

PRODUIT FINAL DE PROJET PERSONNEL:
LA TECHNOLOGIE NIR ET L'IDENTIFICATION DE MATÉRIAUX VIA SPECTROSCOPIE

Rapport de laboratoire présenté à
M. Daniel Deschênes
enseignant de 505

rédigé par Luca Scavone

Collège Jean-de-Brébeuf
Montréal
24 février 2021

Table des matières

Table des matières	2
Résumé	2
Introduction	3
Matériel et méthodes	4
Résultats	8
Discussion	11
Conclusion	14
Références	15
ANNEXE I	15
ANNEXE II	17
ANNEXE III	20

Résumé

Le présent rapport de laboratoire présente les résultats d'une expérience portant sur la technologie du proche infrarouge. La planète étant confrontée à d'importants problèmes de recyclage des plastiques, il est primordial d'explorer des alternatives au triage manuel des matériaux recyclables dans les centres de recyclage. Une solution potentielle serait donc la technologie du proche infrarouge (technologie NIR). Ce type de spectroscopie, à l'aide d'un capteur spectroscopique, analyse le degré de réflexion de 18 fréquences électromagnétiques situées entre 410 et 940 nm pour identifier divers types de matériaux grâce à une banque de données et un programme que j'ai écrit. Le but étant de juger de la viabilité et du potentiel de cette technologie, j'ai ajouté une vingtaine de matériaux différents à la banque de données dans un premier temps, puis j'ai scanné une dizaine de matériaux se trouvant déjà dans la banque de données pour déterminer la fiabilité du capteur. J'ai ensuite scanné quelques objets ne se trouvant pas dans la banque de données, mais constitués de mêmes matériaux pour évaluer la capacité du capteur à identifier des matériaux inconnus. Après les expérimentations, j'ai pu établir la conclusion suivante: l'identification de matériaux grâce à un capteur spectroscopique demeure une technologie qui présente un grand potentiel dans le domaine du recyclage, mais les matériaux homogènes présentant des surfaces lisses et monochromes sont à privilégier puisqu'ils fournissent des données cohérentes.

Introduction

Notre société du 21^e siècle fait face à plusieurs défis planétaires de causes humaines. Une augmentation de la population et une hausse de la consommation dans les pays développés et les pays émergents ont entraîné une crise mondiale des déchets alors que des millions de tonnes de plastiques sont déversées dans les océans de la planète. Ce matériau soi-disant salvateur par sa grande utilité, sa malléabilité et sa capacité thermique élevée est cependant très difficile à recycler, selon un article de *National Geographic*, puisqu'il existe plusieurs types de plastiques qui ne sont pas compatibles lors de leur recyclage. Vu que leur recyclage requiert un triage intensif, plusieurs pays développés exportent leurs déchets plastiques vers des pays en développement, explique Juliette Champion dans son article à France Info. Malheureusement, les déchets exportés ne sont nullement triés, ce qui rend leur recyclage beaucoup plus difficile et moins profitable. C'est pour cette raison que la majorité de ces plastiques sont simplement enterrés dans des centres d'enfouissement. Ces causes seraient donc à l'origine des 300 millions de tonnes de déchets plastiques générées chaque année recensées par l'ONU.

Un meilleur système de recyclage des plastiques est donc au cœur de cette problématique mondiale qui se doit d'être résolue pour assurer la survie des écosystèmes de notre planète. L'expérience que j'ai élaborée tentera d'explorer une solution potentielle au recyclage des plastiques en utilisant la technologie du proche infrarouge, expliquée par *thermofisher.com* comme étant une technologie qui englobe le spectre électromagnétique entre 800 et 2500 nm pour mesurer la réflexion de la lumière sur un matériau quelconque. Selon *spectralengines.com*, cette technologie permettrait d'identifier, à l'aide d'un senseur spectroscopique, divers matériaux via leurs niveaux de réflexion de la lumière ambiante et infrarouge qui varient d'un matériau à un autre. Dans la vie quotidienne, cette technologie permettrait d'améliorer le système de triage des déchets dans les centres de recyclage et pourrait également être incluse dans des outils portables ou des bacs de recyclage publics, permettant ainsi un meilleur recyclage des matériaux chez soi ou dans les lieux publics.

Dans cette expérience, mon but sera donc, dans un premier temps, de coder un programme en Python qui fera usage d'un senseur spectroscopique pour scanner et comparer des matériaux à une banque de données puis, dans un deuxième temps, de juger de la viabilité et du potentiel de cette technologie dans la problématique mondiale dans laquelle elle s'inscrit.

Pour ce faire, j'utiliserai le capteur spectroscopique pour prendre cinq mesures par fréquence d'un matériau quelconque (le capteur prend des mesures à 18 fréquences différentes incluses dans le spectre électromagnétique du proche infrarouge) puis j'en ferai la moyenne pour obtenir 18 moyennes que je comparerai à une banque de données de fréquences de divers matériaux recyclables ou non. Pour comparer les données, je calculerai la distance euclidienne entre les données de la banque et celles du matériau à identifier pour déterminer le matériau auquel se rapproche le plus le matériau à identifier. Afin de vérifier la régularité des données, j'ajouterai plusieurs matériaux à la banque de données puis je scannerai ces mêmes matériaux à plusieurs reprises pour juger de la fiabilité de l'instrument de mesure puisque ce dernier pourrait être une cause d'erreur importante.

Matériel et méthodes

- Arduino UNO
- Câble USB-Arduino
- Papier de construction noir
- Ruban adhésif
- Exacto
- Divers matériaux en plastique ou en papier utilisés pour l'expérience
- Pycharm IDE²
- SparkFun AS7265x Arduino Library⁴
- 4 fils électriques (rouge, noir, bleu, vert)
- Carton
- Crayon à mine blanc
- Ciseaux
- Équipement de soudure
- SparkFun Triad Spectroscopy Sensor - AS7265x¹
- Arduino IDE³

1. Fabrication du boîtier⁵:

- i. Sur du carton mince, dessiner la forme décomposée d'un prisme à base rectangulaire dont la base mesure un peu plus que 3,5 cm x 4,0 cm et la hauteur, 3,8 cm. Omettre la deuxième base.

¹ Consulter ce lien pour visiter le site du capteur: [<https://www.sparkfun.com/products/15050>].

² Consulter ce lien pour télécharger le programme: [<https://www.jetbrains.com/pycharm/download/#section=mac>].

³ Consulter ce lien pour télécharger le programme: [<https://www.arduino.cc/en/software>].

⁴ Consulter ce lien pour télécharger le fichier: [https://github.com/sparkfun/SparkFun_AS7265x_Arduino_Library].

⁵ Consulter l'annexe III, figure 1 pour un aperçu.

