

Elasticité – Plasticité

1. Introduction

Dans cette partie, on se propose d'analyser le comportement des matériaux et des structures sous l'influence de forces appliquées.

On pourra alors parler avec pertinence de « matière plastique » ou de « matière élastique » en liant ces termes à une propriété fondamentale, à savoir leurs réactions à une « agression mécanique ».

Il est important de ne pas confondre la propriété d'élasticité et de plasticité d'un matériau avec la matière appelée familièrement « du plastique ».

En effet, nous montrerons qu'un objet en plastique peut avoir un comportement élastique dans certaines conditions et un comportement plastique dans d'autres.

2. Plasticité

Quand vous étiez petit, vous avez tous joué avec de la « plasticine ». Que se passait-il ?

Il s'agissait de donner une forme (par exemple : un canard, une feuille,...) à une masse de plasticine qui était déformée à froid par l'effort appliqué à l'aide des mains et des doigts. Vous utilisiez la propriété de plasticité à froid d'un matériau dénommé « plasticine ».

La plasticité est une propriété de certaines matières qui gardent leur forme lorsque l'effort est supprimé.

Des solides tels que le plomb, l'argile, le mastic ne reviennent plus à leurs configurations initiales s'ils sont déformés. On dit que ces matériaux sont plastiques.

3. Elasticité

Vous avez déjà certainement utilisé un élastique pour consolider un paquet. En évitant d'aller jusque la rupture, vous avez alors tiré sur l'élastique pour le déformer afin qu'il entoure le paquet.

L'élastique reprenait sa forme initiale lorsqu'il était récupéré.

Si l'objet revient à sa configuration initiale dès que la force est supprimée, on dit qu'il manifeste la propriété d'élasticité.

4. Réflexions

Pour les exemples suivants, dites si la propriété mise en œuvre est l'élasticité ou la plasticité :

- Vous pliez légèrement une latte en plastique et elle reprend sa forme initiale
- Pour décoller un chewing gum d'un tissu, il est recommandé de le frotter d'abord avec un glaçon pour le durcir ; que se passe-t-il si le matériau est gratté à température ambiante ?
- Pour plier une plaque en plastique, il faut d'abord bien chauffer la plaque à l'endroit où sera réalisée la pliure, pourquoi ?

