

# Les liquides nous jouent des tours !

## Étude d'un fluide non newtonien



Lucas DOUESSIN, 1ère S ; Adèle PERUS, 1ère S ; Sarah SAIF, 2nde ;  
Marie TAVERNIER, Tale ES

## Abstract

We are four students of secondary school and we worked on the theme of the “non newtonian fluids”. It is both amazing and exciting.

The « non newtonian fluids » are a substance with amazing physical and chemical properties. We fixed our researches on one mixture : maïzena and water. This mixture is liquid but is able to be strong, depending on the pressure we put on it. A man can even run on it ! We first made few experiences to define the properties of this substance. Then, we established protocols to demonstrate these different properties. We also explained the crucial notion of mechanic fluids, to understand what is the non-newtonians fluids.

## Résumé

Nous sommes quatre élèves de 2de, 1s et Tes du Collège Lycée Expérimental d'Hérouville St Clair à avoir travaillé sur ce sujet aussi passionnant qu'étonnant : les « fluides non-newtoniens »

Les fluides non-newtoniens sont des substances aux propriétés physiques et chimiques étonnantes, que nous détaillerons par la suite. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés au cas d'un mélange de maïzena (féculé de maïs) et d'eau : ce liquide devient solide quand on lui applique une contrainte forte. Nous avons alors enchaîné les petites expériences afin de nous faire une idée des propriétés que possède ce fluide, puis, nous avons établi des protocoles permettant de les mettre en valeur. Nous avons également cherché à définir les principales notions de la mécanique des fluides, afin de mieux comprendre ce qu'étaient les fluides non-newtoniens.

# Sommaire

Introduction.....p4

## **Première partie : approche théorique**

I Les Fluides.....p5

II Les fluides non-newtoniens..... p6

III Le mélange eau-maïzena..... p7

## **Deuxième partie : approche expérimentale**

IV Expériences préliminaires.....p10

V Expérience de la seringue.....p12

VI Etude du pendule.....p15

VII Expérience du plan incliné.....p21

Conclusion.....p24

Sources, remerciements.....p25

## Introduction

Lorsque notre professeur de physique a évoqué, lors d'un de ses cours, le fait que l'on puisse courir sur de la maïzena, nous nous sommes précipités pour le voir de nos propres yeux. Nous avons donc commencé, chacun de notre côté, à expérimenter quelques manipulations. Ce sujet nous intéressait réellement, et nous avons finis par décider d'en faire notre thème de recherches. Suite à de petites manipulations qui nous ont permis de bien définir notre sujet, nous avons commencé des expériences plus poussées. Dans ces expériences, notre but aura été d'illustrer les différentes viscosités de notre mélange. Dans toutes ces manipulations, nous avons comparé les résultats obtenus avec le liquide non-newtonien, avec ceux de mélanges newtoniens : l'eau et l'huile. Nos recherches évoluent donc autour de la question suivante : comment varie la viscosité d'un fluide non-newtonien si l'on fait varier la contrainte ? Dans un premier temps, nous définissons ce qu'est un fluide, puis étudions le comportement général des fluides non-newtoniens, et nous intéressons plus particulièrement au cas des rhéoépaississants, à travers celui de notre mélange eau-maïzena. Ensuite, nous présentons nos expériences : d'abord celles préliminaires, puis les trois autres (celle de la seringue, celle de la planche et celle du pendule). Enfin, nous donnons nos analyses des résultats, avant de conclure sur nos recherches.

# I- Les fluides

Les fluides regroupent les liquides et les gaz. Ils sont totalement déformables, car ils sont composés de molécules qui ont peu d'interactions entre elles, et qui peuvent glisser librement les unes sur les autres. L'étude des fluides s'appelle la mécanique des fluides. On sépare souvent l'hydrostatique (étude des fluides au repos) de la dynamique des fluides (étude des fluides en mouvement).

Les premières lois des fluides hydrostatiques ont été découvertes par Archimède au troisième siècle avant Jésus Christ. Il s'agit essentiellement de l'étude de la pression dans les fluides. La pression (en Pascal) est  $P=F/S$ ,  $P$  étant la force appliquée sur une surface (en Newton), et  $S$  l'aire de cette surface (en  $m^2$ ).

Ensuite, la dynamique des fluides étudie la vitesse ( $v=d/t$ ), la viscosité (c'est-à-dire la résistance d'un fluide au glissement d'une couche par rapport à une autre), la densité (densité=masse/volume).

Les fluides sont divisés en deux grandes familles : les fluides newtoniens, et les fluides non newtoniens. Les fluides newtoniens sont des fluides dont la vitesse de déformation est linéaire. Cela signifie que leur viscosité est proportionnelle à la force appliquée sur eux quelle qu'elle soit. Un fluide newtonien va donc se déformer proportionnellement à la contrainte qui lui est appliquée, tandis que les fluides non-newtoniens vont adopter un comportement différent selon la contrainte. C'est ce type de comportement que nous allons chercher à étudier.

## II- Les fluides non-newtoniens

Certains fluides ont un comportement non linéaire. C'est-à-dire que leur vitesse de déformation n'est pas proportionnelle à la force qu'on leur applique. Ce sont ceux que l'on appelle "fluides non-newtoniens".

On observe une variation de leur viscosité, en fonction de la vitesse de cisaillement (ou la force) qui leur est appliquée. Selon son intensité, le fluide aura un comportement solide ou liquide.

On distingue plusieurs familles de fluides non-newtoniens :

- les rhéoépaississants (par exemples des solutions d'amidons, de fécule de maïs), qui voient leur viscosité augmenter sous contrainte.
- les rhéofluidifiants (comme le sang ou la peinture en pots), qui, eux, on une viscosité qui diminue quand on leur applique une force.
- les fluides de Bingham (tels que le dentifrice ou la peinture en tubes), qui nécessitent une certaine pression (appelée seuil d'écoulement) pour pouvoir s'écouler.

Le mélange eau-maïzena (qui comporte donc de la fécule de maïs) appartient à la première catégorie.

Nous tentons de mettre en évidence dans les expériences à venir les propriétés non-newtoniennes de notre mélange.



### III- Le mélange eau-maïzena

#### A- Fonctionnement du mélange

La maïzena (féculé de maïs) est un polymère, c'est à dire qu'elle est composée de macromolécules : des petits grains d'amidons de quelques dizaines de micromètres. Ceux-ci, hydrophobes, n'absorbent pas l'eau quand on en ajoute. Le liquide occupe donc les espaces entre les grains (espace interstitiel). Or, selon leur arrangement, le volume interstitiel, soit le volume contenu entre les grains, varie. Lorsqu'on applique une pression sur le mélange, les grains se resserrent et forment des grumeaux, qui font durcir le mélange, lui donnant un aspect solide. Lorsqu'aucune contrainte n'est plus appliquée, les grains se réorganisent, les grumeaux disparaissent, et le mélange reprend alors un aspect liquide. Ces grains ont une forme irrégulière, et un volume important : leur réagencement lorsqu'une force est appliquée est donc plus difficile. Quand la force qui est exercée sur le mélange est trop importante, ou que la vitesse de cisaillement est trop rapide, ils n'ont pas le temps de se réarranger, et cela bloque l'écoulement : ils se comportent alors comme les molécules d'un solide, comme s'ils étaient tous attachés entre eux, et ne se déforment pas. Quand aucune contrainte ne leur est appliquée, les grains peuvent s'agencer en feuillet de façon à favoriser la fluidité du mélange. C'est Albert Einstein<sup>1</sup> qui a compris le premier ce phénomène. En 1906, il a, après avoir réalisé cette expérience, montré que plus le volume occupé par les grains est important, plus la résistance opposée à l'écoulement sera grande.