- ii. Découper la forme, plier et coller les côtés à l'aide de ruban adhésif afin d'obtenir un boîtier où devrait entrer parfaitement le capteur spectroscopique. Au besoin, solidifier les côtés avec du carton supplémentaire. Utiliser l'exalto ou les ciseaux.
- iii. Répéter les étapes 1 et 2 avec du papier de construction noir sans toutefois coller les côtés. Ce deuxième boîtier devrait rentrer facilement dans le boîtier en carton. Utiliser l'exalto ou les ciseaux.
- iv. Placer le capteur dans le boîtier et marquer l'emplacement des 4 trous à côté desquels sont écrits GND, 3V3, SDA et SCL.
- v. Retirer le capteur et découper un mince trou d'environ 0,2 cm x 1 cm à l'emplacement des 4 trous.
- vi. Refaire l'étape 5 en perçant le trou dans le boîtier en papier de construction noir. En plaçant ce deuxième boîtier dans celui en carton, les deux trous devraient s'aligner.

2. Assemblage du circuit⁶:

- i. Souder le fil noir au trou marqué GND en passant par le bas du capteur. Ainsi, le fil devrait pouvoir sortir du boîtier via le trou percé dans la base de ce dernier.
- ii. Refaire l'étape 1 avec les trois autres fils. Par souci de respecter la convention, le fil rouge sera attaché au 3V3 et les deux autres fils peuvent être interchangés, mais seront attachés au SDA et au SCL.
- iii. Insérer le capteur et les fils dans le boîtier en s'assurant que les fils sortent tous via le trou dans la base du boîtier.
- iv. Sur l'Arduino, insérer le fil noir dans une des deux broches marquées GND.
- v. Sur l'Arduino, insérer le fil rouge dans la broche marquée 3.3V.
- vi. Sur l'Arduino, insérer le fil connecté au SDA dans la broche marquée 4.
- vii. Sur l'Arduino, insérer le fil connecté au SCL dans la broche marquée 5.
- viii. Connecter l'Arduino à l'ordinateur via le câble USB-Arduino.

3. Programmation de la section Arduino

- i. Télécharger l'application Arduino IDE et l'ouvrir.
- ii. Télécharger la bibliothèque informatique⁷ de SparkFun.

⁶ Consulter l'annexe III, figure 2 pour un aperçu.

⁷ Consulter ce lien pour télécharger le fichier: [https://github.com/sparkfun/SparkFun_AS7265x_Arduino_Library].

- iii. Ouvrir un nouveau projet et copier le code de l'annexe I.
- iv. Cliquer sur la flèche en haut à gauche. Ceci téléchargera le programme sur l'Arduino.
- v. Pour tester le programme, cliquer sur la loupe en haut à droite et taper « g ». Si le tout fonctionne correctement, une série de 18 chiffres devrait apparaître.

4. Programmation de la section Python

- i. Télécharger l'application Pycharm IDE et l'ouvrir. Au besoin, consulter une vidéo⁸ pour bien l'installer.
- ii. Ouvrir l'application et cliquer sur *Terminal* au bas de l'écran. Ceci ouvrira une petite fenêtre dans le bas de l'application.
- iii. Pour que le programme fonctionne, il faudra installer quelques programmes supplémentaires. Dans la fenêtre ouverte à l'étape précédente, taper la commande suivante: *pip install numpy* + [enter].
- iv. Après le téléchargement de Numpy, taper la commande suivante: *pip install pyserial* + [enter].
- v. Ouvrir un nouveau projet et copier le code de l'annexe II.
- vi. À la 13e ligne du programme, il faudra modifier ce qui se trouve entre les guillemets. Revenir à l'application Arduino et déterminer le port auquel est connecté l'Arduino (microprocesseur). Sur un Mac, cliquer sur *Tools* + *Port* pour trouver le nom du port. Remplacer « /dev/cu.usbmodem1D11141 » par le nom trouvé. S'assurer de copier le nom à la lettre. Sinon, le programme ne saura pas où recueillir les données.
- vii. Télécharger le fichier suivant: data_bank_example.csv⁹.
- viii. Sur Pycharm, faire un clic droit sur le nom du projet en haut à gauche dans le répertoire.
- ix. Cliquer sur « Reveal in finder » et glisser le fichier dans le répertoire du projet.
- x. À la ligne 68, 70, 85 et 105, remplacer « Data_Bank.csv » par le nom du fichier téléchargé à l'étape 7: « Data_Bank_Example.csv ». Ce fichier contient une

⁸ HAMEDANI, Mosh. Ingénieur logiciel. 2019. « Python Tutorial - Python for Beginners ». *Programming with Mosh*. En ligne. [https://www.youtube.com/watch?v=uQrJ0TkZlc&ab_channel=ProgrammingwithMosh]. Page consultée le 4 octobre 2020.

⁹ Consulter ce lien pour télécharger le fichier: [https://drive.google.com/file/d/1UbrOOE_CB15NvumLK9oWos2e5qbjGppV/view?usp=sharing].

douzaine de matériaux déjà analysés, mais le fichier est facilement modifiable dans Pycharm et pourrait être complètement effacé.

5. Expérimentation et ajout de données

- i. Sur l'application Pycharm, cliquer sur le petit triangle vert en haut à droite pour faire rouler le programme. Un petit menu apparaîtra et indiquera les commandes possibles.
- ii. Pour ajouter les données d'un matériau à la banque de données, taper le numéro 1 puis la lettre y en s'assurant de couvrir entièrement le boîtier contenant le senseur avec le matériau désiré. Afin d'obtenir des résultats précis, il est préférable de couvrir les matériaux transparents ou semi-transparentes par une feuille de papier blanc et de garder un éclairage constant sur le senseur. Ceci limitera l'impact de la lumière ambiante sur les données.
- iii. Pour comparer les données d'un matériau à ceux de la banque de données, taper le numéro 2 puis la lettre y en s'assurant toujours de couvrir entièrement le boîtier et le senseur. Suivre les mêmes suggestions qu'à l'étape 2.
- iv. Taper 3 pour obtenir une liste complète des matériaux inclus dans la banque de données.
- v. Taper 4 pour une petite description du programme.
- vi. Taper 0 pour mettre fin au programme.

