

EuCerMat : Un projet européen reliant l'enseignement secondaire, l'enseignement supérieur et la recherche sur les matériaux ?

Par Benjamin Legros

Fonctionnaire stagiaire en Lycée Professionnel

INSPE de Limoges, 87036 Limoges

benjamin.legros02@etu.unilim.fr

Supervisé par Fabien Remondiere

Maître de conférences

IRCER-CNRS 87068 Limoges

fabien.remondiere@unilim.fr

INTRODUCTION

Si l'on prend la définition stricte du dictionnaire français Larousse, la science des matériaux est « la science qui interprète et éventuellement prévoit les propriétés macroscopiques des matériaux (ductilité, fragilité, ...) ». En d'autres termes, son objectif est de comprendre et d'étudier les propriétés physiques et chimiques d'un matériau en vue d'exploiter ses propriétés intrinsèques et/ou optimisées. La science des matériaux est ainsi liée à de nombreux domaines disciplinaires et se retrouve investi fortement au cœur de l'industrie et du monde de la recherche.

De nombreuses branches découlent de cette discipline majeure comme l'*Etude structurale* ou encore à la *Résistance des matériaux*. Cette dernière se propose d'étudier en particulier les déformations et les déplacements de matière lorsqu'un matériau subit une action extérieure (contrainte, changement de température, ...).

L'objectif du projet qui se trouve au centre de notre propos est de sensibiliser les élèves français à cette discipline scientifique majeure dès le début du lycée. Pour cela, nous avons à disposition un kit provenant du milieu académique américain « the American Ceramic Society » ^{[1]+[2]} susceptible de faciliter l'assimilation les principales notions de cette discipline.

La problématique qui s'est rapidement imposée est la suivante :

***Comment adapter à des élèves français du secondaire le kit expérimental de l'organisme
« The American Ceramic Society » créé spécifiquement pour des étudiants américains ?***

1. Présentation du kit EuCerMat :

1.1. EuCerMat :

EuCerMat^[3] (European Ceramic Materials) est un projet européen de partenariat stratégique dont l'objectif est de promouvoir l'image de la céramique en Europe. Pour cela, des méthodes originales d'enseignement sont créées afin de former des étudiants au métier de chercheur. Lancé en 2015, cinq universités de France, d'Allemagne, du Portugal, de Pologne et d'Irlande participent à ce projet. Ainsi, en 2016, treize étudiants de Master en Sciences des Matériaux y ont participé et ont pu réaliser un stage dans des entreprises partenaires.

1.2. Présentation du kit :

Le kit a été créé par « The American Ceramic Society »^{1+[2]} lié à la fondation « Ceramics and Glass Industry » afin de sensibiliser les élèves américains à la science des matériaux. Néanmoins cette sensibilisation reste plus superficielle et spectaculaire que scientifique puisque les notions ne sont pas abordées en profondeur.

« The American Ceramic Society » est une organisation à but non lucratif qui collabore avec les spécialistes de la céramique (laboratoires de recherche, entreprises partenaires, ...) soit par une aide au financement, soit par une aide plus scientifique. Cette organisation est basée à Westerville dans l'Ohio et rassemble plus de 11000 membres, des scientifiques, des ingénieurs, des personnels d'entreprise et des doctorants provenant de 80 pays différents.

Le kit contient différents objets et matériaux permettant de réaliser des expériences simples et accessibles à des élèves du cycle 4 (collège) et du lycée.

Les objets suivants sont à disposition dans le kit afin de réaliser les expériences :

- | | | |
|------------------------|--------------------|-------------------|
| - Fil de nitinol | - Barreau en verre | - Torche propane |
| - Fil d'acier | - Bécher + Pince | - Fil de cuivre |
| - Fil de nickel-Chrome | - Balance de poche | - Pince à œillet. |

Il est parfois nécessaire de rajouter des éléments extérieurs afin de réaliser ces expériences.

2. Présentation d'une expérience :

2.1. À quel point votre chocolat est-il résistant ?

