

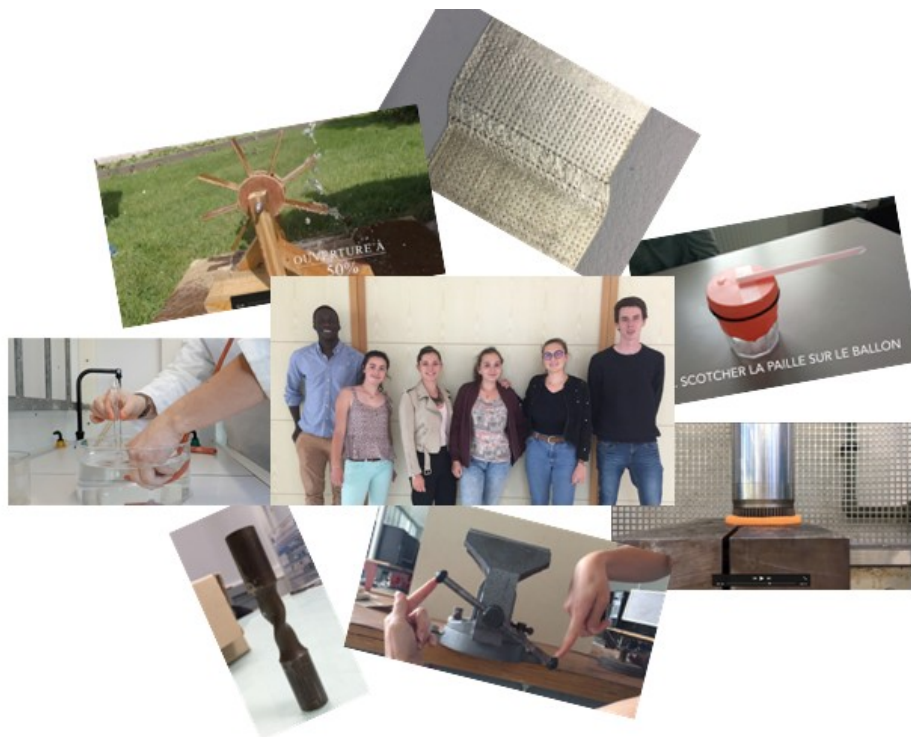
2017/2018

Projet n°46

Axel Chodaton
Laurine Crapier
Claire Dailliard
Gabriel De Wever
Angèle Garreau
Axelle Houas

Projet de Physique P6 STPI/P6/2018-46

Vulgarisation de notions abstraites étudiées en CTI



Enseignant-responsable du projet : Thomas Breteau

Date de remise du rapport : 18/06/2018

Référence du projet : STPI/P6/2018 – 46

Intitulé du projet : Analyse et réalisation de supports (papiers, vidéos...) permettant de vulgariser à l'aide de petits mécanismes (baromètre à aiguille...) les notions de force, pression... vues en CTI1

Type de projet : Expérimental

Objectifs du projet : Notre projet a pour but de comprendre le fonctionnement de différentes notions abordées en STPI1 et plus particulièrement en cours de CTI. Ainsi, nous nous fixons pour objectif de vulgariser au moyen de procédés explicites (expériences principalement) ces notions complexes et parfois incomprises par les étudiants en première année.

Les notions étudiées seront les suivantes :

- les forces (traction, flexion, cisaillement, compression, torsion, poussée d'Archimède, frottement fluide)
- le moment et le couple
- la pression
- la puissance
- l'énergie

Mots-clefs du projet : Force, Moment, Couple, Pression, Puissance, Énergie

Table des matières

1. Remerciements.....	5
2. Introduction.....	5
3. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
4. Travail réalisé et résultats.....	6
4.1 Forces, moment et couple.....	6
4.1.1 Forces.....	6
a) La traction.....	6
b) La compression.....	9
4.1.2 Moment et couple.....	10
a) Le moment d'une force.....	10
b) Couple de forces.....	12
4.2 Pression.....	13
4.2.1 Le phénomène de pression dans la vie quotidienne.....	13
4.2.2 Expériences à propos de la pression atmosphérique.....	14
4.3 Puissance et énergie.....	17
4.3.1 Définitions et relations essentielles.....	17
4.3.2 Modéliser pour mieux comprendre : le moulin à eau.....	18
5. Conclusion et perspectives.....	21
6. Bibliographie.....	22
7. Annexes.....	24

1. Remerciements

Avant d'ouvrir ce rapport, nous tenons d'abord à remercier notre responsable de projet Thomas Breteau qui nous a suivi tout au long de nos recherches et aidé pour la mise en place de nos différentes expériences.

Ensuite, nous souhaitons également remercier les professeurs qui nous ont permis l'accès à du matériel ou à des salles spécialisées, à savoir Mme Delaroche et M Keller.

Enfin, nous remercions toutes les autres personnes qui nous ont permis l'accès à des machines ou qui nous ont préparé du matériel, entre autres Sarah Leprince technicienne de laboratoire de chimie.

2. Introduction

Au cours de notre cursus scientifique, du collège jusqu'aux cours de première année au sein de l'INSA, de nombreuses notions abstraites nous sont présentées telles que la pression, la puissance ou encore le moment d'une force. Cependant, nous élèves, ne comprenons pas toujours leur sens physique et nous contentons d'appliquer des formules. En dehors du contexte dans lequel nous utilisons ces notions, nous ne savons pas expliquer clairement leur sens.

C'est pourquoi, nous nous lançons aujourd'hui comme défi de vulgariser ces éléments dans le but de faciliter la compréhension auprès des étudiants. En effet, nous sommes persuadés qu'en maîtrisant une notion, son exploitation est beaucoup plus simple. En comprenant le sens physique, on peut appliquer nos connaissances à d'autres domaines et non pas rester dans le contexte d'un cours en particulier.

Nous allons ainsi permettre aux étudiants d'assimiler des concepts qui leur seront utiles tout au long de leur cursus scolaire et plus tard dans leur parcours professionnel.