Résultats

Tableau 1: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour 22 matériaux d'une banque de données

Matériau:	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm
Cardboard - Brown (1mm)	642.82	248.32	418.36	160.79	276.2	349.5	208.02	239.6	149.56	65.9	239.08	110.99	559.92	222.97	87.13	71.58	232.38	591.04
Cardboard - Brown (2mm)	561.43	211.16	348.48	139.41	234.2	299.73	184.15	225.95	146.37	64.21	242.07	112.91	540.83	219.29	86.28	70.73	229.17	592.95
Cardboard - White (1mm)	3035.47	1045.34	1702.47	700.04	1044.29	1174.36	718.65	788.87	527.66	201.49	428.97	199.6	1706.96	672.99	237.48	181.51	491.48	1101.06
Construction Paper - Black	585.39	175.66	256.82	103.16	159.55	169.77	86.44	99.06	61.56	106.95	337.21	146.4	183.2	219.29	199.72	140.27	327.71	858
Construction Paper - Purple	1150.98	488.73	831.09	268.6	342.43	334.36	193.07	213.57	321.64	253.44	335.65	154.05	579.67	784.27	300.18	193.44	356.77	853.93
Construction Paper - Blue	1110.38	468.13	816.02	314.51	379.6	333.14	148.79	159.92	180.11	242.97	332.41	153.1	347.75	667.68	310.26	196.85	349.46	865.17
Construction Paper - Green	747.38	237.1	378.43	272.32	525.31	527.18	260.22	246.38	115.36	211.63	333.7	151.18	358.51	439.2	301.72	192.59	357.48	868.99
Construction Paper - Yellow	726.39	248.32	350.29	315.81	776.22	946.22	666	909.63	749.63	254.88	357.97	172.23	2205.66	871.25	286.51	200.09	450.32	928.27
Construction Paper - Orange	848.18	293.39	433.24	266.74	395.11	410.45	273.49	615.52	856.41	277.02	344.48	166.49	2508.22	957.01	310.26	210.31	439.98	905.32
Construction Paper - Pink	1166.82	545.57	929.83	361.35	472.62	515.31	366.07	726.65	838.81	274.99	344.48	167.45	2481.24	945.78	307.53	211.17	445.15	890.02
Paper - White	2267.3	1466.56	2006.66	860.63	1027.13	1069.63	633.09	673.3	429.62	182.48	413.66	192.33	1445.21	606.83	220.4	167.02	457.09	1055.17
Food Wrapping - Semi-Clear	3143.4	1258.16	1911.55	642.78	998.53	1204.63	614.58	647.16	359.49	164.49	362.26	159.6	1197.07	512.5	186.91	145.04	394.9	859.67
Single-Use Bag - Semi-Clear	3762.26	1312.6	2123.54	761.19	1267.05	1562.58	459.54	587.58	425.61	167.1	388.09	177.59	1435.34	594.58	216.81	161.91	450.14	960.29
Styrofoam - White	2590.69	1099.23	1644.75	664.34	916.5	997.36	597.4	628.22	385.85	169.81	361.48	166.49	1357.23	537.62	199.89	149.98	407.91	892.65
Thicker Plastic Bag - Semi-Clear	3902.27	1770.8	3007.63	1116.41	2149.24	2437.21	598.29	869.41	481.6	205.29	416.38	185.63	3617.97	876.76	409.36	269.97	621.04	937.35
Plastic Sticker Material - White	3575.32	1252.46	2012.29	681.26	1134.6	1321.63	648.26	697.11	380.83	152.49	404.31	183.14	1627.1	534.96	194.6	155.09	469.57	1029.84
Plastic Food Container - White (PP-5)	2687.33	1451.12	1990.32	732.75	1039.02	1167.68	595.06	631.71	361.13	140.24	305.67	146.4	1397.38	482.49	171.87	132.94	365.14	770.28
Plastic Food Container - Blue (PETE-1)	1772.41	612.34	1059.78	251.87	513.87	500.59	88.78	74.61	45.6	69.27	171.46	83.44	285.22	132.52	114.47	79.25	184.62	423.02
Plastic Shrimp Bag - White/Grey	2008.07	680.03	1355.99	376.04	724.29	831.54	305.84	346.92	176.19	83.55	312.55	131.85	661.5	199.69	80.98	79.93	277.11	657.72
Plastic Milk Bag - White	4370.82	1326.96	1972.9	694.83	1276.24	1413.67	765.6	973.97	513.25	192.53	296.84	150.22	2976.43	732.4	287.54	201.28	520.35	740.17
Plastic Cider Container - Semi-Clear (HDPE-2)	1536.55	471.81	751.23	253.92	409.11	471.27	220.29	248.81	175.73	71.39	99.94	57.22	572.86	222.76	88.84	60.67	120.47	214.14
Ziploc Bag - Clear	3983.07	1278.57	1772.16	783.68	1251.55	1331.17	348.11	573.19	376.46	151.56	360.18	168.22	1722.32	389.78	191.35	128.68	365.68	563.08

Figure 1: Graphique des valeurs¹⁰ mesurées à 18 fréquences différentes pour 22 matériaux d'une banque de données

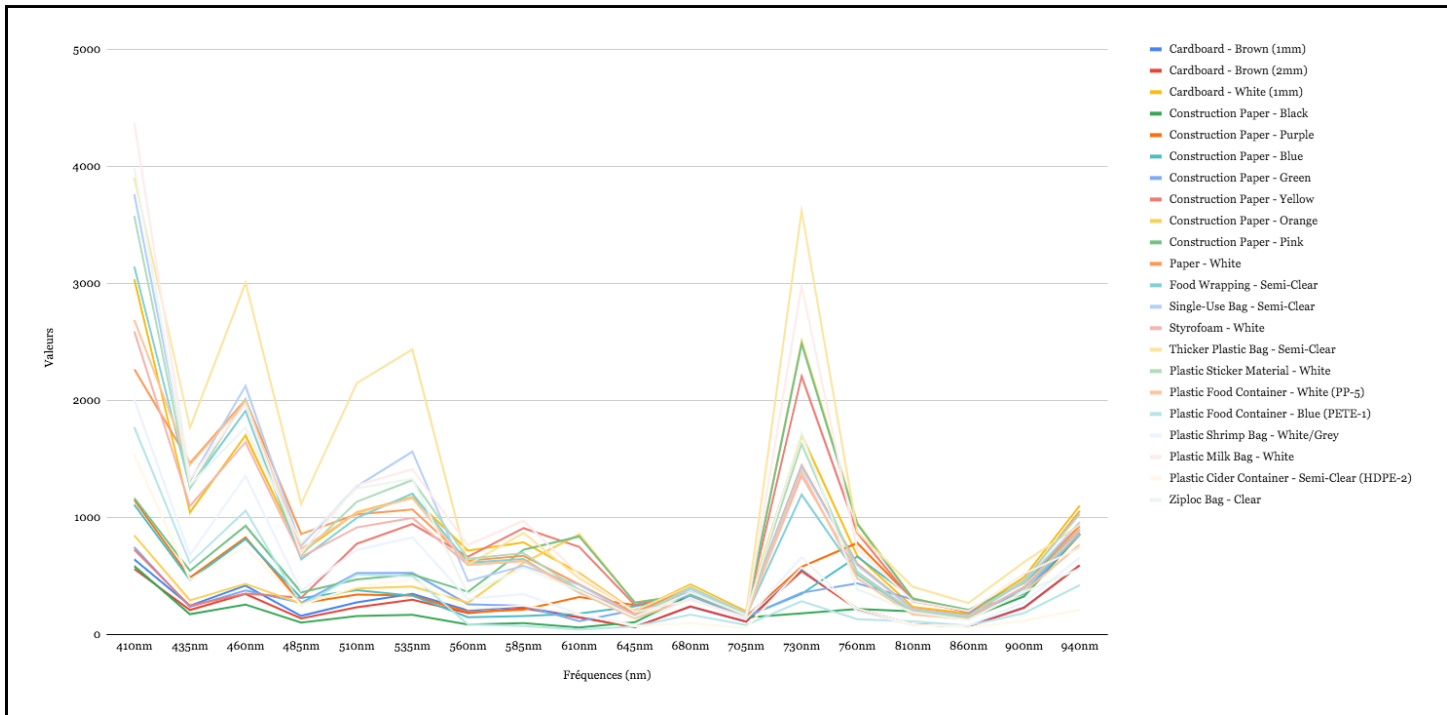


Tableau 2: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du carton brun (1mm) à cinq positions différentes

