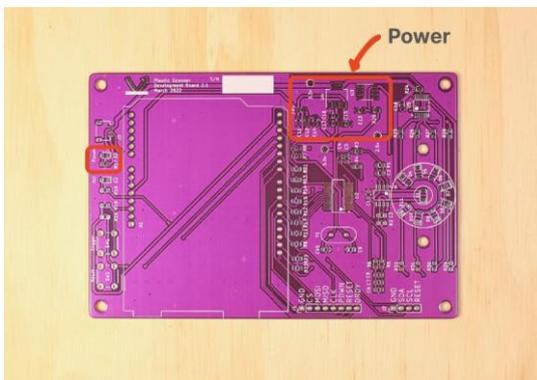


FIGURE 10 : POSITION DES BRANCHEMENT DE L'ALIMENTATION (POWER SUR LE CIRCUIT IMPRIMER

Deuxièmement souder la carte Arduino au circuit imprimé, les points à souder sont les points R5 à R24, C6 à C10 et Y1.

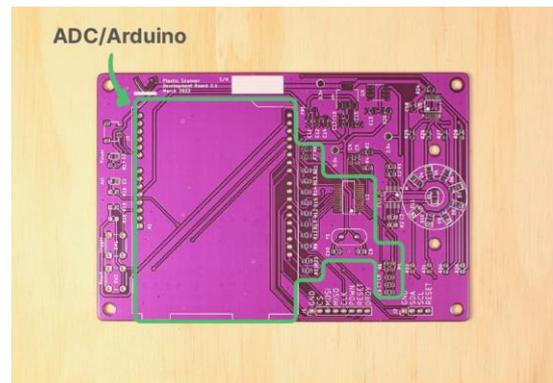


FIGURE 11 : POSITION DES BRANCHEMENT DE L'ARDUINO SUR LE CIRCUIT IMPRIMER

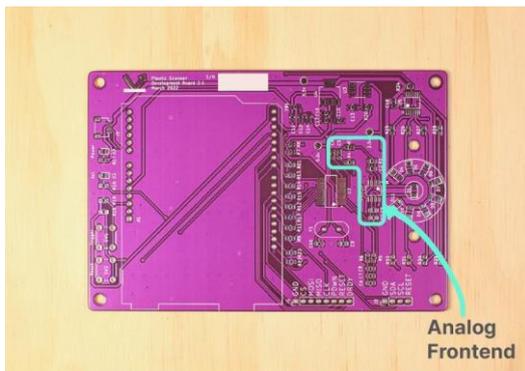


FIGURE 12 : POSITION DES BRANCHEMENT DE L'ENTRER ANALOGIQUE (ANALOG FRONTEND) SUR LE CIRCUIT

Puis Dernièrement souder les LED au circuit imprimé sur les points U5, C17, R26 à R32 et D4 à D11. D4 à D8 sont les LED IR à souder de la plus petite (850nm) au D4 à la plus grande (1650nm) au D8.

Troisièmement souder l'entrer analogique (Analog Frontend) au circuit imprimé, au point U1, R1 à R4 et C1 à C5.

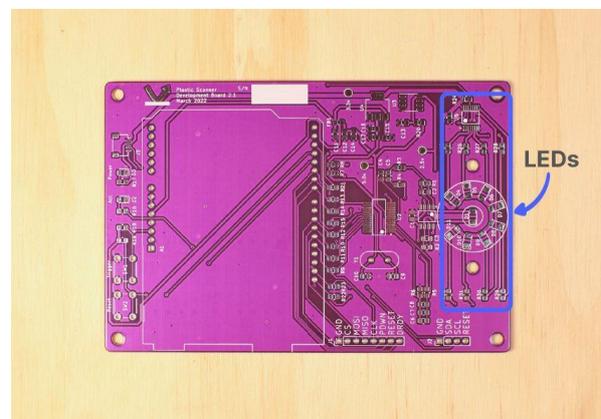


FIGURE 13 : POSITION DES BRANCHEMENT DES LED SUR LE CIRCUIT IMPRIMER

5-LES COMPOSANTS ET PRIX

Pour un circuit imprimé correspondant aux différentes pièces présentes il faudrait compter 50€ au minimum pour faire fabriquer un circuit imprimé sur mesure (sur le site [PCB Assembly | Turnkey PCB Assembly | PCB soldering | PCB populating | PCB component sourcing | PCBGOGO](#)).

Pour les DEL il est possible de trouver des sites de vente où les DEL IR sont à moins de 1€ (exemple : [LED infrarouge, ams OSRAM, SFH 4544, 1 LED, Traversant, 950nm, 550mW/sr 75mW | RS \(rs-online.com\)](#), [LED infrarouge, ams OSRAM, SFH 4550, 1 LED, Traversant, 860nm, 1100mW/sr 70mW | RS \(rs-online.com\)](#)).

Pour les capteurs IR voici les capteurs indiqués par le créateur

TABLEAU 3 : PRIX DE CAPTEUR IR

	Discrete LEDs	Hamamatsu C14273
Cost per unit	100 Euros	300 Euros
Measurement points	8 points	50+ points
Wavelength	950nm-1650nm	1550nm-1850nm
Required expertise	Low	High
Signal quality	Low	High
Disadvantage	LEDs difficult to source	Requires difficult driving mechanism
Advantage	Quality is adjustable by soldering more LEDs	Full spectrum can give more information

6-CONCLUSION

La spectrophotométrie NIR consiste à utiliser la zone proche infrarouge pour analyser les vibrations des chaînes moléculaires dans la matière permettant d'identifier la composition de ce matériel et plus particulièrement les polymères utilisés dans le recyclage ce qui donna naissance au projet open source Plastic Scanner (PLS). Le PLS permettra à des pays en développement et aux petites entreprises un meilleur accès au recyclage.

