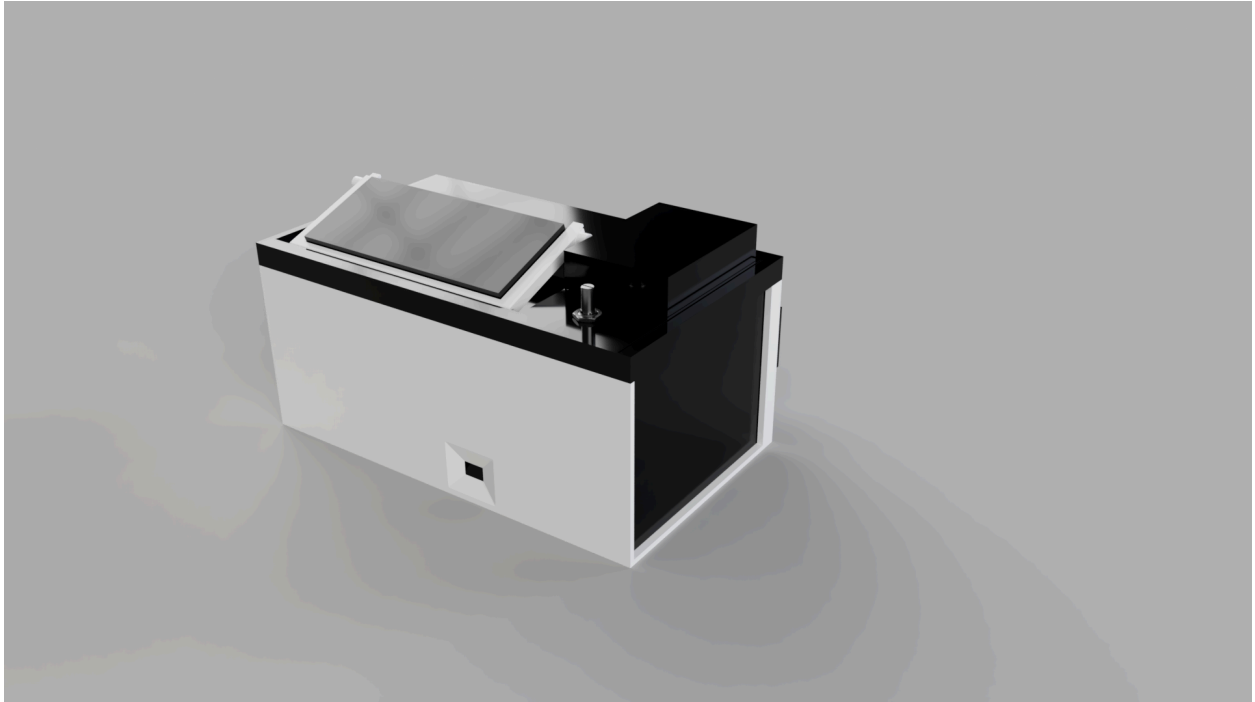


# Rapport 1 - Projet Tuteuré

## Réfractomètre



Projet BUT 3 - TI

Réalisé par :  
Armel LAKHDARI  
Hugo GEUKENS

# TABLE DES MATIÈRES

<b>I. Introduction.....</b>	<b>2</b>
<b>II. Principe de fonctionnement.....</b>	<b>2</b>
Image 1 : Visualisation angle critique.....	2
Figure 1 : principe de fonctionnement du réfractomètre.....	3
Figure 2 : Graphique ccd avec 150 g/l sans lentille.....	4
Figure 3 : Graphique ccd avec 150 g/l avec lentille.....	4
Figure 4 : Graphique ccd 50 et 150 g/l avec lentille superposée.....	5
<b>III. Cahier des charges.....</b>	<b>5</b>
A. Les attentes pour notre capteur.....	5
B. Les composants.....	6
C. Le DAO et Codage.....	6
Image 2 : Boîte vue générale.....	6
Image 3 : Boîte vue de derrière.....	7
Image 4 : Boîte du dessus sans toit.....	7
Image 5 : Boîte du dessus sans toit 2.....	8
<b>IV. Organisation du groupe.....</b>	<b>9</b>
<b>V. Prototypé M1V03.....</b>	<b>9</b>
Image 6 : Montage du prototype M1V03.....	10
<b>VI. Exploitation des données.....</b>	<b>10</b>
<b>VII. Préparation des solutions d'étalonnage.....</b>	<b>10</b>
<b>VIII. Etalonnage du capteur.....</b>	<b>11</b>
Graphique 1 : Concentration Sucre - Courbe d'étalonnage.....	11
Graphique 2 : Pourcentage Alcool - Courbe d'étalonnage.....	12
Graphique 3 : Concentration Sel - Courbe d'étalonnage.....	12
<b>IX. L'incertitude de la valeur finale.....</b>	<b>13</b>
A. Incertitude de la solution sucre et sel.....	13
B. Incertitude de la solution alcool.....	13
C. Incertitude du capteur.....	14
<b>X. Conclusion.....</b>	<b>14</b>