#### B- Observation d'une goutte de maïzena au microscope optique

Pour illustrer les recherches précédentes, nous avons observé une goutte de maïzena au microscope optique. Ainsi, nous avons pu nous faire une idée de sa structure.

##### Déroulement :

Pour pouvoir observer quelque chose, il faut une très petite quantité de maïzena, et bien étaler la goutte sur la lamelle, car les grains qui composent le mélange sont très gros et rapprochés, et ne peuvent laisser passer la lumière si la goutte est trop dense.

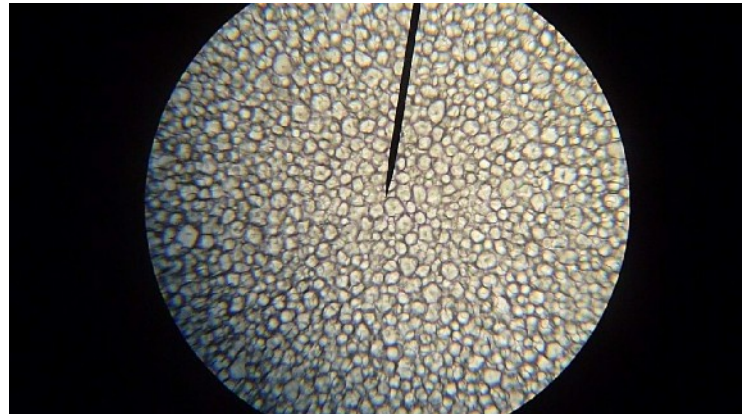
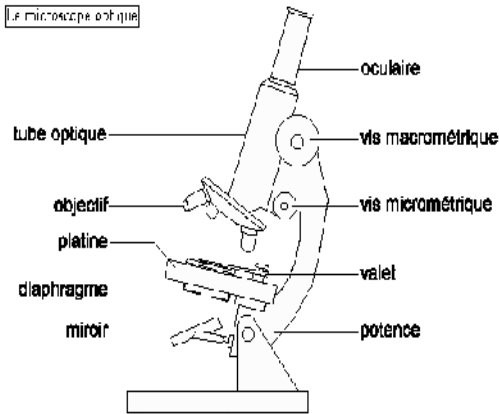
Nous avons étalé la goutte de maïzena sur la lamelle et placé celle-ci dans un

---

1- D'après : Courty, Jean-Michel ; Kierlik Edouard. On a marché sur... du liquide. *Pour la Science*. Août 2010, n°394, p88-90. Idées de physiques.

microscope optique. On peut alors observer la structure de la maïzena : elle est composée d'une grande quantité de grains. Entre les grains, on distingue peu d'espace, ce qui nous indique que le liquide est très dense.

Image de l'observation au microscope :

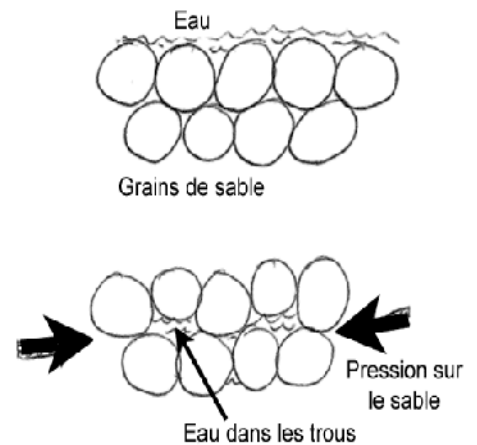


Grossissement X15

C- Un exemple de la vie courante

Lorsqu'on laisse reposer le mélange eau-maïzena, on observe qu'une mince pellicule d'eau se forme à la surface.

Il se passe la même chose avec le sable mouillé, ce qui nous permet d'illustrer notre explication. Lorsque le pied se pose sur le sable mouillé, on observe que le sable s'assèche autour. En effet, celui-là est très compact. La contrainte exercée par le pied modifie l'arrangement des grains, et les force à rouler les uns sur les autres, provoquant un frottement, jusqu'à ce que cela bloque. Ils sont alors agencés dans une configuration moins compacte mais qui occupe plus de volume : l'espace interstitiel augmente donc, il devient supérieur au volume d'eau présent. On appelle cela l'effet de dilatance ( c'est le phénomène par lequel un système constitué d'une phase solide et d'une phase liquide, soumis à une perturbation mécanique, devient plus rigide et capable de supporter des efforts ). L'eau (qui provient des zones voisines) s'infiltre dans les espaces vacants, c'est ce qui assèche le sable voisin. Lorsque le pied se soulève, plus





aucunes contraintes ne sont appliquées, les grains peuvent alors s'agencer de façon plus optimale, et l'on voit un pellicule d'eau se former à la surface, suite à la diminution de l'espace interstitiel. Le mélange eau-sable redevient alors plus mou.

Cette comparaison avec le sable a tout de même des limites, à cause de la taille des grains. Cependant, on retrouve ce phénomène de dilatance y compris chez la maïzena, ce qui nous a conduit à comparer les deux mélanges.



### En conclusion :

Les fluides non-newtoniens sont donc des fluides dont le comportement lorsqu'on leur applique une contrainte n'est pas linéaire. Parmi eux, se trouvent les liquides non-newtoniens, tel que le mélange que nous étudierons par la suite. Celui-ci est constitué de grains qui s'agencent selon la pression de manières différentes, et qui lui donnent ces propriétés remarquables dont il fait preuve.



## IV Expériences préliminaires

Pour nous familiariser avec le mélange, nous nous sommes d'abord réunis afin de mener quelques petites expériences qui nous ont permis de tracer les grandes lignes de notre sujet. Après avoir observé ses multiples comportements lorsqu'on le manipulait à la main, nous avons trouvé une expérience amusante qui consistait à faire vibrer de la maïzena sur une enceinte. L'observation d'une goutte de la mixture nous paraissait également importante. Cette expérience montrée dans la partie précédente a contribué à nous faire une idée de la structure de la maïzena, et nous avons pu mettre nos observations en relation avec nos recherches théoriques.

### A- La manipulation d'un fluide non-newtonien :

Nous avons observé le comportement d'un mélange de maïzena (fleur de maïs) et d'eau, en le manipulant manuellement :

Quand on tape sur le mélange, il apparaît comme solide.

En revanche lorsqu'on le touche doucement, on peut y enfoncer le doigt.



Pour pouvoir se déplacer dans cette solution, il faut bouger doucement le doigt, sinon il reste immobile comme prisonnier d'un solide.

Lorsque qu'on fait couler de la maïzena dans le mélange, le fluide se pose d'abord à la surface avant de s'enfoncer. Cela s'écoule tout doucement, en formant un long fil à

l'aspect irrégulier : solide par endroit, liquide ailleurs.

## B- Observation du comportement de la maïzena sur un film plastique posé sur une enceinte :

Pour réaliser cette expérience, il faut disposer d'un générateur basses fréquences (GBF), d'une enceinte, de film plastique et éventuellement d'un stroboscope.

Nous avons placé du film plastique (deux couches au début, puis une seule) sur une enceinte, et l'avons fixé à l'aide de pinces.



Branchée à un GBF, l'enceinte vibre et transmet ces vibrations à la maïzena qui s'agite alors de manière amusante. Il est possible de mettre en valeur ces mouvements en les décomposant à l'aide d'un stroboscope.