Notre démarche sera la suivante : pour chaque notion nous vous exposerons une expérience simple et explicite pour une meilleure compréhension du concept.

Ainsi nous proposons aux élèves un accès à notre chaîne youtube intitulée « [Vulgarisation scientifique de notions abstraites INSA Rouen](https://www.youtube.com/channel/UCo-yNV_pZ2t115LhsnbO09g) » dont le lien direct est : https://www.youtube.com/channel/UCo-yNV_pZ2t115LhsnbO09g . Les élèves peuvent y retrouver les vidéos et photos de nos expériences ainsi qu'une description.

3. Méthodologie / Organisation du travail

Pour réaliser ce projet, nous avons décidé de nous répartir les tâches, c'est-à-dire les différentes notions que nous avons choisi d'étudier. Étant un groupe de six étudiants, nous avons fait trois binômes.

- le premier binôme formé par Axelle Houas et Laurine Crapier s'est occupé des notions de forces, moment et couple de forces
- le deuxième binôme formé par Claire Dailliard et Angèle Garreau s'est occupé de la notion de pression
- enfin le troisième binôme formé par Axel Chodaton et Gabriel De Wever s'est lui occupé des notions de puissance d'énergie

Chaque binôme a alors pour rôle d'expliquer ces notions à travers des expériences, schémas, posters ou autres moyens de son choix puis les retranscrit par écrit dans le dossier à travers une partie qui lui est dédiée. Chaque binôme s'occupe également de la publication de ses expériences sur notre chaîne youtube.

Au cours des recherches, des liens entre binômes ont eu lieu car certaines notions se rapprochent les unes des autres. Le travail collectif a donc été la clef de notre avancement.

4. Travail réalisé et résultats

4.1 Forces, moment et couple

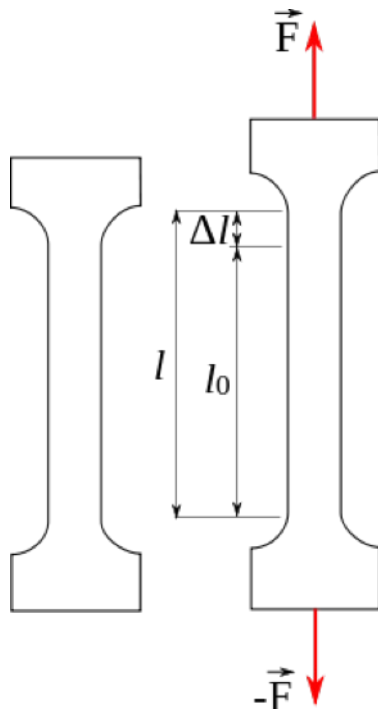
4.1.1 Forces

Tout d'abord, il est utile de bien définir la notion de force.

D'après Techno-science.net, en physique, la force est une action mécanique capable de créer une accélération, c'est-à-dire une modification de la vitesse d'un objet ou d'une partie d'un objet, ce qui induit un déplacement ou **une déformation de l'objet**. La force est généralement représentée par un vecteur pour donner son sens et sa direction (au sens mathématique du terme), et elle est exprimée en Newton (N). Notre but sera le même pour l'étude de chaque force: étudier les déformations et donc la résistance des matériaux sous chaque sollicitation.

a) La traction

Déroulement de l'expérience : Pour observer la traction, nous avons utilisé des éprouvettes de différents matériaux et différentes formes que l'on a placé dans la machine de traction. On peut illustrer le phénomène grâce au schéma suivant :



l_0 : la longueur initiale de l'éprouvette
 l : la longueur de l'éprouvette après l'effort
 Δl : l'allongement de l'éprouvette
 F : les forces opposées exercées par la machine de traction

Deux forces colinéaires et opposées créent un allongement du corps (éprouvette).

Suite aux expériences, on a pu choisir l'éprouvette pour laquelle le résultat était le plus concluant. Pour chaque essai, nous avons relevé la force qui a été nécessaire pour aller jusqu'à la rupture du matériau ainsi que l'allongement Δl , c'est-à-dire de combien de millimètres l'éprouvette s'est étirée. Nous chronométrons également le temps jusqu'à la rupture si elle avait lieu. On peut ainsi résumer nos essais avec le tableau suivant :

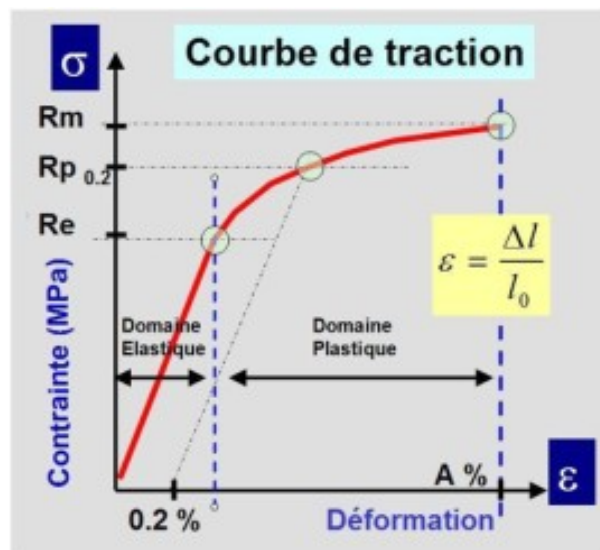
matériau	essai 1: cuivre	essai 2: cuivre	essai 3: plastique dur	essai 4: plastique fin
force (N)	x	26.21	5.683	~120
déformation (mm)	x	32.88	14.29	194.8
temps (min)		~3	~1.5	>15
commentaires	échec de l'essai: l'éprouvette a glissé du support	essai réussi	résultat non satisfaisant en vu du matériau qui est sensé s'allonger davantage	longue traction: grande déformation de 20 cm avant la rupture

matériau	essai 5: plastique dur	essais : "filet plastique"	essai 6: filet plastique
force (N)	~800	x	40
déformation (mm)	103	x	51.03
temps (min)	~10	x	x
commentaires	le matériau s'est cassé progressiveme nt d'une manière inattendue (effet de fibres)	recherche de la manière dont on pouvait placer ce filet pour que le rendu soit le plus explicite visuellement	on peut clairement voir la déformation grâce aux filaments

Finalement, c'est l'essai numéro 4 que nous avons décidé de retenir car c'est le plus concluant. La vidéo accélérée de l'expérience est donc disponible sur youtube. Grâce à cette vidéo on peut bien observer l'allongement du matériau, c'est-à-dire la déformation du corps et donc nous mettons bien en évidence l'effet de la traction.