## I. Introduction

Ce projet a commencé dans le contexte du challenge mesures physiques 2024, dont un des sujets était de mesurer la concentration du jus de betterave. Notre groupe initialement en trinôme a décidé de mesurer le jus de betterave sur le principe d'un réfractomètre numérique. Ceci nous a permis de développer notre première version du réfractomètre.

Cette année on continue, à deux, de développer le réfractomètre, avec de nouvelles applications et objectifs. Le capteur serait idéal pour l'agroalimentaire pour faire des mesures rapides et sur place, évitant de nécessité d'envoyer des échantillons dans un laboratoire. Comme par exemple dans une brasserie, où l'on doit suivre l'évolution du taux de sucre ou d'alcool dans les différentes cuves de fermentation. Ceci pourra être fait avec notre capteur instantanément et sur place dans la salle des cuves. Pour cela il faut avoir un capteur portable, avec des mesures répétables et autonomes en électricité.

## II. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du capteur est basé sur la loi de Snell-Descartes qui régit l'orientation de la composante réfractée d'un faisceau lumineux lors de l'interface entre deux milieux d'indices de réfraction différents :

$$n_p \sin i = n_s \sin r$$

avec  $n_p$  et  $n_s$  les milieux,  $i$  l'angle par rapport à la normale du faisceau incident et  $r$  l'angle par rapport à la normale du faisceau réfracté.

Lorsque l'indice  $n_p > n_s$  on a un angle limite  $i_m$  pour lequel la réflexion est totale : toute l'intensité du faisceau incident est désormais réfléchi, l'angle  $r$  n'étant pas défini, le faisceau réfracté n'existe pas.

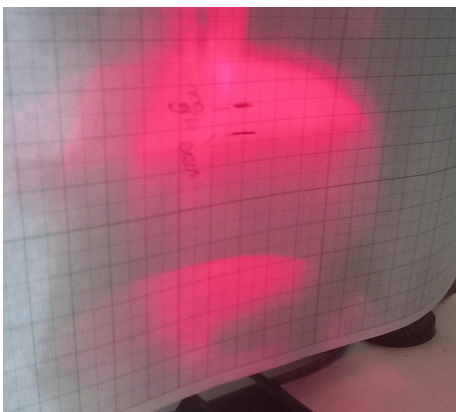


Image 1 : Visualisation angle critique

Quand on applique une source de lumière on obtient le résultat suivant :

On constate une tache global qui est composée d'une tâche claire et d'une tâche sombre, la tâche claire est composée des rayons qui ont angle incident supérieur ou égal à l' angle critique et la tâche sombre est composée de rayons qui ont un angle incident inférieur à l'angle critique.

Ainsi si  $n_p$  est fixe,  $i_m$  varie seulement en fonction de l'indice  $n_s$  alors en utilisant un objet d'indice  $n_p$  sur lequel on envoie un faisceau lumineux on peut recueillir l'information de variation d'intensité lumineuse qui correspond à l'apparition de la réflexion totale sur un capteur et en déduire l'indice de réfraction  $n_s$ , ici du jus de betterave, dont l'on peut directement déduire la concentration en sucre grâce à une courbe d'étalonnage préalablement établie.

Dans un réfractomètre numérique le milieu utilisé pour dévier le faisceau à travers l'échantillon liquide est un prisme car il permet un contrôle précis de la trajectoire du faisceau comme ci-dessous :

