Concours CGénial 2023

Lise DUHAMEL Océane FLAMANT Oxana GOURNAY Jeanne HAGNERE

Présentent

Les Caféines

Qui café déborder ?

Encadrées par Arnaud LEMAIRE et Marie REMOND

Partenaires

Sommaire

Partenaires 2

Résumé 4

Introduction 4

Problématique 4

1. Quelles sont les conditions favorisant le débordement du café ? 5

1.1. Mesures de Fréquences de nos pas, étude empirique, méthode du comptage 5

1.2. Mesures de Fréquences de nos pas, analyse vidéo par le logiciel Tracker© 5

2. Mesures de fréquences des oscillations du café 6

2.1. Conception d'un manchon de fixation 7

2.2. Propriétés d'oscillations du café, comparaison de la fréquence de nos pas avec la fréquence naturelle d'oscillation du café 7

3. Propriétés de résonance du café 9

Étude de l'interaction du café avec un contenant à structure différente 9

3.1Traitement et analyse des Vidéos des oscillations avec la tasse 9

3.2. Traitement et analyse des Vidéos des oscillations avec le bécher 10

Bilan de ces premiers essais 10

4. Modélisation, dispositif expérimental et mesures 10

5. Comment éviter le débordement ? 14

5.1. Suspension de la tasse 14

5.2 Phyphox©, marche en avant ou marche en arrière ! 15

5.3 Propriétés d'oscillation du café, essais avec mousse de lait 15

Conclusion 18

Remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidées à la réalisation de notre travail 19

C Génial vu par Lise Duhamel, Terminale STL - SPCL 20

C Génial vu par Océane Flamant Terminale STL - SPCL 20

CGénial vu par Oxana GournayTerminale STL-SPCL 21

C Génial vu par Jeanne Hagneré Terminale STL-SPCL 21

Résumé

Lorsque l'on marche, le café déborde de la tasse ! C'est une réalité du quotidien. Nous objectif est d'étudier les vaguelettes qui se forment à la surface du café et montent petit à petit sur le bord de la tasse pour finalement déborder. Nous voulons étudier les divers mouvements d'oscillations du café et mettre en évidence les différents facteurs physiques (fréquences, périodes) impliqués dans ce phénomène. Nous cherchons également à tester l'efficacité de quelques méthodes permettant de réduire ces débordements : utilisation de mousse de lait ou même suspension d'un plateau portant une tasse de café, jusqu'a faire faire un tour complet au plateau.

Afin de modéliser nos valeurs nous utiliserons un dispositif expérimental fabriqué par nous-mêmes et provoquant les oscillations du café dans la tasse à partir de fréquences induites contrôlées, définies. Nous vous révélerons la fréquence de résonance responsable du débordement du café selon la forme et le diamètre de la tasse.

Introduction

La fève de café a connu un long voyage depuis l'Éthiopie, son pays d'origine, pour arriver jusqu'à nous. Sa découverte fortuite, résulte de l'observation de chèvres trop friandes de baies et se mettant à sauter et à gambader de façon inexpliquée. Nous apprécions tous de boire un excellent café dès le réveil ! À lui seul, le bruit lointain du ronronnement de la cafetière nous met en éveil. Mais marcher avec une tasse de café peut se révéler hasardeux ! Et avant même que le café n'arrive de la tasse à la bouche, patatras il atterrit sur le sol ! Nous voulons ici, tenter de découvrir les paramètres physiques provoquant le débordement du café de la tasse, quand on marche. Nous tenterons de trouver une relation entre la fréquence de nos pas, et la fréquence propre des oscillations du café ; de mettre en évidence l'interaction du café avec un contenant de forme différente, et du rôle réel du volume de café. Pourquoi le café déborde ? La réponse à cette question nous amène à découvrir les phénomènes de résonance d'un café dans la tasse. Se pose alors à nous la question de définir les conditions qui créent le phénomène de résonance, celles qui maximisent l'amplitude des oscillations du café. Mais à plus forte raison, la question « comment éviter de le renverser ? » Nos diverses expérimentations nous permettront de vous révéler quelques méthodes et conditions favorables à la dégustation d'un café sans craindre les déversements…

Problématique

Si l'on marche d'une allure régulière sur une ligne droite, on parvient régulièrement à renverser du café au bout de 12 à 14 pas, pourquoi ?
Nous allons tenter d'éviter de faire déborder le café de la tasse, comment ?
Nous allons vous montrer que certains techniques anti-débordements peuvent être déroutantes.

1. Quelles sont les conditions favorisant le débordement du café ?

1.1.Mesures de Fréquences de nos pas, étude empirique, méthode du comptage

Pourquoi le café déborde ? Notre réflexion nous pousse naturellement à penser que ce phénomène physique est lié à la façon dont nous bipèdes, nous marchons, que la tendance au débordement de la tasse de café est intrinsèquement liée à la démarche humaine et que La marche excite les oscillations du café.

Nous nous intéressons en premier lieu au calcul de la fréquence des pas. Notre couloir du 3ème étage, secteur physique-Chimie, nous donne toute liberté pour réaliser nos mesures. Á partir d'une marche d'allure normale, sans précipitation, ni ralentissement et accélération, nous déambulons respectivement dans le couloir sur une ligne droite, une tasse de café à la main. Sur une distance parcourue de 10 m, et sur plusieurs essais, nous chronométrons et comptons nos foulées.

Essai	Nombre de pas	Durée	Période	Fréquence	Fréquence moyenne
	N	*t* (s)	*T* (s)	*f*(Hz)	*f*(Hz)
Océane 1	15	8,39	0,56	1,79	1,82
Océane 2	15	8,20	0,55	1,83	
Océane 3	15	8,20	0,55	1,83	
Océane 4	15	8,14	0,54	1,84	
Jeanne 1	13	6,64	0,51	1,96	1,98
Jeanne 2	13	6,33	0,49	2,05	
Jeanne 3	13	6,74	0,52	1,93	
Jeanne 4	13	6,57	0,51	1,98	
Lise 1	14	6,94	0,50	2,02	1,99
Lise 2	14	6,91	0,49	2,03	
Lise 3	14	7,28	0,52	1,92	
Lise 4	14	7,04	0,50	1,99	
Oxana 1	14	6,62	0,47	2,11	2,15
Oxana 2	14	6,16	0,44	2,27	
Oxana 3	13	6,03	0,46	2,16	
Oxana 4	13	6,27	0,48	2,07	
			Fréquence moyenne	1,99	1,99
			Écart type	0,13	

On s'aperçoit que la démarche humaine a une fréquence quasi-homogène, bien qu'il y ait des différences d'une personne à une autre.

La cadence moyenne de la marche se situe ici à 1,99 pas par seconde. Soit une fréquence de 2 Hz.

1.2. Mesures de Fréquences de nos pas, analyse vidéo par le logiciel Tracker©.

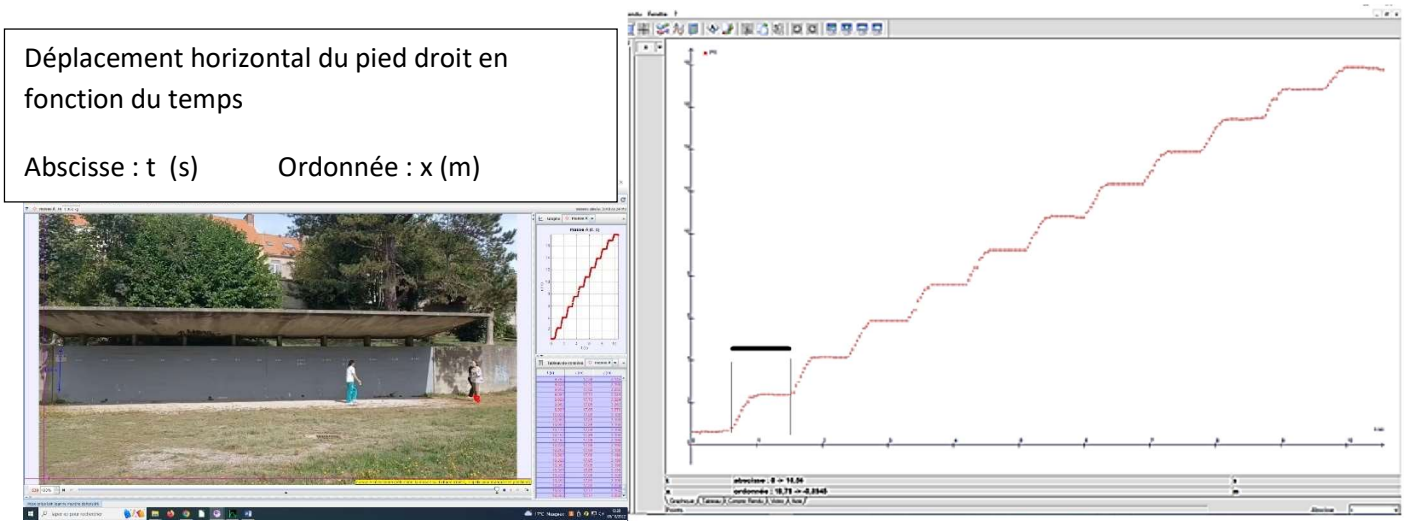
Nous décidons de confirmer nos valeurs de comptage manuel en utilisant une approche scientifique différente, par le traitement de vidéo. Nous réalisons plusieurs vidéos au format mp4, avec nos téléphones portables. La caméra est fixe, et suffisamment éloignée pour avoir une vue d'ensemble. Nous analysons et traitons nos vidéos via le logiciel Tracker©. C'est un logiciel open-source et multiplateforme, facilement téléchargeable à l'adresse :https://physlets.org/tracker/.On peut travailler directement sur clé USB, sans passer par le réseau, ce qui nous apporte une grande souplesse et de l'efficacité dans le travail.

Pour l'utiliser :

- On ouvre le logiciel et on choisit la vidéo à traiter ;
- On dépose un ruban d'étalonnage sur un repère mesuré précisément préalablement, et on rentre la mesure en mètre ;

- On pose le système d'axe (O,x,y) ;
- On crée une masse ponctuelle, on zoome sur l'image, on positionne la souris sur l'image, pour chaque clic + (touche Majuscule ou Shift) la position x, y est enregistrée et on passe à l'image suivante. Les coordonnées s'affichent dans un tableau ;
- Quand on a terminé de capturer les points, on peut obtenir le graphique et analyser.