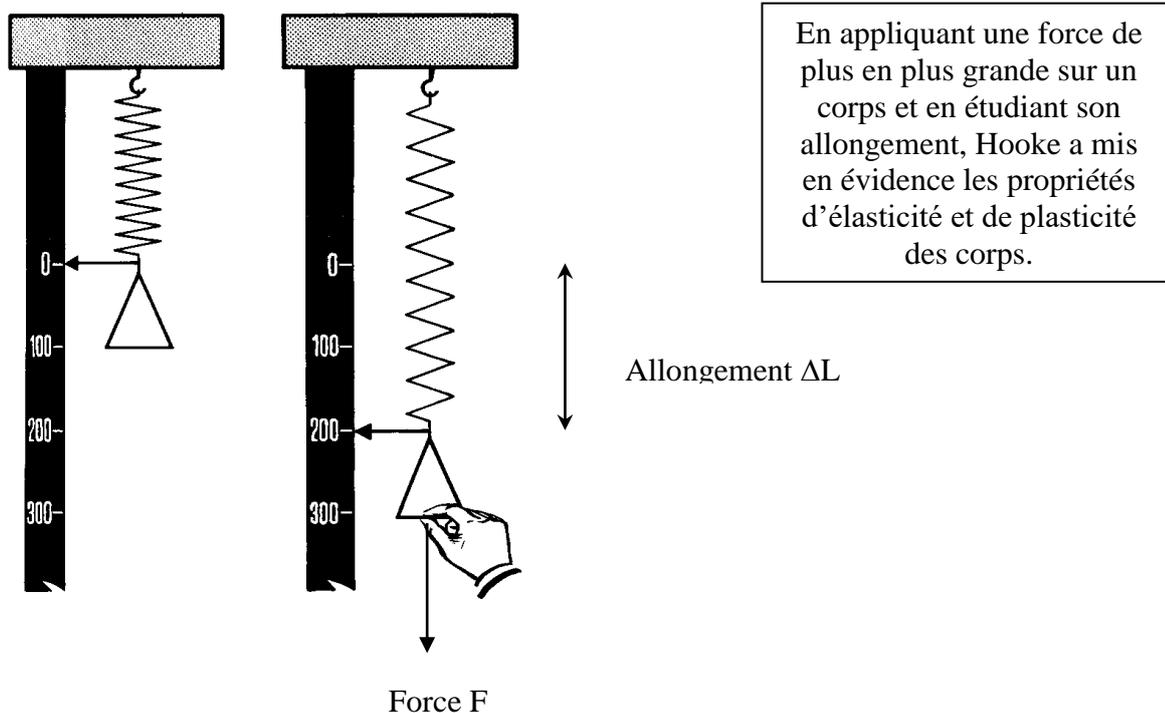
5. Loi de Hooke

5.1 PRINCIPE : Etude de l'allongement d'un objet en fonction de la force appliquée

Pour étudier la manière dont un objet ou un matériau, réagit sous l'effet de l'application d'une contrainte mécanique, on doit donc inventer un dispositif expérimental qui permettra de **reproduire aisément l'effet d'une force bien définie.**

Robert Hooke naturaliste et physicien anglais (Freshwater, île de Wight, 1635 — Londres, 1703), effectua de nombreux travaux sur l'élasticité, qui le conduisirent à formuler une loi qui porte son nom.

En suspendant différentes masses à un ressort, il est aisé d'étudier l'effet de la déformation engendrée par l'effort imposé.



A toute masse de matière m , est associée une force $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{g}$ où
 g est l'accélération de la pesanteur du lieu ($g = 10 \text{ N/kg}$)
 m la masse en kg
 F la force en Newton (N)

Ainsi, une masse de 100g suspendue à un ressort exerce sur ce dernier une force
 $F = 0,1 \cdot 10 = 1\text{N}$

Une masse de 1 kg exerce une force de 10 N , etc...

5.3 MANIPULATIONS : Prendre 3 ressorts différents

- Suspendre un ressort au support et repérer la longueur L_0 du ressort non étiré
- Accrocher différentes masses m à ces ressorts
- Déterminer pour chaque masse m , la force F exercée sur le ressort
- Une fois le ressort étiré, mesurer sa nouvelle longueur L
- Pour chaque masse, mesurer l'allongement $\Delta L = L - L_0$
- Vérifier si les ressorts reprennent leurs dimensions initiales lorsque les forces appliquées sont supprimées.
- Préparer une feuille des saisies de données avec pour chaque ressort (la masse, la force, la longueur L_0 , la longueur L et l'allongement $\Delta L = L - L_0$)
- Réaliser le graphique de l'allongement ΔL en fonction de la force de traction F
 Mettre en évidence les propriétés de rigidité (ressort rigide) et de souplesse (ressort souple)

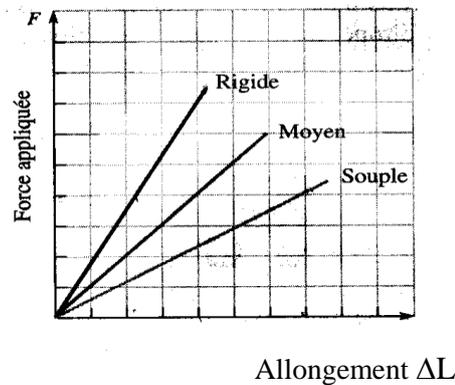
Pour des raisons de facilité et de compréhension du sens physique de la pente, nous porteront :

sur l'axe X : l'allongement ΔL
 sur l'axe Y : la force F de traction.