2.1.1. Contenu scientifique :

Cette expérience^[4] va permettre de déterminer la résistance à la traction (ou contrainte maximale) de différentes tablettes de chocolat. Pour cela, il faut déterminer la force maximale à la mesure totale de la masse du système m_3 . En effet la seule force que subit la barre de chocolat est le poids P (ou F sur le schéma suivant) :

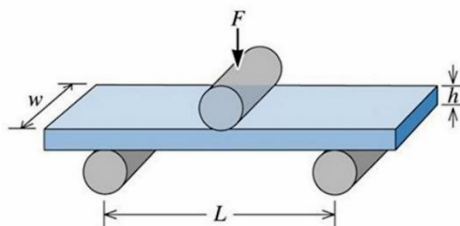


Figure 1 : Schéma résumant l'expérience

Les cylindres représentent les 2 mallettes et le récipient entourant la tablette de chocolat qui seront utilisés lors de l'expérience.

$$\text{On a : } \vec{P} = m_3 \times \vec{g}$$

Où P : Poids en N, m_3 : Masse totale du système en kg et g : Accélération de pesanteur en $m.s^{-2}$

Grâce à ce calcul et aux valeurs de longueurs (L_1 et L), largeur (w) et d'épaisseur (h) de la tablette de chocolat mesurées, on va pouvoir déterminer la contrainte maximale σ .

En effet, on a la formule fournie avec la description de l'expérience :

$$\sigma = \frac{1,5 \times P \times L}{w \times h^2}$$

Où σ : Contrainte maximale en MPa, P : Poids en N, L : Ecart entre les 2 mallettes en mm, w : Largeur de la barre en mm et h : Hauteur de la barre en mm

2.1.2. Protocole expérimental :

Objectifs : Mesurer la résistance à la traction de différents types de chocolat.

La figure 2 ci-dessous représente l'expérience réalisée dans la vidéo jointe au kit.



Figure 2 : Présentation de l'expérience

Matériel du kit :

- Récipient
- Ficelle
- Balance
- Règles

Matériel à fournir :

- 2 mallettes (ou bécjers hauts)
- Tablette de chocolat noir, au lait et aux noisettes
- Jetons, pièces ou poids

Protocole :

- Mesurer la longueur d'une tablette (ou un morceau) que l'on notera L_1 , sa largeur w et son épaisseur h à l'aide d'un pied à coulisse.
- Placer la tablette sur les 2 mallettes (ou béciers) et noter la longueur, L , de l'écartement entre ces 2 dernières.
- Mettre la ficelle autour du récipient et peser le système « ficelle + récipient ». On a la masse m_1
- Entourer la tablette en son centre avec le récipient.
- Choisir des pièces de mêmes valeurs (qu'on considéra de masse identique) ou des poids équivalents pour une meilleure mesure pour la masse.
- Peser une pièce ou relever la valeur du poids, noté m_2
- Faire glisser délicatement les pièces (ou poids) dans le récipient.
- A la rupture (figure 3), peser le récipient, noter m'_3 .
- On comptera le nombre de pièces, noté n et déterminera la masse m_3 (égale à m'_3)



Figure 3 : Approche de la contrainte à la rupture

2.1.3. Résultats obtenus :

Les expériences indiquées ci-dessus ont été réalisées avec des tablettes mises à disposition dans le commerce français. Voici, un exemple de calcul avec une tablette au chocolat noir.

En plus des valeurs précédentes, on a relevé la masse m_2 d'un jeton (utilisé comme poids), la masse m_1 du récipient et de la ficelle et le nombre n de jeton utilisé.

- $m_2 = 11,85 \text{ g}$ et $n = 79$
 - $m_1 = 93,02 \text{ g}$
- $$\left. \begin{array}{l} m_2 = 11,85 \text{ g et } n = 79 \\ m_1 = 93,02 \text{ g} \end{array} \right\} m_3 = n \cdot m_2 + m_1 = 1028,85 \text{ g}$$
- $L = 149 \text{ mm}$; $w = 84 \text{ mm}$; $h = 7 \text{ mm}$
 - $P = m_3 \cdot g = 1028,85 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 10,06 \text{ N}$

$$\sigma = \frac{1,5 \times P \times L}{w \times h^2} = \frac{1,5 \times 10,06 \times 149 \cdot 10^{-3}}{84 \cdot 10^{-3} \times (7 \cdot 10^{-3})^2} = 0,546 \text{ MPa}$$

On a donc les valeurs suivantes pour d'autres types de chocolats achetés dans le commerce :

Tableau 1 : Caractéristiques et résultats liés à l'expérience :

| Marque de chocolat | Caractéristiques du chocolat | Dimensions (L*w*h) /mm | Composition | Nombre de jetons utilisées | Contrainte σ /MPa |
|--------------------|--|------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Tablette d'or | Noir 85% cacao | 149*84*7 | Pâte de cacao Sucre Beurre de cacao Cacao en poudre Extrait de vanille Sel Cacao → 85% | 79 | 0,546 |
| Tablette d'or | Noir aux pépites de framboise | 107*84*5 | Pâte de cacao Sucre Beurre de cacao Cacao en poudre Extrait de vanille Sel Pépites à la framboise (14%) Cacao → 55% | 95 | 0,682 |
| Tablette d'or | Pralinés aux éclats de noisettes caramélisés (très moelleux) | 107*86*9 | Praliné → 31% Sucre Beurre de cacao Poudre de lait entier et écrémé Pâte de cacao Eclat de noisettes (1,6%) Arôme de vanille Cacao → 30% | 7 | 0,033 |
| Tablette d'or | Lait | 85*34*4 | Sucre Beurre de cacao Lait entier et écrémé en poudre Pâte de cacao Lactose Lactosérum Extrait d'orge Cacao → 30% | 13 | 0,487 |