Figure 1:capture d'écran : analyse de vidéo avec caméra fixe sur Tracker© et mesure de la période des pas



Analyse des résultats : on mesure la durée d'une période pour un pied. Le pied reste immobile pendant que l'autre pied avance, puis le pied avance à son tour (x augmente). La durée totale des deux phases est d'environ 0,9 s ce qui fait pour un pas $T = 0{,}45\ s$ donc la fréquence des pas est :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}45} = 2{,}2\ Hz$$

Avec

- ✓ Période T en seconde (s)
- ✓ Fréquence f en Hertz (Hz)

En refaisant la même étude avec les autres participantes, nous obtenons les mêmes résultats que précédemment, à savoir environ 2 Hz.

- La méthode du comptage nous donne une fréquence moyenne de 1.99pas par seconde
- La méthode d'analyse de traitement des vidéos par Tracker© nous donne une fréquence moyenne de 2Hz

On peut donc observer une bonne concordance des résultats obtenus.

Ces premières mesures réalisées, nous décidons de comparer la fréquence de nos pas avec la fréquence naturelle d'oscillation du café dans une tasse transparente, de 150 mL environ de capacité. Cependant, habituées aux machines à café à dosettes, notre première difficulté est tout simplement de faire du café avec une cafetière à filtre. Nous procédons cependant par méthode, afin de réaliser toutes nos futures mesures sur un café à concentration identique et à la même température. Notre préparation de base sera **de 5 g de café pour 140 g d'eau** (ce qui correspond environ à 1 dose rase de café pour une tasse d'eau). Cette préparation testée à chaque pause-café, est excellente de l'avis des professeurs…
Pour limiter les difficultés de manipulations et le changement de viscosité dû à la température, nous utiliserons toujours un café à température ambiante.

2. Mesures de fréquences des oscillations du café

2.1.Conception d'un manchon de fixation

Nos premières tentatives de prise de vues sont laborieuses. Tenant notre tasse de café naturellement à la main, et marchant en ligne droite, nous filmons la scène. Nos premiers essais sont réalisés sur des distances trop courtes. Nous sommes déçues de ne pas voir déborder notre café de la tasse. De plus, au début la caméra était fixe, mais son éloignement pour avoir une vue d'ensemble de la scène ne permettait pas de distinguer les mouvements de la surface libre du café. Grâce à un manchon réalisé et pensé par nous-mêmes, nous y adaptons notre portable. L'ensemble d'un seul tenant est fixé sur l'avant-bras jusqu'au poignet. Le tout au plus près de la tasse, pour tenter de ne filmer que les oscillations du café, et d'essayer de maintenir la tasse fixe pour la caméra.

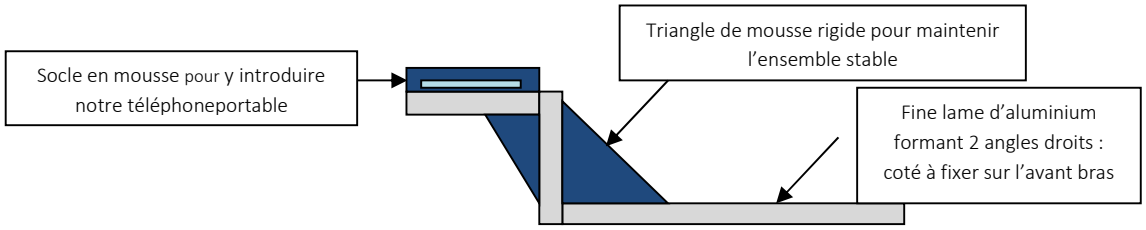


Schéma de principe de notre manchon à fixer au bras

Ce Manchon est conçu à partir d'une lame d'aluminium (métal léger), pliée à l'équerre et taillée par un personnel technique du lycée. Aux deux angles droits de la lame, nous avons fixé un triangle de mousse rigide noire, afin que l'ensemble ne se déforme pas. Nous y avons adapté un socle en mousse pour y introduire notre téléphone portable. Le but étant que le tout, soit le plus léger possible, que notre portable filme toujours à même distance de la tasse et toujours selon le même angle. Ensuite, on fixe facilement, avec du scotch, notre manchon au bras jusqu'au poignet. La main restant libre, on assure ainsi, une bonne prise de la tasse et une bonne portée.

Cependant, un autre problème se pose à nous ! Quelle hauteur de café par rapport au bord supérieur de la tasse faut-il choisir et définir pour nos essais ? Après expérimentation de nos multiples essais de ports de tasse de café, à différentes hauteurs du bord supérieur de la tasse, après moult nettoyages, lavages à la serpillère ou wassingue, comme on peut le dire chez nous, nous déduisons, par expérience, que la meilleure hauteur du café par rapport au bord supérieur de la tasse est de 1 cm, afin de voir le café déborder de la tasse sans excès et de pouvoir réaliser par la suite des mesures parlantes.

Ainsi, munies de notre bras de fixation pour prises de vidéos, de fabrication artisanale pure « made in Branly » nous remplissons une tasse transparente avec du café jusqu'à 1 cm du bord supérieur, pour que les débordements soient observables de la même façon. Nous tenons notre tasse avec une posture de la main normale et nous marchons d'une allure régulière sur une ligne droite afin de réaliser nos mesures de fréquences d'oscillations du café. Ainsi équipées nous pensons nous placer dans les conditions les plus favorables pour réaliser la mesure de l'amplitude des oscillations du café. Lors de nos premiers essais de ports de tasse de café, une première réalité s'impose. Nous parvenons régulièrement à renverser du café et qu'il nous faut environ 12 à 14 pas avant d'obtenir un premier débordement.

2.2.Propriétés d'oscillations du café, comparaison de la fréquence de nos pas avec la fréquence naturelle d'oscillation du café

Nous analysons nos vidéos (2 vidéos/personne, avec 3 personnes différentes) avec un outil de traitement d'images : Tracker©.

Nous réalisons un pointage du centre de masse A : point à la surface du café, en se basant sur la différence de couleur entre le café et l'air, au niveau du bord supérieur.

Nous réalisons en parallèle un pointage du centre de masse B : point fixe au niveau de la tasse.

Le but de ce **double pointage** est de nous donner la possibilité d'extraire le tracé de position de la tasse afin de ne garder que le tracé d'évolution des oscillations du café.

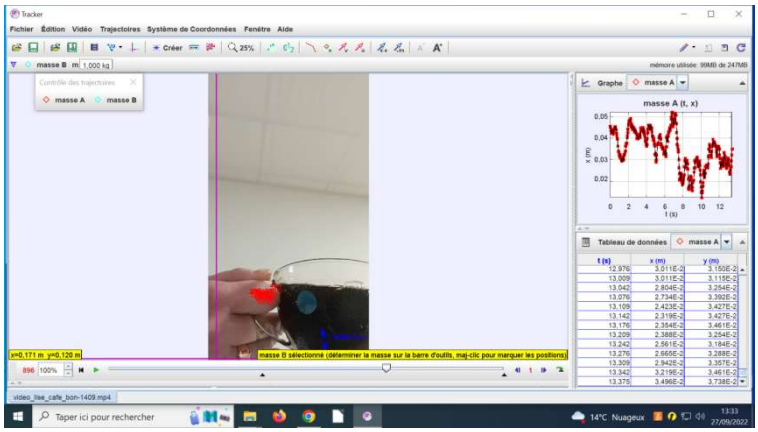


Figure 2 : capture d'écran de traitement vidéo sur Tracker®

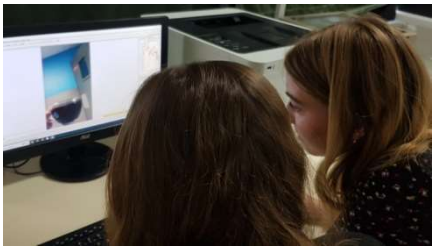


Figure 3 : étude des vidéos par Oxanaet Jeanne

Sur le graphe ci-dessus, capture d'écran de l'analyse sur Tracker®, apparaissent en rouge les oscillations de la tasse. À partir de la même vidéo, nous avons réalisé plusieurs pointages et avons également obtenu le tracé des oscillations du café dans la tasse. Après avoir transféré nos données sur Atelier Scientifique, nous avons obtenu les résultats des relevés des oscillations :

- De la tasse (en rouge) ;
- Du niveau du café (en bleu) avec la tasse ;
- De la différence des niveaux précédents pour n'avoir que les oscillations du café (en vert).

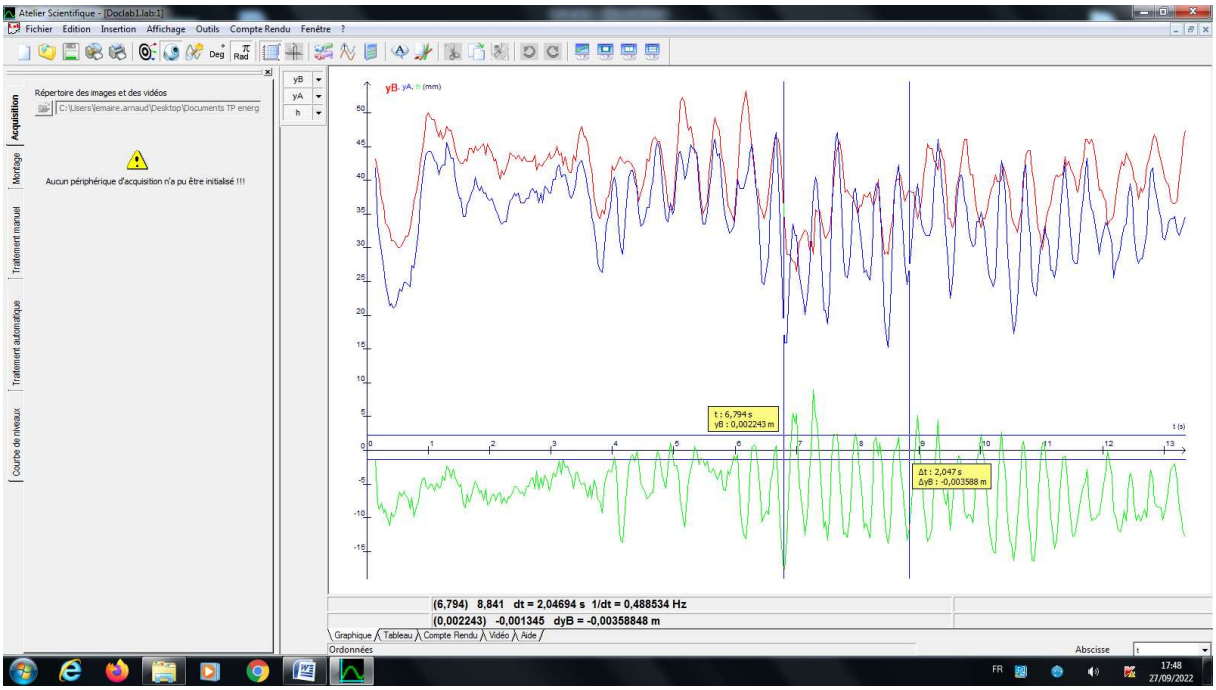


Figure 4 : analyse des mesures prises sur Tracker®, avec atelier scientifique

Analyse : les oscillations deviennent périodiques au bout de 6 s environ, avec une période de $T = \frac{2\,s}{6} = 0{,}33\,s$ ce qui correspond à une fréquence de $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}33} = 3\,Hz$.