Théorie : Maintenant que l'on a observé l'effet de cette force, nous pouvons nous demander ce qu'elle représente physiquement.

Or, grâce à nos mesures sur la machine, on obtient la courbe suivante qui représente la contrainte (à partir de la force appliquée par la machine) en fonction de la déformation ϵ c'est-à-dire l'allongement Δl sur la longueur initiale l_0 . C'est la courbe de traction.



Courbe résultant d'un test de traction

Grâce à cette courbe on peut modéliser un essai de traction, et en déduire des propriétés mécaniques du matériau. En effet le but est de déterminer le comportement de notre matériau lorsqu'il est soumis à un effort.

Ainsi on peut définir ce que l'on appelle le domaine élastique et le domaine plastique du matériau étudié. Tant que la courbe est linéaire, nous sommes dans le domaine élastique, domaine où la déformation est réversible si l'on arrête l'effort. Ce domaine se termine lorsque nous arrivons à la limite d'élasticité de notre matériau noté R_e qui est la contrainte à partir de laquelle un matériau arrête de se déformer d'une manière élastique.

Cette limite est définie par la formule suivante :

$$R_e = \frac{F_e}{S} = \frac{\text{Force à la limite élastique}}{\text{Surface}}$$

Ensuite, la courbe continue d'augmenter de façon logarithmique jusqu'à atteindre une résistance maximale R_m , cela correspond au domaine plastique, domaine où la déformation devient irréversible.

$$R_m = \frac{F_m}{S} = \frac{\text{Force à la résistance maximale}}{\text{Surface}}$$

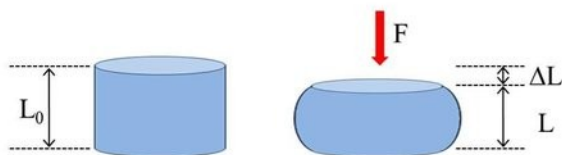
On définit également le Module de Young comme la pente du domaine élastique :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

On nomme cette loi la loi de Hooke. Elle décrit le comportement élastique linéaire pour lequel la déformation est parfaitement réversible et elle permet donc de connaître les propriétés élastiques du matériau.

b) La compression

Déroulement de l'expérience : Pour observer la compression, nous avons utilisé un objet cylindrique en mousse que l'on a placé dans la machine de traction. On peut illustrer le phénomène grâce au schéma suivant :

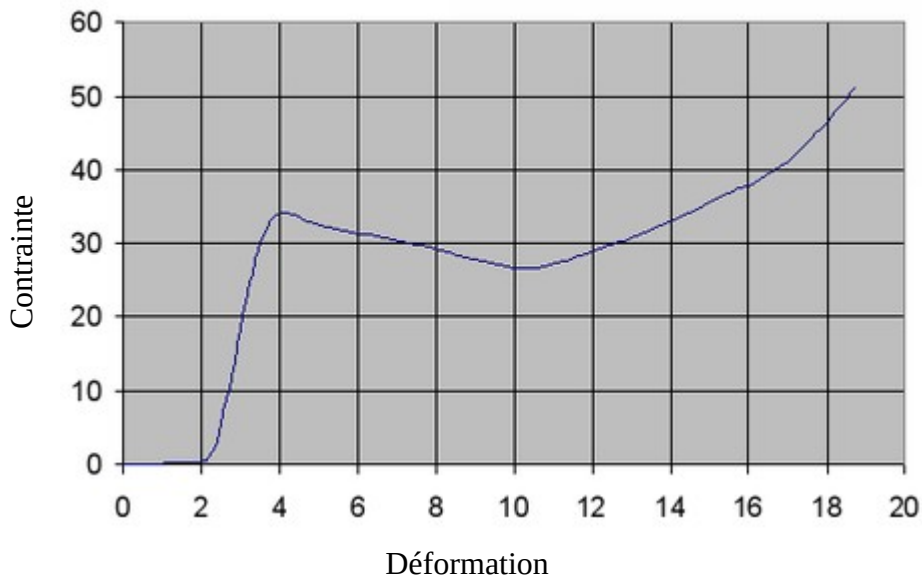


L_0 : longueur initiale de l'objet
 L : longueur de l'objet après l'effort
 ΔL : déformation de l'objet
 F : force exercée par la machine

Pour mieux illustrer le phénomène, nous avons filmé l'expérience de compression de notre objet mousseux de type éponge (vidéo disponible sur youtube).

Théorie : La compression peut être définie comme l'action inverse de la traction puisqu'on applique des forces vers l'intérieur de l'objet alors que pour la traction, on applique des forces vers l'extérieur. La compression est donc la capacité d'un matériau ou d'une structure à supporter les charges qui tendent à réduire sa taille par écrasement.

Voici une courbe typique d'un essai de traction obtenue de la même manière que pour la traction:



Courbe résultant d'un essai de compression

Cette courbe est sensiblement la même que celle de la traction. On retrouve le domaine élastique dans lequel on peut calculer le module de Young grâce à la loi de Hooke ainsi que la limite élastique. Seul le domaine plastique prend une forme différente. En effet, la force étant inverse (intérieure), la courbe prend aussi une « forme inverse ».

Toutes les formules applicables pour la traction sont applicables également pour la compression et peut déterminer les propriétés élastiques d'un matériau.