Carton brun - 1mm:	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	✓	648.96	247.4	406.01	161.53	269.43	342.27	192.4	231.77	151.84	65.05	238.82	111.95	548.07	229.91	87.99	71.58	222.22	590.56	1.12
Essai 2:	✓	648.96	247.4	406.38	161.72	269.58	342.41	192.51	231.77	151.84	65.05	238.82	111.95	548.51	230.93	87.99	71.58	222.04	589.85	1.12
Essai 3:	✓	652.72	249.24	418.18	161.53	275.45	349.09	206.35	237.38	148.01	65.9	238.95	111.95	558.38	223.58	87.13	71.58	222.22	582.91	0.28
Essai 4:	✓	640.24	247.4	411.1	167.29	276.35	346.5	199.65	239.82	153.57	65.05	238.82	111.95	564.74	224.4	87.99	71.58	221.68	585.54	0.42
Essai 5:	✓	658.47	250.71	414.91	158	271.68	346.36	197.31	229.87	147.74	65.64	238.3	111.95	543.02	226.65	87.13	71.58	222.22	587.46	0.94

¹⁰ Les valeurs mesurées par le senseur sont mesurées en termes de $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, mais cette unité est inconvéient et difficile à visualiser. On parlera donc de données mesurées en valeurs (counts).

Tableau 3: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du carton blanc (1mm) à cinq positions différentes

Carton blanc - 1mm	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	✓	3024.39	1042.77	1709	686.65	1024.27	1165.63	682.28	759.35	499.84	188.73	425.73	198.07	1632.58	620.92	221.25	170.43	462.26	1079.07	2.3
Essai 2:	✓	3024.39	1050.85	1739.31	679.77	1022.01	1172.58	682.73	756.59	494.56	187.3	426.25	198.07	1615.25	618.88	220.57	170.43	459.94	1076.92	2.3
Essai 3:	✓	3041.02	1056.56	1759.09	662.67	1014.34	1168.77	701.47	750.67	476.32	188.39	420.54	194.43	1626	604.79	219.54	169.58	457.62	1056.36	2.5
Essai 4:	✓	2972.5	1032.28	1700.83	670.85	1012.23	1153.36	704.93	770.67	492	187.13	418.33	194.24	1629.95	605.6	219.54	168.56	451.04	1041.07	3.4
Essai 5:	✓	2970.92	1034.85	1719.71	639.25	987.69	1151.04	662.2	712.89	456.25	183.32	409.76	190.41	1563.69	614.39	215.96	167.71	451.39	1060.19	5.0

Tableau 4: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du papier noir à cinq positions différentes

Papier noir:	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	✓	583.01	175.29	258.46	101.31	158.95	170.45	85.89	96.95	60.19	100.11	334.09	144.67	181.01	216.84	177.68	126.12	307.76	842.46	2.3
Essai 2:	✓	577.47	174.74	258.64	103.16	160.45	173.18	85.89	97.89	60.92	100.11	334.87	145.44	185.4	218.89	179.22	126.46	308.65	846.77	1.89
Essai 3:	✓	566.97	174	258.64	98.33	153.23	169.09	78.08	92.07	59.73	98	329.03	142.57	170.69	218.07	176.83	125.27	304.73	833.38	4.14
Essai 4:	✓	585.39	175.11	256.82	101.31	158.04	169.77	84.77	97.37	61.56	100.11	333.7	145.44	175.52	214.8	177.68	125.27	305.26	831.71	2.84
Essai 5:	✓	565.39	173.45	257.73	98.52	152.02	166.36	76.96	91.02	58.82	97.15	325.92	141.61	174.43	216.44	176.83	125.27	305.44	844.38	4.16

Tableau 5: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du papier blanc à cinq positions différentes

Papier blanc:	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	✓	2266.51	1467.48	2004.66	869.74	1035.11	1075.49	634.77	674.57	422.51	179.1	426.51	197.49	1450.92	585.6	215.1	164.47	452.28	1081.22	0.19
Essai 2:	✓	2277.99	1460.12	1957.65	879.78	1029.84	1049.58	637.23	679.55	427.62	178.68	421.83	196.15	1443.46	576.21	212.71	161.06	441.95	1040.12	0.68
Essai 3:	✓	2310.47	1493.05	2020.82	883.31	1041.43	1076.72	630.31	672.98	427.07	180.37	428.97	199.02	1444.33	585.8	216.47	164.47	450.32	1070.7	0.8
Essai 4:	✓	2347.9	1516.23	2058.75	892.79	1055.43	1091.45	632.43	672.98	425.52	181.29	433.78	201.32	1456.18	594.79	218.69	167.02	455.31	1084.56	2.02
Essai 5:	✓	2316.21	1501.51	2038.79	878.48	1038.57	1078.49	625.4	668.86	423.51	178.26	426.9	198.07	1443.02	587.64	216.13	165.32	450.5	1075.96	0.9

Tableau 6: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du plastique PETE bleu à cinq positions différentes

PETE (#1) - bleu	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	✓	1792.21	610.86	1096.81	257.26	483.76	453.82	88.67	75.14	48.61	63.78	169.77	83.25	286.32	125.77	114.47	78.4	173.04	409.64	0.8
Essai 2:	✓	1783.1	613.07	1098.07	257.45	484.06	454.23	88.67	75.14	48.61	63.78	169.77	83.25	286.76	127.2	114.47	78.4	173.22	410.12	0.84
Essai 3:	✓	1799.74	651.52	1176.12	250.57	503.78	492.68	88.67	75.14	44.23	61.67	170.03	81.33	298.39	149.05	116.18	81.81	181.06	435.21	2.92
Essai 4:	✓	1683.29	695.48	1068.49	252.43	502.73	469.77	88.67	75.14	45.6	64.04	172.63	82.29	301.68	132.31	113.62	77.55	176.6	422.55	0.6
Essai 5:	✓	1777.56	718.47	1156.15	259.49	508.6	497.72	88.67	75.67	45.6	65.05	170.03	83.63	331.3	137.62	115.32	80.1	187.29	418.48	3.78