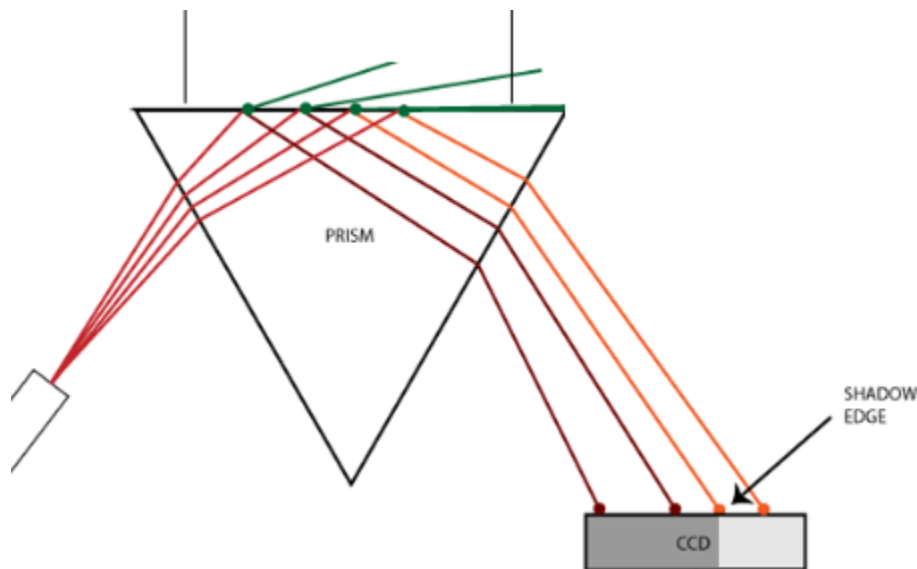


Figure 1 : principe de fonctionnement du réfractomètre

Le shadow edge est le paysage de zone sombre à zone clair induit par la réflexion totale et c'est l'information que l'on va exploiter. Au dessus du prisme on place la cuve contenant le jus de betterave. En vert sont représentés les rayons réfractés, en marron les rayons réfléchis avant que l'on soit en réflexion totale et en orange ceux réfléchis après.

Notons qu'il y a aussi un phénomène de réflexion et réfraction en entrée et sortie du prisme mais il est anecdotique ici.

Sur le capteur ccd on perçoit le graphique suivant :

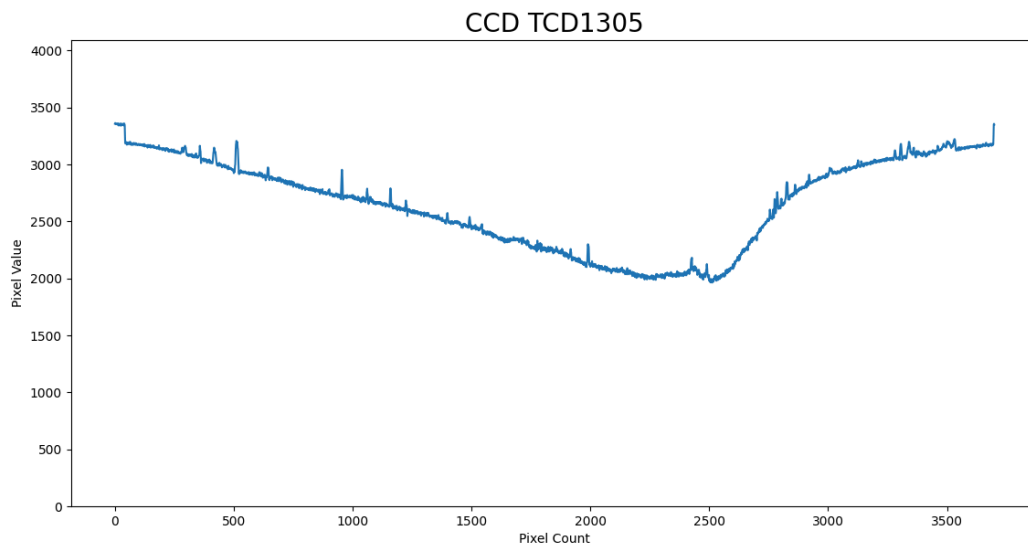


Figure 2 : Graphique ccd avec 150 g/l sans lentille

Sur le graphique l'intensité lumineuse est le plus faible lorsque le pixel value est le plus haut et le l'intensité lumineuse est le plus fort lorsque le pixel valeur est le plus bas. Mais on rencontre un problème car la transition entre zone sombre et clair est trop flou pour remédier à cela on place une lentille convergente après le prisme, comme montré sur le montage de l'image 6, on obtient le graphique suivant :