Voir les autres forces en annexe

4.1.2 Moment et couple

Maintenant que l'on a explicité un bon nombre de forces, il est désormais plus simple d'aborder les notions de moment et de couple. En effet ces notions sont complexes à illustrer. C'est ce que l'on va essayé de faire ici.

a) Le moment d'une force

Expérience :

Tout d'abord, on peut définir le moment d'une force :

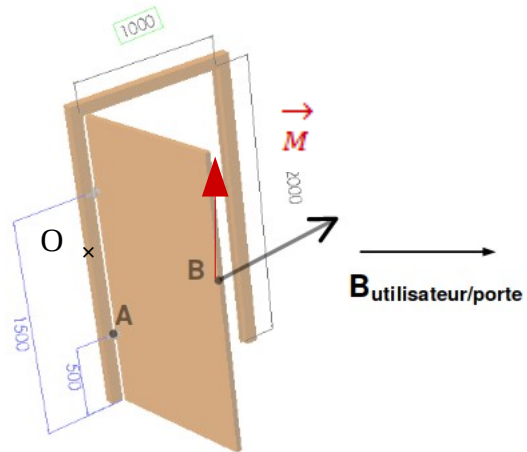
Le moment d'une force par rapport à un point est un outil qui permet de mesurer la capacité d'une force à créer un mouvement de rotation autour de ce point.

Pour mieux comprendre, prenons comme à notre habitude un exemple :

La capacité à faire tourner une porte :

Le moment de la force de l'utilisateur par rapport à l'axe de rotation de la porte est sa capacité à faire tourner la porte autour de cet axe.

Avec $B_{\text{utilisateur/porte}}$ = force appliquée par l'utilisateur sur la porte



Or pour fermer cette porte, on peut pousser avec son doigt ou sa main au niveau du point B, c'est-à-dire le point le plus éloigné de l'axe de rotation. L'effort physique est alors moindre, c'est très facile pour l'utilisateur.

Cependant, en essayant de nouveau de pousser cette porte (en gardant le même angle d'ouverture), mais cette fois ci au niveau du point A, point beaucoup plus proche de l'axe de rotation, alors, cela devient très difficile.

On en déduit que plus on s'éloigne de l'axe de rotation, plus il est facile de fermer cette porte en appliquant la même intensité bien-sûr.

On parle ici du principe du levier, que l'on retrouve communément (cric pneumatique ou quand on serre un écrou avec une clef plate par exemple).

Théorie :

On a donc vu, que dans la notion de moment, intervenait les termes de levier, de force et de distance par rapport à un axe de rotation.

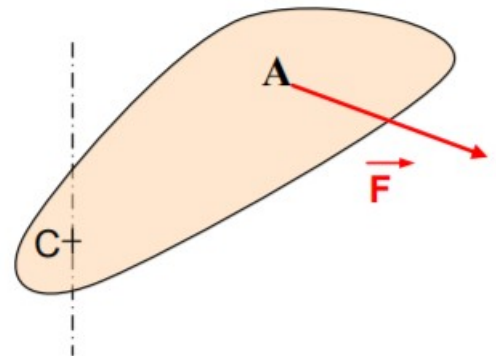
Ainsi on introduit son expression analytique qui s'écrit sous la forme (notation avec le schéma correspondant) :

$$\vec{M}_C(\vec{F}) = \vec{CA} \wedge \vec{F}$$

On peut faire plusieurs remarques concernant cette formule.

Premièrement, concernant les notations. On lit : "Moment au point A engendré par la force \vec{F} ".
L'unité du moment est le Nm (Newton mètre).

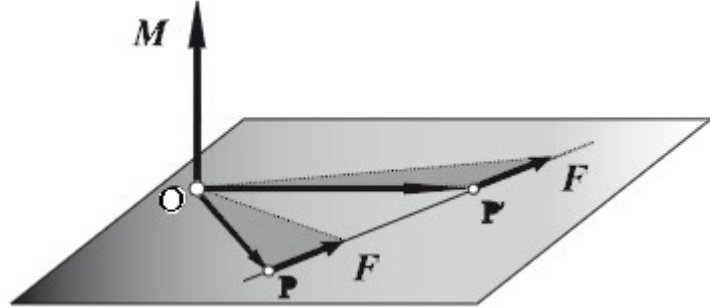
Deuxièmement, on retrouve bien les notions de distance par rapport à l'axe de rotation C et de force qu'exerce l'utilisateur au point A ici.



Ensuite, on remarque un produit vectoriel. Cela signifie donc que le moment est orthogonal à \vec{F} , c'est à dire que le moment est orthogonal au plan formé par ces deux derniers. Pour mieux visualiser cela, on peut prendre le schéma suivant :

Avec $OP=CA$ ou $OP'=CA$

Les trois composantes de cette formule forment un tétraèdre.



Ainsi, si l'on reprend notre exemple de la porte (cas où on la pousse au point B), on peut représenter le moment comme un vecteur orthogonal à la fois à la force $B_{\text{utilisateur/porte}}$ et aussi au vecteur position (noté \vec{OB}) de la distance entre l'axe de rotation de la porte O et le point B, c'est-à-dire une force colinéaire à la bordure de la porte.

b) Couple de forces

Pour cette partie, se référer aux annexes dans la partie : Forces, moment et couple.

4.2 Pression

4.2.1 Le phénomène de pression dans la vie quotidienne

De nombreux phénomènes dus à la pression atmosphérique sont observables dans notre vie de tous les jours.

En montagne, par exemple, lorsque nous voulons faire cuire des pâtes, nous pouvons nous rendre compte que l'eau met moins de temps à se mettre en ébullition. En effet, la température d'ébullition de l'eau est plus faible en haute altitude qu'en basse altitude. Cela est dû au fait que plus on monte en altitude, plus la pression est basse. Par exemple, au sommet du Mont Blanc, cette température est de moins de 85°C alors qu'elle est de 100°C à 0 mètre d'altitude (ces valeurs sont dans le tableau en annexe). La pression atmosphérique en haut du Mont Blanc est d'environ 550 hPa alors qu'elle est de 1013,25 hPa à 0 mètre d'altitude (Valeurs de la pression en fonction de l'altitude en annexe).