- Déterminer la constante de rappel k des différents ressorts ($k = F/\Delta L$)
- Remplacer les ressorts par un élastique et recommencer l'expérience jusqu'à l'obtention de la rupture de l'élastique.
- Commenter

5.4 THEORIE DE LA LOI DE HOOKE

Les expériences sur les ressorts font apparaître des graphiques dont l'allure est la suivante :



Beaucoup de matériaux se déforment proportionnellement à la force appliquée. Si deux grandeurs (F et ΔL) sont proportionnelles, leur rapport est constant.

$$\rightarrow \quad \mathbf{F = k \cdot \Delta L} \quad \text{[Loi de Hooke]}$$

- k est appelée *constante de rappel du ressort ou constante d'élasticité*
- k s'exprime en N/m et se mesure par la pente du graphique ($F = f(\Delta L)$)

Tous les ressorts n'ont pas la même constante d'élasticité k. En fait, cette constante k fait intervenir les caractéristiques du ressort (*ou de l'élastique*) comme sa longueur, son épaisseur, sa matière,...

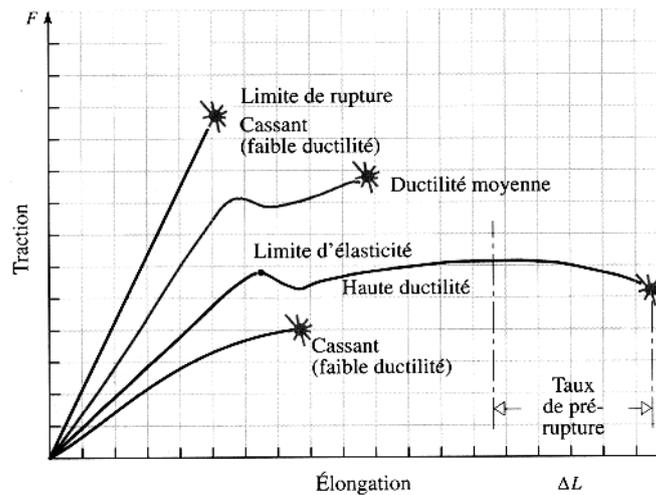
Pour une force donnée, plus la valeur de k est grande, plus l'allongement du corps élastique est petit : plus le corps est rigide et plus la pente du graphique est grande.

La loi de Hooke a ses limites. Nous avons tous constaté, lorsque nous étions jeunes, que lorsque l'on étire un ressort au-delà de ses capacités, il perd ses caractéristiques de ressort et se déforme.

La force appliquée sur le ressort était « trop grande ». Ainsi, on peut dire que la loi de Hooke ne s'applique que pour des forces « raisonnables ».

En principe, pour un corps dit élastique, si on retire la force de traction, le corps reprend sa forme initiale.

Les expériences avec un élastique font apparaître des graphiques dont l'allure est la suivante



Si l'échantillon est soumis à une trop grande charge, les comportements peuvent être différents en fonction de la matière.

Pour des faibles forces, l'allongement varie linéairement avec la force = zone élastique.

A partir de la limite d'élasticité, le corps se déforme d'une façon permanente = zone plastique du matériau.

La variation de l'allongement avec la force devient plus importante jusqu'au point appelé **limite de rupture**.

En générale, si on supprime la force de traction à partir d'un point situé entre la limite d'élasticité et le point de rupture, l'échantillon reste plus long qu'il n'était initialement et cela d'une façon permanente

Un matériau qui peut être étiré presque indéfiniment sans rupture même à froid est dit ductile (le chewing-gum).

Les substances cassantes (verre, pierre, céramique, fonte,..) cassent tout près de la limite d'élasticité, sans avoir subis de déformation notable.

Le degré de ductilité d'un matériau dépend de plusieurs facteurs : la température, le type de charge et la rapidité avec laquelle la charge est appliquée.