En faisant varier les fréquences, nous avons pu faire quelques observations : si la fréquence est trop basse, il ne se passe rien ; à 70 Hz la maïzena s'agite beaucoup ; lorsque le signal émis est carré plus de choses sont observables ; avec seulement une couche de film plastique, les réactions sont plus nombreuses et c'est à 20 Hz que l'on observe le plus de choses ; en revanche, il n'y a de réaction ni à 30, ni à 40 Hertz.

La maïzena bouge de manière étonnante : des bosses se forment en surface et se comportent comme si elles cherchaient à s'élever le plus haut possible, avant de s'écrouler sur elles-mêmes. En l'air, on peut observer une sorte d'ondulation dans leur mouvement !

## Conclusion de ces manipulations :

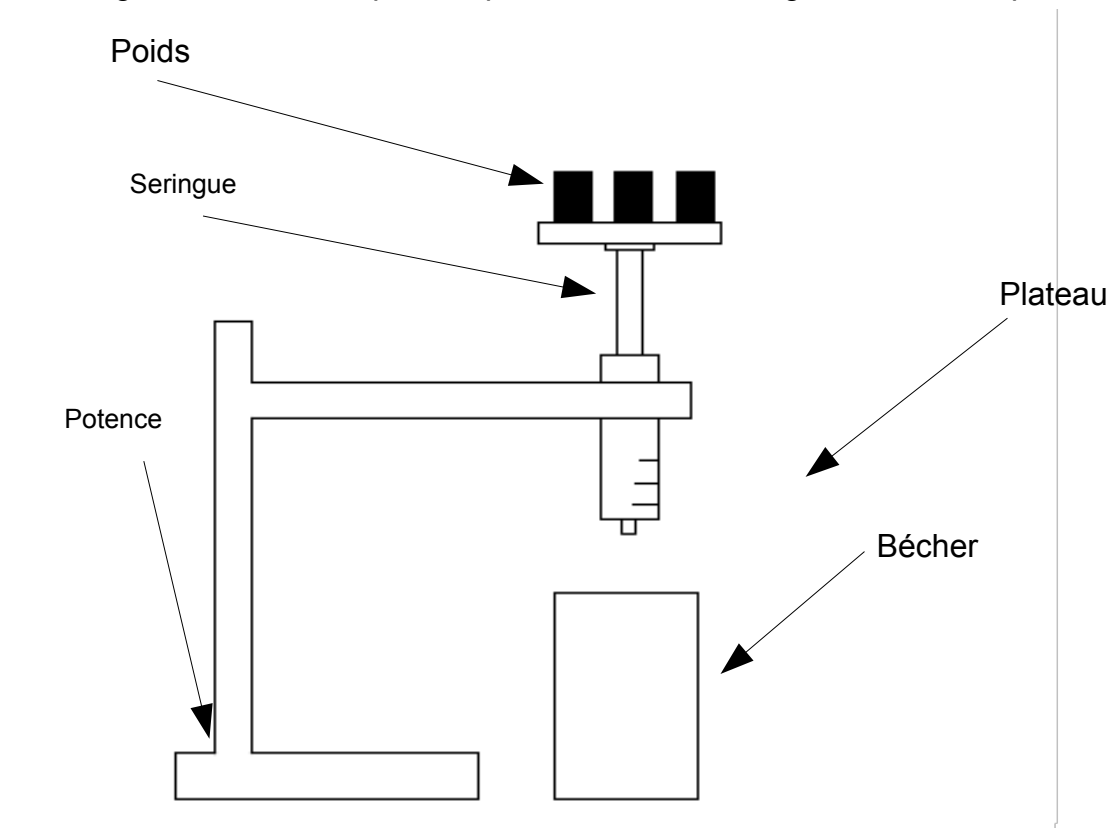
Nous pouvons déjà conclure de ces observations qu'elles semblent illustrer certaines propriétés de ce mélange : à savoir son comportement solide ou liquide en fonction de la force appliquée. De plus, sa viscosité importante lui permet d'être plus élastique, et donc de l'élever dans les airs, comme nous l'a montré l'expérience avec le GBF.

## V Expérience de la seringue

Expérience : Dans une seringue, étudier avec plusieurs fluides, la vitesse d'écoulement de la seringue en fonction du poids qui lui est imposé.

Déroulement : Sur une potence, fixer une seringue à une vingtaine de centimètres du sol, et placer un bécher en dessous. Fixer un volume qu'on étudiera constamment au cours de l'expérience (ici 10 ml).

Placer le liquide étudié dans la seringue. Sur le haut de cette dernière, fixer un plateau pesé au préalable. Après avoir placé des poids dedans, chronométrer le temps que met la seringue à se vider. Répéter l'opération avec une augmentation des poids.



Mesure de l'eau :

Poids en kilogramme	1	1,5	2	2,5	3
Temps en seconde	3,15	1,1	0,9	0,4	0,2

Nous avons pu constater que, pour l'eau, plus il y a de poids plus le liquide s'écoule vite.

## Mesure de huile :

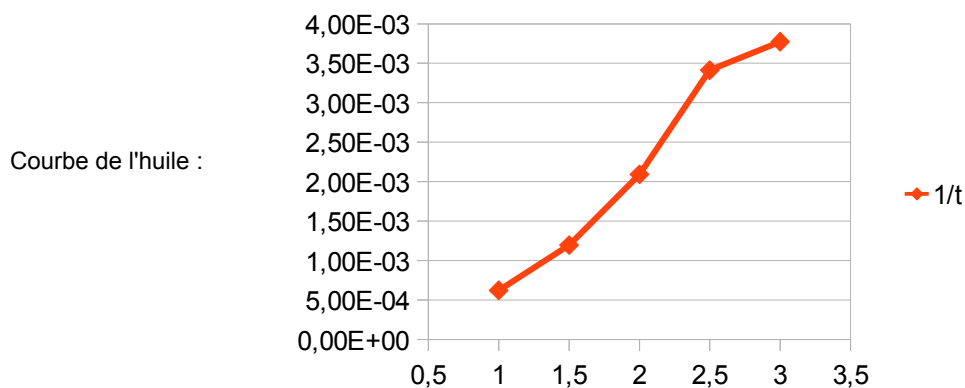
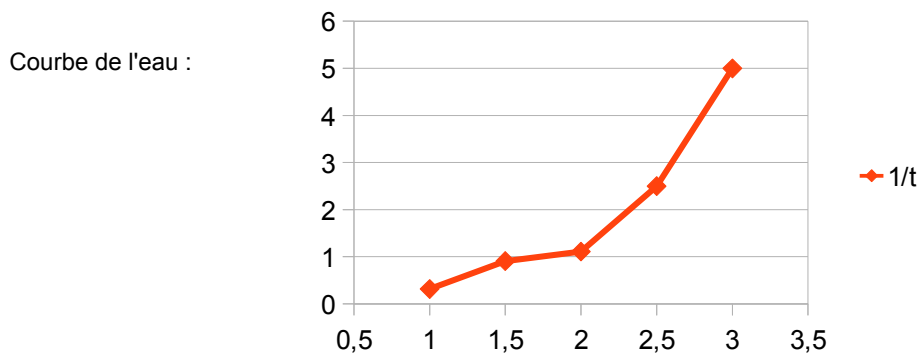
Poids en kilogramme	1	1,5	2	2,5	3
Temps en seconde	26min 45s	13min 56s	7min 58s	4min 53s	4min 25s

Pour huile, nous avons constaté que le comportement était le même que l'eau : la vitesse d'écoulement augmente aussi avec les poids. Cependant, l'écoulement était plus long. Nous en avons conclu que l'huile est plus visqueuse que l'eau.