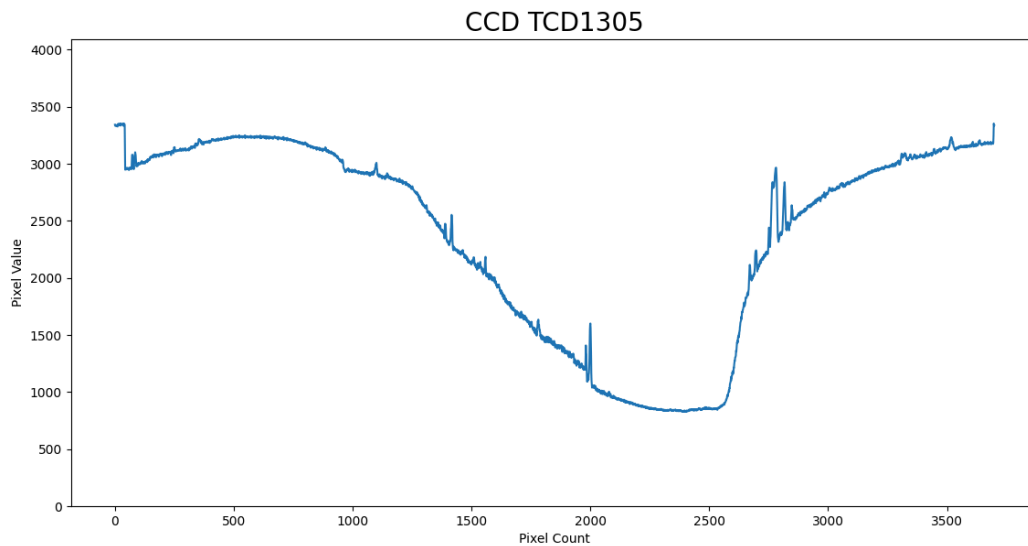


Figure 3 : Graphique ccd avec 150 g/l avec lentille

On distingue plus clairement les tâches claires et sombres. Et lorsqu'on change la concentration du solution on observe que la courbe se déplace.

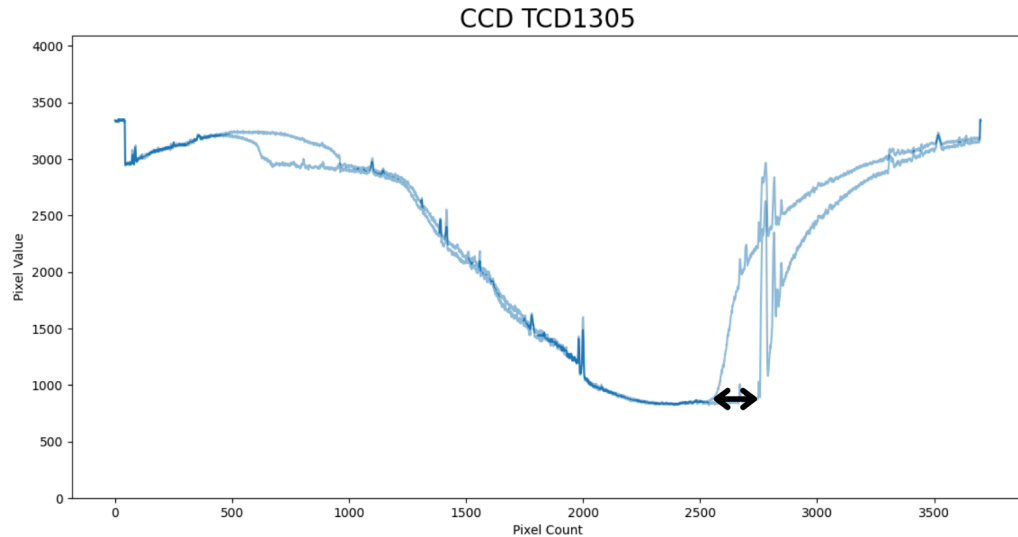


Figure 4 : Graphique ccd 50 et 150 g/l avec lentille superposée

On constate que la transition clair/sombre se déplace en fonction de la concentration de sucre de la solution, car l'indice de réfraction des solutions ne sont pas les mêmes. Avec cet effet et à l'aide d'une courbe d'étalonnage on pourra retrouver la concentration d'une solution inconnue.

### III. Cahier des charges

#### A. Les attentes pour notre capteur

Par rapport à la première version du capteur on a décidé que la deuxième version doit être plus compact, capable de mesurer la concentration/% de plusieurs types de solutions (sel, alcool, sucre), une interface utilisateur simplifiée et un nettoyage plus facile et automatique.

## B. Les composants

Item	Marque	ref. fabricant	Description	Lien	Prix (HT) €	Quantité
écran LCD	MIDAS	42008A6W-FP	LCD alphanumér	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>	40,33	1
servo moteur	KITRONIK	25111	Moteur DC, Servo	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>	5,18	2
bouton select	WURTH ELEKTRONIK	430152050836	Commutateur tact	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>	0.517	10
bouton on/off	MARQUARDT	01832.3311-01	Commutateur à b	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>	8,80	1
batterie rechargeable	ANSMANN	1700-0133	Chargeur Power	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>	51,99	1
led vert	MULTICOMP PRO	MC011363	MULTICOMP PR	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>	0.527	5
led bleu	AL COMMUNICATIONS	VAOL-5LSBY4	LED, Bleu, Trave	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>	0.435	1
led rouge	MULTICOMP PRO	MP000451	MULTICOMP PR	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>	3,20	2

Pour la version finale, nous allons utiliser la LED verte, qui nous donne les meilleurs résultats en termes de visibilité et clarté.