Tableau 7: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du PETE bleu foncé à cinq positions différentes

PETE (#1) - bleu v2	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	✓	1380.7	500.87	897.7	209.31	382.61	386.18	75.63	75.14	39.67	26.61	218.7	95.68	253.41	98.01	44.42	47.72	214.2	559.73	17.3
Essai 2:	✓	1473.58	518.34	951.61	204.1	403.24	435.14	75.85	74.61	39.21	28.3	218.7	95.68	217.21	90.25	41.86	46.02	206.54	547.54	14.0
Essai 3:	✓	1451.59	541.89	949.61	229.38	420.24	429.27	75.85	84.14	44.69	32.95	221.3	99.51	272.72	84.54	42.71	45.85	209.39	542.05	11.8
Essai 4:	✓	1472.79	564.7	1087	226.59	439.51	451.63	74.73	74.61	40.58	27.03	210.92	94.73	201.19	85.76	41.86	47.72	215.27	554.71	9.3
Essai 5:	✓	1372.18	517.42	948.16	215.62	447.19	468.68	72.5	77.47	42.41	34.21	214.81	96.64	248.58	120.88	45.28	49.43	216.88	570.25	12.0

Tableau 8: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du plastique HDPE à cinq positions différentes

HDPE (#2) - semi-tr	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	✓	1409.22	446.06	737.8	235.88	397.37	473.18	223.75	242.04	166.43	69.7	98.13	55.12	558.82	208.27	80.3	56.24	116.72	218.92	4.37
Essai 2:	✓	1373.17	431.89	699.86	224.73	367.71	437.86	217.16	232.83	160.96	67.59	92.15	53.58	548.51	204.38	79.45	55.56	116.01	214.14	8.42
Essai 3:	✓	1493.97	458.38	700.59	264.88	417.84	473.32	224.41	254.53	190.6	70.54	99.29	56.83	599.19	224.6	84.57	57.09	117.79	221.07	0.62
Essai 4:	✓	1501.89	460.59	730.72	258.19	410.91	478.22	228.1	259.82	181.93	71.22	100.59	56.45	594.58	225.83	83.72	57.95	119.58	218.2	0.14
Essai 5:	✓	1467.24	454.51	738.34	230.49	387.88	471.41	215.27	229.66	162.6	69.27	97.35	54.54	549.61	218.48	80.3	57.09	117.79	224.66	3.78


Tableau 9: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du plastique PP à cinq positions différentes

PP (#5) - blanc	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	✓	2628.51	1439.34	2002.67	712.49	1031.49	1172.04	596.4	626.64	348.37	139.82	304.37	143.91	1416.47	467.17	170	131.75	354.99	761.2	0.8
Essai 2:	✓	2629.31	1437.87	2001.58	712.12	1031.19	1171.22	596.62	626.74	348.37	139.82	304.37	143.72	1415.59	467.37	169.66	131.23	355.16	762.16	0.8
Essai 3:	✓	2656.63	1432.72	1960.56	740.55	1048.35	1173.4	596.18	634.67	359.68	140.66	308.52	146.4	1434.46	480.65	170.85	132.09	359.61	779.61	0.0
Essai 4:	✓	2647.32	1431.8	1961.28	719.92	1037.36	1162.9	595.73	624.83	351.01	141.08	305.8	144.48	1437.09	480.03	170.85	132.09	359.08	773.87	0.6
Essai 5:	✓	2683.96	1448.17	2001.76	754.31	1059.79	1188.95	616.36	666.74	382.56	144.46	309.17	147.73	1463.64	482.49	175.12	134.64	357.83	766.46	1.4

Tableau 10: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour du film alimentaire à cinq positions différentes

Film alimentaire	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	Single-use bag	3935.54	1372.38	2210.48	703.75	1201.43	1614.68	599.52	655.74	401.17	183.41	391.85	175.48	1629.95	623.98	211	162.25	458.16	983.23	4
Essai 2:	PP (#5)	2776.84	1184.21	1765.63	729.22	1121.35	1275.95	576.99	632.56	386.94	183.75	377.19	172.23	1553.81	546.6	197.85	147.42	416.64	904.36	2.55
Essai 3:	Ziploc bag	4631.44	1583.18	2281.45	870.3	1361.58	1539.94	701.36	823.9	446.4	193.04	396.01	180.27	1861.42	629.5	224.67	168.73	457.62	920.86	6.88
Essai 4:	Single-use bag	3371.74	1544.92	2425.2	852.83	1362.48	1492.76	519.66	614.57	380.28	169.64	373.81	175.68	1652.11	586.62	213.73	161.57	420.92	881.66	2.25
Essai 5:	Plastic sticker ma	3289.95	1331.92	2183.08	671.22	1173.43	1460.17	622.05	623.35	353.75	170.15	389.52	173.19	1537.8	598.46	213.56	168.22	466	977.5	0.31

Tableau 11: Valeurs mesurées à 18 fréquences différentes pour un sac de lait à cinq positions différentes

Sac de lait - transparent	Identification	410nm	435nm	460nm	485nm	510nm	535nm	560nm	585nm	610nm	645nm	680nm	705nm	730nm	760nm	810nm	860nm	900nm	940nm	% d'écart
Essai 1:	PP (#5)	2947.75	1125.72	1948.4	620.85	1314.47	1544.72	386.26	452.32	270.48	135.59	372.12	143.53	1608.67	441.24	179.39	129.53	374.41	703.13	0.8
Essai 2:	Ziploc bag	4251.6	1236.27	1857.47	429.02	1028.03	1315.49	393.73	433.38	262.28	145.06	322.15	132.04	1370.84	479.63	188.79	138.9	385.63	757.62	4.0
Essai 3:		3798.3	1206.84	1942.77	594.45	1225.21	1488.67	367.41	462.49	283.53	155.11	296.58	133	2675.63	535.78	275.92	175.21	384.39	675.17	16.3
Essai 4:	Synfoam	2798.82	1008.92	1682.32	483.29	954.73	1183.49	414.7	498.68	310.61	123.43	322.54	140.66	1326.95	485.55	223.47	159.01	393.3	751.88	3.8
Essai 5:	Styrofoam bag	3286.58	1300.46	2207.94	547.79	1120.75	1316.58	394.63	491.38	305.5	124.83	322.89	144.67	1516.3	466.76	223.98	146.57	391.52	760.72	2.1

L'expérience s'est principalement déroulée en deux temps. Le tableau 1 et le graphique 1 illustrent les spectres d'une vingtaine de matériaux différents qui font partie de la banque de données du programme. Les valeurs recueillies sont une moyenne de cinq mesures prises par le capteur pour chacune des 18 fréquences qu'il mesure entre 410nm et 940nm. Cette longueur de fréquence regroupe une partie du spectre électromagnétique visible ainsi qu'une partie du proche infrarouge. Alors que le capteur mesure la quantité de lumière réfléchie, on peut observer les plus grandes différences entre matériaux aux fréquences de 410, 460 et 760nm et les plus petites différences aux fréquences 645, 680, 705, 810, 860, 900 et 940nm, ce qui suggère qu'on aboutirait à des résultats similaires sans considérer ces valeurs dans l'identification des matériaux.