Prérequis nécessaire : L'expérience doit être considérée comme réalisée à une température constante de 23°C pour ne pas prendre en compte ce paramètre.

2.1.4. Conclusion de l'expérience :

On observe assez facilement que selon le type de chocolat et selon sa microstructure, la valeur de la contrainte à la rupture est très différente. En effet, le chocolat noir est plus « dur à casser » que le chocolat au lait.

On remarque également que la contrainte de la tablette au chocolat fourrée aux pépites de framboises est supérieure à celle de la tablette ne contenant que du chocolat noir. Cette observation prouve donc que les grains de framboises ont une influence sur la structure et les caractéristiques du chocolat.

3. Présentation d'une séance effectuée devant des élèves de Terminale :

Cette activité de 2 heures se focalise donc sur l'expérience du kit « How Strong Is Your Chocolate ? » et pourra être réalisée en binôme ou en îlot selon la disposition de la salle où la séance est réalisée.

Ainsi, l'activité élaborée (joint à l'article) se découpe en plusieurs parties :

3.1. 1^{ère} Partie : Présentation de la vidéo

Après plusieurs visionnages de la vidéo, une image ainsi qu'un schéma explicatif sont mis à disposition pour une meilleure compréhension. En effet, les élèves devront résumer (3-4 lignes) cette vidéo qui est en anglais avant de s'intéresser plus particulièrement au schéma. Quelques questions sur le poids et sa formule seront demandées.

3.2. 2^{ème} Partie : Réalisation de l'expérience

Cette partie consistera simplement à suivre le protocole fourni et à s'appuyer sur la vidéo pour sa réalisation. Etant donné que le protocole est un résumé de l'expérience, cette partie de l'activité sera distribuée à la fin des questions préalables. Elle risque d'être la plus complexe puisqu'il faudra faire attention aux morceaux de chocolats choisis (trop petits, légèrement fissurés...) afin que l'expérience proposée donne de bons résultats.

3.3. 3^{ème} Partie : Questions

Après avoir mesuré la masse totale des poids fournis, un calcul du poids P sera à effectuer. Cela leur permettra de calculer la contrainte σ . La formule de σ sera fournie car elle n'est pas inscrite (et donc exigible) dans le programme de Terminale.

A la suite de ces calculs, ils devront faire l'expérience pour un autre type de chocolat et inscrire leurs résultats dans le tableau fourni, présenté ci-dessous :

| Caractéristiques du chocolat | Dimensions (L*w*h) /mm | Masse /kg | Contrainte σ /MPa |
|-------------------------------|------------------------|-----------|--------------------------|
| Noir 85% cacao | | | |
| Noir aux pépites de framboise | | | |
| Noir 72% cacao | | | |
| Lait | | | |

Tableau 1 : Résultats des manipulations

3.4. 4^{ème} Partie : Remarques

C'est dans cette partie que le temps va poser (ou non) un problème. En effet, deux cas de figures peuvent se présenter.

- Si les élèves avancent bien, ils pourront refaire les manipulations avec plusieurs types de chocolats et remplir complètement le tableau fourni. On pourra alors faire une comparaison des différents groupes en classe entière et un calcul de moyenne pour σ par exemple
- Si en revanche le temps ne permet pas aux élèves de refaire plus d'une fois la manipulation, une mise en commun des résultats est à effectuer au tableau.

En effet, la comparaison des différents types de chocolats est demandée après le tableau. Enfin, une question plus ouverte va être proposée aux élèves afin qu'ils réfléchissent à un moyen, une méthode permettant de justifier plus précisément leur conclusion. Il faudra bien spécifier qu'aucune réponse exacte n'est attendue mais que leur protocole doit être compréhensible pour quelqu'un d'extérieur à son groupe et potentiellement réalisable avec du matériel adapté.

4. Analyse critique et pistes d'améliorations

Dans l'ensemble la séance s'est déroulée convenablement et les élèves ont adhéré à la proposition qui leur a été fournie. Les résultats obtenus ont également mis en évidence les limites de l'expérience et la reproductibilité de celle-ci au sein d'une classe.

