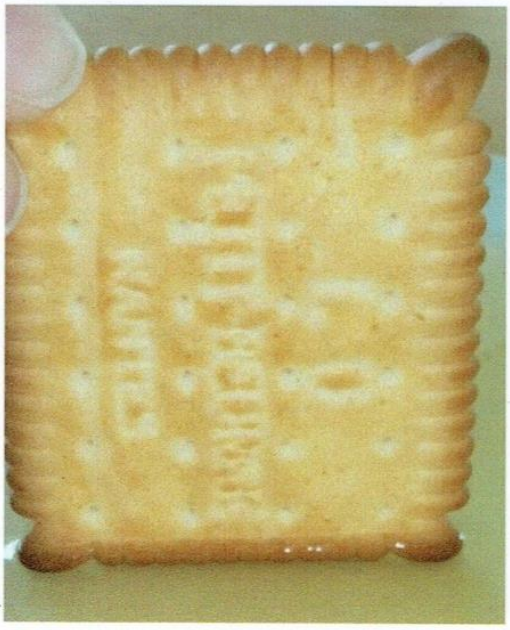
Concours CGénial 2018

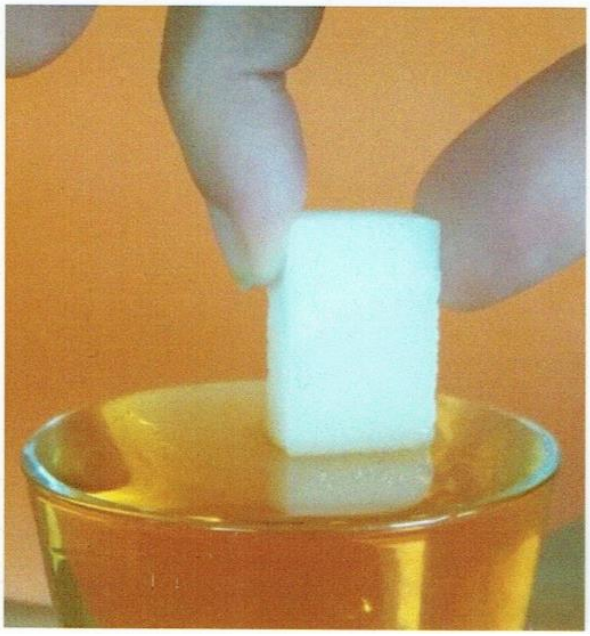
Lycée JJ Henner, ALTKIRCH

PAUSE CAFE

ET

PETIT BEURRE D'ALSACE





Margot GEBEL, Laura MULLER, Léa CHRISTEN

https://youtu.be/8v6iLEmxFGs

Résumé :

Le phénomène d'imprégnation d'un solide poreux par un liquide est un sujet d'actualité, et se retrouve dans de nombreuses situations (industries alimentaires, pharmaceutiques ou textile, impression papier, bâtiment, etc…).

Notre travail consiste à étudier les conditions optimales pour tremper un biscuit sucré dans une boisson chaude (thé, café), sucrée ou non.

Nous avons alors tenté de répondre aux deux questions suivantes : **comment le thé pénètre-t-il dans un biscuit ? Comment peut-on optimiser le processus de fabrication du biscuit afin de maîtriser la texture, le goût et la tenue dans le thé ?**

PLAN

Introduction

A. Compétition capillarité/gravité
   1) Mise en évidence
   2) Longueur capillaire pour le thé
      a) Mesure du coefficient de tension superficielle
      b) Mesure de la masse volumique
      c) Longueur capillaire
      d) Influence de la température et du sucre
B. Une méthode optimale de trempage ?
   1) Durée de trempage maximale
   2) Tous égaux ?
   3) Influence de l'angle d'attaque
C. Avec ou sans sucre ?
D. Etude du phénomène d'imprégnation
   1) Milieu « modèle » à 1 dimension
      a) Etude statique
      b) Etude dynamique
   2) Milieu formé de fibres
   3) Dans l'intimité d'un « Petit Beurre d'Alsace »
E. Travaux en cours !
   1) Influence du processus de fabrication
   2) Automatisation du trempage des biscuits

Conclusion

Introduction

Notre travail a démarré en septembre 2016, au cours d'une séance de TPE (Travaux Personnels Encadrés). Nous étions alors en 1èreS.

L'idée d'étudier le phénomène d'imprégnation d'un gâteau par un liquide est venue après la lecture d'un extrait du roman « A la recherche du temps perdu », de Marcel Proust ***(voir annexe 1).***

Nous souhaitions étudier cette sensation nostalgique provoquée par une odeur, une couleur ou un lieu, que l'on appelle « la Madeleine de Proust ».

Au Royaume-Uni, l'Afternoon Tea est une véritable institution et, depuis quelques années, cet agréable moment est très prisé en France.

Les anglais organisent régulièrement des « Biscuit dunking challenge » afin de déterminer le biscuit idéal à tremper.

On peut remarquer que, lorsqu'on trempe un biscuit dans le thé ou le café chaud, il se ramollit (le thé pénètre dans le biscuit)…et il se disloque si on le laisse trop longtemps !

Nous avons alors cherché à répondre aux deux questions suivantes :

-Comment le thé chaud pénètre-t-il dans le biscuit ?

-Comment peut-on optimiser le processus de fabrication du biscuit afin de maîtriser la texture, le goût et la tenue dans le thé ?

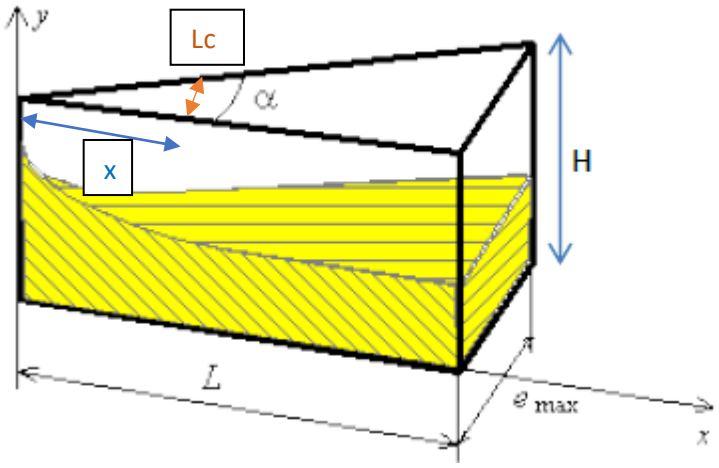
A. Compétition capillarité/gravité

1) Mise en évidence

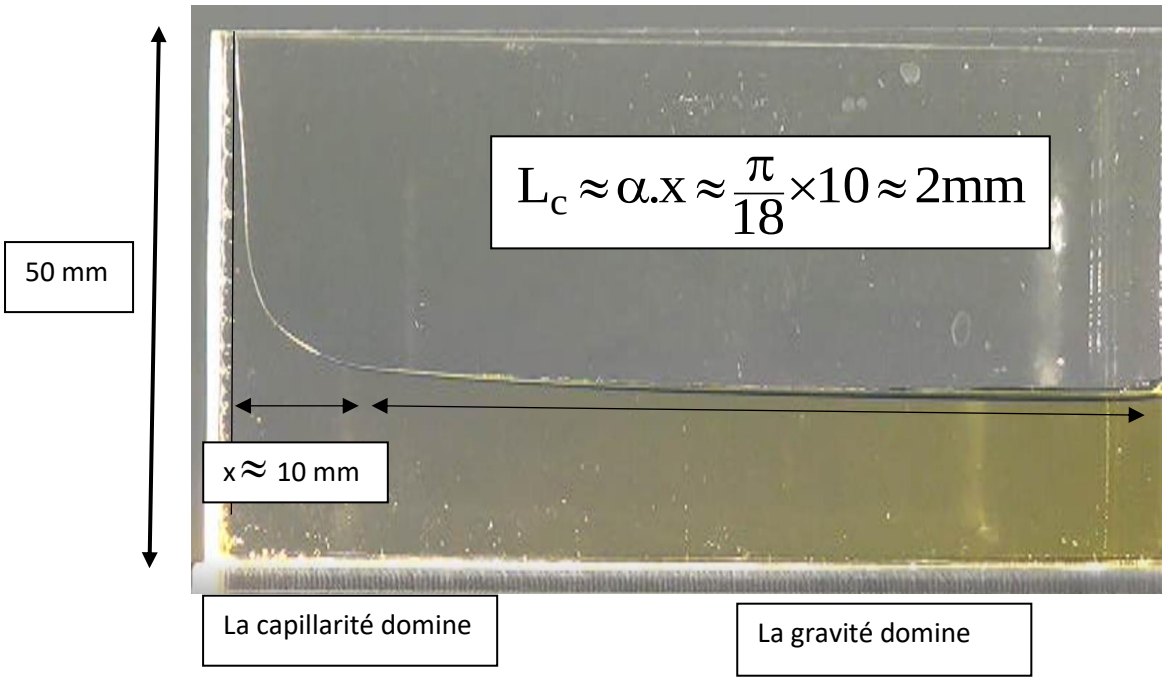
Lorsqu'on verse du thé dans une burette graduée, on peut observer que la surface du liquide est courbée (ménisque) : à proximité de la paroi, c'est comme si les molécules d'eau se collaient à la paroi.

Cette remontée du liquide est due à des forces de tension superficielles, ou forces capillaires.

Il existe une échelle de longueur en-dessous de laquelle la capillarité l'emporte sur la gravité. Cette longueur, noté L_C , est appelée longueur capillaire.



Au lycée, nous avons trouvé une cuve formée de 2 parois planes et séparées d'un angle faible (10°). Si on verse du thé à l'intérieur, on peut effectivement observer deux zones bien distinctes.



2) Longueur capillaire pour le thé

On peut montrer de différentes manières (méthode énergétique, analyse dimensionnelle) l'expression suivante de la longueur capillaire :

$$L_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho \times g}}$$

avec γ : coefficient de tension superficielle du liquide (en N/m)

ρ : masse volumique du liquide (en kg/m^3)

g : intensité de la pesanteur (9,81 m/s^2)

a) Mesure du coefficient de tension superficielle du thé

Nous avons utilisé la méthode d'arrachement de Lecomte de Noüy.