Les tableaux 2 à 12 contiennent les spectres de 11 matériaux différents que j'ai ensuite scannés à cinq endroits différents pour observer la variation des spectres due à la position et la partie scannée de chaque matériau. J'ai également noté le pourcentage d'écart entre les données de la banque et celles de chaque essai pour pouvoir quantifier ladite variation des spectres. Finalement, j'ai noté si l'identification du matériau a été une réussite ou un échec. Si l'identification a été un échec, j'ai noté le nom du matériau mal identifié.

Les tableaux 2 à 5 illustrent les spectres de morceaux de carton brun et blanc ainsi que de papier noir et blanc que j'ai scannés à cinq reprises à des endroits différents sur les morceaux. On voit donc une légère variation des valeurs à chaque essai, mais les résultats demeurent tout de même extrêmement précis vu que le pourcentage d'écart moyen entre les valeurs de la banque de données et les valeurs mesurées excède rarement 4%. De plus, les matériaux ont été identifiés à chaque reprise. Je note cependant que le carton brun et le papier blanc possédaient des pourcentages d'écart significativement moins élevés que le carton blanc et le papier noir.

Les tableaux 6 et 7 sont particuliers puisqu'il s'agit des spectres de deux objets quasi identiques. Le tableau 6 contient le spectre d'un petit contenant bleu en plastique faisant partie de la catégorie 1 (polyéthylène téréphthalate) du code d'identification des résines (CIR). C'est d'ailleurs le spectre de ce contenant qui se retrouve dans la banque de données. On remarque que le pourcentage d'écart moyen pour les cinq essais est minime. Le tableau 7 contient le spectre d'un contenant très semblable, mais dont la couleur et l'épaisseur diffèrent légèrement du contenant du tableau 6. Cependant, malgré leurs ressemblances, le pourcentage d'écart moyen y

est beaucoup plus grand, soit d'environ 15%. Malgré un pourcentage d'écart moyen élevé, les deux contenants ont été identifiés correctement sans problèmes.

Les tableaux 8 et 9 regroupent les spectres d'objets en plastique dur, soit les catégories 2 (high-density polyethylene) et 5 (polypropylene) du CIR. Les pourcentages d'écart sont relativement minimes et les deux matériaux ont été identifiés sans fautes. C'est le même cas pour le tableau 12 dont le spectre correspond à celle de la styromousse, un plastique mou et malléable.

Finalement, les tableaux 10 et 11 contiennent les spectres de plastiques mous: du film alimentaire et un sac de lait. Ces deux plastiques sont plus ou moins transparents et présentaient des surfaces accidentées qui rendaient leur identification difficile. Sur cinq essais, le film alimentaire n'a jamais été identifié correctement et le sac de lait, une seule fois. Les pourcentages d'écart également sont extrêmement variés. Remarquons aussi une tendance qui se maintient à travers la majorité des spectres récoltés: les fréquences identifiées auparavant comme ayant de petites différences entre les divers matériaux ont en effet des variations moins grandes dans les résultats expérimentaux.

Discussion

Lors de mon expérience, plusieurs facteurs étaient en jeu. Commençons par le capteur. Ce dernier éclaire les objets grâce à trois diodes de fréquences électromagnétiques différentes: ultraviolet, visible (blanche) et infrarouge. Ces trois lumières assurent un éclairage uniforme pour chaque objet. Selon les manipulations présentées dans ce rapport, afin de contrôler la distance à laquelle on prend les mesures spectroscopiques, j'ai fixé la hauteur du boîtier à environ 3,8 cm (1,5 pouce). De plus, le boîtier sert à contrôler la lumière ambiante puisque cette dernière peut avoir un impact considérable sur les résultats obtenus. Cependant, plusieurs des objets faisant partie de l'expérience étaient plus ou moins transparents. Ainsi, la quantité de lumière ambiante qui atteignait le capteur variait selon la transparence et l'épaisseur du matériau. Pour contrôler cette variable, j'ai éclairé l'ensemble du capteur avec une DEL assez puissante pour que la lumière ambiante soit négligeable lors de l'expérience.

Afin de répondre à mon but d'évaluer la viabilité et le potentiel de cette technologie dans l'industrie du recyclage et l'identification de matériaux, j'ai choisi un ensemble de matériaux pour la banque de données qui faisaient partie du quotidien de tous: papier, carton, contenants en plastique, contenants de jus, etc. J'ai ensuite utilisé mon programme pour ajouter leurs spectres à

la banque de données. En même temps, j'ai inséré ces données dans un graphique, tel qu'illustré dans la figure 1. Comme mentionné, durant la description des résultats, on remarque que certaines fréquences possèdent des variations très petites, peu importe le matériel. Il serait donc possible de refaire cette même expérience en omettant certaines fréquences pour diminuer la quantité de calculs que doit faire le programme. On obtiendrait tout de même, des résultats semblables malgré une légère perte en précision au niveau des données.

Suite à cette étape, j'ai poursuivi l'expérience en analysant de nouveau ces mêmes matériaux, comme illustré par les tableaux 2 à 12. Ce que je souhaitais vérifier, c'était la capacité du capteur à identifier fidèlement le même matériau que j'avais utilisé pour la banque de données. S'il ne pouvait pas identifier le même morceau de carton à plusieurs reprises, je savais que l'expérience était automatiquement un échec. Heureusement, ceci n'a pas été le cas: la grande majorité des matériaux ont été identifiés correctement à plusieurs reprises. Cependant, certains matériaux comme le film alimentaire (tableau 9) et le sac de lait (tableau 10) n'ont jamais été identifiés correctement par le capteur.

Je peux expliquer ceci par une raison principale fort simple, mais très problématique pour cette technologie. Vu que le capteur mesure la quantité de lumière réfléchie par chaque objet, il est très sensible à la surface des matériaux. Un matériau dont sa surface est uniforme et plate reflète plus uniformément la lumière, ce qui procure des données fiables à chaque mesure. Ainsi, les cartons, les papiers et les plastiques durs sont des candidats exceptionnels pour cette technologie puisqu'ils présentent des surfaces faciles à scanner.

Cependant, le film alimentaire surtout est un plastique mou qui réfléchit beaucoup de lumière et dont sa surface est extrêmement « accidentée ». Lorsque roulé en boule ou aplati, ce matériau reflète la lumière dans toutes les directions, ce qui est très difficile à identifier puisque les angles de réflexion sont toujours différents, peu importe le sens et l'orientation de l'objet sur le boîtier. Cette situation concerne également le sac de lait qui, en raison de sa souplesse, est difficile à positionner de manière plate sur le boîtier. Ceci explique pourquoi je n'ai pas pu identifier ces matériaux lors de l'expérience.