Nous avons alors le temps en fonction de la contrainte. Or, il nous fallait, la vitesse en fonction de la contrainte. La vitesse que l'on regarde est celle de l'écoulement. C'est-à-

dire  $v = \frac{V_{\text{écoulé}}}{t}$  Puisque le Volume écoulé est constant (10mL), alors la vitesse est proportionnelle à  $1/t$ . On trace donc la vitesse  $1/t$  en fonction de la contrainte.

Cependant, notre marge d'erreur était importante (de l'ordre de 0,2 secondes pour l'eau). La courbe obtenue correspond donc si l'on prend en compte cette marge, elle est compatible avec un droite, ce qui confirme la proportionnalité de nos mesures.



Nous savions, d'après nos recherches, que la maïzena avait une viscosité non proportionnelle à la force appliquée. Après nos mesures, nous nous attendions donc à ne pas obtenir une droite (la droite étant obtenue pour les mesures proportionnelles). Cependant, nous avons rencontré certains problèmes qui nous ont poussés à abandonner cette expérience. Le fait de devoir transvaser le mélange eau-maïzena du bécher à la seringue était déjà difficile : la maïzena sèche en route ! Le mélange perdait donc du volume lors du transvasement, et il nous fallait rajouter de l'eau, ce qui faussait nos mesures et proportions. Notre première mesure (avec 1kg) ne fut pas simple non plus : le liquide ne coulait que très doucement, ou quasiment pas (il a fallu une heure pour que s'écoule une petite moitié de la seringue). Alors, nous avons rajouté des poids sur la seringue de maïzena et cela ne coulait plus. Nous avons essayé de la vider nous même, et cela ne marchait toujours pas. Cela peut donc être une illustration des propriétés des liquides rhéoépaississants : plus l'on rajoute de poids, plus l'écoulement est lent, voire inexistant (contrairement aux fluides newtoniens).

Cependant, nous savons aussi que notre matériel n'était pas vraiment adapté, ce qui a pu fausser en partie nos mesures. De plus, les seringues dont nous disposions ne coulissaient pas suffisamment. C'est peut-être pour ça que la maïzena coulait si peu.





## VI Etude du pendule



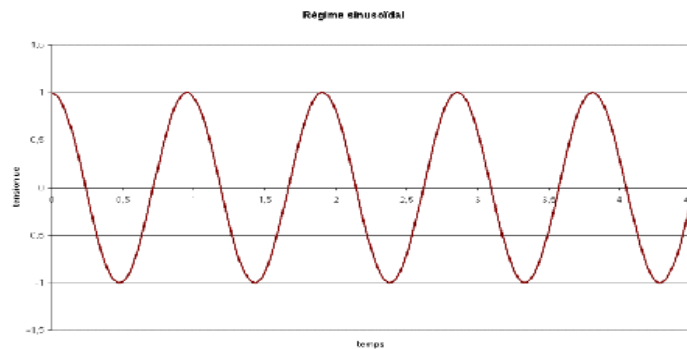
Après avoir abandonné notre expérience de la seringue, nous avons tout de même voulu continuer à montrer que notre mélange non-newtonien possédait une viscosité variable. Pour cela, nous avons cherché une nouvelle expérience à mener, et avons imaginé celle du pendule. Celle-ci consiste en l'oscillation d'un pendule dans un mélange donné. Son intérêt est que le pendule applique une contrainte variable au mélange non-newtonien. En effet, lorsque le pendule est lâché de haut, la force appliquée au liquide est forte, tandis que lorsqu'il est ralenti par la mélange, la contrainte s'amointrit. Ces variations de forces permettent donc de mettre en valeur les changements de viscosité de notre mélange, ce qui répond à notre objectif. Les courbes obtenues peuvent ainsi être comparées. Nous avons tout d'abord réalisé cette manipulation avec seulement trois liquides l'eau, l'huile et le mélange non-newtonien eau-maïzena. Mais il nous a paru plus tard plus intéressant de recommencer cette expérience en faisant varier les pourcentages de maïzena dans le mélange. L'expérience présentée ci-après est donc la deuxième qui a été menée.



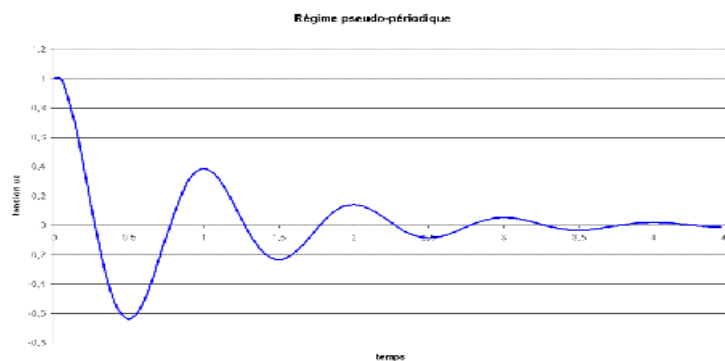
Nous avons d'abord réalisé nos mesures, puis nous avons analysé nos résultats, en les mettant en relation avec les régimes de courbe existants.

Cette expérience nous a permis d'obtenir des courbes différentes pour chaque liquide. Afin de mieux les analyser, il nous a fallu rechercher et connaître les différents régimes oscillatoires existants. D'une manière générale, il y en existe trois : périodique, pseudo-périodique et aperiodique.

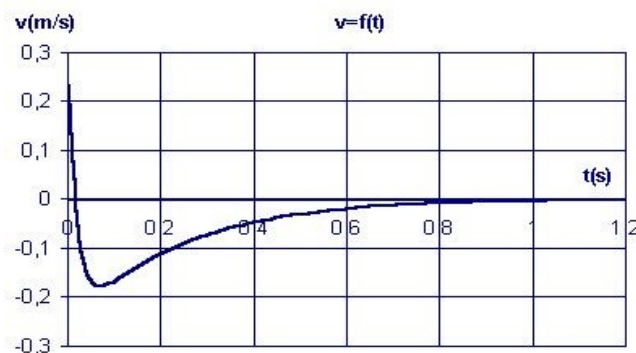
→ Le régime périodique : les intervalles sont réguliers, et l'oscillation n'est pas ralentie. Elle se perpétue dans le temps de manière régulière en infinie.



→ Le régime pseudo-périodique : lorsque l'oscillation est partiellement amortie. Les intervalles ne sont pas réguliers, ils sont amortis dans le temps. L'oscillation diminue.