Un anneau métallique (rayon r = 3,0cm) , accroché à un dynamomètre, est immergé dans le thé. Pour arracher l'anneau du thé, il faut vaincre les forces de tension superficielle d'intensité

$F_\gamma = 4.\pi.r.\gamma$.

Grâce au dynamomètre, on a relevé la valeur F de la force d'arrachement lorsque l'anneau se sépare du liquide. L'expérience a été répétée 10 fois.

D'après la littérature, la valeur de γ dépend de la température. Nous avons donc réalisé l'expérience avec du thé à la température de « dégustation », soit à 50°C.

Lors de l'arrachement, la force F exercée par le dynamomètre compense la force de tension superficielle F_γ et le poids P de l'anneau.

On peut en déduire : $\gamma = \dfrac{F - m.g}{4.\pi.r}$ (m = 5,25g = masse de l'anneau métallique + fil + anneau d'accrochage).

Mesures :

F (N)	0,070	0,069	0,070	0,071	0,070
F-m.g (N)	0,018	0,017	0,018	0,019	0,018
γ (mN/m)	48	45	48	50	48

F (N)	0,070	0,069	0,071	0,070	0,071
F-m.g (N)	0,018	0,017	0,019	0,018	0,019
γ (mN/m)	48	45	50	48	50

Moyenne : $\gamma_m = 48 mN/m$

Incertitude de répétabilité (loi de Student) :

$$U(\gamma) = k.\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = 2,26 \times \frac{1,83}{\sqrt{10}} = 2 mN/m$$

BILAN : coefficient de tension superficielle du thé à 50°C

$$\gamma = (48 \pm 2) mN/m$$

b) Mesure de la masse volumique du thé

On a mesuré la masse m d'un volume précis V de thé (mesure unique).

V = (100,0 ± 0,1) mL (volume prélevé dans une fiole jaugée de 100,0 mL)

m = (99,3 ± 0,1)g (mesuré avec une balance de précision)

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{99,3}{100} = 0,993 g/mL = 993 kg/m^3$$

Incertitude sur une mesure unique :

$$U(\rho) = \rho.\sqrt{((\frac{U(m)}{m})^2 + (\frac{U(V)}{V})^2)} = 993 \times \sqrt{(\frac{0,1}{100})^2 + (\frac{0,1}{99,3})^2} = 2kg/m^3$$

BILAN : masse volumique du thé à 50°C

$$\rho = (993 \pm 2)kg/m^3$$

c) Longueur capillaire pour le thé

$$L_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho \times g}}$$

$$L_c = \sqrt{\frac{0,048}{993 \times 9,81}} = 0,0022m = 2,2mm$$

$U(L_c) = 0,1mm$ (grâce au logiciel GUM)

BILAN : longueur capillaire pour le thé à 50°C $L_c = (2,2 \pm 0,1)mm$

Soit r la dimension caractéristique (rayon) d'un pore dans un solide poreux.

Si r < L_c , la capillarité prédomine

Si r > L_c , c'est la gravité qui prédomine

d) Influence de la température et du sucre

Nous avons reproduit l'expérience précédente en modifiant successivement deux paramètres : la température, puis la concentration massique en sucre dans le thé. Après exploitation des résultats ***(voir annexe 2),*** nous pouvons en déduire que la valeur de la longueur capillaire reste sensiblement la même lorsque nous faisons varier la température du thé de 30 à 70°C et la concentration massique en sucre de 0 à 600 g/L.

B. Une méthode optimale de trempage ?

A partir de l'étude précédente, on peut donc penser que si le biscuit s'imprègne de thé, c'est qu'il est constitué de pores de dimensions inférieures à la longueur capillaire, soit 2,2mm.

Avant d'étudier le phénomène d'ascension capillaire (partie D), on souhaitait vérifier s'il pouvait exister des conditions optimales de trempage d'un biscuit dans le thé.

1) Durée de trempage maximale

Selon nous, l'imprégnation par le thé doit être juste suffisante pour libérer toute la saveur du biscuit mélangé au thé, sans qu'il s'effondre à mi-chemin entre la tasse et la bouche.

Or, le liquide chaud va dissoudre le sucre contenu dans le biscuit. Il est donc nécessaire de ne pas le tremper trop longtemps.

Protocole expérimental :

-on trempe la moitié d'un biscuit (petit beurre d'Alsace, de marque Albisser®) à la verticale dans un bain thermostaté rempli de thé à la température T = 30 °C

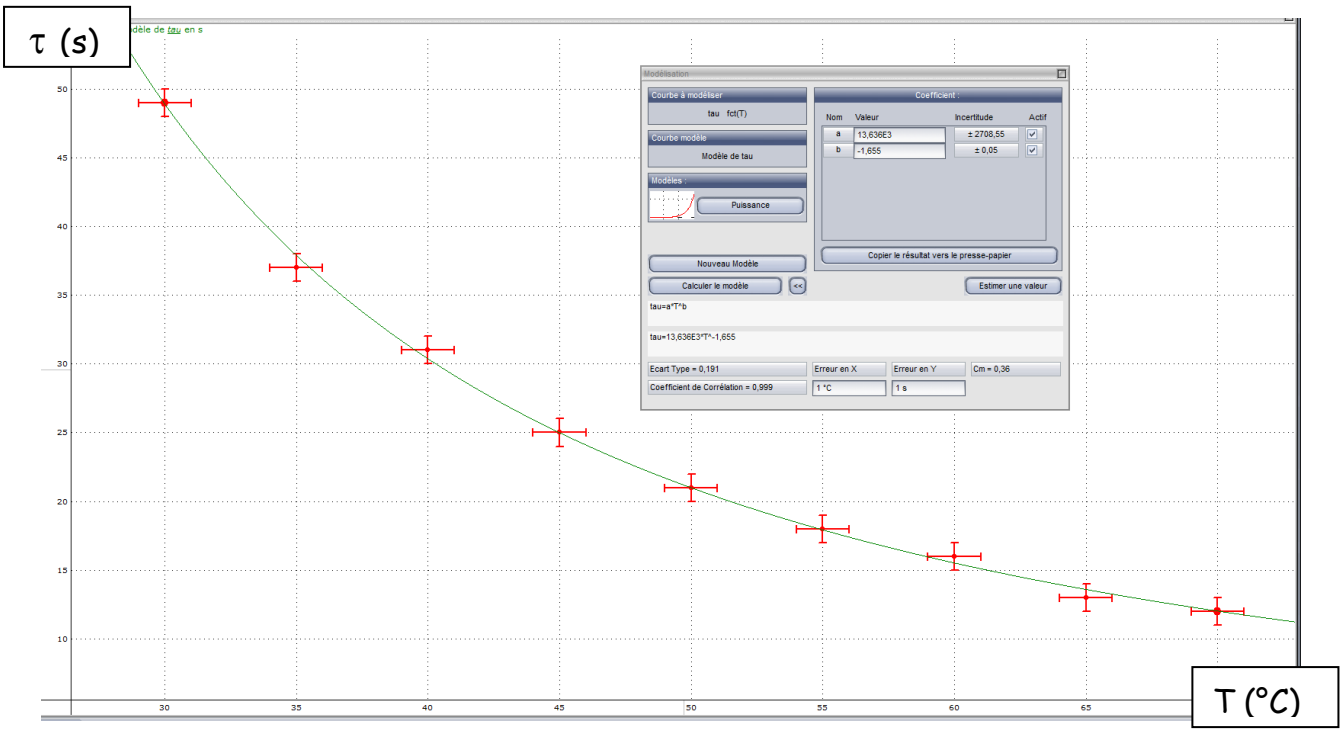
-on détermine la durée moyenne τ nécessaire pour atteindre la dislocation du gâteau (en répétant 10 fois la mesure)

-on recommence, en augmentant la température, de 5°C en 5°C.

Mesures :

T (°C)	30	35	40	45	50	55
τ (s)	49	37	32	25	21	18

-on trace la courbe d'étalonnage $\tau = f(T)$



BILAN : Le biscuit se casse d'autant plus vite que le thé est chaud.

A 50°C (température qui nous semble « idéale » pour la dégustation), pour un trempage vertical, le biscuit se brise au bout d'environ 20 secondes.

2) Tous égaux ?

Au petit déjeuner, Laura préfère manger des sablés enrobés d'une couche de chocolat, de marque Granola®.

Les biscuits sont comme des matériaux composites : ces derniers peuvent être renforcés par l'application d'un revêtement qui prévient la formation de fissures : la couche de chocolat aurait-elle une influence sur la solidité du biscuit imprégné de thé ?

Les biscuits sucrés ont-ils la même « résistance » au trempage ?

Nous avons testé différents gâteaux sucrés du commerce, en reproduisant l'expérience précédente de trempage à 50°C.

<u>Résultats (valeurs moyennes sur 10 mesures)</u> :

référence	LU thé	PRINCE chocolat	GRANOLA original	OREO Thin	OREO Original	Petit beurre d'Alsace
τ (s)	6 ± 2	8 ± 2	11 ± 3	14 ± 2	17 ± 3	21 ± 2

On peut remarquer que les durées de dislocation varient du simple au triple.

La triple couche des biscuits OREO semble leur conférer une plus grande résistance.

Le biscuit qui se disloque le moins rapidement est le Petit Beurre d'Alsace.

Suite à la visite de la biscuiterie artisanale ALBISSER ***(voir annexe 6)***, nous avons pensé qu'il était plus judicieux de concentrer nos recherches sur un seul type de biscuit : le « Petit Beurre ».