De même, en montagne, il semble plus difficile de réaliser un effort physique. L'air est composé de 78% de diazote, 21% de dioxygène, et moins de 1% d'autres gaz comme l'argon, le dioxyde de carbone et le méthane. Pour pratiquer une activité physique, l'organisme a besoin d'oxygène. Cet oxygène est essentiel pour produire l'énergie nécessaire à nos cellules. Comme nous l'avons dit précédemment, plus on monte en altitude, plus la pression est faible. Ainsi, un même volume d'air contient moins de molécules soit moins de dioxygène. L'oxygénation du sang est donc réduite, c'est ce qu'on appelle l'hypoxie. Par exemple, en haut de l'Everest, à 8848 mètres d'altitude, la pression atmosphérique est trois fois plus faible que celle au niveau de la mer (0 mètre). Une respiration d'un être humain contient donc trois fois moins de dioxygène.

Cette diminution de la pression en fonction de l'altitude est encore plus remarquable dans l'espace. Une fois le cosmonaute dans l'espace, à 100 km d'altitude environ, la pression atmosphérique est absente. Or, la pression du corps humain se rapproche de la pression atmosphérique, c'est pourquoi le cosmonaute doit porter une combinaison pressurisée pour ne pas exploser.

Nous avons vu ce qu'il pouvait se passer en altitude. Mais nous pouvons constater le phénomène inverse en profondeur. Par exemple, pour un plongeur sous-marin, il est impossible de descendre trop en profondeur. Cela est dû à la pression exercée par l'eau. Au niveau de la mer, le corps est soumis à une pression atmosphérique de 1 bar mais lorsque le plongeur descend en profondeur, l'eau au-dessus de lui est soumise à une pression additionnelle de 1 bar tous les 10 mètres, dûe au poids de cette eau. Par exemple, à 20 mètres de profondeur, le plongeur est soumis à une pression de 3 bars (1 bar de pression atmosphérique et 2 bars de pression de l'eau au-dessus de lui). Cette augmentation de pression en fonction de la profondeur demande au plongeur d'être vigilant pour ne pas nuire à sa santé ou mettre sa vie en danger.

Lorsqu'on regarde la météo à la télévision, on entend souvent parler de dépression ou d'anticyclones. Cela est dû au fait qu'en météorologie, la pression est la clé de la plupart des phénomènes. Pour déterminer le temps des jours prochains, les météorologues analysent les variations de la pression atmosphérique. Grâce à cela, ils repèrent les zones de dépression, d'anticyclones et d'isobares (là où la pression atmosphérique reste constante). Les dépressions sont signes de mauvais temps et les anticyclones sont indicateurs de beau temps.

Nous pouvons nous demander d'où vient cette pression atmosphérique :

La Terre est entourée d'une enveloppe gazeuse. Il s'agit d'une couche d'air appelée atmosphère. L'atmosphère a une hauteur d'environ 7,7 km et exerce une pression sur la Terre: la pression atmosphérique.

4.2.2 Expériences à propos de la pression atmosphérique

Nous avons effectué différentes expériences mettant en évidence et expliquant la pression atmosphérique.

a) La pression et la météo

Le défi :

L'objectif est de fabriquer son propre baromètre afin de prévoir des évolutions de la météo, de déduire que les variations de pression ont bien un impact sur la météorologie et de retrouver la définition de la pression.

Le matériel :

- un bocal (ex : pot de confiture)
- une membrane élastique (ex : baudruche, film étirable)
- une paille
- du scotch
- un élastique

La manipulation :

Tout d'abord, il faut découper la membrane élastique en faisant en sorte qu'elle puisse complètement recouvrir le haut du bocal.

A présent, on la positionne sur le bocal et on la fixe avec l'élastique en veillant à ce que la membrane soit bien tendue. Ensuite, on découpe une extrémité de la paille en biseau afin d'augmenter la précision et on fixe l'autre extrémité au centre de la membrane à l'aide du scotch.

Pour finir, sur une feuille, on dessine un soleil en haut de la feuille afin de représenter le beau temps et un nuage en bas pour le mauvais temps. Cette feuille sera ensuite fixée verticalement sur un mur, et la paille sera pointée vers cette feuille.

Les attentes :

Nous nous attendons à ce que la paille se déplace vers le haut lorsque le temps tend à s'améliorer (anticyclone), et qu'elle se déplace vers le bas lorsque le temps risque de se détériorer (dépression).

Les constatations :

Nous avons dans un premier temps fabriqué notre baromètre avec un ballon, cependant la membrane était trop épaisse et les variations de la hauteur de la paille n'étaient pas vraiment visibles. Nous l'avons donc fabriqué une deuxième fois avec une membrane plus fine. Ainsi, nous avons pu confirmer nos attentes, lorsque le temps allait s'améliorer, la paille pointait vers le haut et inversement lorsque le mauvais temps arrivait.



Photo du dispositif

Conclusion :

L'action de la variation de la pression atmosphérique sur la membrane élastique est mesurée ici. La pression dans le bocal est liée à son volume ($PV=cst$). Lorsque la paille pointe vers le haut, la membrane se creuse et le volume à l'intérieur du bocal diminue. Cela implique une augmentation de la pression dans le bocal. On comprend donc qu'il y a une augmentation de la pression atmosphérique. Le phénomène contraire s'applique lorsque la pression atmosphérique diminue. Cette force est uniforme et s'applique sur toute la surface du ballon. Ainsi, en chacun des points de la membrane s'exerce une force surfacique, autrement dit, une pression. On peut donc retrouver la définition macroscopique de la pression qui est $P=F/S$. Cette formule donne comme unité de la pression le $N.m^{-2}$ (le Newton par mètre carré). La pression peut également être exprimée dans d'autres unités comme :

- le Pascal (Pa) qui est l'unité de la pression dans le système international. 1 Pa correspond à 1 N/m^2
- Le bar. 1 bar correspond à 10^5 Pa.
- L'atmosphère (atm). 1 atm correspond à $1,013 \times 10^5$ Pa
- Le millimètre de mercure est l'unité de la pression utilisée par les marins et les météorologistes. 1 [mmHg] \approx 133 [Pa]
- Le mètre de colonne d'eau 1 [mCE] \approx 0.1 bar utilisé en génie climatique
- le mètre de colonne de fuel 1 [mCF] \approx 0,8 bar. pour les industriels travaillant uniquement avec le fuel

b) Preuve de la présence d'une pression atmosphérique

Le défi :

L'objectif de cette expérience est de mettre en évidence l'existence de la pression atmosphérique, ainsi que l'équilibre des fluides, c'est-à-dire en d'autres termes, la relation fondamentale de la statique des fluides.