Quelques exemples

- le verre est cassant à température ordinaire mais chauffé jusqu'au rouge est aussi maniable que le chewing-gum
- L'acier est résistant mais il devient « plastique » (= il entre dans sa phase plastique) vers 650 °C (conséquence de l'écroulement des tours de New York suite à l'élévation de température) et il devient cassant vers -35 °C.

6. Influence de la température

6.1 INTRODUCTION

Supposons que les expériences aient pu être réalisées à haute température, par exemple à une température telle que les ressorts soient rougis.

Pouvez-vous « deviner » l'allure du graphique « force <> déformation » ?

Pourquoi faut-il « porter le fer au rouge » pour pouvoir le forger ?

Et s'il s'agissait de « forger » une plaque ou une bandelette de matière plastique, afin de lui donner une forme « bien spéciale » (fabrication d'un objet fini répondant à un besoin particulier), comment vous y prendriez-vous ?

Essayez de plier à froid une baguette de soudure pour PVC de telle sorte qu'elle soit déformée de manière permanente. Qu'observez-vous ? Quelle est votre explication ?

6.2 MANIPULATION

Vous disposez de baguettes réalisées en différents matériaux (fil de cuivre, baguette de soudure pour PVC, etc.). A l'aide d'un dispositif pour soudure à air chaud, vous tentez d'élever la température du matériau en un point précis.

Attention : dans le cas d'une baguette métallique, vous pourriez vous brûler ! Il est nécessaire de réaliser l'expérience en portant des gants de protection thermique.

La sensation de brûlure ne sera pas ressentie dans le cas d'une baguette en matière plastique : pourquoi ?

Expliquez ... quelle est la propriété fondamentale mise en évidence ?
Citez quelques exemples d'application de cette propriété, tirés de la vie quotidienne.

Décrivez vos observations.

Quelle est l'origine de la force qui oblige les baguettes à plier ?

Que se passe-t-il lorsque vous supprimez le chauffage d'une baguette en PVC alors qu'elle a déjà acquis une déformation bien nette ?

6.3 REFLEXION SUR LA MISE EN ŒUVRE

Il est très évident que la mise en œuvre des matériaux exigera la plupart du temps d'imposer des déformations en exerçant des forces, de telle sorte que la forme souhaitée soit permanente lorsque les « efforts » sont supprimés.

Les déformations pourront être imposées à froid, comme dans le martelage d'une plaque en cuivre. Très souvent, elles s'obtiendront à chaud et le matériau sera moulé afin d'acquérir la forme souhaitée.

C'est un phénomène familier : il suffit de faire fondre une masse de cire ou de plomb puis de la couler à chaud dans un moule pour réaliser ... un petit « soldat de plomb », une « statuette en cire », etc.

6.4 THERMOPLASTIQUE

Tout ceci montre que les matériaux peuvent subir des déformations permanentes grâce à l'application de force ou de la température.

Une matière plastique est une matière susceptible d'acquérir une déformation permanente sous l'action de contraintes.

Un thermoplastique est une matière que l'on forme grâce à l'action combinée de la température (chaleur) et d'une contrainte (pression) et qui garde cette déformation une fois refroidie (absence de chaleur) et en l'absence de contraintes.

6.5 REFLEXION SUR LA PLASTICITE : NOTION DE VISCOSITE

La « théorie de la plasticité » n'est pas d'un accès aisé !

Portés à une température « suffisante » (au dessus du point de fusion), les matériaux prennent une consistance plus ou moins liquide ou pâteuse, caractérisée par une **viscosité** plus ou moins élevée.

Le comportement visqueux des matériaux mérite à lui seul une étude approfondie. (*voir chapitre sur la viscosité*)

A titre d'exemple, signalons que la principale propriété d'un liquide, c'est la faculté de ... couler !

Tous les liquides ou matériaux liquéfiés ne coulent pas de la même façon.