Il y a en effet 3 catégories de biscuits :

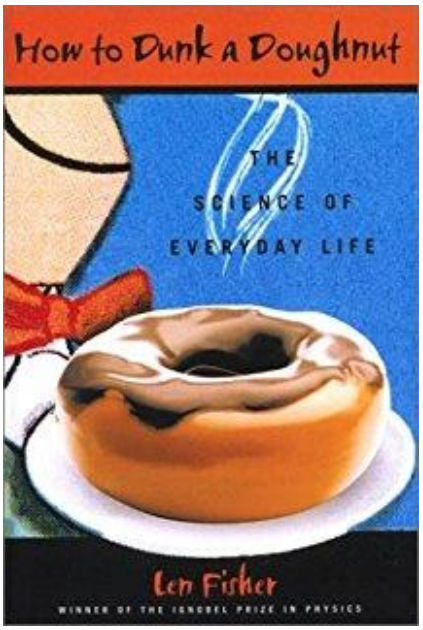
Biscuits riches en
- Sucres lents, et faibles en graisses et en sucres rapides (sablés, Petit Beurre)
- Sucres rapides, et faibles en graisses (biscuits nappés ou fourrés à la confiture de fruits)
- Sucres rapides ET en matières grasses (biscuits fourrés au chocolat, cookies)

Nous avons alors acheté différents « Petits Beurre » dans le commerce.

Référence	Durée nécessaire pour la dislocation (en s)
LU Véritable Petit Beurre	8
Petit Beurre d'Alsace Albisser	21
Petit Beurre, marque U	6
Petit Beurre bio , Marque U bio	13
Petit Beurre, marque Schär sans gluten, sans blé	17
Petit Brun Extra	5

Malgré une composition quasi-identique « sur le papier » (74% de farine de blé, 14% de beurre, 12% de sucre), les résultats sont très différents. On peut supposer que la qualité des matières premières est responsable de cet observation. Nous y reviendrons ultérieurement.

3) Influence de l'angle d'attaque



Jusqu'à présent, nous avions toujours trempé les biscuits perpendiculairement à la surface du thé (angle de 90°). D'après le scientifique Len Fisher (livre « How to Dunk a Doughnut »), il faut tremper son doughnut dans le thé à incidence rasante avec la surface de ce dernier. Pour différents angles (environ 90°, 45° et 20°), nous avons trempé le Petit beurre d'Alsace dans un thé à 50°…mais aucun résultat significatif n'était apparu ! C'est alors que Léa a proposé d'automatiser les mesures : même si nous ne doutions plus des qualités expérimentales de Laura, il était temps d'utiliser une méthode répétitive.

Comme nous sommes en train de finaliser le développement de notre automate, nous en parlerons à la fin du dossier, dans la partie E .

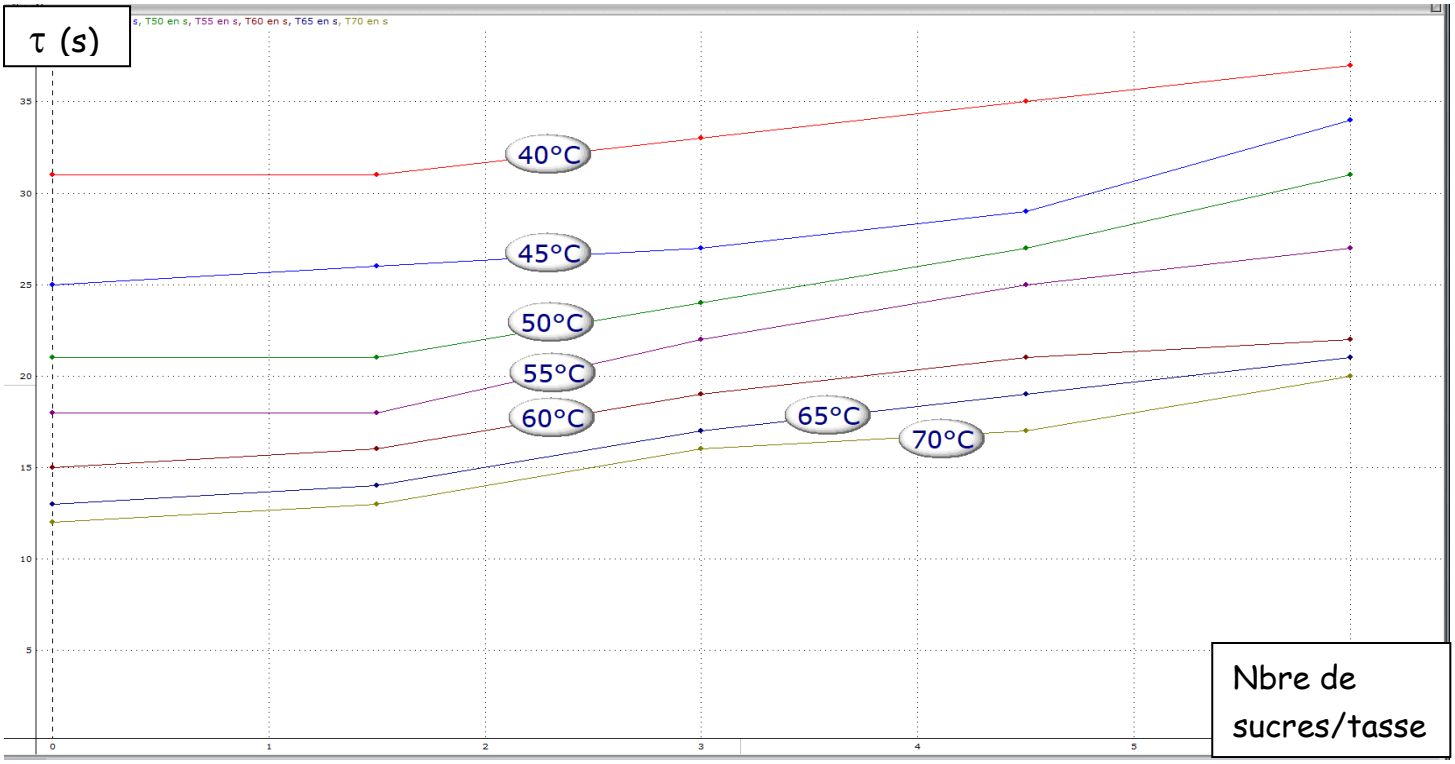
C. Avec ou sans sucre ?

Pour les expériences précédentes, nous avons toujours utilisé un thé non sucré. Suite au concours régional, nous avons décidé de suivre les conseils du jury en étudiant l'influence de la concentration massique en sucre dans le thé sur la durée de dislocation du biscuit.

La contenance d'une tasse de thé est d'environ 250 mL, et nous avons décidé d'ajouter entre 0 et…6 morceaux de sucre de 5g (ce n'est pas pire que boire une canette de Coca-Cola). Nous en avons déduit la masse de sucre à placer dans le bain thermostaté de 2,4L.

Nbre de morceaux de sucre dans une tasse (250 mL)	0	1,5	3	4,5	6
$C_{massique}$ (g/L)	0	30	60	90	120
Masse de sucre dans 2,4L de thé	0	72	144	216	288

Pour différentes températures (de 40 à 70°C), et pour du thé plus ou moins sucré, nous avons déterminé la durée nécessaire pour la dislocation du Petit Beurre Albisser . Dans chaque cas, nous n'avons fait varier qu'un seul paramètre à la fois.



Analyse des résultats ***(voir annexe 3)*** :

-température fixée : τ augmente lorsque le nombre de sucres augmente, et le nombre de sucres a davantage d'influence sur τ lorsque le thé est le plus chaud.

-nbre de sucres fixé : τ diminue lorsque la température du thé augmente, et la température a davantage d'influence sur τ lorsque le thé est le moins sucré.

D. Etude du phénomène d'imprégnation

Dans cette partie, nous avons souhaité étudier le phénomène d'imprégnation d'un solide poreux (le biscuit) par un liquide chaud (le thé), car nous pensons qu'un biscuit se disloque lorsque le sucre contenu dans celui-ci se dissout au contact du thé qui y pénètre par capillarité.

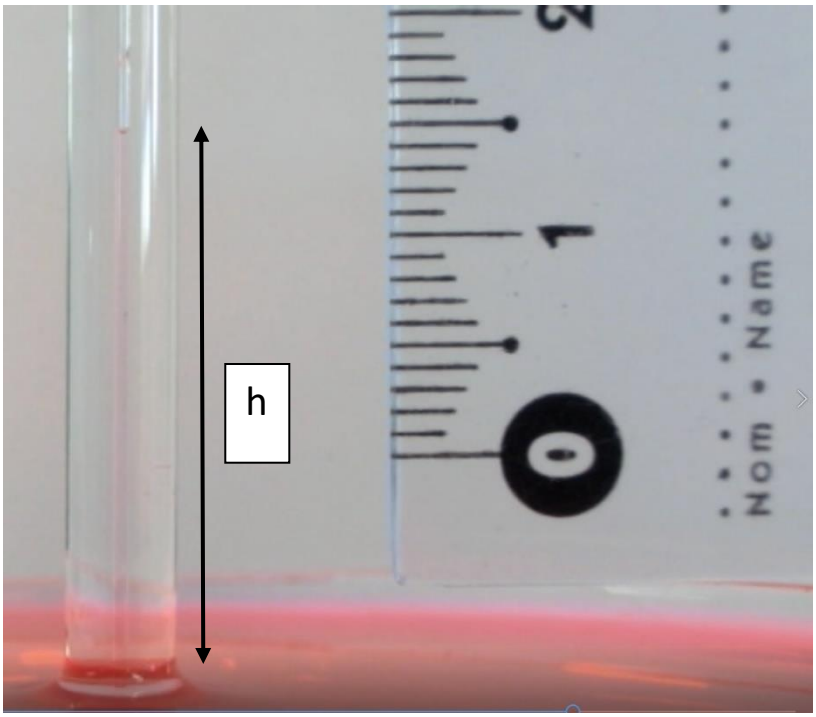
Le biscuit est un milieu poreux granulaire et composé de pores irréguliers. Ce domaine d'étude nous étant inconnu, nous avons privilégié une approche progressive, en démarrant par un milieu « modèle », formé de tubes capillaires de diamètres connus.