En effet, s'il a été concluant de comparer les contraintes du chocolat noir et au lait, les valeurs pour les trois types de chocolats noirs ont été différentes d'un groupe à l'autre. Cela peut s'expliquer par le fait que les tablettes ont circulé à l'air libre et se sont progressivement réchauffées : l'effet de la température ne peut plus être négligé.

Pour information, le point de fusion approximatif du chocolat est d'environ de 36°C afin de fondre dans la bouche des amateurs et cette température dépend de la composition relative en cacao, matière grasse et sucre. Un autre souci s'est révélé avoir une influence au travers de l'impatience et de l'attitude de certains élèves qui n'attendent pas assez et ont tendance à ajouter des poids même

lorsque la tablette commence à s'affaisser. Enfin, certains élèves ont placé leur ficelle dans un « creux » entre deux « carrés » et d'autres sur un « carré » de la tablette ce qui modifie donc la masse nécessaire à la rupture.

Pour améliorer cette séance, il faudrait donc préciser dans le protocole où placer la ficelle et surtout prévoir 4 tablettes neuves et encore emballées pour chaque binôme (ou ilot) afin de limiter au mieux le facteur température. Des observations au microscope pourraient être réalisées afin de mettre en évidence la microstructure de nos chocolats et mieux conclure sur son influence. Cela permettra également de maintenir un certain rythme pour cette séance de 2h.

Une articulation avec le nouvel enseignement de la classe de Première intitulé « Enseignement scientifique » pourrait être envisagée notamment au travers d'une autre expérience du Kit expérimental qui repose sur la mémoire de forme du rétinol et plus généralement sur les aspects cristallographiques et microstructuraux de la matière.

Remerciements :

Je tiens à remercier Monsieur Fabien Remondière pour son aide à la réalisation de ce travail de recherche qui m'a permis d'être guidé dans les attendus du projet. Les ressources fournies (présentation du kit, vidéo des expériences) ont été d'une grande aide pour la réalisation de cet article et d'une séance expérimentale devant des élèves de Terminale.

Je remercie également Madame Claire Maumy, professeur de Physique-Chimie au lycée Léonard Limosin de Limoges, pour m'avoir permis de réaliser cette séance dans sa classe de Terminale et de m'avoir laissé la prendre en charge durant un créneau de 2h.

Bibliographie :

« The Americans Ceramics Society » :

https://en.wikipedia.org/wiki/American_Ceramic_Society [1]

<http://ceramics.org/> [2]

Kit EuCerMat :

<https://filex.unilim.fr/get?k=xFkWW427tRitd2zj4dQ> [3]

Exemples servant aux calculs théoriques :

http://ceramics.org/wp-content/uploads/pcca/Chocolate%20Strength%20-%20How%20Strong%20is%20Your%20Chocolate_Final.docx. [4]

Séance proposée à des élèves de Terminale (Correction) :

Activité expérimentale

TS Spécialité

Votre chocolat est-il vraiment irrésistible ?

Objectif :

Cette activité va permettre d'étudier une propriété structurale du chocolat : sa contrainte (ou résistance à la traction).

On va ainsi s'intéresser à plusieurs types de chocolats pour mettre en évidence l'évolution (ou non) de cette grandeur.

La contrainte ainsi que le principe de cette expérience sont utilisés à plus grandes échelles dans l'industrie pour tester et contrôler des matériaux avant leur utilisation (construction de bâtiments, fabrication de céramiques, ...)

Matériel :

Vous avez à votre disposition :

- (Récipient)
- Ficelle
- Balance
- Règles
- 2 béciers ou récipients (hauts)
- Tablette de chocolat noir, au lait, aux noisettes ou aux éclats de framboises
- Poids ou Pièces de monnaie

Remarques générales :

Si l'une de vos tablettes est fissurée ou cassée ne prendre qu'une partie de celle-ci pour l'expérience.

I) Présentation de l'expérience :

1) Vidéo de présentation :

Lien : <https://www.youtube.com/watch?v=rT5mxooaXIA>

De cette vidéo, on peut tirer l'image suivante pour nous permettre de l'analyser :



Figure 1 : Résumé de l'expérience

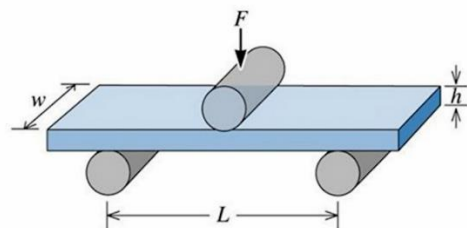


Figure 2 : Schéma de l'expérience

Les grandeurs w et h correspondent aux caractéristiques de notre tablette (largeur et épaisseur). La longueur L représente l'espace entre nos béciers (ou récipients) que l'on mesure lors de la manipulation. Enfin, le dernier cylindre est équivalent au système « ficelle + récipient + pièces ».