La batterie rechargeable nous permet d'alimenter la carte raspberry et tous les autres composants branchés à cette dernière (écran LCD, capteur, LED, boutons).

Nous utilisons également une lentille de distance focale 50 mm.

Des aimants seront à prévoir pour fixer le bac collecteur des solutions après nettoyage.

Un adaptateur I2C pour l'écran LCD est également requis pour finaliser le projet.

## C. Le DAO et Codage

Les modèles 3D et codes utilisés sont disponibles via ces liens :

Boîte :

<https://nextcloud.univ-lille.fr/index.php/s/bsydy4nRm4bsFb>

Code :

<https://nextcloud.univ-lille.fr/index.php/s/TnG4qJ4J5JyEHGo>

Voici quelques images 3D de la boîte en cours de construction :

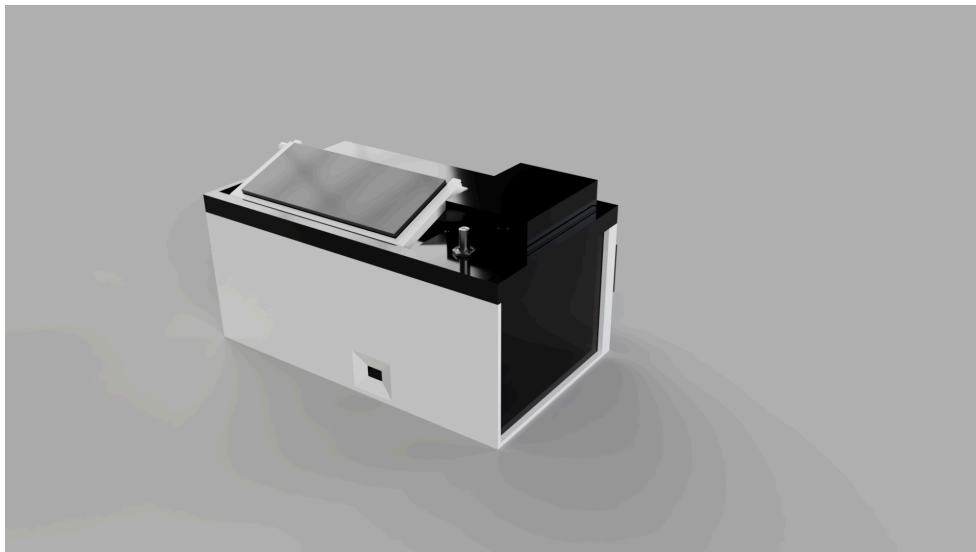


Image 2 : Boîte vue générale

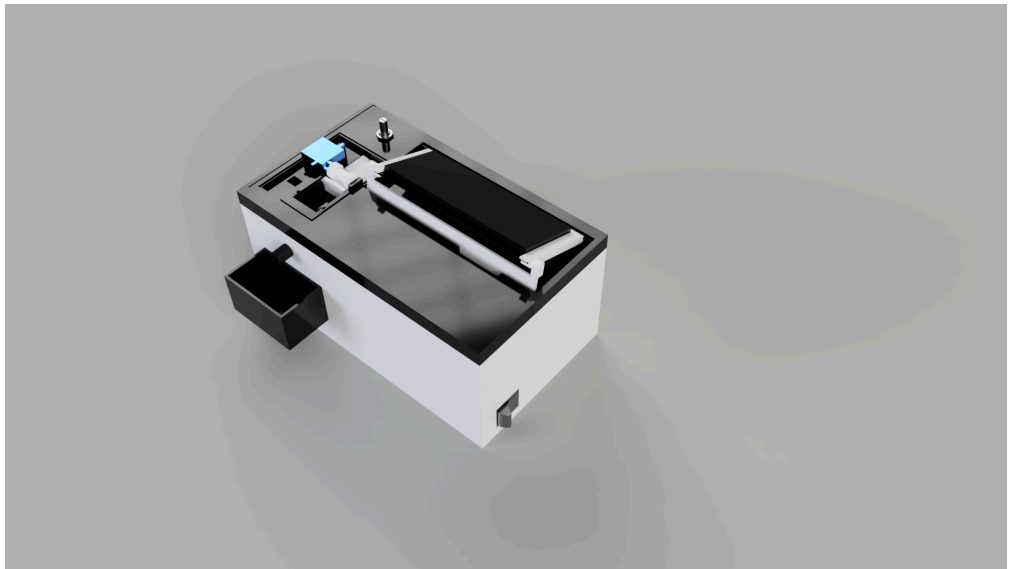


Image 3 : Boîte vue de derrière



Image 4 : Boîte du dessus sans toit





Image 5 : Boîte du dessus sans toit 2

Le bouton à côté de l'écran permet de naviguer dans le menu et de réaliser les mesures, ordonner un nettoyage automatique, voir l'historique des mesures etc...