1) Milieu « modèle » à une dimension

a) Etude statique :

Nous disposons de 4 tubes capillaires en verre de diamètres d connus. Pour chacun de ces tubes, d est inférieur à la longueur capillaire du thé. Lorsqu'on plonge un tube de rayon r dans le thé, le liquide monte dans le tube jusqu'à une hauteur d'équilibre h, donnée par la loi de Jurin :

$$h = \frac{2\gamma}{\rho.g.r}$$



Ascension dans un tube de rayon intérieur r = 0,45mm

Remarques :

-le thé n'étant pas assez coloré pour la mise au point de l'appareil photo, nous avons utilisé un colorant alimentaire rouge

-pour que les mesures soient reproductibles, un nettoyage minutieux à l'éthanol est indispensable, suivi d'un séchage au sèche-cheveux.

Protocole expérimental :

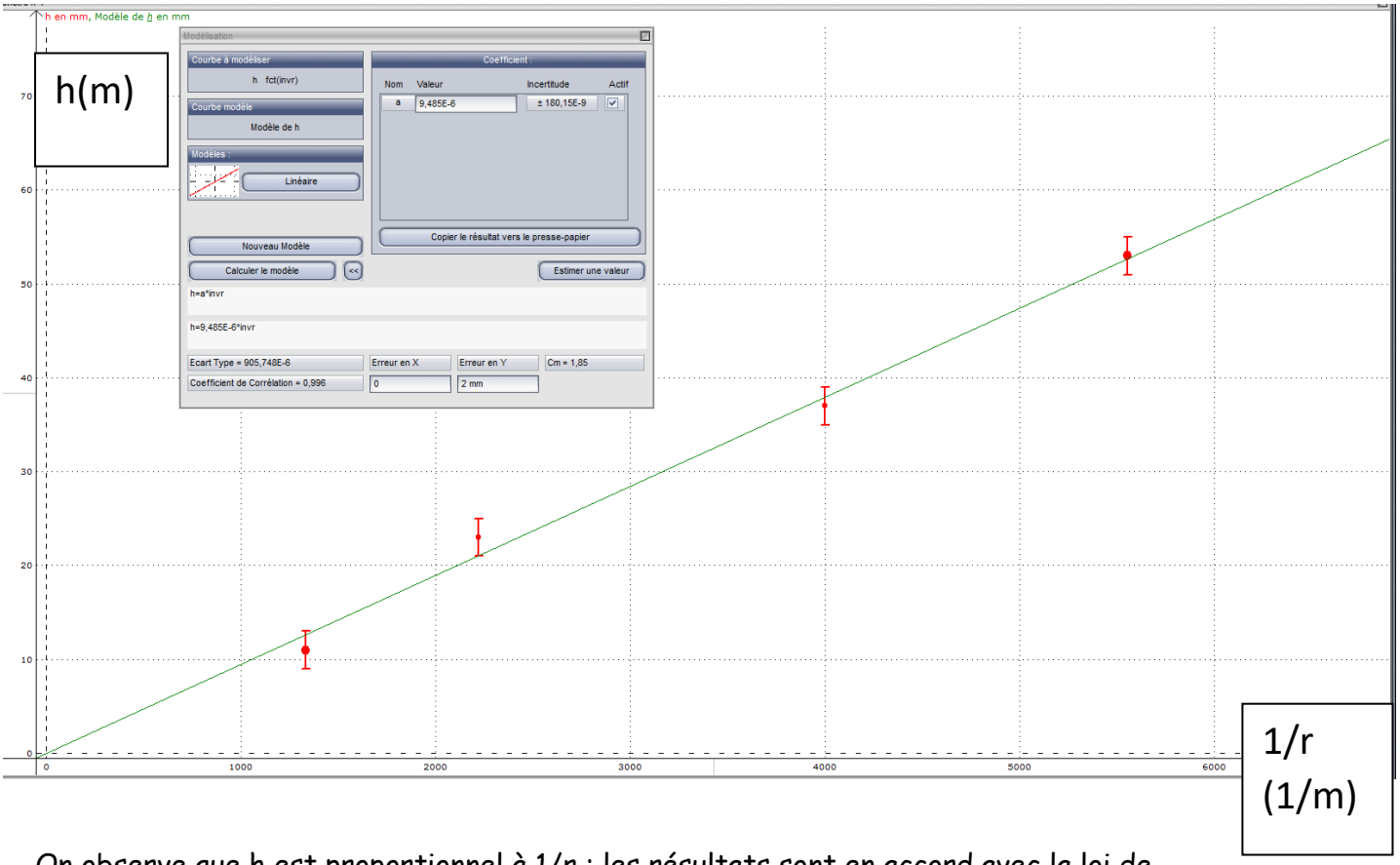
-on trempe chaque tube de rayon r connu dans du thé à 50°C

-on prend une photo et, avec le logiciel Mesurim, on en déduit la hauteur h d'équilibre.

Mesures :

d (mm)	1,5	0,90	0,50	0,36
r (mm)	0,75	0,45	0,25	0,18
h (mm)	11	23	37	53

Exploitation graphique : avec le tableur-grapheur Latis Pro, on trace h en fonction de 1/r



On observe que h est proportionnel à 1/r : les résultats sont en accord avec la loi de Jurin.

De plus, le coefficient directeur a de cette droite a pour valeur a = 9,485x10^{-6} m^2.

D'après la loi de Jurin, $a = \dfrac{2\gamma}{\rho.g}$, donc

$$\gamma = \frac{a.\rho.g}{2} = \frac{9,485\times10^{-6}\times993\times9,81}{2} = 0,046\,N/m = 46\,mN/m$$

Cette valeur est proche de celle trouvée par la méthode d'arrachement.

b) Etude dynamique

Dans un petit beurre d'Alsace, l'ascension capillaire se stabilise autour d'une hauteur h égale à 25mm. Nous avons donc décidé de filmer l'ascension du thé dans le tube de 0,45mm de rayon uniquement (hauteur d'équilibre h = 23mm).

Dans un premier temps, nous avons fait une étude théorique, en supposant que le capillaire est vertical, sec, et en contact avec un réservoir de liquide parfaitement mouillant ***(voir annexe 4)*** .

On a démontré que la hauteur d'ascension s'écrit : $z_{(t)} = \sqrt{\dfrac{\gamma.r}{2\eta}}\times\sqrt{t} = k\times\sqrt{t}$

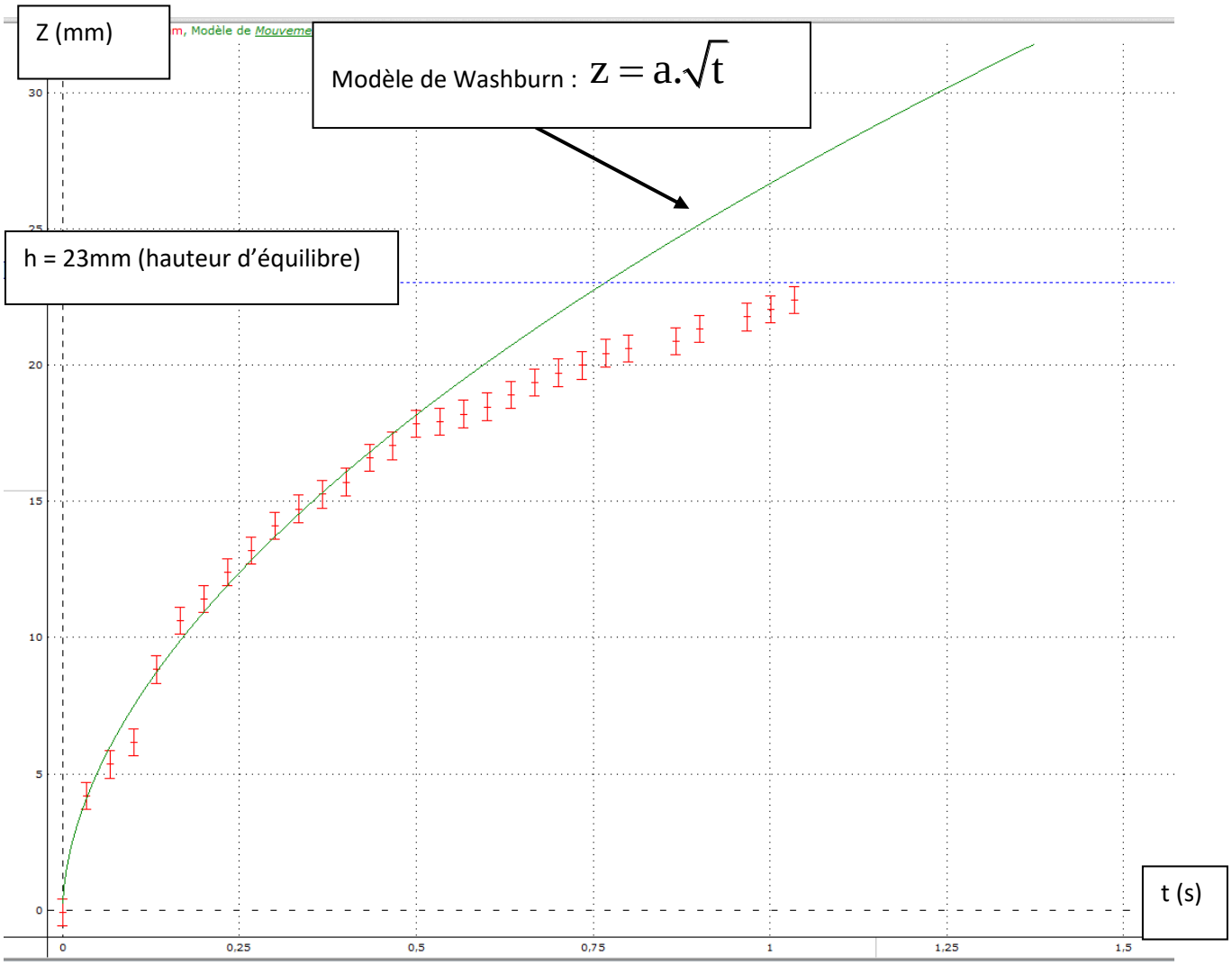
Ainsi, dans les premiers instants de l'ascension capillaire, $Z_{(t)}$ serait proportionnel à $\sqrt{t}$, comme le suggère également le modèle de Washburn (1921).