2) Questions préalables :

1. Résumer la vidéo en quelques phrases (3-4 maximum). **(APP, ANA)**

Pas de réponse exacte attendue, mais il faut vérifier que la vidéo est bien comprise.

2. Comment peut-on appeler la force \vec{F} ? **(RCO)**

La force \vec{F} peut être appelée le poids \vec{P} .

3. Quelle est sa relation avec la masse m_3 (masse totale du système) ? Précisez les unités. **(RCO)**

On a la relation : $\vec{P} = m_3 \times \vec{g}$ avec P en Newton (N), m_3 en kg et g en $m.s^{-2}$

II) Réalisation de l'expérience :

1) Protocole expérimental (REA) :

- Mesurer la longueur d'une tablette (ou un morceau) que l'on notera L_1 , sa largeur w et son épaisseur h
- Placer la tablette sur les 2 béciers (ou récipients) et noter la longueur, L , de l'écartement entre ces 2 derniers.
- Mettre la ficelle autour du récipient et peser le système « ficelle + récipient ». On a la masse m_1
- Entourer la tablette en son centre avec le récipient.
- Choisir des pièces de mêmes valeurs (qu'on considérera de masse identique) ou des poids équivalents.
- Peser une pièce ou relever la valeur du poids, noté m_2
- Faire glisser délicatement les pièces (ou poids) dans le récipient.
- A la rupture, peser le récipient, noter m'_3 .
- On comptera le nombre de pièces, noté n et déterminera la masse m_3 .

Si utilisation de poids :

- Mesurer la longueur d'une tablette (ou un morceau) que l'on notera L_1 , sa largeur w et son épaisseur h
- Placer la tablette sur les 2 béciers (ou récipients) et noter la longueur, L , de l'écartement entre ces 2 derniers.
- Entourer la tablette en son centre et y fixer les poids dont on connaît les masses.
- On additionnera la masse des poids utilisés afin de déterminer la masse m_3 .

2) Questions :

4. Exprimer la masse m_3 à partir des masses m_1 , m_2 et du nombre de pièces n . La calculer. Comparer avec la valeur de m'_3 . **(REA, VAL)**

QUESTION À SUPPRIMER SI DES POIDS SONT UTILISÉS.

On a la relation : $m_3 = n \times m_2 + m_1 = m_3'$

Faire l'application numérique avec les valeurs obtenues.

5. Déterminer la norme de la force \vec{F} . Conclure sur le système. **(REA, ANA)**

$$\vec{F} = \vec{P} = m_3 \times \vec{g}$$

Application numérique à réaliser.

La contrainte (ou résistance à la traction) peut s'exprimer de la manière suivante :

$$\sigma = \frac{1,5 \times P \times L}{w \times h^2}$$

Où : σ : Contrainte maximale en MPa P : Poids en N L : Ecart entre les 2 bécgers en mm

w : Largeur de la tablette en mm h : Epaisseur de la tablette en mm

6. Calculer la contrainte σ de la tablette. **(REA)**

Application numérique

7. a) Refaire cette expérience et calculer σ pour au moins un autre type de tablette. **(REA)**

Remplir le tableau suivant selon les tablettes à votre disposition :

| Caractéristiques du chocolat | Dimensions (L ₁ *w*h) /mm | Nombre de pièces (ou poids) utilisées | Contrainte σ /MPa |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Noir 85% cacao | 178*84*7 | 79 | 0,546 |
| Noir aux pépites de framboise | 107*84*5 | 95 | 0,682 |
| Noir 72% cacao | / | / | / |
| Lait | 85*34*4 | 13 | 0,487 |

b) Que peut-on en conclure sur nos tablettes et leur structure (3-4 phrases) ? **(VAL)**

Plusieurs conclusions possibles selon les résultats des élèves.

Exemple :

On remarque que la contrainte la plus élevée correspond au chocolat ayant à la fois un pourcentage en cacao élevé mais également des pépites de framboises dans sa structure. Cela influe donc sur la contrainte et la difficulté à casser cette tablette.

Enfin, on remarque que le chocolat au lait qui est plus fragile quand on le touche ou quand on le casse à la main par exemple possède la contrainte la plus faible ce qui vérifie les observations.

8. Proposer une méthode d'observation ainsi qu'un bref protocole pour justifier vos conclusions et mieux mettre en évidence la structure de notre chocolat. **(ANA)**

Question ouverte.