Je me suis ensuite intéressé à la capacité du capteur à identifier des matériaux semblables et de même type, mais dont leur spectre n'avait pas été ajouté à la banque de données. J'ai réussi à trouver un contenant en plastique bleu (PETE) très similaire à celui que j'avais ajouté à la banque de données (tableaux 6 et 7), mais dont la couleur était un peu plus foncée. Outre cela,

les deux contenants étaient identiques. Alors que le contenant original avait été identifié avec un pourcentage d'écart d'environ 1,5%, ce pourcentage a grimpé jusqu'à 15% lors de l'identification du deuxième contenant. Malgré cela, le contenant a été identifié avec succès à chacune des 5 reprises.

Au cours de l'expérience, j'ai également remarqué que certains matériaux n'ont pas été correctement identifiés, mais leur pourcentage d'écart était tout de même plus petit que celui du deuxième contenant en plastique bleu (tableau 7). J'explique cela par le fait que la distribution des spectres des différents matériaux n'est pas uniforme. En effet, la totalité des spectres de mon programme se retrouve dans un intervalle d'environ 400 à 4000 valeurs, mais les spectres de plusieurs matériaux sont plus ou moins semblables entre elles. Ainsi, une moins grande différence entre les valeurs expérimentales et ceux de la banque de données est nécessaire pour que le programme identifie incorrectement le matériau donné. Suite à ce constat, je me suis posé une autre question qui constitue un défi de taille pour l'utilisation de cette technologie dans les centres de recyclage: qu'arriverait-il si la banque de données contenait des centaines, voire des milliers de matériaux différents?

Si cela était le cas, il y a de fortes chances que le programme serait incapable d'identifier les matériaux correctement puisque la variation des données serait trop petite entre chaque matériau. Ainsi, un matériau donné pourrait être identifié comme étant plusieurs matériaux différents. Une amélioration significative serait donc d'intégrer un programme d'intelligence artificielle au code, ce qui permettrait au programme de façonner lui-même sa propre banque de données en regroupant des spectres semblables sous une même « catégorie ». En effet, l'intelligence artificielle permettrait également de mieux traiter les données et pourrait identifier des matériaux similaires, mais de couleurs différentes. En effet, des expériences préliminaires m'ont prouvé que la couleur d'un objet a un impact considérable sur les données recueillies par le capteur. Évidemment, sachant que les surfaces de plus en plus blanches reflètent de plus en plus la lumière, les couleurs plus claires possèdent des spectres plus élevés et l'inverse est aussi vrai pour les couleurs de plus en plus sombres.

Je crois qu'il est également extrêmement important de noter que l'incertitude liée au capteur est extrêmement élevée: soit de plus ou moins 12%. Ceci pourrait expliquer entre autres certains pourcentages d'écart très élevés. Ainsi, en termes d'améliorations possibles pour l'expérience, on retrouve plusieurs suggestions pertinentes: mieux contrôler la lumière ambiante,

utiliser des matériaux plus plates dont le moindre mouvement ne change pas complètement les résultats, utiliser un capteur spectroscopique dont l'incertitude est moins grande, utiliser encore plus d'objets du quotidien et intégrer un code d'intelligence artificielle au programme.

Conclusion

Afin d'émettre ma conclusion, récapitulons un peu. À l'aide de mon programme écrit sur Python, mon capteur spectroscopique a su identifier fidèlement et à plusieurs reprises, plusieurs éléments en carton, en papier et en plastique qu'on utilise généralement au quotidien. Le but étant de déterminer de juger de la viabilité et du potentiel de cette technologie dans le domaine du recyclage des plastiques, le capteur a identifié correctement les spectres de 9 matériaux différents sur un total de 11, ce qui prouve la précision et la fiabilité du capteur. Quant aux deux autres cas (film alimentaire et sac de lait), les matériaux impliqués présentaient des surfaces ondulées et semi-transparentes qui influençaient la lumière ambiante autour du capteur et faisaient varier les angles de réflexion des diodes utilisées pour fournir un éclairage constant sur les matériaux. Ainsi, il était très difficile d'obtenir des spectres représentatifs pour ces matériaux et les résultats du capteur variaient beaucoup. Tout en considérant l'incertitude du capteur, les résultats expérimentaux, les conditions de l'expérience et le peu de matériaux contenus dans la banque de données, je peux donc établir la conclusion suivante: il n'y a aucun doute quant aux améliorations nécessaires pour que cette technologie soit applicable à des situations de vie réelle, mais le potentiel y demeure. Cette expérience m'a démontré que la technologie du proche infrarouge possède une capacité phénoménale quant à l'identification de matériaux. L'expérience a été un succès puisque, dans l'ensemble, le programme a fonctionné à merveille et la grande majorité des problèmes et améliorations possibles résident dans le traitement des données et non dans le capteur lui-même. L'identification de plastiques durs et de surfaces lisses et homogènes demeure toutefois à privilégier puisque les surfaces hétérogènes, semi-transparentes et ondulées ne fournissent pas des données cohérentes au capteur utilisé dans cette expérience. Finalement, vu la quantité d'objets traités par les centres de recyclage, une intelligence artificielle intégrée au programme serait nécessaire à l'identification de milliers de matériaux différents colorés de mille et une couleurs.

Références

ONU. 2019. *Recyclage des plastiques: secteur inefficace prêt pour le changement*. En ligne. [<https://www.unenvironment.org/fr/actualites-et-recits/recit/recyclage-des-plastiques-un-secteur-inefficace-pret-pour-le-changement>].

National Geographic. 2018. *7 Things You Didn't Know About Plastic (and Recycling)*. En ligne. [<https://blog.nationalgeographic.org/2018/04/04/7-things-you-didnt-know-about-plastic-and-recycling/>].

CAMPION, Juliette. 2019. « On vous explique pourquoi le recyclage du plastique est en train de créer une crise mondiale des déchets ». *France Info*. 7 juin. En ligne. [https://www.francetvinfo.fr/sante/environnement-et-sante/on-vous-explique-pourquoi-le-recyclage-du-plastique-est-en-train-de-creer-une-crise-mondiale-des-dechets_3465921.html].

SPECTRAL ENGINES. 2019. *NIR Technology and the Plastic Pollution Crisis*. [<https://www.spectralengines.com/blog/nir-technology-and-the-plastic-pollution-crisis>].

THERMO FISHER. *NIR Technology*. [<https://www.thermofisher.com/ca/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/nir-technology.html>].

HAMEDANI, Mosh. Ingénieur logiciel. 2019. « Python Tutorial - Python for Beginners ». *Programming with Mosh*. En ligne. 6 heures, 14 minutes, 6 secondes. Visionné sur YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=_uQrJ0TkZlc&ab_channel=ProgrammingwithMosh].