	Période T (s)	Fréquence f (Hz)
Lise	0,33	3,0
Oxana	0,32	3,1
Jeanne	0,35	2,9
Océane	0,33	3,0

On remarque que le café, avec cette tasse, semble osciller davantage avec une fréquence moyenne proche de 3 Hz. Il

semble aussi que la fréquence moyenne des pas, (2 Hz) calculée précédemment, ne correspond pas à la fréquence d'oscillation du café. La fréquence d'entrainement de la marche ne suffit donc pas à expliquer les ballottements du café. Peut-être qu'il y a en plus un mouvement du bras ou du corps qui interfère. Nous envisagerons de modéliser ultérieurement le mouvement du café dans la tasse selon une fréquence définie.

Phénomène de résonance

Dans la zone qui est sélectionnée sur le graphe et après, le café se met à osciller de plus en plus et déborde de la tasse à 4 reprises (courbe verte au-dessus de l'axe des abscisses). Cela montre que le café entre en résonance. Lorsque le café déborde, ses oscillations sont de plus en plus importantes. Ceci est dû au phénomène de résonance qui fournit une énergie de plus en plus importante au café. L'amplitude du ballottement atteint son maximum et provoque le débordement du café. Pour obtenir le phénomène de résonance, il faut un excitateur et un résonateur.

Le résonateur est un système oscillant, ici le café. L'excitateur, ici la tasse (ou le bécher) portée par la main, elle-même entraînée par le mouvement de la marche qui fournit de l'énergie au système oscillant. Pour que le phénomène de résonance ait lieu, il faut que la fréquence de l'excitateur soit approximativement égale à une fréquence spécifique du résonateur, appelée fréquence propre. À la suite de cette observation, nous décidons de faire varier certains facteurs physiques afin d'étudier les conditions qui seront les plus favorables au phénomène de résonance, qui maximisent l'amplitude des oscillations du café.

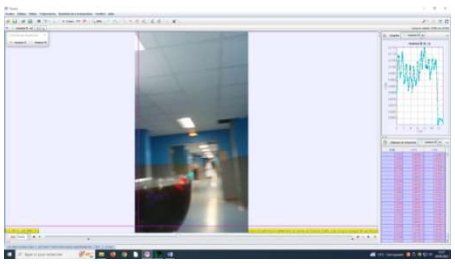
3. Propriétés de résonance du café

Étude de l'interaction du café avec un contenant à structure différente

Nous testons sur deux récipients différents : Une tasse de taille normale et un bécher de 150mL de forme haute. Nous versons les mêmes volumes de café dans chaque contenant, soit 150 mL de café mesuré à l'éprouvette. On a

pour tous les deux, le café à 1 cm du bord supérieur du contenant. Logiquement, si la quantité de café est la même dans chaque récipient, la quantité de déversement due aux oscillations, devrait également être la même. Nous analysons nos vidéos (2vidéos/personne, avec 2 personnes différentes) avec un outil de traitement d'images : Tracker©

3.1Traitement et analyse des Vidéos des oscillations avec la tasse



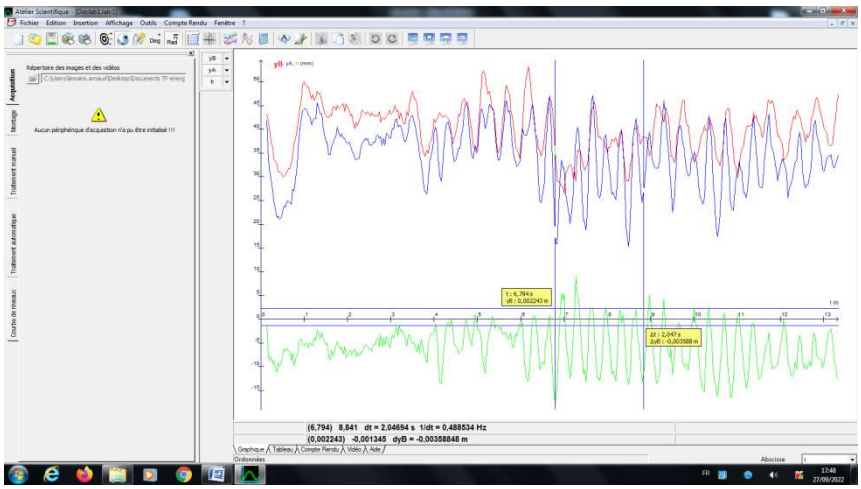


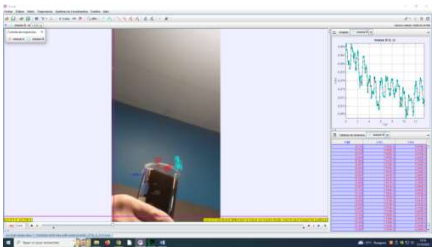
Figure 5: analyse sur atelier scientifique des données, le mouvement réel du café est en vert.

Résultats : D'après le graphe nous observons 3 débordements avec la tasse remplie de café à 1 cm du bord, et pour une fréquence d'oscillation d'environ 3 Hz. On observe bien le phénomène de résonnance.

3.2. Traitement et analyse des Vidéos des oscillations avec le bécher

Nous remplaçons la tasse par le bécher, mais on a gardé le système du manchon pour filmer et sans modifier aucun autre paramètre (même volume de 150 mL mesuré à l'éprouvette et à 1 cm du bord supérieur), et nous avons pu constater que les oscillations dans le bécher ne sont pas les mêmes qu'avec la tasse.

Quand on marche avec le bécher à la main nous pouvons voir que le café ne déborde pas et n'entre pas en résonance.



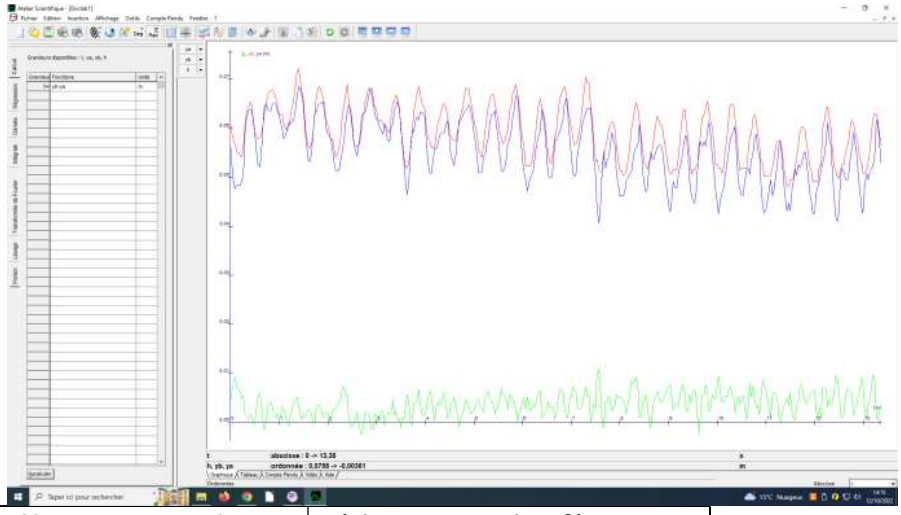


Figure 6: analyse des données avec le bécher, en vert la courbe correspondant aux oscillations du café dans le bécher

Comparaison des résultats	Tasse café 1cm bord supérieur	Bécher FH 150ml, café 1cm bord supérieur
Jeanne	2,7 Hz	3,7 Hz
Lise	3,0 Hz	3,9 Hz

Analyse : On remarque que la fréquence des oscillations du café est différente dans le bécher et la tasse. L'amplitude des mouvements du café dans le bécher reste plus faible ce qui explique qu'il n'y ait pas de débordement avec le bécher. La façon de tenir le contenant doit changer la fréquence des oscillations du café dans le contenant (tasse ou bécher). Cette expérience nous démontre que la quantité de liquide n'est sans doute pas la seule responsable du déversement du café, la forme du contenant, mais aussi la façon de le tenir (on ne tient pas un bécher de la même façon qu'une tasse de café), ont un rôle non négligeable dans le phénomène étudié.

Bilan de ces premiers essais

Les oscillations du café sont provoquées ou accentuées par :

- La façon de marcher, qui varie d'une personne à une autre.
- La forme du contenant, mais aussi la façon de le tenir.

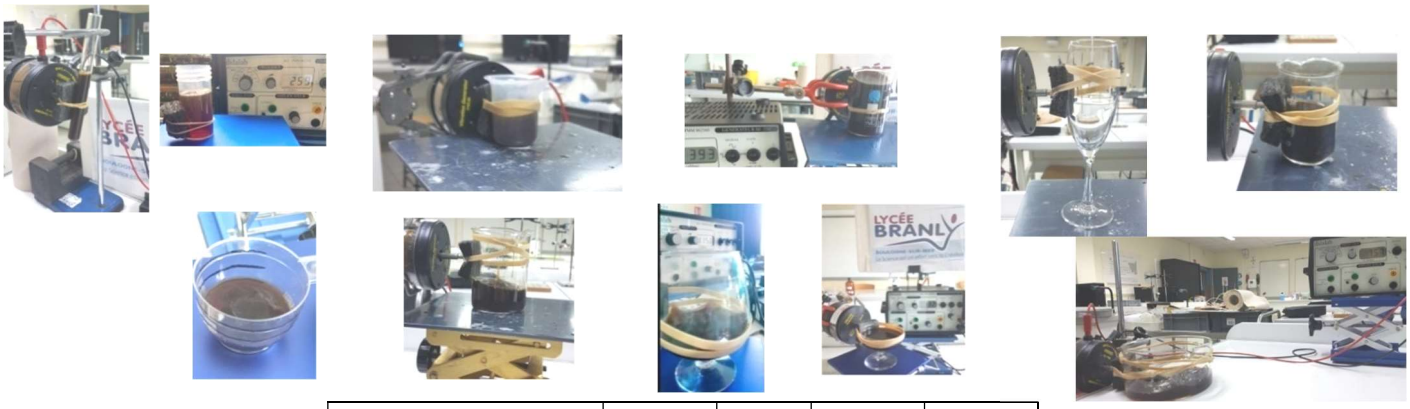
Nous tentons alors de rationaliser nos recherches. Nous allons maintenant essayer de modéliser le mouvement du café pour étudier plus précisément les propriétés de résonnance du café dans la tasse, grâce à un montage expérimental.