Ce projet encore en développement, récemment mis à jour, se voit amélioré constamment pouvant par exemple maintenant identifier une plus grande diversité de polymère mais il reste encore plusieurs points à améliorer.

7-REFERENCE

Alpert, Nelson L. *IR: Theory and Practice of Infrared Spectroscopy*. Springer International Publishing.

Cross, L. H., et al. "The Infra-Red Spectrum of Ethylene Polymers." *Discussions of the Faraday Society*, vol. 9, 1950, p. 235, <https://doi.org/10.1039/df9500900235>.

DB2.1_Systemstudy_analog_frontend-842daa7adf16b24f95757b9edbf03074.Pdf.

https://docs.plasticscanner.com/assets/files/DB2.1_Systemstudy_analog_frontend-842daa7adf16b24f95757b9edbf03074.pdf. Accessed 10 Oct. 2023.

de Vos, Jerry. *Plastic Identification Anywhere*.

Éditions, Lelivrescolaire fr. *Quelle masse de plastique à la surface des océans ?* |

Lelivrescolaire.fr. <https://www.lelivrescolaire.fr/page/16235301>. Accessed 10 Oct. 2023.

"Figure 4. Optical Beam Path in the Phazir NIR Spectrometer (Right) And..." *ResearchGate*,

https://www.researchgate.net/figure/Optical-beam-path-in-the-Phazir-NIR-spectrometer-right-and-principle-function-of-the_fig4_241733959. Accessed 19 Sept. 2023.

Franzoi, M., et al. "Effectiveness of Mid-Infrared Spectroscopy for the Prediction of Cow Milk Metabolites." *Journal of Dairy Science*, vol. 106, no. 8, Aug. 2023, pp. 5288–98,

<https://doi.org/10.3168/jds.2023-23226>.

Functionality of Measuring Systems - LLA Instruments GmbH & Co KG. [https://www.la-](https://www.la-instruments.de/en/how-it-works-en/functionality-of-measuring-systems.html)

[instruments.de/en/how-it-works-en/functionality-of-measuring-systems.html](https://www.la-instruments.de/en/how-it-works-en/functionality-of-measuring-systems.html). Accessed 19 Sept. 2023.

George, William Owen, and Peter S. McIntyre. *Infrared Spectroscopy*. J. Wiley and sons, 1987.

La Pollution du Plastique dans le Monde en 10 Chiffres.

<https://www.jobimpact.fr/mag/pollution-plastique-chiffres>. Accessed 10 Oct. 2023.

L'ONU juge cruciale une réduction drastique des déchets marins et de la pollution plastique |

ONU Info. 21 Oct. 2021, <https://news.un.org/fr/story/2021/10/1106762>.

Masouni, Hamed. "Fig. 3 The Reflectance Spectra of Five Resins." *ResearchGate*,
https://www.researchgate.net/figure/The-reflectance-spectra-of-five-resins_fig2_285330830.
Accessed 10 Oct. 2023.

par. *Qu'est-ce qu'un spectrophotomètre infrarouge ? - Spiegato*. 19 Nov. 2021,
<https://spiegato.com/fr/quest-ce-quun-spectrophotometre-infrarouge>.

PED_Finalreport_Group04_PlasticScanner_V2-Bb27a720419c52874043137d2ef5475a.Pdf.
https://docs.plasticscanner.com/assets/files/PED_Finalreport_Group04_PlasticScanner_V2-bb27a720419c52874043137d2ef5475a.pdf. Accessed 10 Oct. 2023.

PlasticScanner_Master_Thesis_Markus_Gustav-410b0d1372416d5c5c40d584ed13186d.Pdf.
https://docs.plasticscanner.com/assets/files/PlasticScanner_Master_Thesis_Markus_Gustav-410b0d1372416d5c5c40d584ed13186d.pdf. Accessed 10 Oct. 2023.

Plasticscanner-Review-Auto-Translated-5bfe3dfdf8b3426fb26df5627f96b900.Pdf.
<https://docs.plasticscanner.com/assets/files/plasticscanner-review-auto-translated-5bfe3dfdf8b3426fb26df5627f96b900.pdf>. Accessed 10 Oct. 2023.

Research | Plastic Scanner Documentation. 2 June 2023,
<https://docs.plasticscanner.com/research>.

"Spectroscopie dans l'infrarouge proche." *Wikipédia*, 6 May 2023,
https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Spectroscopie_dans_l%27infrarouge_proche&oldid=204006491.

Spectroscopie de réflectance proche infrarouge (NIRS) | Malvern Panalytical.
<https://www.malvernpanalytical.com/fr/products/technology/spectroscopy/near-infrared-spectroscopy>. Accessed 19 Sept. 2023.

Straller, Armin. *Working Principle | Plastic Scanner*. 15 Nov. 2022,
<https://plasticscanner.com/working-principle/>.

You, Analog. “Les polymères.” *Ramène tes sciences !*, 28 Nov. 2018,
<https://ramenetessciences.wordpress.com/2018/11/28/les-polymeres/>.