ANNEXE I
<i>Programme Arduino</i>
<pre>char userInput; #include "SparkFun_AS7265X.h" AS7265X sensor; #include <Wire.h> void setup() { Serial.begin(9600); if(sensor.begin() == false) { Serial.println("Sensor does not appear to be connected. Please check wiring. Freezing..."); while(1); } sensor.disableIndicator(); //Turn off the blue status LED }</pre>

```

void loop() {
  if(Serial.available() > 0){

    userInput = Serial.read();

    if(userInput == 'g'){
      sensor.takeMeasurementsWithBulb(); //This is a hard wait while all 18
channels are measured

      Serial.print(sensor.getCalibratedA());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedB());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedC());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedD());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedE());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedF());
      Serial.print(" ");

      Serial.print(sensor.getCalibratedG());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedH());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedI());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedJ());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedK());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedL());
      Serial.print(" ");

      Serial.print(sensor.getCalibratedR());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedS());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedT());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedU());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedV());
      Serial.print(" ");
      Serial.print(sensor.getCalibratedW());
      Serial.print(" ");

      Serial.println();
    }
  }
  delay(50);
}

```


ANNEXE II

Programme Python

```
from ast import literal_eval
import csv
import serial
import numpy as np
import math
import time

data_bank = [[], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [],
[], []]
data_bank_average = [[], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [],
[], [], [], []]
average_list = []
ser = serial.Serial("/dev/cu.usbmodem1D11141", baudrate=9600, timeout=1)

def updating_list():
    counts = 0
    while counts != 5:
        ser.write(b'g')
        data = ser.readline().decode('ascii')
        split_data = data.split()
        material = split_data
        updated_material = []
        for m in material:
            updated_value = float(m)
            updated_material.append(updated_value)
        print(updated_material)

        for d in range(0, len(data_bank_average)):
            data_bank_average[d].append(updated_material[d])
        counts += 1
        time.sleep(0.2)
    print(data_bank_average)
    return

def finding_average():
    for d in range(0, len(data_bank_average)):
        average = 0
        for i in range(0, len(data_bank_average[d])):
            average += data_bank_average[d][i]
        average = average / len(data_bank_average[0])
        average = round(average, 2)
        average_list.append(average)
```

```

        return average_list

print('''
Welcome to the Material Identifier. What would you like to do?
> Add a material (1)
> Scan a material (2)
> See a list of the available materials (3)
> About the program (4)
> Terminate (0)
''')
while True:
    command = str(input("Enter command: "))
    if command == '1':
        add_data = input('Add data? (press "y") ').lower()
        if add_data == 'y':
            average_list = []
            data_bank_average = [[], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], []]
            updating_list()
            print(f'The data collected is: {finding_average()}')
            with open('Data_Bank.csv', 'r') as read_file:
                reader = csv.reader(read_file)
                with open('Data_Bank.csv', 'a') as write_file:
                    writer = csv.writer(write_file)
                    material_name = input('What material do you wish to add? ')
                    writer.writerow([material_name, average_list])
                for row in reader:
                    print(row)
        elif command == '2':
            add_data = input('Get data? (press "y") ').lower()
            if add_data == 'y':
                average_list = []
                data_bank_average = [[], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], [], []]
                updating_list()
                finding_average()
                np.asarray(average_list)
                print(f'The data collected is: {average_list}')
                with open('Data_Bank.csv', 'r') as read_file:
                    reader = csv.reader(read_file)
                    next(reader)
                    min_final_array = 1000000
                    for row in reader:
                        final_array = 0
                        data_row = np.array(literal_eval(row[1]))
                        inter_array = (data_row - average_list)**2
                        for val in inter_array:

```

```

        final_array += val
    final_array = math.sqrt(final_array)
    if final_array <= min_final_array:
        min_final_array = final_array
        material_name = row[0]
        exp_values = 0
        theo_values = 0
        for dd in data_row:
            exp_values += dd
        for ddd in average_list:
            theo_values += ddd
        percentage_difference = (abs((theo_values -
exp_values))/theo_values)*100
        percentage_difference =
round(percentage_difference, 2)
        print(f'The material was identified as {material_name} with
a {percentage_difference} % deviation.')
    elif command == '3':
        print('Fetching data...')
        with open('Data_Bank.csv', 'r') as read_file:
            reader = csv.reader(read_file)
            for row in reader:
                print(row[0])
    elif command == '4':
        print('''
Luca Scavone created this Python program as part of his
Secondary 5 Personal Project. The program scans materials
using a NIR (near infrared) scanner and compares the
results to a data bank in order to identify various types
of materials (plastic, wood, paper, etc.)
''')
    elif command == '0':
        break
    elif command == '':
        continue
    else:
        print('Wrong Command. Try Again.')
        continue

```

ANNEXE III

Assemblage du senseur spectroscopique



Figure 1: Boîtier du senseur spectroscopique

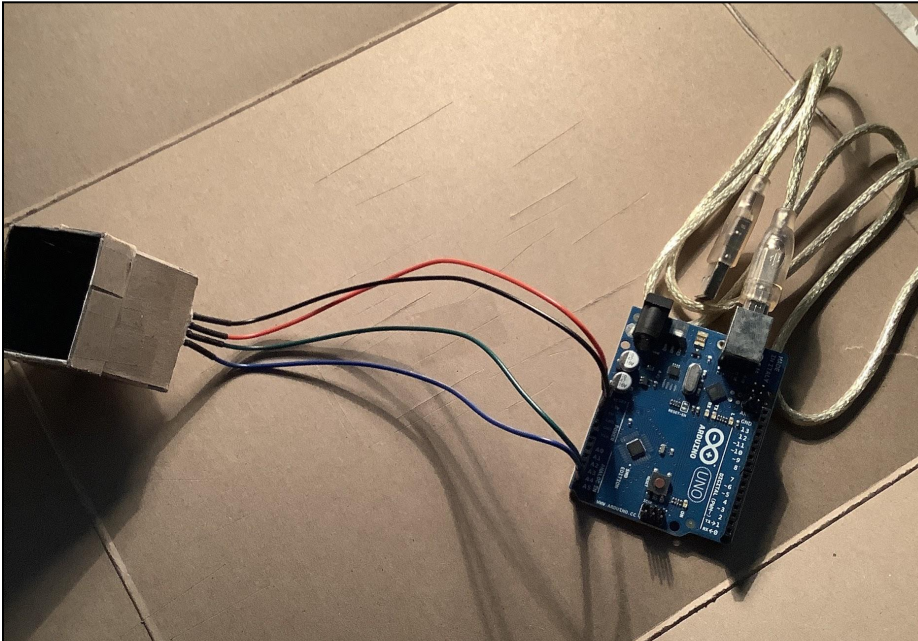


Figure 2: Senseur spectroscopique entièrement complété