Le matériel :

- un tube à essai
- un cristalliseur (bac à eau)
- un tuyau souple

La manipulation :

Tout d'abord, il faut remplir le cristalliseur d'eau. On remplit également le tube à essai en laissant environ 2 cm en haut. Ensuite, en le bouchant à l'aide de son pouce, on retourne le tube dans l'eau du cristalliseur. On fait passer le tuyau souple dans le tube à essai afin de mettre l'air à l'intérieur du tube en contact avec l'air extérieur.

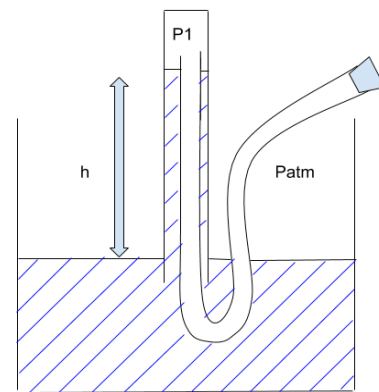


Schéma du montage initial

Les attentes :

Nous pouvons émettre deux hypothèses qui s'opposent :

- 1ère hypothèse : Au moment où on retourne le tube, le niveau de l'eau à l'intérieur du tube serait le même que le niveau d'eau dans le cristalliseur.

- 2ème hypothèse : Les niveaux d'eau sont différents à l'intérieur du tube et dans le cristalliseur mais, lorsqu'on insère le tuyau, les niveaux deviennent les mêmes.

Les constatations :

Au moment où on retourne le tube, on observe qu'il y a un volume d'air en haut, qui correspond au volume laissé libre lors du remplissage, mais le niveau d'eau à l'intérieur est supérieur à celui du cristalliseur.

Lors de l'introduction du tuyau, le niveau d'eau dans le tube devient le même que dans le cristalliseur.

Conclusion :

Une fois le tube retourné, le volume emprisonné à l'intérieur est à une certaine pression, plus faible que la pression atmosphérique. Lorsqu'on insère le tuyau dans le tube à essai, la pression à l'intérieur devient la même qu'à l'extérieur, ce qui équilibre le niveau de l'eau entre le tube et le cristalliseur. On observe alors que les isobares, c'est-à-dire les lignes de niveau pour lesquelles la pression est la même, sont horizontales.

Ce qu'il est intéressant d'étudier ici, c'est le terme de différence entre les pressions P_{atm} et P_1 , noté h (voir schéma du montage initial). Si l'eau dans le tube était au même niveau que l'eau dans le reste du bac, on aurait $P_1 = P_{atm}$, comme à la fin de la manipulation. Ce terme, homogène bien sûr à une pression, est le terme qui implique cette différence de hauteur. La pression que l'on cherche est en fait la somme des pressions (ou forces surfaciques) sur chaque couche horizontale infinitésimale du volume d'eau dans le tube. C'est ce terme de pression qui "empêche" la pesanteur d'agir suffisamment sur l'eau dans le tube pour que son niveau descende jusqu'à celui de l'eau dans le bac. La force totale qui maintient le fluide plus haut est donc directement l'opposé de la force de volume qu'est le poids, c'est-à-dire $F = -P = -(-mg) = mg$. Pour rendre le terme homogène à une pression, il faut diviser par le volume fluide et multiplier par la hauteur d'eau. Ainsi, on obtient que le terme de différence vaut $(mgh)/V$, soit ρgh . Cela correspond donc bien à la somme des pressions sur chaque couche horizontale (l'intégrale de 0 à h de ρg vaut bien ρgh). Ce que l'on vient d'expliquer de manière physique ici, c'est la relation fondamentale de la statique des fluides, qui donne dans ce cas $P_1 + \rho gh = P_{atm}$.

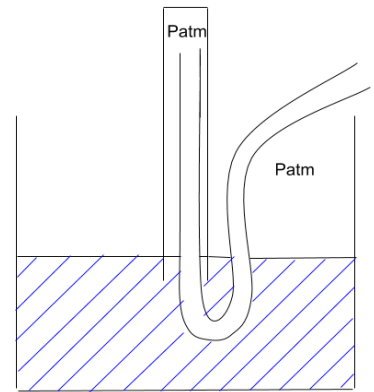


Schéma du rendu final

4.3 Puissance et énergie

4.3.1 Définitions et relations essentielles

Les premières recherches que nous avons effectuées en termes d'énergie et de puissance n'étaient souvent pas claires, elles traitaient plusieurs notions que nous pensions utiles de définir en premier lieu. De plus toutes nos recherches mettaient en avant le lien entre chaque notion que nous allons établir le plus clairement possible au sein de cette partie.

a) Définitions

Une force

La définition de la force a déjà été donnée plus tôt dans la partie "Force / Moment / couple". Nous nous attarderons donc à donner des exemples de forces qu'on rencontre dans la vie de tous les jours.

La première est bien évidemment la force gravitationnelle. C'est cette dernière qui nous maintient sur la surface de la terre. Elle varie suivant l'endroit où on se trouve. Une autre force, peu connue mais qui influe fortement sur notre environnement. Il s'agit de la marée. Elle concerne l'influence de la lune et du Soleil sur les océans. Cette force s'exprime en Newton (N) du nom du physicien Issac Newton qui est l'un des précurseurs de la mécanique du point et du solide.