Confrontons ce modèle avec nos mesures expérimentales.

<u>Protocole expérimental</u> :

-on filme l'ascension du thé dans le tube de 0,45mm de rayon

-avec le tableur-grapheur Latis Pro, nous pointons, image par image, les positions successives du front du liquide (ordonnée z) au cours du temps, puis nous traçons la courbe z = f(t)



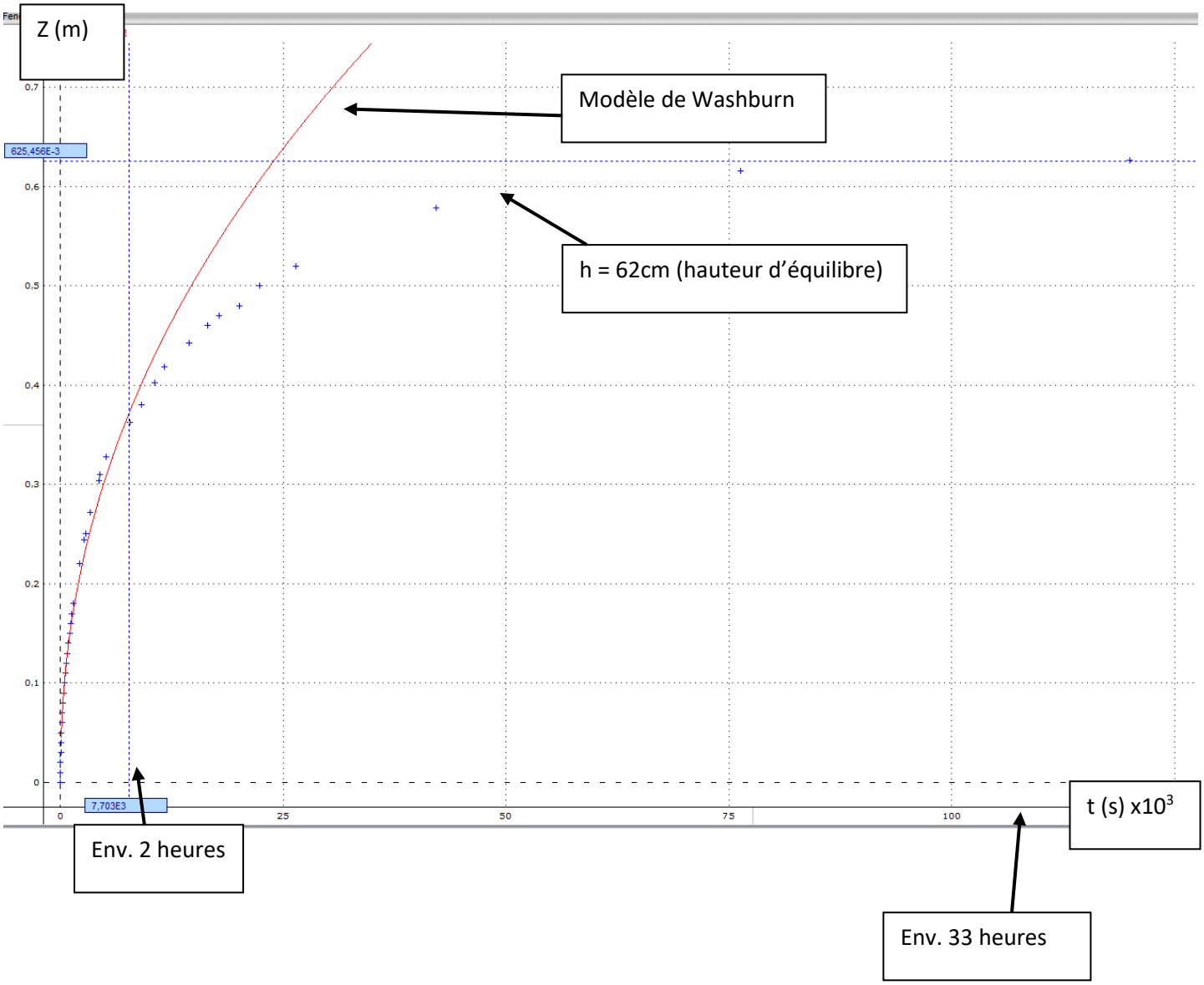
On remarque que le modèle est en accord avec la courbe ci-dessus, au début de l'ascension, entre les dates t = 0 s et t = 0,5 secondes.

2) Milieu formé de fibres

On étudie maintenant le phénomène d'imprégnation dans un milieu fibreux à deux dimensions : du papier filtre, que l'on a utilisé en cours pour faire de la CCM (Chromatographie sur Couche Mince).

On a placé une large bande de papier filtre, préalablement graduée tous les 0,5cm, dans une éprouvette graduée contenant un fond de thé (froid). On a noté, avec l'aide précieuse des techniciens de labo, la hauteur d'imprégnation au cours du temps.

La modélisation est réalisée avec le logiciel Latis Pro.



-on peut remarquer que le phénomène est beaucoup…beaucoup…plus long que précédemment

-pendant les 2 premières heures, on peut considérer que z est bien proportionnel à $\sqrt{t}$

-au-delà, les points expérimentaux s'écartent sensiblement du modèle. On ne peut alors plus négliger le poids du liquide dans le papier filtre.

-la hauteur d'équilibre est atteinte au bout de…33 heures environ ! On obtient h = 62 cm.

-d'après la loi de Jurin, cette valeur de h devrait correspondre à un rayon r des fibres de :

$$r = \frac{2.\gamma}{\rho.g.h} = \frac{2\times 0,048}{993\times 9,81\times 0,62} = 1,6\times 10^{-5}\,\mathrm{m} = 16\mu\mathrm{m}$$

Soit un diamètre de 32 μm

-on a ensuite extrait une fibre du papier. Cette fibre a été prise en photo avec une caméra reliée à un microscope.

-la photographie a été analysée avec le logiciel Mesurim ***(voir annexe 5)***

On en déduit que le diamètre de la fibre est compris entre 26 et 34 μm : ce résultat est bien en accord avec la valeur attendue (32 μm) .

3) Dans l'intimité d'un « Petit Beurre d'Alsace »

Ce type de biscuit contient de nombreux ingrédients, c'est un solide complexe. On pourrait éventuellement parler de matériau « composite ».

L'observation de biscuits à la loupe binoculaire nous a permis d'en déduire qu'à l'intérieur d'un biscuit, le thé ne montait pas grâce à des tubes capillaires ou de fibres.

En fait, un biscuit est un solide poreux, à trois dimensions, dont les pores sont de tailles différentes et placés aléatoirement.

Tout se complique pour nous…

Ces dernières semaines, nous nous sommes alors penchées sur un solide poreux, mou, que nous ne risquons pas de dévorer : une éponge ! Nous pensons que la structure d'une éponge est assez proche de celle d'un biscuit.

La structure poreuse d'une éponge (c'est une mousse solide ouverte) lui confère une forte capacité d'absorption.

Nous avons étudié la capacité d'absorption de différents types d'éponges du commerce : les éponges peuvent absorber plus de 30 fois leur masse sèche en eau !

Si l'éponge est bien sèche (plutôt très sèche même), l'ascension du thé est spectaculaire.

Par contre, il y a deux inconvénients :

-une fois l'éponge mouillée, il n'est pas possible de renouveler l'expérience car, après séchage, cette dernière prend une forme aléatoire,

-le front du liquide n'est pas horizontal : le liquide monte plus vite sur les côtés.

Si l'imprégnation est du même type pour un biscuit, on pourrait émettre l'hypothèse qu'il existe une masse de thé critique au-delà de laquelle le biscuit se brise à cause de son poids.

Nous avons placé une arête d'un Petit Beurre dans un fond de thé à 50°C. Nous avons remarqué que le thé montait assez rapidement (5s) jusqu'à une hauteur maximale d'environ 25mm. Malgré plusieurs minutes d'attente, le biscuit ne se brisait pas au niveau du front du liquide. Nous faisions fausse route.

Par contre, la partie en contact permanent avec le thé, au bas du biscuit, se disloquait : Nous avons donc émis les hypothèses suivantes :

- dans un biscuit sec, certains ingrédients (sucre, farine…) assurent sa cohésion,

-le thé qui pénètre dans les pores du biscuit diminue petit à petit cette cohésion.

Pour valider (ou non) nos hypothèses, et pour expliquer la différence de propriétés des biscuits, nous devions entrer dans l'intimité du Petit Beurre !

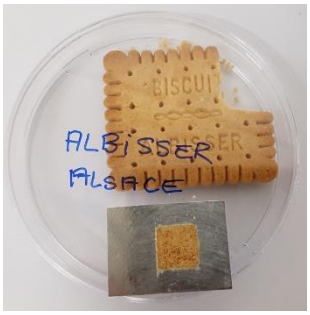
Lors de la sélection régionale des Olympiades de Physique, nous avons eu la chance de rencontrer le Dr El-Eulmi BENDEIF, chercheur à l'Institut Jean Barriol, à Vandoeuvre-lès-Nancy , qui nous a ouvert les portes de son laboratoire.

Nous souhaitions comparer la constitution des « véritables Petits Beurre » de la marque LU® et les Petits Beurre locaux de marque ALBISSER . Le Dr BENDEIF nous alors proposé d'utiliser le diffractomètre de son laboratoire, et d'analyser les biscuits par diffraction des rayons X : nous étions enchantées !

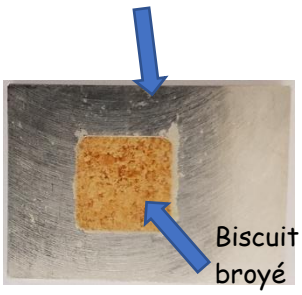
Porte- échantillon pour la diffraction des rayons X aux petits angles

Après l'ouverture des paquets, les biscuits sont conservés dans des boîtes de Pétri pour les protéger de l'humidité.

Broyage d'une partie des biscuits, afin de remplir le porte-échantillon.