Un bouton ON/OFF permet d'allumer et d'éteindre le réfractomètre.

Aussi, le port USB C de la batterie est accessible pour pouvoir recharger le réfractomètre facilement.

Le nettoyage automatique se fait grâce à un moteur qui va venir pousser le liquide dans une poubelle, accrochée à l'aide de magnets à la boîte pour permettre un nettoyage facile et rapide.

*Les modèles 3D sont réalisés sur Fusion360 et le code sur VSCode.*

*Les placements des composants et détails ne sont pas définitifs et peuvent être sujets à des modifications.*

## IV. Organisation du groupe

Listes de tâches:

+ En attente ▾	+ Prêt ▾ 2 (2)	+ En cours ▾ 4 (4)	+ Terminé ▾ 6 (6)
	<div>#8029 ▾ Hugo Geukens Etalonnage et métrologie 0/20h 01/12/2024 [114][13] PO</div> <div>#8030 ▾ Autres assignés : Boîte final 0/10h 11/11/2024 [114][13] PO</div>	<div>#8023 ▾ Armele Lakhdari Codage 0/30h 04/11/2024 [114][114] PO</div> <div>#8028 ▾ Hugo Geukens Pré-étalonnage 0/12h 04/11/2024 [114][88] PO</div> <div>#8031 ▾ Autres assignés : Rapport mi-année 0/20h 20/12/2024 [114][13] PO</div> <div>#8026 ▾ Autres assignés : Google Doc 0/1h [114]&lt;15 min PO</div>	<div>#8025 ▾ Kanban 1/5/1h 17/09/2024 [114][114] PO</div> <div>#8022 ▾ Autres assignés : La théorie 0/1h 20/09/2024 [114][112] PO</div> <div>#8034 ▾ Armele Lakhdari Design prototype 1.0 m2425 27/09/2024 [112][88] PO</div> <div>#8032 ▾ Compte rendu fin de semaine 0/2h 20/09/2024 [114][88] PO</div> <div>#8024 ▾ Autres assignés : Design 0/100h 04/10/2024 [114][13] PO</div> <div>#8027 ▾ Hugo Geukens Autres assignés : Prototypage 0/50h 04/11/2024 [114][13] PO</div>

Les tâches sont réparties en fonction du point fort de chacun.

Armel :

- Design 3D du prototype
- Design 3D de la boîte finale
- Codage
- Etalonnage (préparation des solutions étalons)

Hugo :

- Prototypage (essayer différentes configurations)
- Etalonnage (préparation des solutions étalons)
- Métrologie

Les restes des tâches sont effectués en groupe.

## V. Prototype M1V03

Pour tester de nouveaux montages on a décidé de fabriquer un troisième prototype sur lequel on peut modifier la hauteur et le distance entre les composants du capteur, du prisme et du LED.

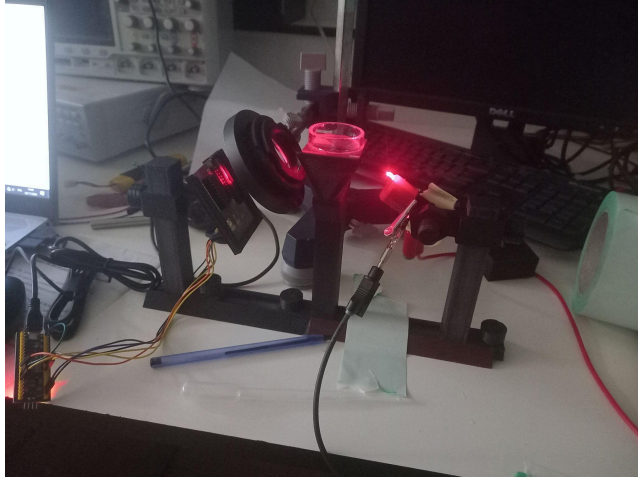


Image 6 : Montage du prototype M1V03

C'est grâce à ce prototype qu'on peut déduire les positions des composants dans la boîte finale pour permettre les mesures.

## VI. Exploitation des données

Le capteur CCD nous permet de récupérer la position de l'angle critique et d'utiliser cette valeur là pour calculer les concentrations.