4. Modélisation, dispositif expérimental et mesures

Pour déterminer précisément la fréquence propre d'oscillation du café, nous réalisons le dispositif suivant : la tasse est reliée directement à un oscillateur branché à un GBF. Nous imposons une fréquence d'excitation horizontale, qui simule quelque part le mouvement de la marche humaine, et la faisons varier jusqu'à observer visuellement des mouvements à la surface libre du café. Nous allons également faire varier certains paramètres comme le diamètre de la surface libre du café. Le diamètre de nos différents contenants varie de 1,5 cm à 13,7 cm. Pour mesurer le diamètre de cette surface libre nous utilisons un pied à coulisse. Nous trouvons les diamètres qui sont répertoriés dans le tableau ci-dessous. Nos observations nous permettent de relever différentes fréquences de résonance pour chaque cas : ces

fréquences sont des multiples de la première fréquence, ce sont donc une fondamentale $f_1$et des harmoniques, comme nous l'avons étudié avec notre professeur de physique, M. Ledoux.

Ces fréquences de résonance pour lesquelles on observe des débordements correspondent à un mode antisymétrique, c'est-à-dire que les amplitudes d'oscillations vont s'ajouter.



	D (cm)	f (Hz)	f2 (Hz)	f3 (Hz)
tube à essai	1,5	20	43	65
flacon	3	5,5	11	15,7
bécher plastique	4	5,2	10	14,5
bécher 100 mL	4,7	3,8	7,7	12,7
flûte	5,5	3,4		
bécher 150 mL	5,5	3,4	7	12,3
tasse bas	5,7	3,2	6,5	9,7
tasse haut	6,1	3,2	6,3	9,4
bécher 250 mL	7	3	6	8,6
coupe champ.	8,5	2,5	5,4	7,2
verre cognac	9,4	2,3	5	7
cristallisoir	13,7	1,5	3	4,5

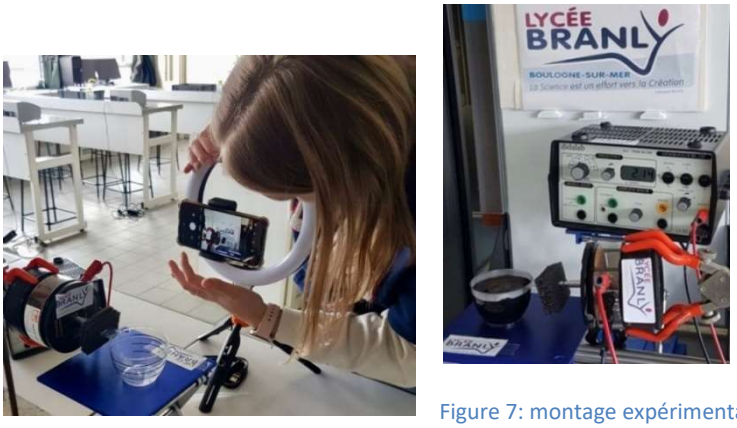


Figure 7: montage expérimental pour la modélisation

Figure 8:F2, tasse diamètre 5,7cm, visualisation du ballottement de l'interface libre à la suite de l'impulsion généré par notre dispositif expérimental

Nous visualisons la représentation graphique de ces données sur le logiciel de traitement des données expérimentales, atelier scientifique :

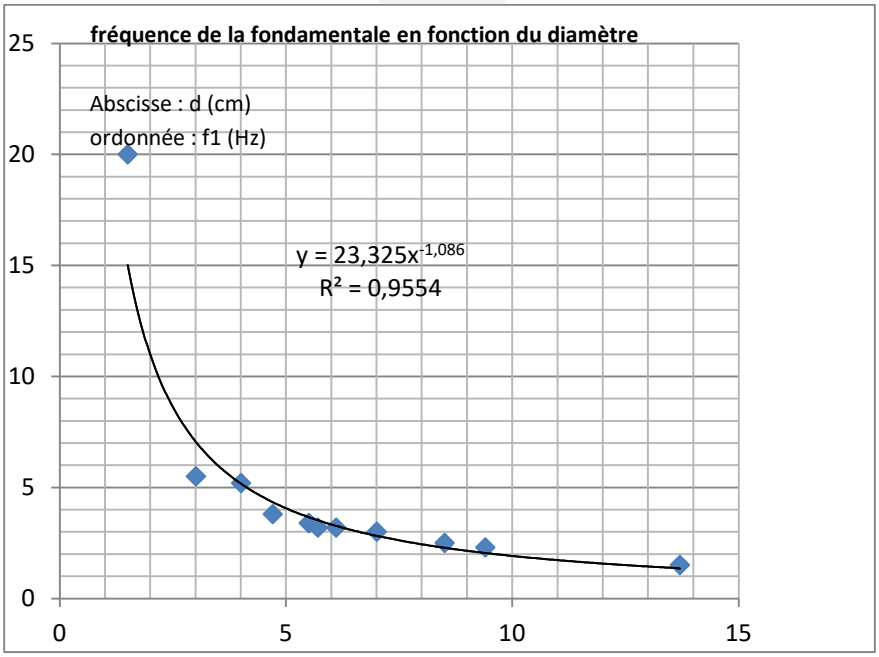
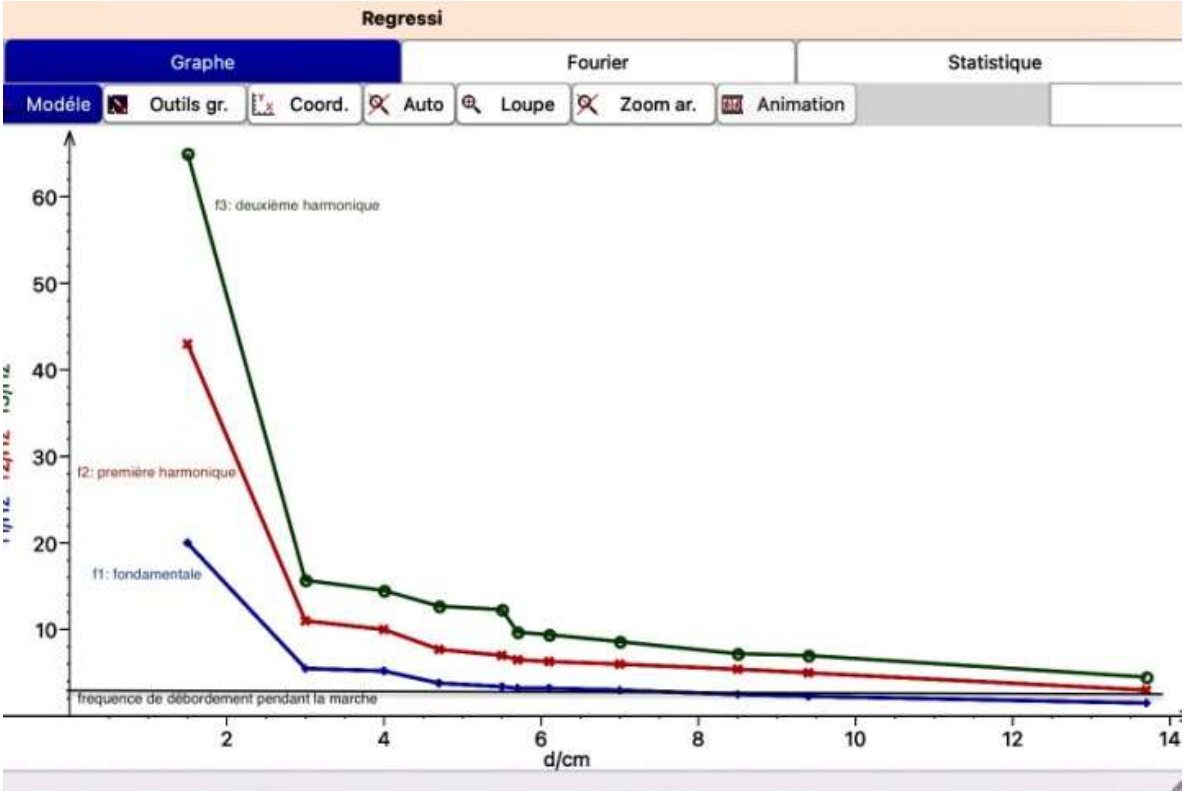


Figure 9 fondamentale f1 et harmoniques f2 et f3 en fonction du diamètre de la surface libre



Nous basons nos observations sur la première fréquence de résonnance, appelée fondamentale, car c'est celle qui peut correspondre le mieux à la fréquence de la marche. On remarque que plus le diamètre de la surface libre du liquide est grand, plus la fondamentale est petite. L'analyse du graphe de la fondamentale permet de trouver une relation entre le diamètre et la fréquence, qui correspond à la relation : $f = \frac{k}{d}$. On peut maintenant évaluer la fondamentale d'oscillations en fonction du diamètre de son contenant.

Avec notre dispositif expérimental, nous réalisons ensuite un traitement de vidéo, avec pointage des oscillations du café dans notre verre à cognac. Le but est pour nous, de visualiser et d'analyser les valeurs de hauteur du café dans le verre à cognac en phase résonnance, soit f_1=2,3 Hz

Ce montage expérimental et les résultats obtenus, nous permettent donc de nous positionner sur l'idée que la valeur de la fréquence fondamentale correspondant au mode antisymétrique, est fonction des dimensions du diamètre du contenant.