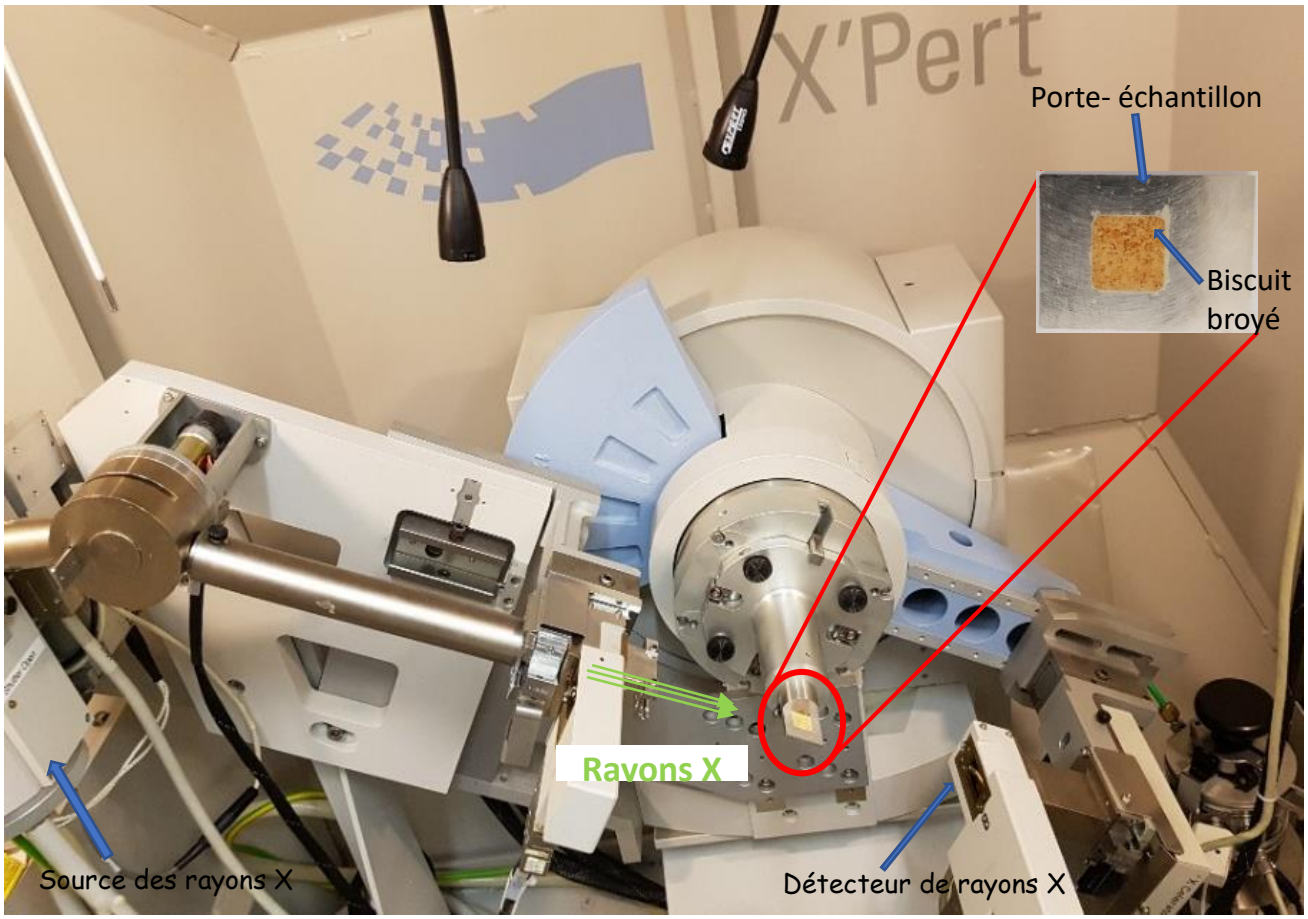


Porte- échantillon



1ère mesure : diffractomètre de poudres, mesures aux petits angles

Ces mesures permettent d'étudier la structure mésoporeuse des biscuits.

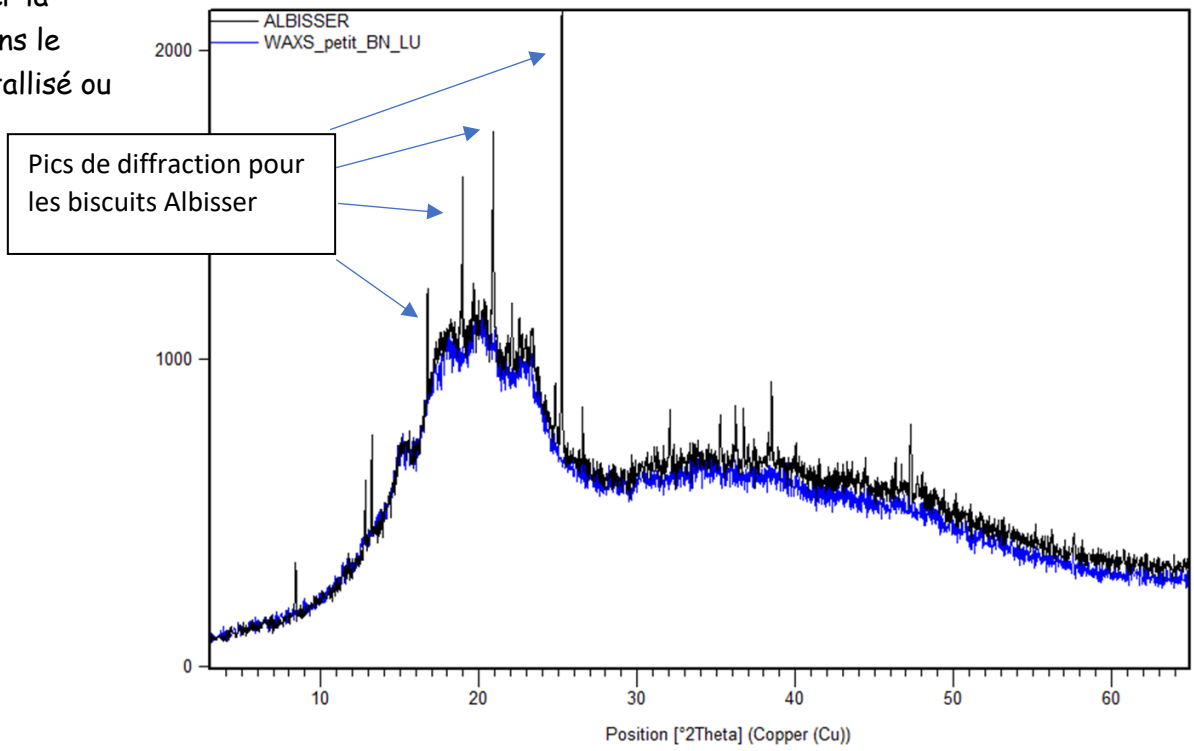


Diffractomètre de poudres au laboratoire CRM2, Université de Lorraine

1ère mesure : diffractomètre de poudres, mesures aux grands angles

Ces mesures permettent la détermination structurale des produits cristallins. Ces mesures vont nous permettre d'étudier la nature du sucre dans le biscuit (sucre cristallisé ou amorphe).

Résultats :

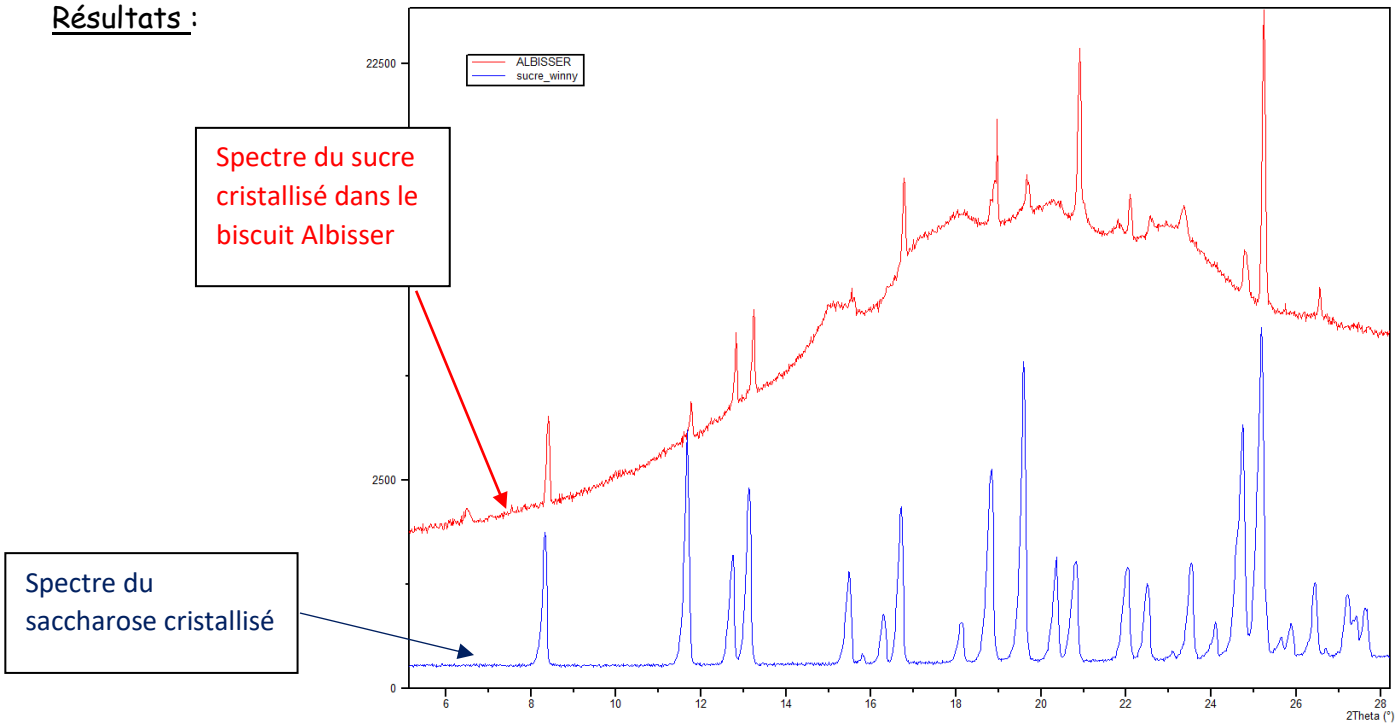


Bilan : les biscuits **Albisser (Alsace)** , contrairement Petit Beurre (Nantes, marque LU), contiennent du sucre cristallisé. Cela peut être expliqué par une température de cuisson plus forte, et un refroidissement plus rapide pour le second.