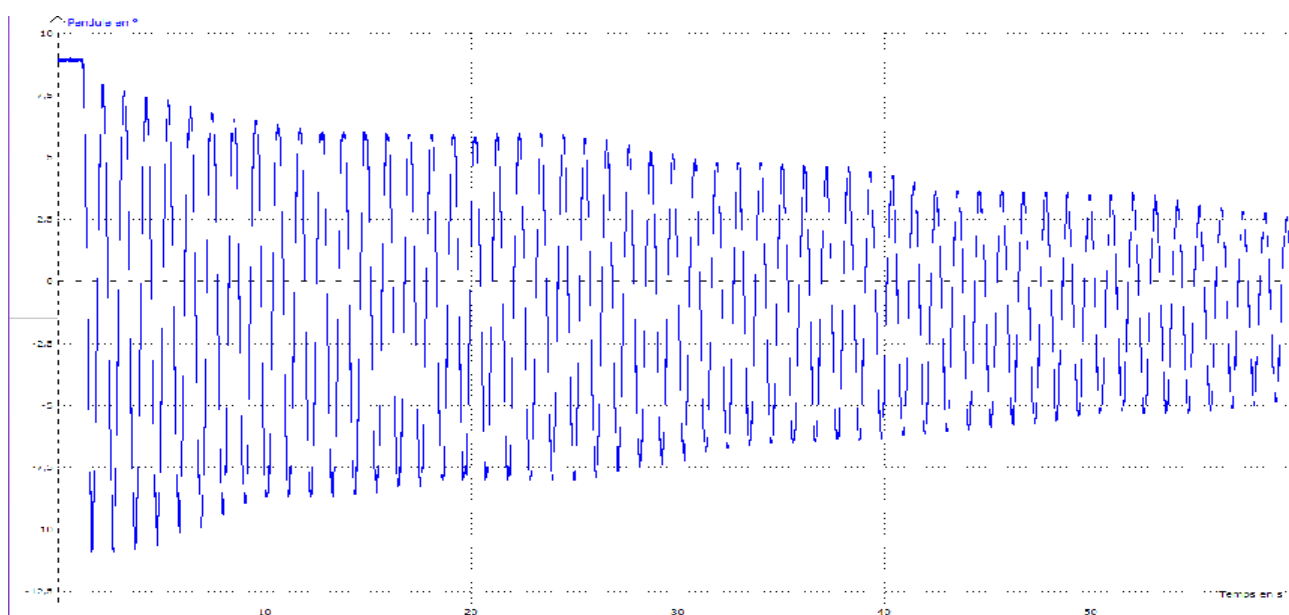
→ Le régime aperiodique : le taux d'amortissement est trop élevé pour permettre une oscillation. On n'observe pas d'intervalles, mais plutôt une courbe.



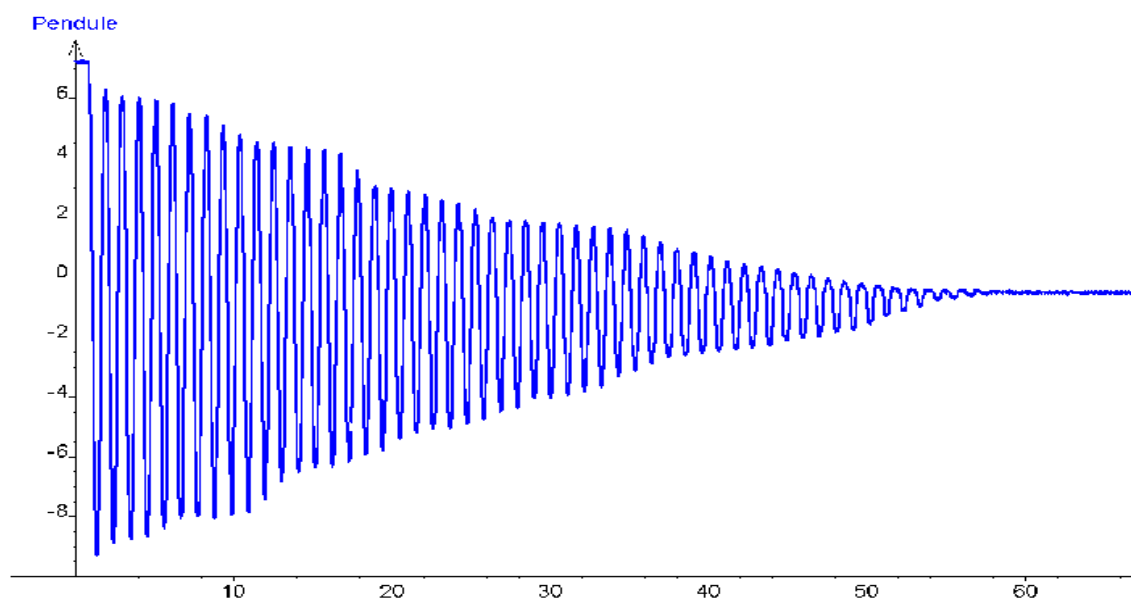


Déroulement de l'expérience: Le poids du pendule est placé à 24 cm du haut du support et l'extrémité de la tige en métal (immergée d'un centimètre dans le liquide) évolue dans un récipient, rempli du liquide étudié (ici maïzena, eau et huile). Le récipient est placé sur un support élévateur à 9 cm du sol, et la tige du pendule dépasse de 1cm en haut de celui-ci. Il est important de se munir d'un récipient aux bords droits pour avoir des mesures précises. Brancher le pendule à une interface EXAO SYSAM SP5, reliée à un ordinateur. Grâce au logiciel LatisPlp, les courbes se tracent en direct sur l'ordinateur. Calculer, pour un volume constant de 150mL, les différents volumes de maïzena et d'eau, en faisant varier la concentration en maïzena.

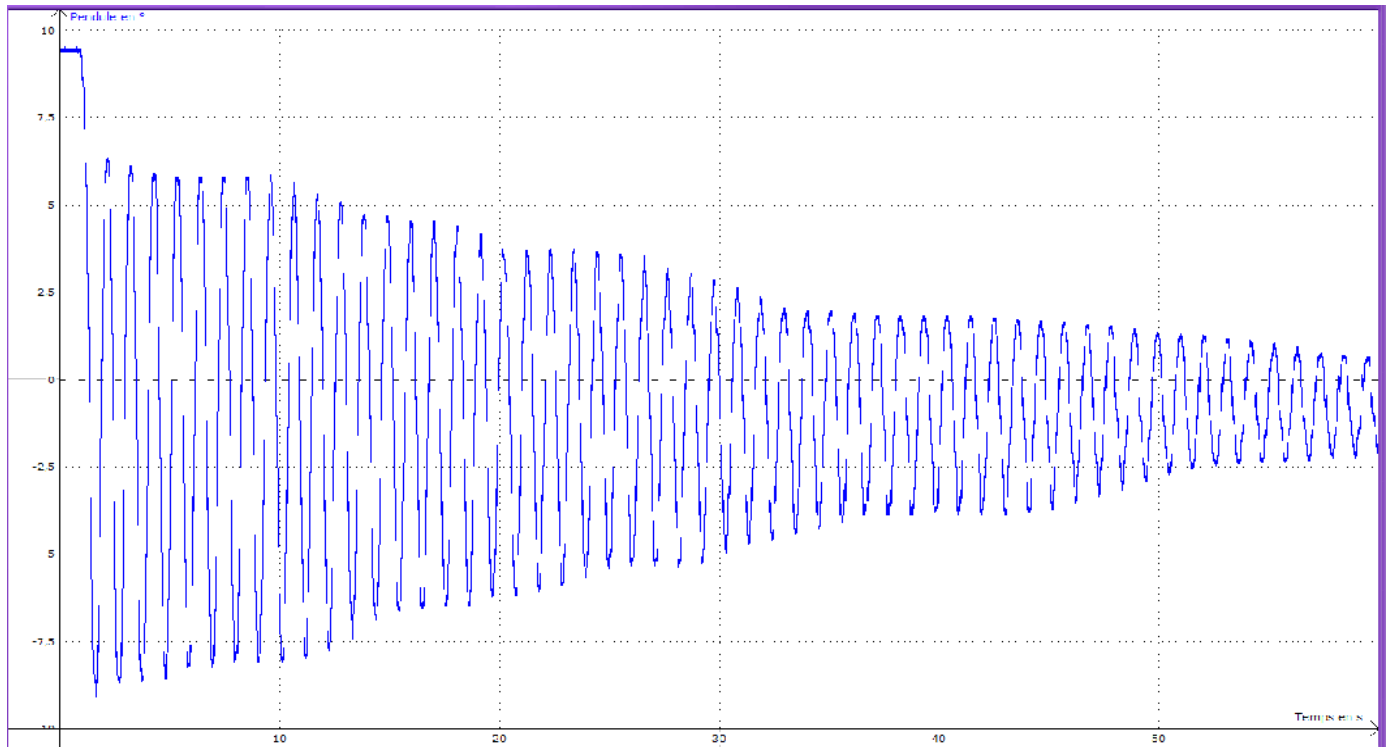
Courbe pour l'eau :