En effet, pour le calcul des concentrations à l'aide des équations d'étalonnage nous remplaçons la variable "x" par la position sur l'axe des abscisses de l'angle critique c'est-à-dire le minimum obtenu sur l'axe des ordonnées.

## VII. Préparation des solutions d'étalonnage

Pour préparer les solutions d'étalonnage nous avons utilisé comme matériel :

- Micropipettes
- Fioles de 50 mL
- Balance
- Ethanol
- Sucre
- Sel

Solutions sucrées :

$$m = C \cdot V$$

Pour 300 g/L :

$$m_1 = 300 \cdot 0,050 = 15 \text{ g}$$

Il faudra donc diluer 15 g de sucre dans 50 mL pour obtenir une solution de 300 g/L de concentration.

Nous avons répété l'opération pour obtenir des concentrations de 150, 100, 50 g/L.

Même principe pour les solutions salées.

Solutions alcoolisées :

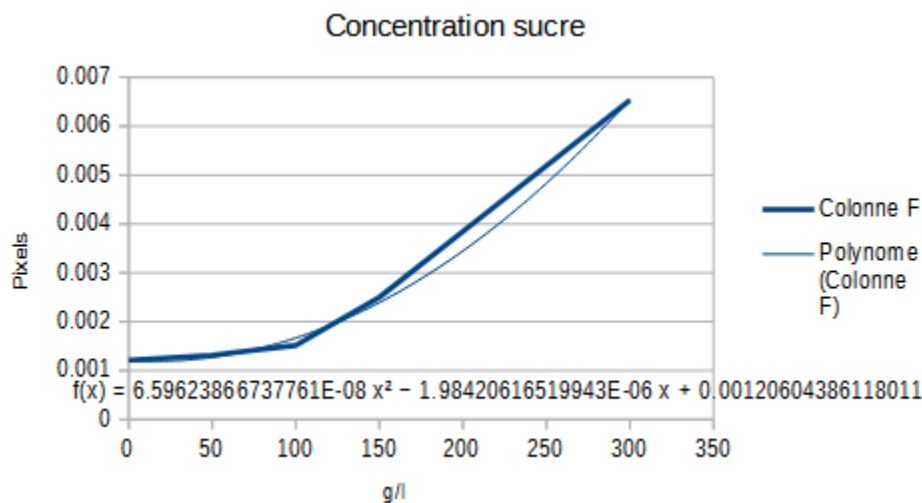
$$\text{Valcool} = (\text{Pourcentage souhaité} \times V_{\text{solution}}) / 100$$

Pour une solution à 5% :

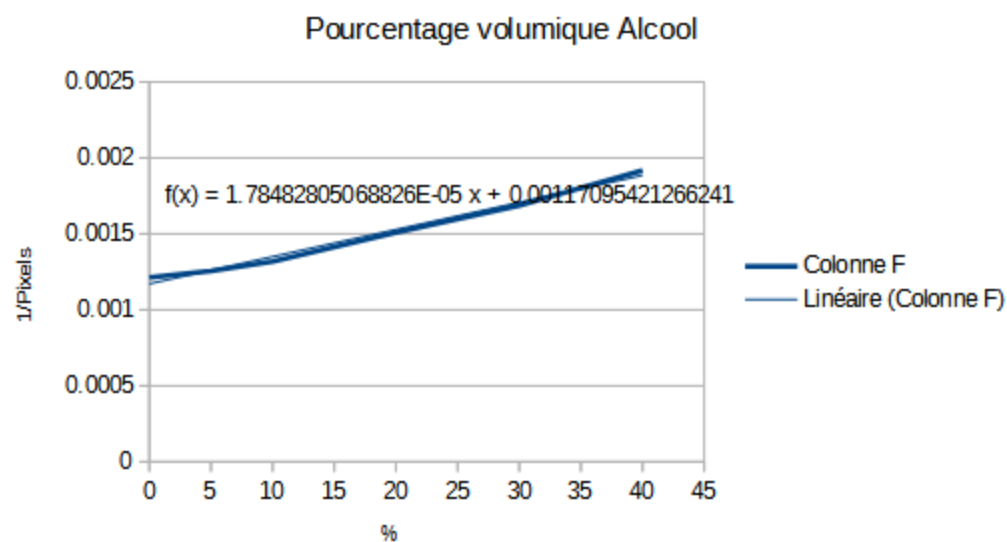
$$\text{Valcool} = (5 \times 50) / 100 = 10 \text{ ml d'alcool à diluer dans 50 mL}$$