2ème mesure : diffractomètre de poudres, mesures aux grands angles

Le serveur a en mémoire plusieurs milliers de spectres, on peut donc identifier le produit cristallisé par comparaison.

Résultats :



Bilan : les pics de diffraction coïncident entre les deux spectres, donc le sucre présent dans le Petit Beurre Albisser est du saccharose cristallisé.

Nous pensons que la présence de saccharose cristallisé dans le Petit Beurre Albisser permet d'expliquer la plus grande cohésion de ce biscuit dans le thé chaud. En effet, d'après la littérature, une molécule de saccharose fait une dizaine de liaisons hydrogène avec ses voisines, et même 2 liaisons hydrogène entre atomes d'une même molécule. Lorsque l'eau, solvant polaire présent dans le thé, monte dans le biscuit, la durée de dissolution du sucre est plus lente que dans un biscuit concurrent : le biscuit Albisser se disloque plus tard.

E. Travaux en cours !

1) Influence du processus de fabrication :

Chez Margot, nous avons tenté de préparer des « Petits Beurre » en modifiant les conditions expérimentales (température de cuisson, mode de refroidissement). Après de multiples tentatives infructueuses, Mme Albisser (gérante de la biscuiterie du même nom) nous a proposé d'utiliser l'un des 3 fours de l'atelier, long de 60 mètres ! La production de Petits Beurre ne se faisant qu'un jour par mois, nous devons attendre son appel, début avril 2018, Nous souhaitons comparer 4 processus de fabrication :

-méthode 1 : méthode familiale de fabrication du Petit Beurre d'Alsace (180°C , refroidissement lent)

-méthode 2 : 180°C , refroidissement brutal

-méthode 3 : 200°C, refroidissement lent

-méthode 4 : 200°C , refroidissement brutal

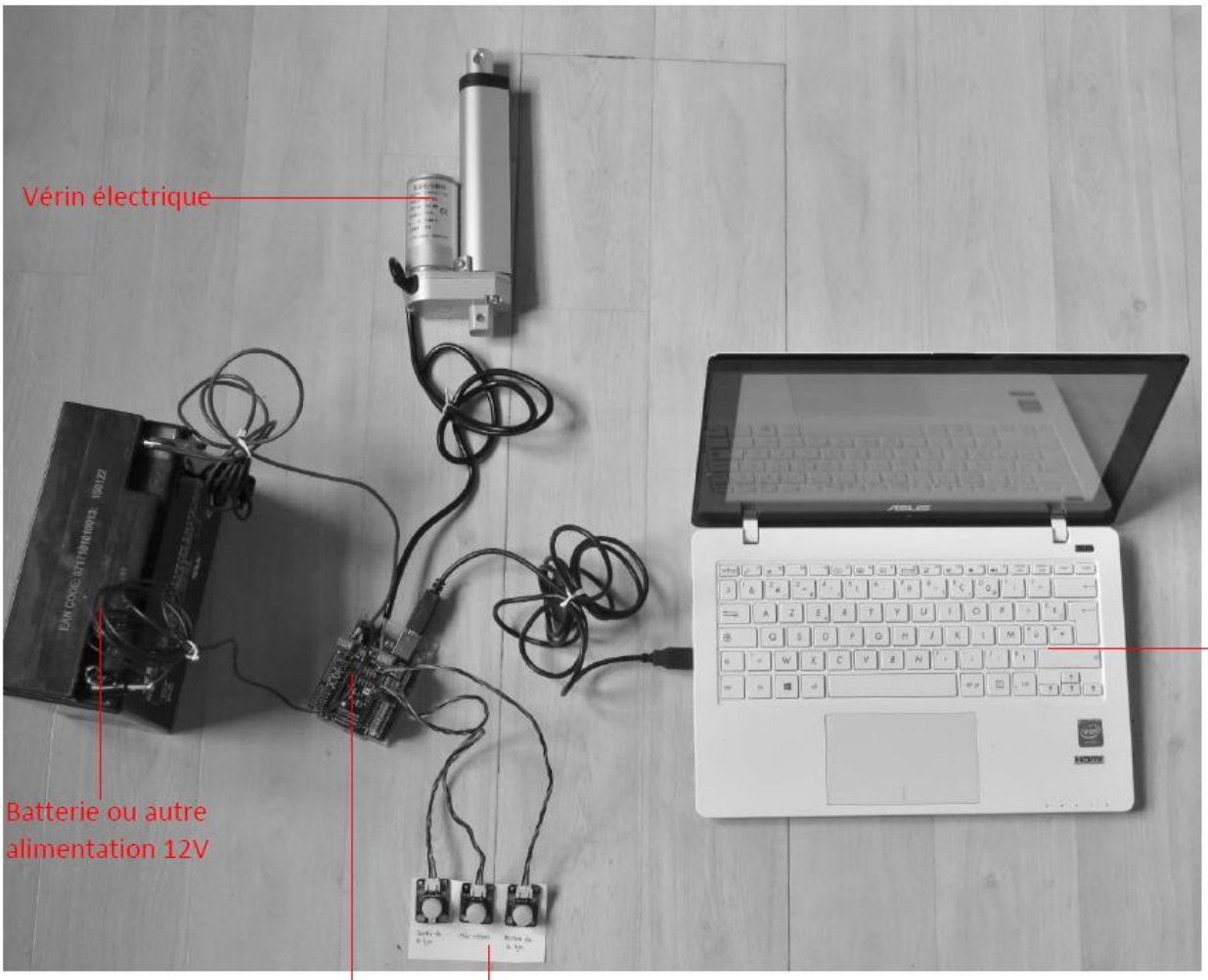
D'après nos recherches bibliographiques, nous devrions observer des modifications dans la structure cristallographique des molécules de saccharose dans le produit fini, et pouvoir expliquer certaines différences entre les deux biscuits concurrents.

2) Automatisation du trempage des biscuits :

L'objectif est de rendre le trempage des biscuits dans le thé complètement automatique, afin que tous les paramètres puissent être connus et contrôlés. Pour cela, nous avons utilisé un vérin électrique, qui sera fixé à l'horizontale sur un support élévateur et dont la tige sera reliée à une pince.

Les branchements et la programmation de la carte Arduino sont terminés, l'ensemble fonctionne. Il nous reste à réaliser le système de fixation du biscuit à la partie mobile du vérin…et de refaire les mesures de durée de trempage !

Montage :



Nous avons prévu trois étapes :

-on monte le support élévateur jusqu'à ce que la tige du vérin soit bien au-dessus de la cuve. On accroche un biscuit à la pince reliée à la tige du vérin. On actionne ensuite un premier bouton, qui fera avancer la tige à l'horizontale jusqu'au milieu de la cuve.

-on descend le support élévateur jusqu'à ce que le biscuit trempe dans le liquide. On appuie sur le second bouton, qui déclenche 15 allers-retours successifs de la tige sur 1 cm.

-on remonte le support élévateur, on décroche le biscuit (s'il n'est pas encore décomposé) et on appuie sur le troisième bouton, qui permet à la tige de revenir en position initiale.

Le vérin électrique se compose d'un moteur à courant continu basse tension, d'un réducteur et d'un système vis-écrou permettant de convertir l'énergie mécanique de rotation du moteur en énergie mécanique de translation.

Pour déclencher les différents déplacements du vérin, nous utilisons trois boutons poussoir : le premier contrôle la sortie de la tige du vérin sur 10 cm, le deuxième déclenche les allers-retours successifs, et le dernier permet à la tige de rentrer en position initiale.

La carte Arduino et les shields sont les outils qui nous permettent de commander les déplacements de la tige du vérin, en actionnant simplement les boutons poussoirs.

Pour programmer la carte Arduino, Léa a utilisé le logiciel Flowcode, sur lequel on peut écrire des organigrammes qui sont ensuite transcrits en un langage compréhensible par la carte .

Tout d'abord, on insère une boucle qui se répètera indéfiniment : ainsi, le cycle pourra être recommencé autant de fois que l'on désire.

Ensuite, on définit les trois entrées : il s'agit des trois boutons poussoirs, que l'on nomme boutonpoussoir1 (sortie de la tige), boutonpoussoir2 (allers-retours) et boutonpoussoir3 (retour en position initiale). Ces trois boutons poussoirs sont branchés sur les ports B0, B1 et B2 de la carte.

On met une première prise de décision. Si la variable boutonpoussoir1 prend la valeur 1, c'est-à-dire si quelqu'un appuie sur le premier bouton poussoir, la tige du vérin sort. La sortie D5 contrôle la marche (1) et l'arrêt (0) du moteur. La sortie D4 détermine le sens de fonctionnement du moteur : lorsqu'elle est à 1, la tige du vérin sort ; lorsqu'elle est à 0, la tige rentre. Pour faire sortir la tige, on affecte donc la valeur 1 à D5 (marche du moteur) et à D4 (sens : sortie) pendant 10 secondes. Puis on remet D5 à 0 (arrêt du moteur).

Deuxième prise de décision : si quelqu'un appuie sur le second bouton poussoir, une boucle se lance et se répète 15 fois. Dans cette boucle, la tige du vérin rentre pendant une seconde (D5 à 1, D4 à 0), puis ressort pendant une seconde (D5 à 1, D4 à 1). Puis on arrête à nouveau le moteur (D5 à 0).

Troisième prise de décision : si quelqu'un appuie sur le troisième bouton poussoir, la tige du vérin rentre jusqu'à sa position initiale, en 10 secondes (D5 à 1, D4 à 1). Enfin, on remet le moteur à l'arrêt (D5 à 0).