Figure 10 : Pointage de la hauteur des oscillations du café dans le verre à cognac de diamètre 9,4cm

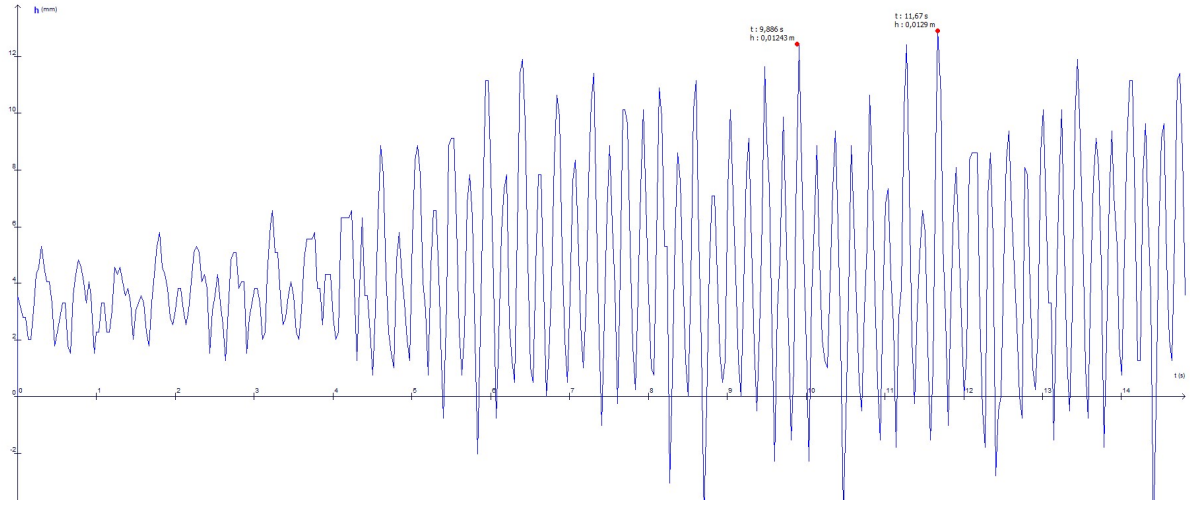


Figure 11 : analyse sur atelier scientifique de données obtenues sur Tracker, montage expérimental-hauteur d'oscillations du café dans le verre à cognac de diamètre 9,4cm en fonction du temps pendant la 1ere résonnance.

On voit que l'amplitude des oscillations augmente au moment de la résonance, correspondant ici à la fondamentale.

On remarque également que la valeur de la fondamentale obtenue pour la tasse avec le dispositif expérimental est aux alentours de 3Hz, ce qui correspond donc bien aux valeurs trouvées de fréquences d'oscillations du café dans la tasse portée par la main entrainée par la marche humaine, sur les analyses vidéos précédentes. Et que les débordements du café se situent dans ce domaine de fréquences. Arrivées à ce stade de nos investigations, nous pouvons confirmer l'idée que le phénomène de résonnance prend réellement part au mécanisme provoquant renversement du café. Pour les cas étudiés, le processus de résonnance s'active aux environs d'une fréquence d'oscillation, $f_1$que nous appellerons fréquence fondamentale. La valeur de la fondamentale varie selon la structure du contenant, et notamment son diamètre.

5. Comment éviter le débordement ?

5.1.Suspension de la tasse

En nous inspirant de techniques anciennes de transport de seaux d'eau avec une palanche, nous avons essayé de poser la tasse sur un plateau suspendu. Nous avons remarqué que le niveau de café dans la tasse reste stable et n'entre pas en oscillation quelle que soit la façon dont on se déplace (marche, course… ou en titubant).

Le plateau suspendu se comporte comme un pendule pesant : par opposition au pendule simple, dont toute la masse est supposée concentrée en un seul point, un pendule pesant est constitué d'un solide pouvant osciller autour d'un axe fixe (Δ) passant par l'un de ses points (par exemple, la balançoire avec l'enfant ou le balancier de l'horloge).

Tableau de la fréquence propre mesurée sur des durées de 10 s avec notre plateau de diamètre 11 cm :

n	T (s)	f (Hz)
13	0,77	1,3
13,5	0,74	1,35
14	0,71	1,4

Nous avons mesuré la fréquence propre de ce pendule pesant, et nous avons trouvé une moyenne de 1,3 Hz qui est différente de la fréquence de 3 Hz avec laquelle le café déborde de la tasse, ce qui peut expliquer que le café ne se renverse pas sur le pendule pesant, même lorsque l'on marche d'un pas plus que déterminé.

Nous avons fabriqué d'autres pendules à partir de plateaux tenus par 3 fils et nous avons fait varier la longueur des fils pour mesurer leur période d'oscillation.

Pendule doré de diamètre 30 cm					
Longueur L (m)	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20
T (s)	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
f (Hz)	0,71	0,76	0,83	0,90	1,0
Pendule bois de diamètre 20 cm					
Longueur L (m)	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20
T (s)	1,6	1,5	1,4	1,2	1,1
f (Hz)	0,62	0,67	0,71	0,83	0,90

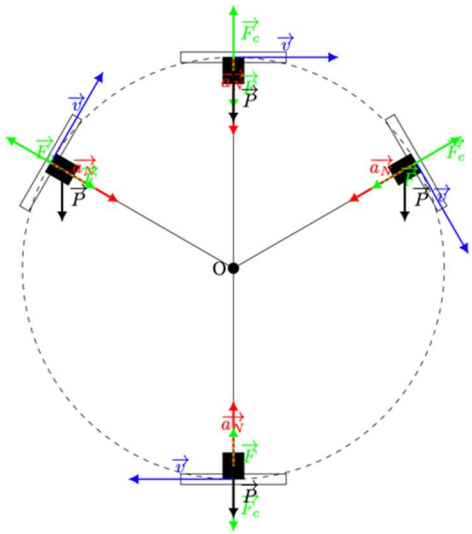


Figure 12 : plateau sur différentes positions en train de tourner

Nous voyons donc que les fréquences varient selon la longueur de suspension et selon le type de pendule, mais dans tous les cas la fréquence des oscillations est bien inférieure à 3 Hz, ce qui peut expliquer pourquoi le café ne se renverse pas.

Pour voir si le café peut se renverser avec le plateau nous avons marché d'un pas déterminé et nous avons forcé les oscillations, jusqu'à faire faire un tour complet au plateau. Surprise : le café reste dans la tasse si on tourne suffisamment vite (il faut toujours que les fils du plateau soient tendus.

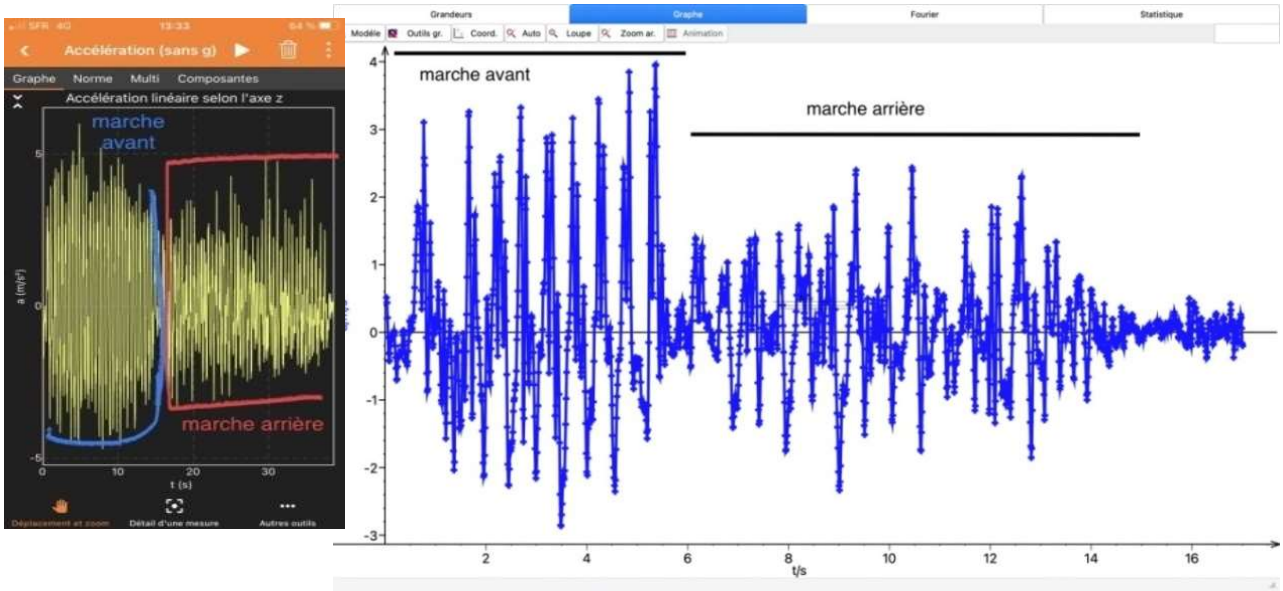
Ce phénomène est dû à la force centrifuge, une force virtuelle qui semble bloquer le café au fond de la tasse. En fait le plateau est contraint de tourner à cause d'une force centripète notée $\vec{F}$ exercée par les ficelles, entraînant la tasse et le café dans son mouvement. Par réaction, la tasse et le café exercent une force centrifuge $\overrightarrow{F_C}$ diri-

gée vers l'extérieur. La valeur de la force centrifuge est égale à la force centripète, qui est définie par la deuxième loi de Newton : $F = m.a$ avec pour un mouvement circulaire $a = a_N = \frac{v^2}{R}$: on a donc finalement $F = m \times \frac{v^2}{R}$, avec la force F en newton, la masse m en kg, l'accélération a en m/s^2, la vitesse v en m/s et le rayon R en m.

Le café restera dans la tasse, elle-même immobile sur le plateau si leur poids n'est jamais supérieur à la valeur de la force centrifuge, soit : $P = m \times g = m \times \frac{v^2}{R}$ ce qui donne une vitesse minimale à appliquer au plateau de$v = \sqrt{g \times R}$. Avec une longueur de fil de 60 cm, cela équivaut à une vitesse minimale à donner au plateau de $v = \sqrt{9{,}8 \times 0{,}60} = 2{,}5\ m/s$.

5.2 Phyphox©, marche en avant ou marche en arrière !

Nous connaissons les fréquences d'oscillations, en tenant une tasse de café en marche avant. Quelles oscillations pourrait-on avoir lorsqu'on marche en arrière ? Nous tentons nos prises de mesures via l'application Phyphox©.Cette application nous donne accès à différents capteurs de nos mobiles. Elle nous permet de transformer notre Smartphone en appareil de mesures à part entière. Le chemin est le suivant : charger l'Application Phyphox©, choisir « capteurs », puis « accélération sans G ». On fixe, avec un élastique, notre mobile à notre tasse de café (par le dessus).Après déclenchement des mesures on peut observer le mouvement des oscillations de la tasse lorsqu'on marche. On peut lire des tracés d'accélération correspondants aux orientations x, y et z. Nous choisissons l'axe z qui correspond à la direction perpendiculaire à la marche.