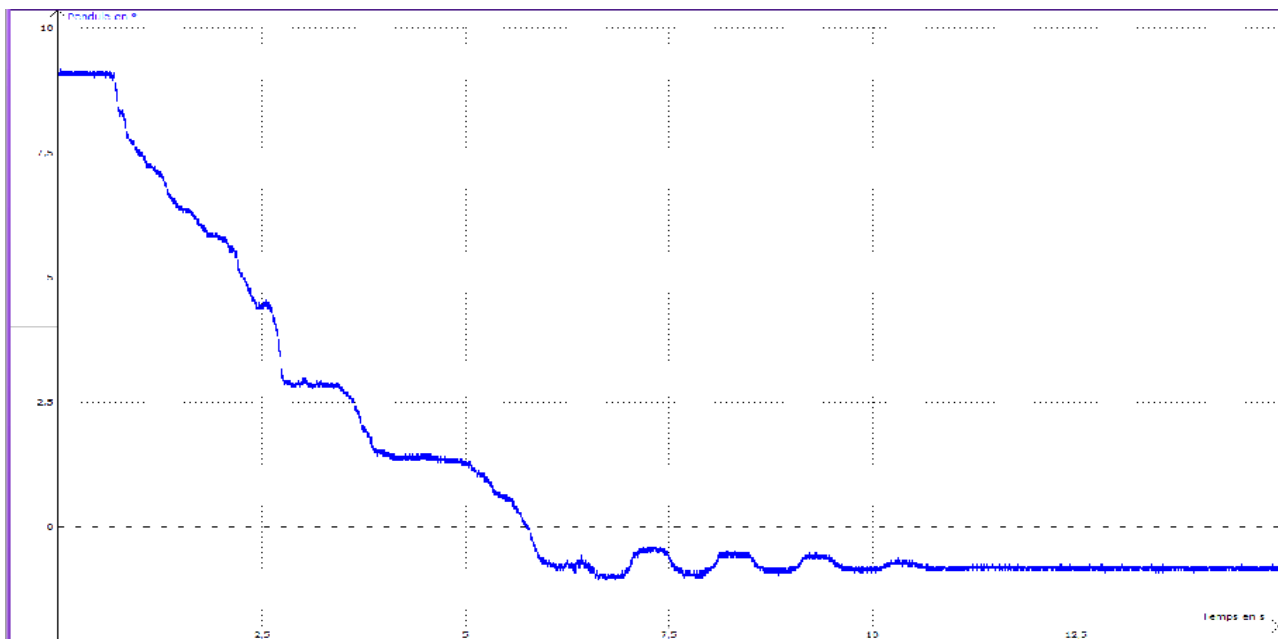
Courbe pour l'huile :



Courbe pour 50% de maïzena :



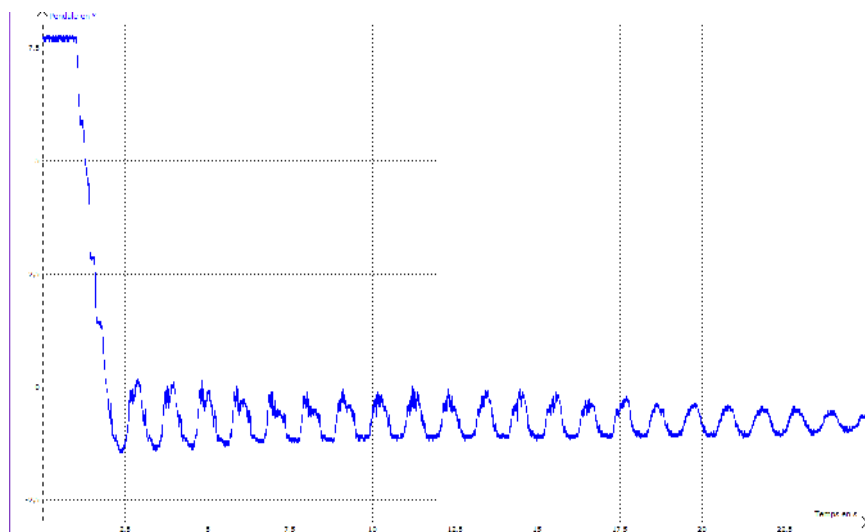
Courbe pour 60% de maïzena :



On observe que les courbes de l'eau et de l'huile adoptent un régime oscillatoire pseudo-périodique. Cela traduit leurs propriétés newtoniennes : leur viscosité est constante, et ralenti l'oscillation du pendule dans le temps.

Les courbes obtenues avec le mélange non-newtonien avec un pourcentage en

maïzena inférieur à 55% ont le même type d'oscillations que celles de l'huile et de l'eau : un régime pseudo-périodique. Lors de nos mesures, nous avons adopté un pas de 10% (mélange à 10% de maïzena, mélange à 20%...). A chaque nouvelle augmentation de pourcentage, le liquide s'épaississait un peu plus, sans pour autant être non-newtonien. Cependant, lorsque nous en sommes venus au mélange à 60% de maïzena, celui-ci avait une viscosité très forte. L'oscillation du pendule à l'intérieur était presque impossible (voir la courbe obtenue, qui semble correspondre à celle d'un régime aperiodique). Étant donné que nous avons déjà mené cette expérience au préalable, nous savions qu'avec un certains pourcentage de maïzena nous devons obtenir une courbe particulière, qui était justement un mélange de celle obtenue pour le mélange à 50%, et celle du mélange à 60%. Nous avons donc fait une dernière mesure celle pour un pourcentage de 55% de maïzena. Le résultat que nous attendions est alors arrivé :



Cette courbe est particulière : elle ne ressemble pas à celles de l'eau, de l'huile, ou encore des mélanges précédents. Elle semble pseudo périodique, car elle oscille de façon amortie dans le temps mais la première partie de son oscillation est extrêmement amortie, comme le serait un régime aperiodique. Il semble donc que, lorsque le pendule vient d'être lâché et que sa vitesse est encore forte, donc que la contrainte qu'il applique au mélange est importante, la viscosité du liquide soit très forte et empêche l'oscillation du pendule, ce qui donne ce début de courbe aperiodique. En revanche, lorsque le pendule a perdu de la vitesse, le mélange se fluidifie et laisse se déplacer la tige plus facilement, ce qui aboutit à

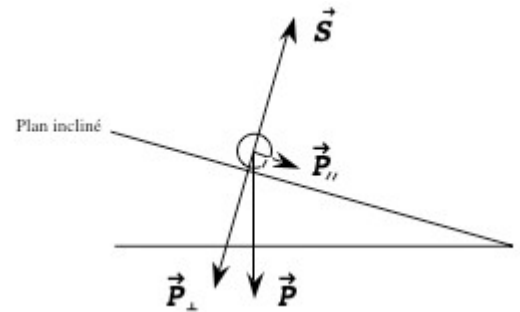
un fin de courbe pseudo-périodique. Cela nous mène à penser que l'on observe deux viscosités : une très forte lorsque la contrainte est importante, et une plus faible quand la contrainte se relâche. Ces résultats illustrent bien la variation de viscosité des fluides non-newtoniens que nous voulions démontrer.