CONCLUSION

Le phénomène d'imprégnation d'un solide poreux par un liquide se retrouve dans de nombreuses situations technologiques ou naturelles (extraction d'hydrocarbures, impression du papier, industrie textile, pharmaceutique ou alimentaire, dans le bâtiment, etc…).

Au cours de notre travail, nous avons étudié des phénomènes passionnants sur lesquels nous ne nous étions jamais penchées.

Malgré des moments difficiles, les expériences ratées, ou l'indigestion de biscuits, nous sommes heureuses d'avoir pu rencontrer des personnes qui ont pu nous redonner de la motivation, des idées d'expériences, voire un coup de pied au derrière ! Une mention toute particulière à nos « partenaires » (chef d'entreprise, chercheur, professeurs,etc…) qui ont pris le temps de discuter avec nous, afin d'aller plus loin dans notre travail.

Remerciements :

-nous remercions le Dr EL-EULMI BENDEIF, chercheur à l'Institut Jean Barriol, Vandoeuvre-lès-Nancy , pour nous avoir ouvert les portes de son laboratoire,

-nous remercions Mme Calmettes et Mr Quignon, techniciens de laboratoire, qui ont été bienveillants, malgré les nombreuses miettes sur les tables, et qui nous ont relayé pour le suivi d'une expérience de plus de 30 heures,

-nous remercions vivement Mme ALBISSER, gérante de la biscuiterie artisanale du même nom à Pfastatt (Alsace), pour son sympathique accueil,

-nous remercions la grand-mère de Margot, qui nous a divulgué ses petits secrets pour réaliser de délicieux bredalas (« biscuits », en alsacien),

-nous remercions nos mamans qui nous ont aidées à confectionner des centaines de biscuits,

-et enfin, nous remercions Mr Martin, notre professeur de physique-chimie, qui nous a donné envie d'approfondir notre travail.

Bibliographie/Webographie :

-« Gouttes, bulles, perles et ondes » , (Belin) , PG de Gennes, F.Brochard-Wyart, David Quéré

http://www.lenfisherscience.com/biscuit-dunking-on-itv-weekend/

https://mcgulfin.wordpress.com/2013/10/21/du-bon-mouillage-dun-gateau-dans-mon-cafe-des-etudes-et-des-reponses/

http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Diffraction-rayons-X-techniques-determination-structure.xml

ANNEXE 1

« …Il y avait déjà bien des années que, de Combray, tout ce qui n'était pas le théâtre et le drame de mon coucher n'existait plus pour moi, quand un jour d'hiver, comme je rentrais à la maison, ma mère, voyant que j'avais froid, me proposa de me faire prendre, contre mon habitude, un peu de thé. Je refusai d'abord et, je ne sais pourquoi, je me ravisai. Elle envoya chercher un de ces gâteaux courts et dodus appelés Petites Madeleines qui semblaient avoir été moulés dans la valve rainurée d'une coquille de SaintJacques. Et bientôt, machinalement, accablé par la morne journée et la perspective d'un triste lendemain, je portai à mes lèvres une cuillerée du thé où j'avais laissé s'amollir un morceau de madeleine. Mais à l'instant même où la gorgée mêlée des miettes du gâteau toucha mon palais, je tressaillis, attentif à ce qui se passait d'extraordinaire en moi. Un plaisir délicieux m'avait envahi, isolé, sans la notion de sa cause. »

« A la recherche du temps perdu », de Marcel Proust

ANNEXE 2

Influence de la température et de la concentration massique en sucre sur le coefficient de tension superficielle.

Thé non sucré		
Température (°C)		$\gamma_{thé}(mN/m)$
30		51
40		50
50		48
60		46
70		44

Expériences effectuées à 50°C			
$C_{m,sucre}(g/L)$		$\gamma_{thé}(mN/m)$	$\rho(kg/m^3)$
0		48	993
300		51	1106
600		54	1212

-lorsque la température augmente de 30 à 70°C, $\gamma_{thé}$ diminue d'environ 14%

-lorsque $C_{m,sucre}$ augmente de 0 à 600 g/L, $\gamma_{thé}$ augmente d'environ 13% , mais la masse volumique augmente également de 22%.

<u>Conséquences sur la valeur de la longueur capillaire</u> : 2,0mm < L_c < 2,4mm

---

ANNEXE 3

	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	
Nbre de sucres/tasse	Durée τ nécessaire pour la dislocation (en secondes)							% d'évolution
0	31	25	21	18	15	13	12	-61%
1,5	31	26	21	18	16	14	13	-58%
3	33	27	24	22	19	17	16	-52%
4,5	35	29	27	25	21	19	17	-51%
6	37	34	31	27	23	21	20	-46%
% d'évolution	+19%	+36%	+48%	+50%	+53%	+62%	+67%	

ANNEXE 4

La colonne de liquide est soumise à 3 forces :

-la force capillaire : $\vec{F} = 2\pi r.\gamma.\vec{u_z}$

-son poids : $\vec{P} = -m.g.\vec{u_z}$

-la force de frottement visqueuse : $\vec{F_\eta} = -8\pi\eta.z_{(t)}.v_{(t)}.\vec{u_z}$

($v_{(t)}$ est la vitesse moyenne de l'évolution de la hauteur du liquide)

D'après la 2ème loi de Newton, $\frac{d(m.\vec{v})}{dt} = \vec{F} + \vec{P} + \vec{F_\eta}$

En projetant sur (O, $\vec{u_z}$) : $\frac{d(m.v)}{dt} = F - P - F_\eta$ (1)

Dans une 1ère phase de l'ascension capillaire, on suppose que :

-la vitesse d'imprégnation est faible , donc $\frac{d(m.v)}{dt} \approx 0$

-le poids P de la colonne de liquide est négligeable devant F

La relation (1) donne donc : $0 = F - F_\eta$ $F_\eta = F$

$$8\pi\eta.z.v = 2\pi r\gamma$$

Or , $v = \frac{dz}{dt} = z'_{(t)}$ Ainsi : $z'_{(t)}.z_{(t)} = \frac{\gamma.r}{4\eta}$

Par intégration, on obtient : $\frac{z_{(t)}^2}{2} = \frac{\gamma.r}{4\eta}.t + Cte$

En posant $z_{(0)} = 0$, on a Cte = 0 d'où $z_{(t)}^2 = \frac{\gamma.r}{2\eta}.t$ $z_{(t)} = \sqrt{\frac{\gamma.r}{2\eta}} \times \sqrt{t} = k \times \sqrt{t}$

Dans ces conditions, $z_{(t)}$ est bien proportionnel à $\sqrt{t}$

(comme le suggère le modèle de Washburn)

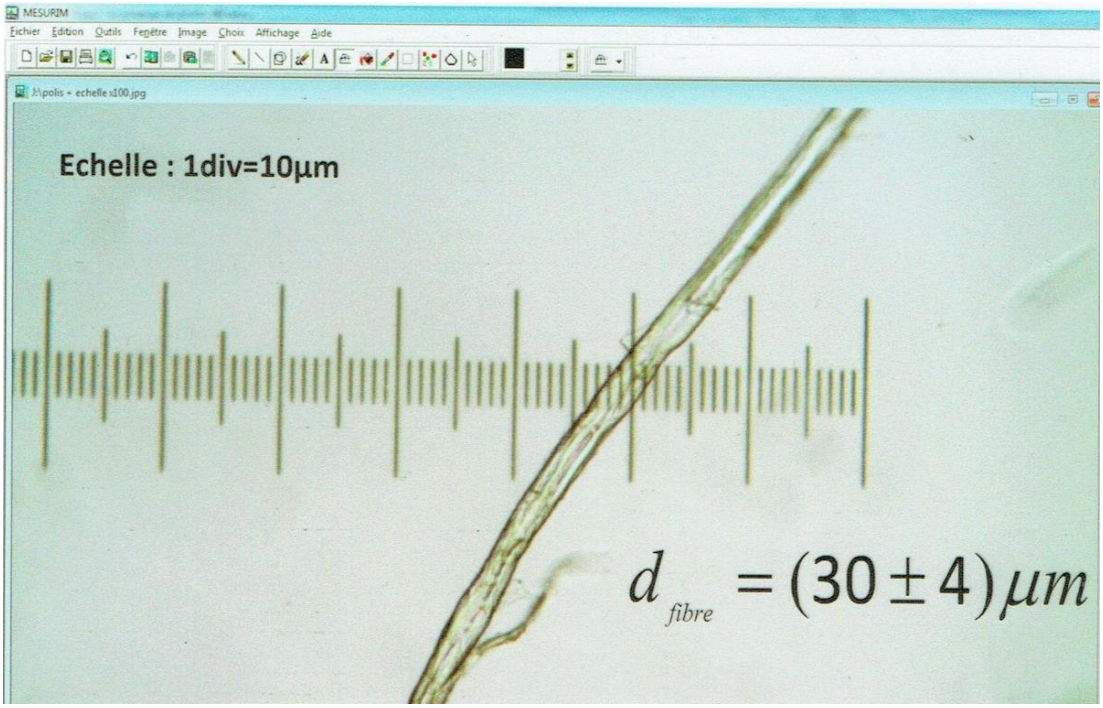
Lorsque le liquide a atteint sa hauteur maximale, la vitesse v est nulle. L'équation (1) donne alors :

$0 = F - P$ $P = F$ $m.g = 2\pi r\gamma$, avec $m = \rho.\pi.r^2.z_{max}.g$

Ainsi , $\rho.\pi.r^2.z_{max}.g = 2.\pi.r.\gamma$

$z_{max} = \frac{2\gamma}{\rho.g.r}$ z_{max} est bien proportionnel à $\frac{1}{r}$ (loi de Jurin)

ANNEXE 5



ANNEXE 6

Visite de la Biscuiterie Artisanale Albisser

-fabrication de 500kg de biscuits divers par jour

Pour les Petis Beurre, 3 matières principales sont utilisées :

-farine d'Alsace (à partir de la transformation d'épis de blé tendre)

-sucre d'Erstein

-pour la matière grasse, du beurre de…Bretagne !