Observations :

- Le mouvement n'est pas le même à l'avant qu'à l'arrière
- Lorsque nous marchons en avant, les mouvements de la tasse portée par la main, oscillent plus intensément que lors de la marche en arrière.
- On aura plus de risques de renverser le café en marche avant qu'en marche arrière car sur la courbe on remarque que les mouvements du bras sont plus intenses en avant.

C'est une solution très efficace, on peut aller aussi vite que l'on veut en marche arrière, on ne déborde pas.

5.3 Propriétés d'oscillation du café, essais avec mousse de lait

Pourquoi tester nos mesures avec de la mousse de lait ? L'idée nous est venue d'une simple observation. Les barmans ne provoquent que très rarement des débordements de leurs bières lors de leurs trajets jusqu'aux clients. On observe que la mousse présente en surface atténue les mouvements de la bière. Nous nous sommes donc équipées d'un

mousseur à lait et avons créé notre propre mousse de lait. Afin de travailler dans les mêmes conditions, nous renouvelons notre mousse de lait à chaque essai... Nous versons les mêmes volumes de café que précédemment, avec le café à 1 cm du bord supérieur du contenant, la mousse étant déposée au-dessus. On réalise ainsi de délicieux cappuccino.

Préparation de notre mousse : faut-il utiliser du lait entier ou partiellement écrémé ? C'est la question que nous nous sommes posées. Nous testons les deux et remarquons que la mousse du lait demi écrémé est plus compacte. Notre choix se porte donc sur du lait demi-écrémé. En consultant sur internet« Histoire de Mousse » de Ricardo[1], nous apprenons que si le lait forme une mousse c'est surtout grâce à la présence des protéines (3,2% lait de vache). En faisant mousser le lait, on introduit des millions de petites bulles d'air. Les protéines déstabilisées par la chaleur voient leur structure se déformer et viennent se coller autour de ces bulles.

Figure 13 : préparation de la mousse de lait

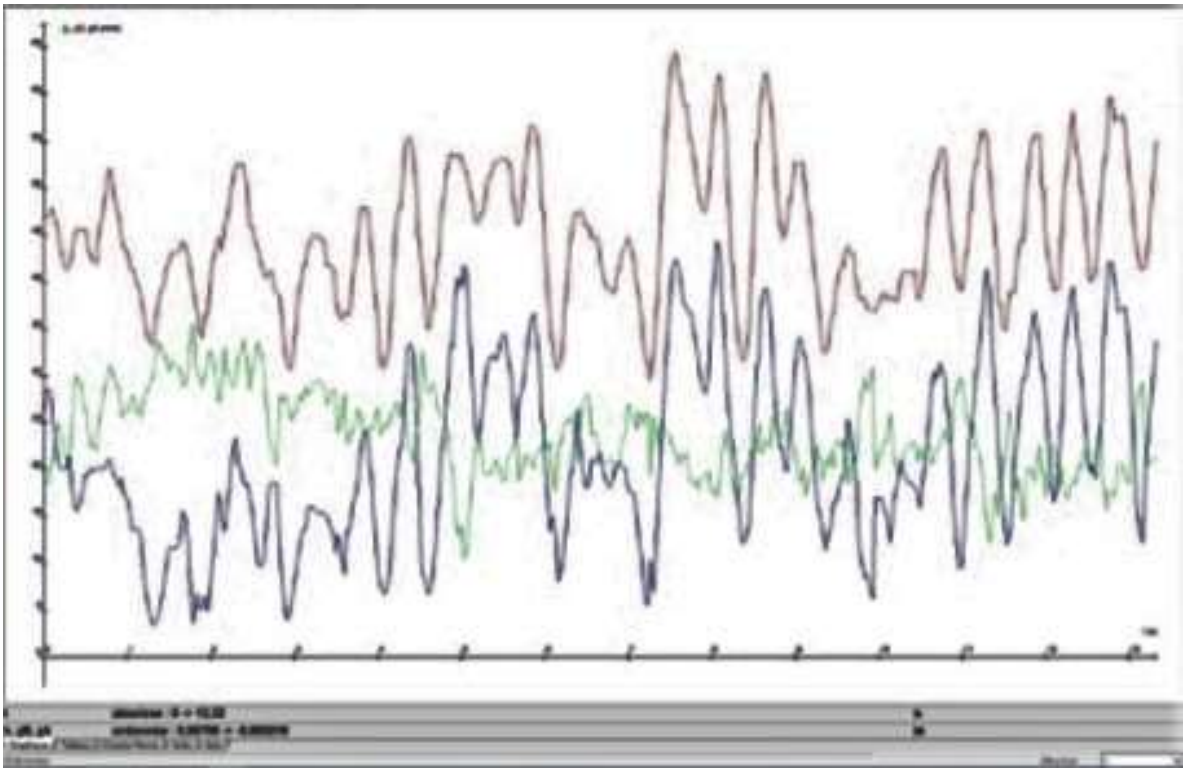
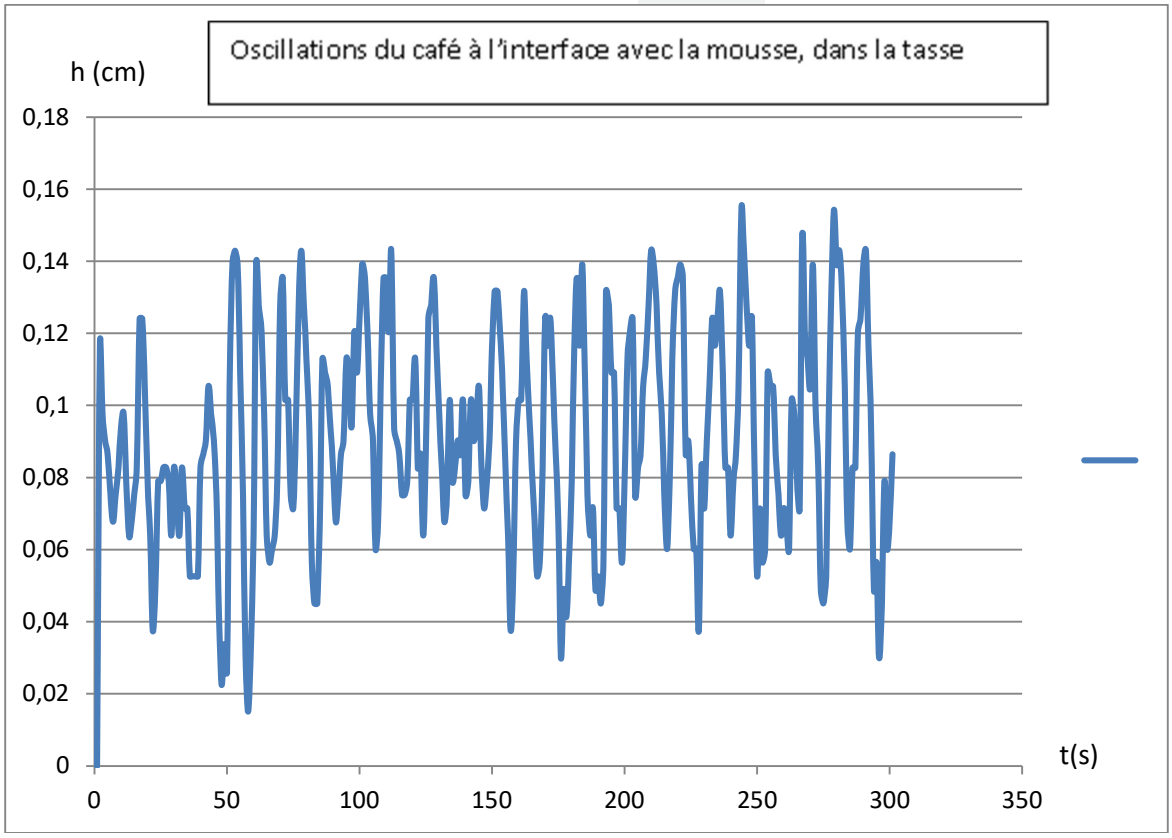


Figure 14 oscillations avec mousse de lait dans la tasse

Le pointage des positions de la surface du café à l'interface avec la mousse montre que les oscillations du café avec la mousse sont beaucoup moins amplifiées que les oscillations de la tasse (en rouge). De plus le phénomène n'est pas périodique donc la mousse atténue fortement les oscillations du café. Et on peut le confirmer à l'œil nu.

[1]https://www.ricardocuisine.com/chroniques/chimie-alimentaire/521-histoire-de-mousse



La différence des valeurs de la tasse et du niveau de café analysée sur excel confirme cette impression : il n'y a plus d'oscillations périodiques, celles-ci sont très atténuées et irrégulières. La mousse déposée au-dessus du café a pu neutraliser le mode antisymétrique. Ce dernier a eu moins de chance de se révéler, de s'enclencher.

Les mêmes essais avec mousse de lait sont également réalisés avec un bécher forme haute de 150 mL. Les observations et mesures avec le bécher confirment celles observées avec la tasse, pas d'oscillations périodique ni de résonance.

Nous nous attendions à ce résultat car précédemment l'amplitude des mouvements du café seul dans le bécher était déjà faible. Les contenants à structure plus angulaire peuvent atténuer l'amplitude des oscillations.

Conclusion

Si on impose une fréquence d'excitation horizontale d'environ 3 Hz, à une tasse de café, très vite on voit se former de petites vaguelettes à la surface. Rapidement le café monte sur le bord de la tasse et finit par déborder. Renverser notre café lorsque l'on marche découle du même phénomène. Par cette captivante étude, nous voulons tenter de mieux comprendre cette observation et d'en trouver la clé. Notre première idée est que la tendance au débordement du café est intrinsèquement liée à la démarche humaine. Nos différentes méthodes de calcul de fréquences de pas, que ce soit par la méthode du comptage ou par traitement de vidéos, se corrèlent pour nous donner une fréquence moyenne de marche humaine à 2 Hz environ. Nous voulons, ensuite en toute logique, comparer la fréquence de nos pas avec la fréquence naturelle d'oscillation du café dans une tasse tenue par la main quand on marche. Cependant, Il nous a fallu trouver un moyen pour filmer au mieux, les oscillations du café au plus près de la tasse. C'est ici qu'entre en scène notre manchon réalisé et pensé par nous-mêmes. Il nous permet d'y fixer la caméra de notre portable jusqu'au niveau du poignet pour ne filmer que les oscillations du café. Une première réalité s'impose, il nous faut environ 12 à 14 pas avant d'obtenir un premier débordement. Le traitement de nos vidéos, nous révèle que le café se met à osciller de plus en plus et déborde de la tasse à plusieurs reprises, à partir de 3 Hz environ. Une première déduction s'impose : La fréquence de la marche humaine d'environ 2 Hz ne suffit donc pas à expliquer les ballottements et renversements du café. Le mouvement du corps et de la main porteuse doivent interférer sur les mouvements du liquide, et tous Les mouvements du marcheur vont amplifier la perturbation initiale jusqu'à faire déborder le café de la tasse. Deuxièmement, si la fréquence d'entraînement intensifie l'amplitude des ballottements pour atteindre un maximum et provoque le débordement du café, cela montre que le café, système oscillant, entre en résonance avec l'excitateur, ici la tasse portée par la main. La résonance est donc une des clés nous permettant de faire la lumière sur phénomène de renversement du café lorsque l'on marche.