Nous n'avons pas dépassé un pourcentage de 60 en maïzena, car à partir de 70%, toute la fécule ne se mélangeait pas avec l'eau. Il restait encore des paquets de poudre non-incorporée, il était donc impossible d'obtenir un mélange homogène, donc de faire des mesures.



## VII-Expérience du plan incliné

Nous sommes actuellement en train de réaliser une expérience, toujours dans le but de mesurer la viscosité du liquide eau-maïzena. Cette fois-ci, nous avons choisi de mesurer sa vitesse d'écoulement sur une planche de métal, en fonction du cosinus de l'angle d'inclinaison  $\alpha$ . La composante normale du poids et la réaction du support s'annulent. La composante tangentielle du poids  $\vec{P}_{||}$  est la contrainte imposée et varie proportionnellement au cosinus  $\alpha$ .



Comme pour chaque expérience, nous avons comparé ces résultats à ceux obtenus avec des liquides newtoniens : l'eau et l'huile.

Déroulement : Fixer avec le degré d'inclinaison choisi une planche de métal à l'aide de deux potences et de deux pinces inclinables. Se munir d'un rapporteur et de chronomètres. Faire parcourir à la goutte de liquide une distance de 15cm et mesurer le temps mis pour la parcourir ( $v=d/t$ ).

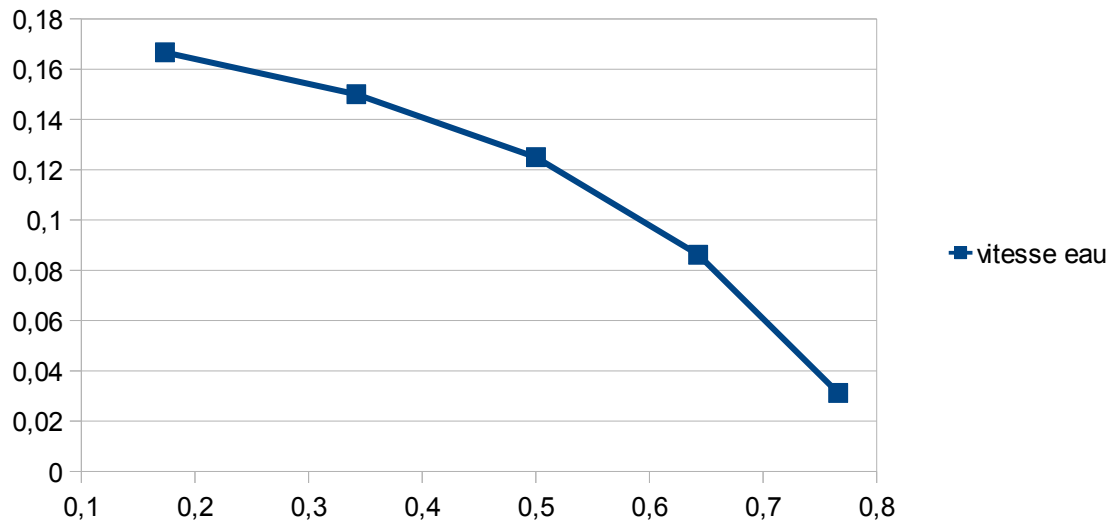
Nos premières manipulations (qui mesuraient la vitesse sur une distance de 30cm n'ont pas été très fructueuses : la distance étant trop grande, le liquide perdait du volume en chemin ! Les gouttes étaient alors très ralenties. La goutte de maïzena, elle, séchait au bout de 15 cm parcourus... C'est ce qui nous a poussés à réduire la distance à parcourir. En outre, la première planche dont nous nous étions munis était en plexiglas. Nous pensions jusqu'alors que c'était le meilleur matériau à utiliser, sa surface n'absorbant pas les liquides et n'étant pas rugueuse. Cependant, elle était un peu rayée, ce qui a faussé nos mesures : tantôt les gouttes allaient vite, tantôt elles étaient ralenties. Nous avons donc opté pour une planche de métal.

Lancés dans l'expérience, nous avons alors réalisé plus de la moitié des mesures lorsque, en les comparant, nous avons remarqué qu'elles ne coïncidaient pas. Nous savions par exemple que, l'huile étant un fluide newtonien, elle aurait un comportement linéaire et une vitesse d'écoulement proportionnelle au degré d'inclinaison de la planche. Or, nous avons trouvé une vitesse inférieure à la précédente pour un angle supérieur. En comparant les autres mesures, nous avons noté d'autres incohérences. Nous avons donc recommencé intégralement nos mesures (voir tableau ci-après).

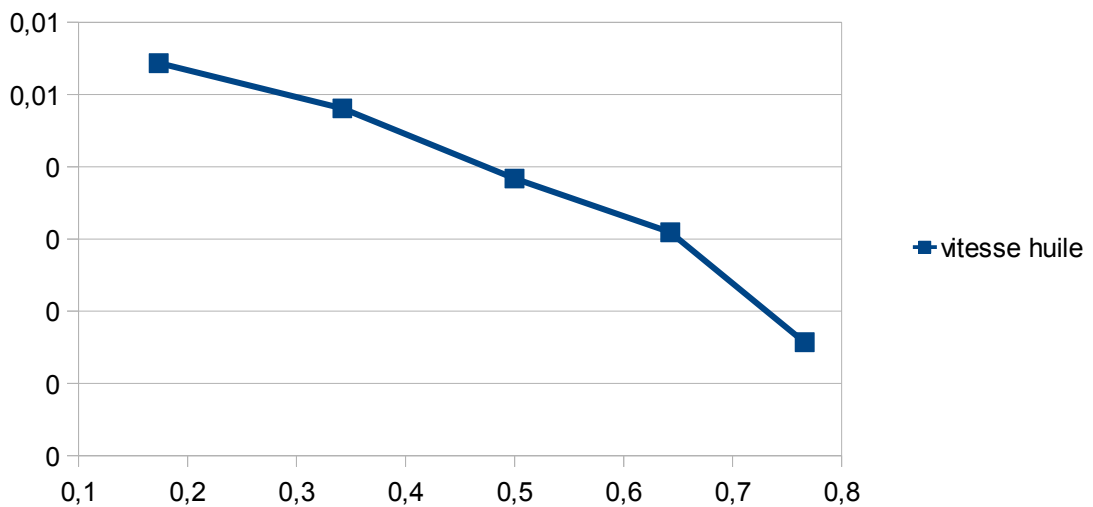
le alpha	Cosinus (alpha)	Temps eau (s)	vitesse eau	Temps huile (s)	vitesse huile	Temps maizena (s)	vitesse maizena	ang
40	0,77	4,8	0,03125	95,6	0,0015690377	21,2	0,0070754717	
50	0,64	1,74	0,0862068966	48,5	0,0030927835	22,1	0,0067873303	
60	0,50	1,2	0,125	39,1	0,0038363171	13,2	0,0113636364	
70	0,34	1	0,15	31,2	0,0048076923	12	0,0125	
80	0,17	0,9	0,1666666667	27,6	0,0054347826	11,1	0,0135135135	