## VIII. Etalonnage du capteur

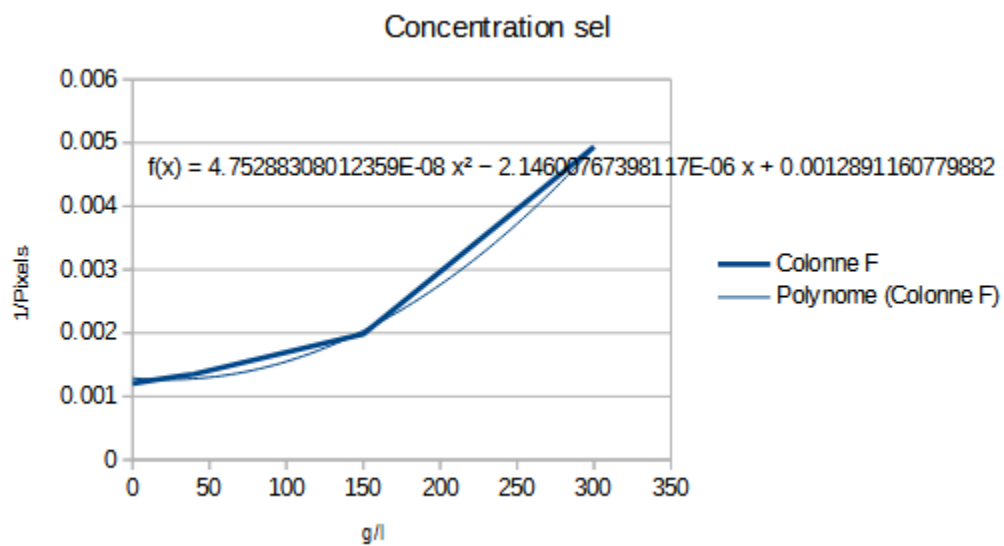
Avec le prototype M01V03 on a pu obtenir les premières courbes d'étalonnage :



Graphique 1 : Concentration Sucre - Courbe d'étalonnage



Graphique 2 : Pourcentage Alcool - Courbe d'étalonnage



Graphique 3 : Concentration Sel - Courbe d'étalonnage

## IX. L'incertitude de la valeur finale

Car une mesure sans incertitude est une mesure fausse, on fournit l'incertitude constructeur. On le calcule à partir de l'incertitude des solutions d'étalonnage et d'un écart-type en répétant les mesures.

Etant donné que les solutions d'étalonnage ne sont pas fabriquées de la même manière en fonction de solution (sucre, alcool et sel), on calcule une incertitude par type de solution, en fonction du matériel utilisé (résolution et incertitude constructeur).

### A. Incertitude de la solution sucre et sel

Pour la préparation des séries de solution, sel et sucre on utilise le même matériel donc on calcule l'incertitude de la concentration de la même façon.

$$\text{Balance : } u_m = \frac{\text{résolution}}{\sqrt{3}}$$

Fiole jaugée:  $U_v$  = donné par le constructeur

Ensuite à l'aide de la propagation des incertitudes on retrouve l'incertitude de la concentration:

$$u_c^2 = \left(\frac{1}{V}\right)^2 u_m^2 + \left(-\frac{m}{v^2}\right)^2 u_v^2$$

### B. Incertitude de la solution alcool

On calcule les incertitudes avec l'incertitude du fiole jaugée et de la micropipette.

Micropipette :  $U_{v1}$  = donné par le constructeur

Fiole jaugée:  $U_{v2}$  = donné par le constructeur

Les deux incertitudes sont dans la même unité donc on peut en faire une incertitude composée:

$$u_c = \sqrt{u_{v1}^2 + u_{v2}^2}$$

et on retrouve l'incertitude sur le pourcentage volumique avec la formule suivante:

$$u_A = \frac{u_c}{V_{total}}$$

### C. Incertitude du capteur

Lors des mesures des différents points pour l'étalonnage, on mesure plusieurs fois la même concentration pour trouver une incertitude de type A qui s'exprime en pixel, on combine cette incertitude avec l'incertitude des solutions d'étalonnage avec une propagation des incertitudes qui dépendre de l'équation d'étalonnage.

$$u^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial c}\right)^2 u_c^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial Pixel}\right)^2 u_{Pixel}^2$$

On calcule l'incertitude sur chaque point dans une série de mesures, on prend l'incertitude la plus grande et on prend un coefficient  $k = 3$  pour obtenir un intervalle de confiance de 99%.

## X. Conclusion

Pour finir ce projet, il nous faut refaire un étalonnage avec de nouvelles solutions et dans la boîte finale.

La boîte finale est en cours d'impression et modification. Aussi, les résultats finaux et photos/démos du réfractomètre seront ajoutés dès que possible.