Nos essais nous démontrent que, pour un même volume de liquide, la structure du contenant accentue ou diminue l'amplitude des mouvements du café. La quantité de liquide n'est sans doute pas la seule responsable du déversement du café provoqué par la résonnance. Un dispositif expérimental va nous permettre de déterminer plus précisément les fréquences de résonnance selon le contenant. On établit clairement que plus le diamètre de la surface libre du liquide est grand, plus la première fréquence de résonnance, appelée fondamentale est petite. Notre courbe d'étalonnage nous permet ainsi de prévoir la fondamentale d'un contenant x.

Si je tiens ma tasse de café à la main, si je marche avec une fréquence moyenne de pas de 2 Hz, je peux observer un renversement à partir d'une distance variable correspondant à 10 à 15 pas, en générant petit à petit une fréquence de résonance sur le couple d'oscillation tasse, café, de 3 Hz. Cette fondamentale correspond le mieux à la fréquence de la marche humaine. Si je veux déguster mon café dans un mug à angle plus abrupt, la valeur de la fondamentale variant selon la structure du contenant, et notamment son diamètre, ne provoquera pas de débordement.

Pour ne pas déborder, nous pouvons utiliser diverses méthodes, soit suspendre le plateau portant la tasse, jusqu'à faire faire un tour complet au plateau, c'est génial, soit créer une couche de mousse au-dessus du café, ou encore se déplacer en marche arrière tout en évitant la chute.

L'application de la méthode de la mousse, facile à réaliser car à partir d'une petite quantité de liquide on génère un volume de mousse assez conséquent qui donne la possibilité d'amortir le ballotement d'un liquide est intéressante dans les milieux industriels. Elle est utilisée dans diverses applications telles que le transport de gaz liquéfié dans des camions-citernes ou pour les propulseurs dans les moteurs de fusée. Nous envisagions d'aller plus avant dans l'étude de cette méthode, par l'étude de la structure de la mousse, de l'influence de son épaisseur et de son rôle d'amortisseur. Cependant le temps nous a manqué.

Notre travail d'équipe nous a permis, malgré les difficultés rencontrées, de réaliser toutes nos expériences. Démarré en septembre, il fut résumé en quarante minutes lors de notre présentation aux épreuves nationales des olympiades de physique de Lyon. Nous y obtenons un troisième prix : prix des organisateurs. Cette belle journée nous a permis de rencontrer et de discuter avec Hélène Fischer, physicienne chercheuse (prix Jean Perrin 2019) mais également de

découvrir la belle ville de Lyon. La préparation au concours Cgénial est un nouveau défi à relever et une nouvelle aventure à vivre. Toutes ces réalisations, expériences et rencontres ont su nous enrichir et nous grandir.

Remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidées à la réalisation de notre travail

- ✓ M Serge LEGROUX, proviseur du lycée Edouard Branly, Mme ANQUEZ, proviseure adjointe,
  Mme Sophie NEYRINCK, agent comptable, ainsi que l'ensemble de l'administration, pour nous avoir permis d'utiliser les locaux du lycée, et le matériel nécessaire pour notre projet.
- ✓ Les CPE ; Mme Khadra NEMICHE, Émeline LEMESLE du secrétariat scolaire.
- ✓ M. Sébastien Sourdeval responsable du personnel technique, les techniciens du magasin du lycée qui nous ont donné le matériel nécessaire et de précieux conseils pour leur aide constructive.
- ✓ M Arnaud LEMAIRE, professeur de physique-chimie qui nous a encadré et fait découvrir les Olympiades. Nous le remercions pour sa disponibilité absolue et pour ses précieux conseils Responsable de notre équipe, Il nous a donné l'envie de persévérer, et de continuer toujours plus loin.
- ✓ Mme Marie Christine REMOND, technicienne de laboratoire qui nous a accompagnées tout au long du projet, encouragées mais a aussi supervisé notre projet. Son investissement, ses conseils, sa curiosité pour notre travail et pour son aide morale. Depuis le début elle a su nous encourager et nous motiver.
- ✓ Aux agents d'entretien qui ont nettoyé à chaque passage de nos activités et permis d'avoir des salles propres.
- ✓ Mme DEPERLECQUE Sophie professeur de français pour son aide apportée aux lectures correctives.
- ✓ M. Didier SORET, professeur de mathématiques du lycée E. BRANLY, toujours présent pour nous soutenir dans la bonne humeur chaque mercredi après-midi, pour ses nombreux coups de pouce en mathématique.
- ✓ M. Olivier BURIDANT, professeur de physique au lycée E. BRANLY, initiateur de l'aventure et de la belle histoire du concours C Génial et des olympiades de physique au lycée BRANLY, qui accompagnait chaque mercredi toutes les équipes. merci pour ses précieuses remarques et ses conseils avisés.
- ✓ Le personnel de laboratoire pour l'organisation des séances.
- ✓ Les Établissements PROQUA, pour leur accueil chaleureux dans leur entreprise et la qualité de leurs informations.
- ✓ Nos camarades de préparation au concours CGénial, qui ont vécu avec nous des mercredis après-midi constructifs et inoubliables, merci pour leurs remarques, leurs questions et leurs idées.
- ✓ Nos familles qui ont suivi nos travaux et nos avancées dans le projet, qui nous ont soutenues.
- ✓ Aux élèves de STL, merci d'avoir été nos premiers spectateurs.
- ✓ Merci à tous ceux qui ont rendu possible, depuis le commencement, l'aventure du concours CGénial et qui le renouvellent chaque année.

C Génial vu par Lise Duhamel, Terminale STL - SPCL

Mon professeur de sciences-physiques, M Lemaire, ainsi que la technicienne de laboratoire Marie Rémond, ont commencé à nous parler de différents concours C Génial et des Olympiades de Physique en fin de première. Avec mes amies Océane, Oxana et Jeanne, je n'ai pas hésité à former un groupe pour participer à ces deux concours. Nous nous connaissons toutes depuis la seconde et avons déjà l'habitude de travailler ensemble. Dès le mois de juin nous nous rendons aux établissements « Proqua », torréfacteur près de Boulogne-sur-Mer. J'ai découvert qu'il existe une multitude de café ainsi que l'univers de la torréfaction. Notre projet porte sur l'étude d'un phénomène courant : Pourquoi le café déborde de la tasse quand on marche ? Dès septembre nous nous retrouvons, avec plaisir, tous les mercredis après-midi. La cohésion de l'équipe est très forte, nous connaissons de grands moments de rire et de complicité. Je suis agréablement surprise de travailler à notre projet d'une façon différente du cadre scolaire. Nous prenons des initiatives et gérons nos expériences. Le choix de mon option Sciences de laboratoire (SL) en seconde m'est très utile, il me permet d'être plus à l'aise pour la mise en place des montages et expériences. Le travail à fournir est important, et rédiger le compte rendu demande aussi beaucoup de temps. Nous devons souvent répéter nos essais, afin de fournir un travail correct. Toutes ces activités m'obligent à développer et à acquérir de nouvelles connaissances. L'expérience de notre présentation à Tourcoing, a été pour moi un moment riche en émotions. Nous avons d'abord découvert notre salle de passage, puis il a fallu réfléchir à la disposition de notre matériel régler tous les détails de dernière minute. Enfin, après avoir eu juste le temps d'une dernière petite répétition, nous nous sommes très vite retrouvées face à notre jury. Après quelques secondes d'appréhension et de léger stress, j'ai eu le plaisir de présenter notre projet sur lequel nous travaillions depuis septembre. Apprendre ensuite notre sélection pour les nationales de Lyon, c'était incroyable ! une immense joie pour toute l'équipe et une belle récompense pour notre travail. Il nous faut à présent poursuivre nos efforts et relever le défi épreuves du concours C génial. Ma participation et la préparation à C génial m'apporte énormément, C'est une expérience inoubliable, une aventure qui me permet de beaucoup apprendre dans le domaine scientifique et humain.je conseille aux élèves de s'y investir sans hésiter.

C Génial vu par Océane Flamant Terminale STL - SPCL

Je suis élève de terminale Sciences et Techniques de Laboratoire (STL), spécialité Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire (SPCL), au lycée Édouard Branly de Boulogne-sur-Mer. J'ai choisi cette section car j'aime réaliser des manipulations et montages scientifiques. Durant mon année de seconde, j'ai choisi l'option Sciences de laboratoire (SL) afin de faire davantage de TP et expériences. Aussi quand mon professeur de sciences physiques M Lemaire et Marie Remond la technicienne de laboratoire m'ont proposé de participer différents concours C Génial et des Olympiades de Physique, j'ai dit oui, c'était une évidence. Avec Lise, Jeanne, Oxana et moi-même, nous avons rapidement créé notre groupe et choisi de travailler sur le café, ou plus précisément, sur la question du café qui déborde de la tasse lorsque l'on marche. J'apprends à formuler des hypothèses sans l'aide d'un professeur. Nous filmons nous-mêmes nos scènes vidéo et les analysons via le logiciel de pointage Tracker©. C'est très intéressant. Nous analysons nous-mêmes nos différents tests et mesures. Nous mettons au point des méthodes pour éviter les débordements du café de la tasse. Tout cela m'a énormément apporté au niveau de l'apprentissage du travail d'équipe. Notre travail réunit à la fois la pratique et la réflexion, me permet de développer ma curiosité et d'améliorer mon oral. Toutes nos après-midis de travail se trouvent résumées en 40 minutes de présentation orale face à notre jury de Lyon lors de la finale ODP nationale. L'appréhension du passage oral devant nos juges, l'attente stressante des résultats et, finalement, la joie d'être sélectionnées, ont fait de cette journée, une journée incroyable. Á ce jour, C génial m'entraine dans une très belle aventure scientifique, qui me fait progresser en sciences, me fait gagner en maturité. Tout élève devrait la tenter, ne serait-ce que pour connaître la joie de travailler ensemble sur un projet, s'engager dans le concours C Génial, et elles permettent aussi de rencontrer des gens très sympathiques.