Certains s'écoulent avec la même viscosité quelle que soit la vitesse d'écoulement, on les appelle des fluides newtoniens (exemple : l'eau).

D'autres ont tendance à manifester une résistance à l'écoulement d'autant plus élevée que la vitesse d'écoulement est grande. Une augmentation de la vitesse d'écoulement entraînera alors un « durcissement » du matériau.

Exemple : certains bancs de sable gorgé d'eau se comportent comme des solides assez durs lorsqu'on court à leur surface. Par contre, si on se tient immobile, on s'enfonce progressivement. Ce phénomène est facilement observable sur certaines plages de la mer du Nord, lorsque la marée se retire.

D'autres encore s'écoulent vite dès qu'un faible effort les sollicite.

C'est le cas de la plupart des peintures : un simple mouvement du pinceau étale la peinture sur le support mais dès que le pinceau est relevé, la peinture « s'accroche » au support, en « refusant de couler ».

En outre, certains matériaux (c'est le cas de la plupart des matières plastiques), ont tendance à subir des transformations chimiques (décompositions) bien avant d'atteindre le stade de la fusion.

Il faudra alors leur ajouter des « stabilisants » thermiques soigneusement choisis en fonction des propriétés finales souhaitées.

Pour les applications alimentaires, les additifs autorisés sont décrits dans des bases de données de toxicologie (exemple : additifs « F.D.A. » [Food and Drug Administration]).

Pour les applications médicales, des normes encore plus sévères seront d'application.

Réflexion

Même si le concept de viscosité vous est peu familier, essayez de répondre aux questions suivantes en ne considérant la viscosité que comme une « résistance à l'écoulement » :

- pour une peinture murale, dessinez un diagramme de principe présentant en abscisse « l'effort » et en ordonnée la viscosité ; commentez votre schéma
- idem pour un banc de sable d'une plage, pour lequel vous pourriez ressentir un « durcissement » lors d'un parcours au pas de course

La complexité

En pratique, un matériau donné devra être considéré comme « un mélange intime » de parties élastiques ET plastiques, en interaction constante.

La mise en œuvre de ce matériau demandera d'appliquer des conditions opératoires bien précises, de telle sorte que le compromis « élasticité – plasticité » soit géré de la manière la plus « astucieuse » possible, sans toutefois perdre de vue les conditions économiques (produire de la chaleur coûte cher !).

Dans ces conditions opératoires, on retrouvera toujours des éléments relatifs à l'application d'un régime de température assez précis et une succession de contraintes mécaniques optimales.

Il est important de bien comprendre que toute modification de ces conditions (thermiques ou mécaniques) aura un impact sur les propriétés désirées.

Afin de vous permettre de bien assimiler ces notions, des manipulations vous seront proposées ultérieurement, de telle sorte que vous puissiez balayer une large gamme de conditions opératoires, afin de mieux vous rendre compte de l'absolue nécessité d'appliquer soigneusement les conditions de mise en œuvre prescrites en milieu professionnel.

Etudier les conditions de mise en œuvre d'une matière plastique en vue d'en dégager des propriétés optimales pour une application donnée est un domaine réellement passionnant.