Le travail d'une force

Le travail d'une force traduit les échanges d'énergie qui s'opèrent sur un système en mouvement d'un point A vers un point B. Anciennement connu sous le nom de puissance mécanique, c'est grâce au savant français Gaspard-Gustave Coriolis que le nom de travail a vu le jour.

L'expression du travail est : $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l}$

Il s'exprime en Newton.mètre (N.m) ou en Joule (J). Il existe deux types de travail, celui moteur et celui résistant. Le travail est dit moteur si la force est favorable au déplacement du solide. Dans le cas contraire il s'agit d'un travail résistant.

b) Relations essentielles

Travail et puissance

Nous avons décidé d'introduire la notion de puissance par le biais du travail. Pour les élèves, penser puissance, c'est souvent penser puissance électrique avec la fameuse relation $P=U \cdot I$. Mais la nature de la puissance n'est pas seulement électrique. La puissance peut se définir de la manière suivante : c'est la vitesse à laquelle un travail est fourni.

Elle respecte donc l'expression $P(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{v}$

Ici, la puissance instantanée (pour une force qui varie au cours du déplacement ou pour un mouvement non rectiligne et uniforme du point d'application) P s'exprime en Watt (W).

Travail et énergie

L'énergie, quant à elle, représente la capacité à réaliser un travail, on dit aussi souvent qu'elle peut être considérée comme le coût de ce travail. Une force, en se déplaçant, travaille, mais pour cela, elle a besoin d'énergie.

Puissance et énergie

Nous arrivons maintenant à notre sujet principal, différencier puissance et énergie. La différence entre ces deux notions résulte simplement de l'intervention du temps, plus précisément de la durée d'utilisation. En effet, on dit que la puissance correspond à la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre, soit la relation $P = \frac{E}{t} \iff E = P * t$

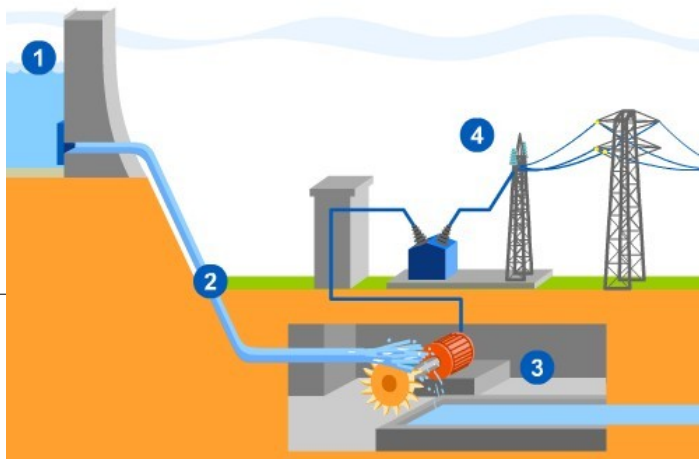
Avec P : puissance (W) E : énergie (J ou W.s) t : durée (s). On comprend maintenant pourquoi la quantité d'énergie consommée par nos appareils électroménagers s'exprime en kW.h tandis que leur puissance indiquée par le fabricant s'exprime en kW.

Le mot «énergie» est utilisé pour décrire beaucoup de choses, comment chauffer et rafraîchir nos maisons, comment alimenter nos voitures. L'énergie n'est pas quelque chose qui peut être vu ou senti, mais ses effets peuvent être aperçus lorsque elle est transférée d'un endroit à un autre. De plus, l'énergie peut être stockée sous forme de batterie par exemple, alors que ce n'est pas le cas de la puissance.

4.3.2 Modéliser pour mieux comprendre : le moulin à eau

a) Une manière de rendre perceptibles les notions d'énergie et de puissance

Tout au long de ce projet et dans le but de vulgariser au mieux énergie et puissance, nous avons voulu trouver un moyen de modéliser simplement et efficacement ces deux notions. En effet, il est toujours plus aisé d'appréhender différents phénomènes lorsque l'on peut rapidement observer leur influence par l'intermédiaire de mécanismes qui nous sont communs. Ceci a également été le sujet des deux binômes de travail précédents, que ce soit par le biais des essais de traction ou par l'étude du baromètre. Mais la manière de mettre en avant la puissance d'un côté puis l'énergie de l'autre ne nous a pas semblé approprié puisque cela s'apparenterait plus au calcul qu'à une réelle modélisation. En revanche, puissance et énergie étant directement liées, après beaucoup de recherches et après s'être concerté avec monsieur Breteau, nous nous sommes mis en tête de simuler le fonctionnement d'une centrale hydraulique. En effet ce type d'installation s'avère être accessible à tous mais surtout il reflète idéalement les notions à présenter dans cette partie. Tout d'abord, tout type d'énergie y est traité (potentielle, cinétique, mécanique puis électrique), de plus intervient la puissance de la chute d'eau résultant de son débit et de sa hauteur.

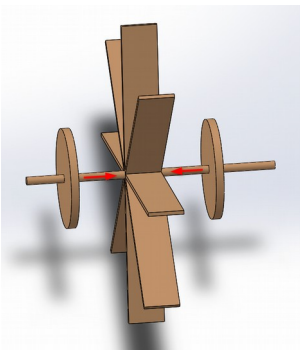


Représentation centrale hydroélectrique
http://etab.ac-poitiers.fr/coll-ta-thouars/IMG/jpg/centrale_avec_num.jpg

Afin d'éclairer la suite de nos propos, décrivons rapidement le fonctionnement d'une centrale hydraulique grâce au schéma précédent. En (1) se trouve ce que l'on appelle la retenue d'eau, souvent sous forme de grands lacs ayant pour but d'accumuler les arrivées des eaux naturelles. L'écoulement d'eau est contrôlé par des vannes laissant circuler l'eau dans les conduites forcées (2) selon le débit souhaité. En sortie de conduite, l'eau va entraîner la turbine (3) qui à son tour va permettre à l'alternateur de produire un courant électrique alternatif dont la tension sera ensuite augmentée par le transformateur (4) pour enfin être propagée via les lignes de tension.