CGénial vu par Oxana Gournay Terminale STL-SPCL

J'ai entendu parler de différents concours C Génial et des Olympiades de Physique dès la fin de première. Notre professeur de sciences M Lemaire, ainsi que Marie Rémond la technicienne, nous ont proposé de participer aux différents concours. Même si cela restait vague pour moi, je décidais rapidement de m'inscrire avec Lise, Jeanne et Océane. Notre groupe s'est formé naturellement, nous nous connaissions depuis la seconde. Nous voulions nous lancer dans un projet concret, savoir pourquoi le café déborde de la tasse quand on marche et comment l'éviter. Réaliser nos propres vidéos, les analyser ensuite avec le logiciel Tracker©, émettre des opinions et décider par nous-mêmes de l'évolution de notre travail, tout cela est très stimulant. Venir travailler les mercredis après-midi, en plus des cours devient un réel plaisir ! Une belle ambiance s'installe très vite avec tous les groupes. J'apprends beaucoup et je me rends compte que l'étude sur un sujet, dont on ne sait rien ou pas grand-chose au début, demande du travail, de l'investissement et beaucoup d'initiatives. Mon projet professionnel est de devenir assistante vétérinaire, participer à C Génial me permet de gagner en assurance et d'acquérir de nouvelles connaissances très utiles pour mes futures études. De plus, notre projet sur le café intéresse l'environnement familial et nos professeurs. On suit autour de nous l'évolution de notre travail, c'est très stimulant. Nous avons préparé l'oral de présentation de notre sujet au lycée, dans une ambiance détendue, avec souvent, beaucoup d'éclats de rire. C'était un moment génial pour toute l'équipe, M Lemaire et Marie. Ma participation à C Génial m'apporte énormément. Cette expérience restera sans aucun doute un très bon souvenir et je conseille aux élèves intéressés par les sciences de s'y lancer.

C Génial vu par Jeanne Hagneré Terminale STL-SPCL

Je suis élève de terminale Sciences et Techniques de Laboratoire (STL), spécialité Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire (SPCL), au lycée Édouard Branly de Boulogne-sur-Mer. J'ai entendu parler pour la première fois de C Génial par notre professeur de physique-chimie, M Lemaire et par la Technicienne de laboratoire, Marie Rémond, l'an dernier en première. Avec des amies de classe Lise, Océane, Oxana et moi-même, nous avons décidé de nous lancer dans un projet et de créer un groupe. Le choix du sujet se fait très vite et nous cherchons à savoir pourquoi le café déborde de la tasse quand on marche et comment l'éviter. Nous avons eu souvent la possibilité de discuter, en intercours, avec d'anciens participants et d'écouter leurs conseils, ce qui nous a beaucoup aidées. J'ai été surprise de découvrir que la préparation de C Génial sort du cadre scolaire classique. J'ai pu aborder l'expérimentation d'une toute autre façon, prendre des initiatives et décider en collaboration avec mon équipe des choix de manipulations. En seconde j'avais fait le choix de l'option Sciences de laboratoire (SL), cela m'a également permis d'être plus à l'aise en manipulations. La famille proche s'intéresse à notre projet, pose souvent des questions sur son évolution. C'est très stimulant pour nous de voir l'intérêt porté à notre travail. Courant juin, nous avons visité l'entreprise de torréfaction Proqua à quelques kilomètres de Boulogne-sur-Mer, c'était génial ! J'ai beaucoup appris sur la torréfaction et le café en général. Ma participation et mon investissement me permettent de développer ma curiosité et ma réflexion scientifique. Devoir s'investir dans la rédaction d'un rapport écrit peut sembler difficile, mais c'est une activité très enrichissante. Mon objectif est de réussir à être sélectionnée, avec mon groupe, à la finale et de pouvoir y présenter notre beau projet. Je conseille aux élèves de venir nous voir travailler le mercredi après-midi et de vouloir, comme nous, rejoindre C Génial.

Visite des établissements PROQUA, Torréfacteur

Jeanne Hagneré , Lise Duhamel, Oxana gournay

Accompagnants : Lemaire Arnaud, Remond Marie-Christine

Nous avons eu l'opportunité de visiter les ateliers de torréfaction «Proqua», torréfacteur de la côte d'opale, installé à Saint-Martin-les-Boulogne, à seulement quelques kilomètres de notre lycée.

M David Serruys, gérant Proqua, nous accueille dans cette entreprise où le café est torréfié depuis 70 ans. Elle a subi quelques difficultés, notamment lors de la dernière crise sanitaire, mais elle est toujours debout. Tout en dégustant un petit noir, différents sujets sont abordés. Il nous apprend qu'il existe environ 23 millions de producteurs de café à travers le monde et tout autant de terroirs, que la France compte environ 800 torréfacteurs, et qu'il n'existe pas moins de 800 arômes subtils dans le café, que la torréfaction vient cependant gommer.

Il nous explique aussi que d'une façon générale, le type de torréfaction est lié à la région.

Plus on se rapproche des pays nordiques, plus la torréfaction est légère, claire et acidulée. Plus on s'oriente vers le sud, les pays de Maghreb… plus la torréfaction est foncée, avec des notes plus amères. Toute la difficulté du torréfacteur, est de trouver le goût qui plaît par rapport à la région. Il faut toujours s'adapter au marché et à la demande. Savoir trouver l'équilibre entre l'acidité et l'amertume, en France on préfère un café équilibré.

Chez Proqua, les cafés issus de petits et moyens producteurs, sont des cafés de spécialités de note supérieure à 80 où grands crus. L'entreprise travaille sur 16 cafés de pure origine et réalise 5 assemblages (assemblage de cafés de pure origine). Il nous apprend que les assemblages sont aussi la signature du torréfacteur.

Nous rencontrons ensuite, Ludovic Muselet, ancien ouvrier du bâtiment, maître d'œuvre de la torréfaction aux établissements Proqua depuis 2018.

Ludovic sait maintenant reconnaitre facilement au premier coup d'œil l'origine des cafés selon leur « Process ». Process nature, lavé… il nous raconte son nouveau métier.

Le but de la torréfaction est de cuire les grains de café pour en faire ressortir la couleur et surtout les arômes désirés. A l'origine le grain de café est de couleur verte et peut se manger comme un fruit sec… nous nous empressons d'en goûter, les réactions sont diverses comme les goûts de chacun.

Ludovic nous explique que tout se fait à la vue à l'odorat et à l'habitude.

Il torréfie environ 55 kg de café, à la fois, dans un brûleur préchauffé. Il est important que la température à l'intérieur du brûleur soit partout la même.

1ére étape : la phase de séchage, on monte petit à petit la température du brûleur pour atteindre le point de balance ou température de stabilisation (même température entre le brûleur et les fèves), jusqu'à 155°C environ, la fève va petit à petit perdre son humidité.

2ème étape : la phase Maillard, les grains commencent à changer de couleur. On arrive au stade du point jaune, à la couleur jaune du grain la réaction de Maillard démarre. Les sucres présents dans les grains commencent à caraméliser et lentement, les arômes se libèrent.

3ème étape : la phase de développement, on entend un premier « Flop », fort bruit provenant de l'intérieur du brûleur, qui signifie qu'il y a énormément de pression. L'eau provenant des fèves se transforme en vapeur et cherche à sortir du brûleur. Le développement de la cuisson se poursuit jusqu'au degré de torréfaction voulu afin de déterminer le profil aromatique du café. Différents niveaux de torréfaction, pour un même café, donneront des goûts différents. On peut aussi entendre un deuxième « Flop », qui correspond au bruit des poches d'huile qui explosent. En fin de cuisson le café est à plus de 200°C.

Une petite lucarne nous permet de voir l'intérieur du brûleur et ainsi d'observer la modification la plus manifeste, le changement de couleur des fèves, elles passent du vert au brun. Ludovic nous prélève de petits échantillons à chaque étape importante de la torréfaction.

Quand il juge la torréfaction à son terme, il libère le café dans une grande cuve de refroidissement. Le

brassage à l'air libre permet de stopper la cuisson des fèves hors du brûleur. C'est alors pour nous un réel plaisir de respirer les arômes du café. Tous les composés aromatiques libérés par la torréfaction nous chatouillent les narines. La réaction de Maillard, et ses modifications chimiques provoquées par la chaleur nous enchantent.

Nous remarquons également une modification importante de la taille des grains de café, ils ont doublé de volume avec la chaleur, les glucides présents dans les fèves se décomposent, libèrent du gaz carbonique en provoquant le gonflement des grains.

Les fèves ont perdu environ 20 % d'eau, 55 kg de café vert donneront environ 46 kg de café brun.

Une torréfaction poussée libère quelques huiles superficielles, ce qui donne un café brun huileux.

Ludovic sait qu'il a une grande responsabilité car en quelques minutes (15 à 20 minutes environ), les fèves qui ont coûté du temps, de l'énergie et de l'argent à de nombreuses personnes, peuvent être détruites.

Notre visite se termine par l'observation des différents niveaux de couleur des grains à chaque étape de la torréfaction. Un colorimètre nous donne une réelle idée du niveau de torréfaction et permet de définir son évolution.

Observations

- Un café Robusta est plus riche en caféine qu'un café arabica.
- Le goût d'un café Robusta est plus fort en bouche, qu'un café arabica
- Une pellicule se détache des fèves pendant la cuisson, elles sont récupérées et valorisées. Très chargées en azote, apport pour enrichir les cultures maraichères.
- Selon la règle européenne, Le café ne doit pas dépasser 11 % d'humidité
- Les fèves vertes sont des graines, plantées elles donneront un futur caféier. Une fève torréfiée ayant atteint le point jaune, ne pourra plus être planté. À l'origine les producteurs de café (yéménites) protégeaient leur monopole de production de café par ce principe.

.

tasse
plus
essnou
fréquences
bécher
une
prog
essais
d'oscillation
phénomène
fréquence
résonance
supérieur
oscillations
mesurés
manchon
nos
café
mouvements
d'une
contenant
pageer