Questionnaire

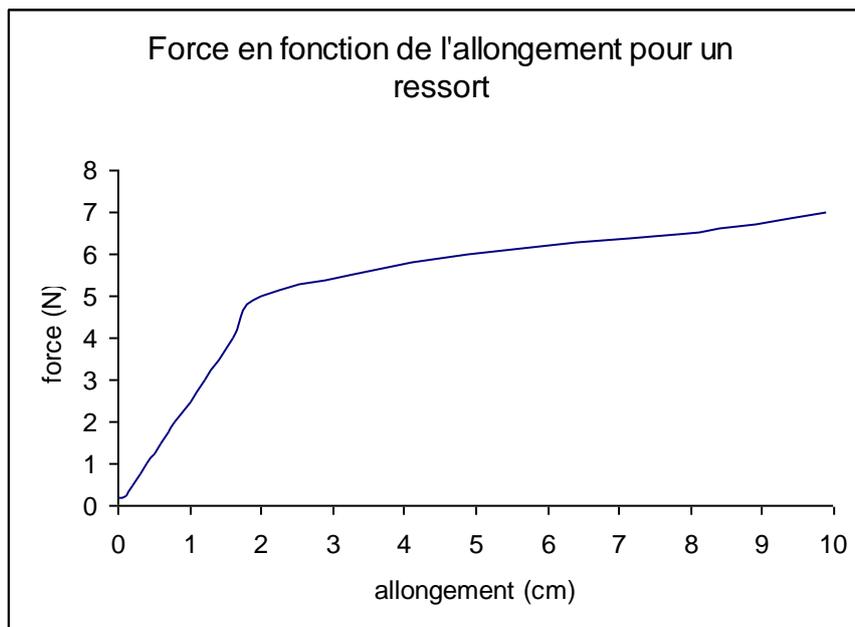
1. Définir la propriété de plasticité à froid. Donner un exemple illustrant cette propriété
2. Définir la propriété d'élasticité. Donner un exemple illustrant cette propriété
3. Une latte en matière plastique manifeste la propriété d'élasticité ou de plasticité.
Expliquer
4. Quelle est l'allure générale du graphique $F = f(\text{allongement})$ pour un ressort étiré par une faible force ?
5. Savoir situer sur le graphique $F = f(\text{allongement})$ les zones « élastique et plastique », la limite de rupture
6. Que représente la constante de raideur d'un ressort ? Comment peut-on la calculer ?
7. Définir thermoplastique

Questionnaire « Elasticité-plasticité »

1. Définir les termes : plasticité et élasticité et donner un exemple d'application pour chacune de ses propriétés.

2. Définir :
ductile et donner un exemple

3. Sur le graphique ci-dessous, indiquer les 4 termes suivants :
Zone plasticité / limite d'élasticité / zone élastique / point de rupture

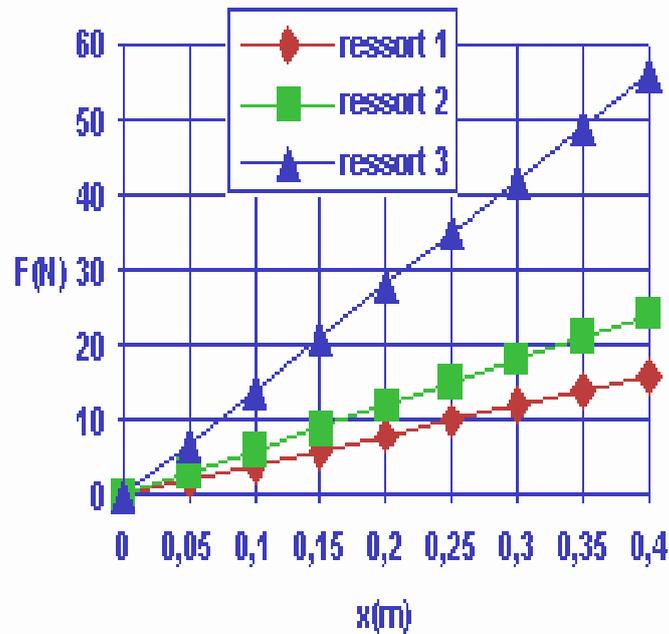


4. Voici ci dessous, les résultats de 3 expériences dans lesquelles, on étudie l'allongement d'un ressort en fonction de la force appliquée.