Nous avons alors tracé les courbes représentatives de chaque liquide, avec  $\cos \alpha$  en abscisses et la  $v$  en ordonnées :

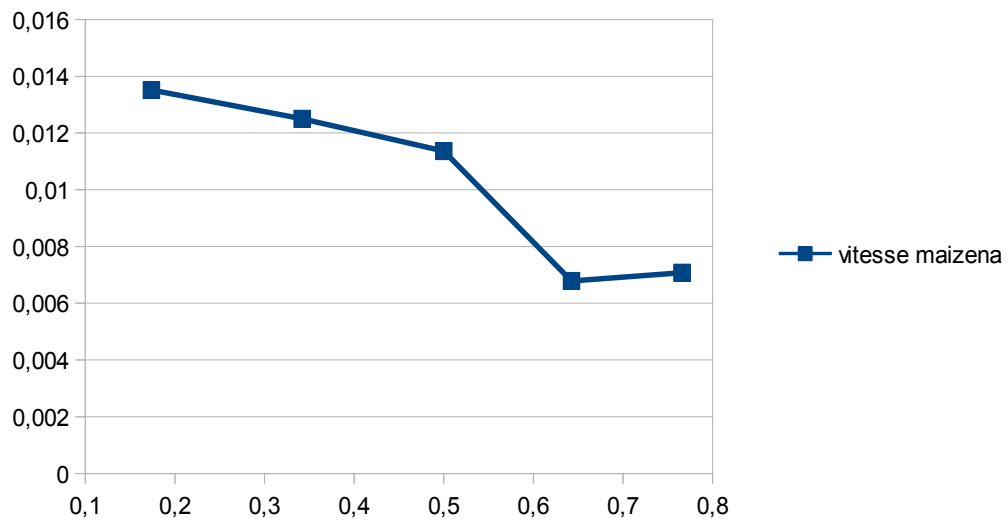
Vitesse d'écoulement de l'eau en fonction de  $\cos \alpha$  :



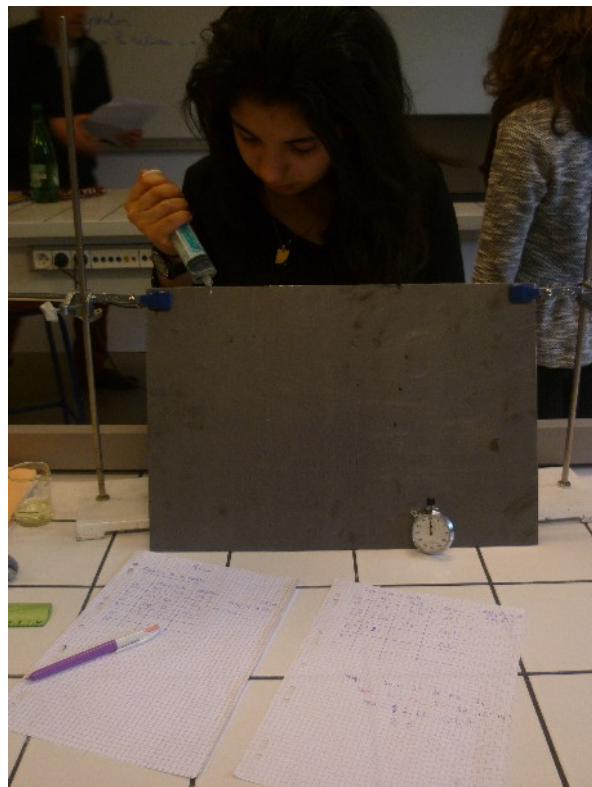
Vitesse d'écoulement de l'huile en fonction de  $\cos \alpha$  :



Vitesse d'écoulement de la maïzena en fonction de  $\cos \alpha$  :



En raison du contre-temps mentionné plus haut, nous n'avons pas encore pu faire l'analyse de ces courbes. Toutefois, nous y travaillons et espérons pouvoir vous soumettre nos résultats finis lors de notre présentation !



## Conclusion

Nos expériences préliminaires, nécessaires pour définir les grandes lignes de nos recherches et mettre en évidence les propriétés du liquide étudié, nous ont éclairés sur la structure dense, composée de grains de quelques dizaines de micromètres, de la maïzena, mais aussi sur son comportement étonnant. Des recherches plus poussées ont montré que sa viscosité était proportionnelle à la vitesse de cisaillement ou la force qu'on lui appliquait (par exemple l'expérience de la seringue). L'expérience du pendule nous a également amenés à conclure que la maïzena possède deux viscosités : elles dépendent de la contrainte que l'on applique au mélange. Nous n'avons pas pu mesurer la viscosité de notre mélange comme nous le souhaitions au départ, car nous n'avions pas les outils et les connaissances nécessaires pour le faire. Cependant, nous avons pu aboutir notre deuxième projet : montrer que la maïzena a une viscosité qui varie !

Nous voudrions poursuivre nos recherches en mesurant la viscosité du mélange eau-maïzena, mais cette fois-ci en fonction de la température. Notre questionnement était de savoir si, comme pour l'huile, la chaleur avait un effet sur la viscosité du mélange. Nous aimerions aussi étudier le cas de la peinture rhéofluidifiante, dont les propriétés se rapprochent de celle du mélange rhéoépaississant : sa viscosité dépend également de la vitesse de cisaillement qu'on lui applique, seulement, plus elle est forte, plus la peinture devient liquide ! Autant d'expériences que nous sommes impatients de mener...

Cette étude nous a beaucoup appris, que ce soit au niveau théorique ou au niveau expérimental. Nous avons pu tirer de nombreuses conclusions de nos recherches, qui nous apporterons à l'avenir, et nous comptons poursuivre ce projet le plus longtemps possible.



## Sources

- <http://freephysique.free.fr/images/physique%20C/rlc%20sinusoidal.gif>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide\\_non\\_newtonien#Fluide\\_non\\_newtonien\\_au\\_comportement\\_ind.C3.A9pendant\\_du\\_temps](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_non_newtonien#Fluide_non_newtonien_au_comportement_ind.C3.A9pendant_du_temps)
- On a marché sur... Du liquide ; Pour la Science-n°394- Août 2010. Article de Jean-Michel COURTY et Edouard KIERLIK
- Le Larousse en ligne : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/dilatance/25555>
- [http://www.relais-sciences.org/odj/images/dessin\\_51.gif](http://www.relais-sciences.org/odj/images/dessin_51.gif)
- <http://us.123rf.com/400wm/400/400/ccaetano/ccaetano0907/ccaetano090700007/5186253-simple-empreinte-dans-le-sable-mouille-d-39-une-plage.jpg>
- [http://www.wikinoticia.com/images2//espaciociencia.com/wpcontent/uploads/2011/09/fluidosnonnewtonianos\\_thumb.jpg](http://www.wikinoticia.com/images2//espaciociencia.com/wpcontent/uploads/2011/09/fluidosnonnewtonianos_thumb.jpg)
- [http://svt09.free.fr/autres\\_productions/microscope\\_optique/microscope4.htm](http://svt09.free.fr/autres_productions/microscope_optique/microscope4.htm)

## Remerciements

Un grand merci à :

- Cédric Vanden Driessche, professeur de physiques-chimie ;
- Nathalie Anne, secrétaire adjointe de laboratoire ;
- Antoine Manier, professeur de mathématiques ;
- Loan Simon, professeur d'anglais.