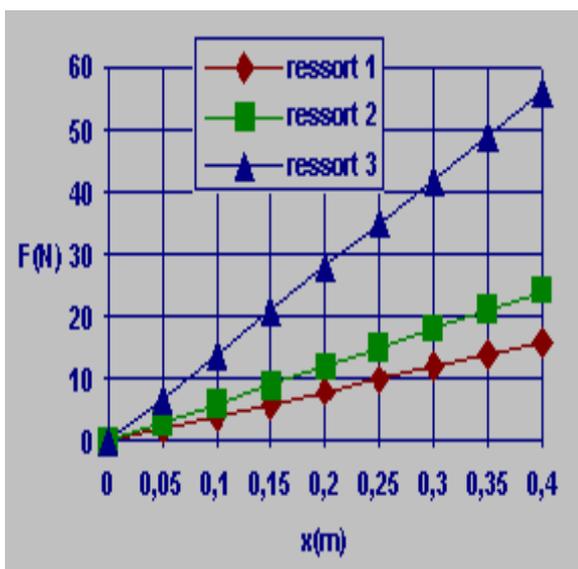
Le graphique a pour axe Y : la force (N) et pour axe X : l'allongement (m)

On demande pour les 3 ressorts de déterminer approximativement la constante de raideur du ressort.

A partir de cela, expliquer lequel de ces 3 ressorts est le plus raide et lequel est le plus souple.



Définir : matériau thermoplastique



La loi de Hooke:

L'étude de l'allongement de plusieurs ressorts en fonction de la force appliquée donne les graphiques ci contre

- Définissez la « constante de raideur » d'un ressort et son unité
- Lequel des trois ressorts a la constante de raideur la plus grande? Expliquez!
- Un ressort s'allonge de 4 cm lorsqu'on y applique une force de 10 N. De combien s'allongerait-il si on y appliquait une force de 17 N?

6. COMPORTEMENT DES POLYMERES VIS-A-VIS DE LA CHALEUR

7.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, on a travaillé à froid pour mettre en évidence les notions de plasticité et d'élasticité.

On a terminé en chauffant un matériau qui se déformait de façon permanente.

Dans ce module on va tirer profit du caractère thermoplastique pour réaliser une expérience qui introduit la notion de mise en œuvre.

7.2 Manipulation

Vous disposez de trois matériaux :

- des granules de PE.
- des granules de PP.
- des granules de compound à base de PVC.

Vous devez d'abord pour chaque matériau, presser trois plaques d'épaisseur différentes en jouant sur la quantité de granules que vous déposez dans la partie femelle du moule.

Attention

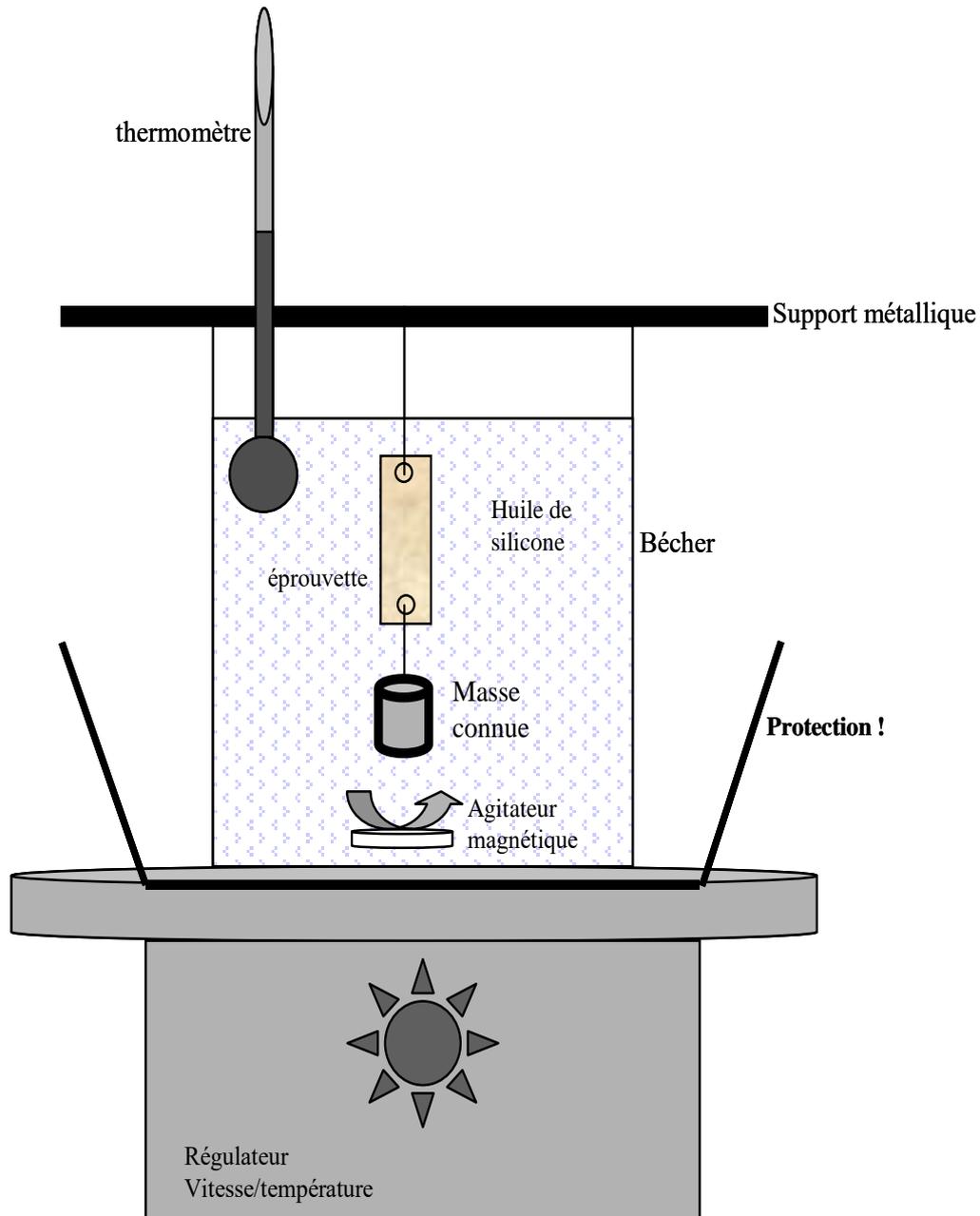
Les plaques doivent être aussi parfaitement homogènes que possible. En particulier, on ne doit plus distinguer les granules individuelles.

Les conditions de pressages vous seront données par vos professeurs.

Il s'agit ensuite de découper dans chaque plaque plusieurs éprouvettes de 5cm de longueur et de 2cm de largeur.

Le haut et le bas d'une éprouvette seront pressés à l'aide de deux couples de charnière à trois trous, agissant comme des mâchoires. (*voir labo*)

Les éprouvettes sont disposées dans un bain d'huile de silicone selon le schéma suivant :



Sous agitations constante de la puce magnétique (Pourquoi ?), amener la température du bain au palier suivant :

50, 100, 150, 200 degrés centigrade.

Lorsque la température du bain est bien stabilisée pour le palier choisi, il faut retirer l'éprouvette et la plonger dans de l'huile de silicone froide, essuyez l'éprouvette et mesurez la distance entre les deux bords de charnière.

Exploitation des données.

A partir d'un tableau de saisie des données présentant pour chacun des matériaux et pour chaque épaisseur de plaques, l'allongement relatif de l'éprouvette en fonction de la température des paliers, tracez un graphique destiné à être commenté.

Rédigez vos conclusions.

Sécurité !

Les manipulations font appel à l'utilisation d'huile très chaude.

Il faut donc opérer dans le calme ! ...et avec grande prudence de manière à éviter les brûlures.

Avant toute opération, réfléchissez à une manière de faire qui élimine les dangers potentiels.