Cette approche du fonctionnement d'un barrage est intéressante mais elle nécessite des précisions plus pertinentes en terme de puissance et d'énergie. L'objectif premier est d'utiliser l'énergie que peut fournir l'eau. Plus précisément, il s'agit dans un premier temps de profiter de la hauteur de la source d'eau et donc de son énergie potentielle. Une fois la vanne ouverte, cette énergie ne disparaît pas puisque selon le principe de conservation de l'énergie, l'énergie totale d'un système isolé est invariante au cours du temps. En réalité elle va être convertie en énergie cinétique liée à la vitesse de sa chute, cette énergie cinétique va permettre l'activation de la turbine qui va transférer cette énergie cinétique accumulée à l'alternateur en charge de la production d'électricité. En ce qui concerne la puissance d'une centrale hydraulique, elle est liée à la hauteur de la chute et à son débit correspondant à l'ouverture plus ou moins importante de la vanne de contrôle. Le schéma ci-dessus nous permet de comparer la puissance à la turbine et la puissance finale de l'eau. On remarque qu'après le passage dans la turbine, l'eau a perdu de sa puissance, elle poursuivra son cours via le canal de fuite. En général, les installations de grandes envergures, plus hautes et à débit plus grands, délivreront plus de puissance.

b) Confection de notre système hydraulique

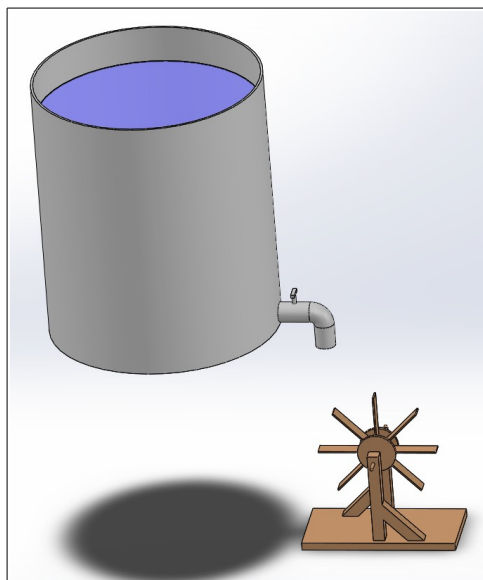


Fixation des pales par serrage

Selon nous, la meilleure solution afin de simuler un système hydraulique, en tenant compte du souhait de pouvoir changer le débit de la chute d'eau fut la création d'un moulin à eau, accompagné d'un seau équipé d'un robinet.

Concernant la fabrication du moulin, nous nous sommes dans un premier temps basés sur un moulin en bois dont les pales seraient maintenues par une boîte de camembert. Mais nous nous sommes rapidement rendus compte que cette configuration ne serait pas adaptée. Du fait des pales que nous avons à notre disposition nous n'aurions pas pu observer différentes vitesses de rotation car leur poids aurait été trop important par rapport à la boîte. Elles auraient davantage entraîné le moulin au détriment de l'eau, ce qui n'était pas le but recherché. C'est pourquoi en s'équipant d'outils plus adaptés au travail du bois, nous avons confectionné un moulin dont les pales ont été fixées (par serrage) par deux rondelles de part et d'autre selon le schéma suivant (SolidWorks). De plus, un point de colle forte a été rajouté après serrage pour s'assurer que les pales restent immobiles lors de la chute d'eau. Nous avons ensuite confectionné le support de ce moulin à l'aide d'une base et de deux pieds percés puis fixés. Nous avons utilisé une tige filetée en guise d'axe du moulin, ce qui a permis l'utilisation d'écrous-frein pour maintenir le système dans une même position.

Il a également fallu trouver un moyen de modéliser une chute d'eau. Nous nous sommes dit que l'intérêt d'un robinet était justement de régler un débit, et celui d'un seau de retenir un certain volume de liquide. Nous avons donc simplement percé un seau juste au dessus de sa base à l'aide d'un emporte-pièce d'un diamètre correspondant au robinet que nous avons à disposition. Nous avons donc installé le robinet au seau de la manière la plus étanche possible grâce à des joints circulaires. Voici le résultat :



Prototype SolidWorks



Produit final

c) Avantages et inconvénients de notre assemblage

Un des avantages de ce système moulin-seau réside dans le fait que chaque élément est assimilable à une pièce composant une véritable centrale hydraulique comme celle décrite précédemment. Voici la liste des analogies :

- Seau = Retenue d'eau
- Robinet = Vanne de contrôle
- Pales = Turbine

De plus, le fait que les pales soient fixées à la tige filetée entraîne celle-ci, c'est à dire l'axe du moulin, lors de la chute d'eau. On pourrait alors imaginer l'installation d'un alternateur relié à cet axe. L'axe permettrait le transport de l'énergie accumulée dans les pales vers l'alternateur qui serait en charge de produire de l'électricité.

En revanche les conduits (conduites forcées) dirigeant l'eau vers la turbine n'ont pas pu être mis en place, ce qui a tendance à provoquer une certaine dispersion du filet d'eau en sortie de robinet. Aussi, malgré la simplicité de son travail, le bois présente un inconvénient majeur lorsqu'il est en contact avec l'eau, son séchage va être la cause de la déformation de celui-ci, souvent sous forme de gonflement, ce qui nous a posé problème au niveau des perçages des pieds du moulin. Ceux-ci ont vu leur diamètre diminué, ce qui a altéré la rotation de l'axe et empêché la capture de vidéo de qualité. Nous avons dû procéder à plusieurs « rénovations » du moulin afin de le maintenir en état de service.

5. Conclusion et perspectives

Le but de notre projet était de vulgariser des notions scientifiques mal comprises par les étudiants de première année. Nous avons alors choisi de traiter un panel très large de notions allant des forces, à la pression en passant par la puissance ou encore l'énergie.

Pour faciliter la compréhension de l'ensemble de ces notions, il fallait alors trouver une méthode, la plus simple possible, qui permette à l'étudiant de comprendre facilement et rapidement le point sur lequel il rencontre des difficultés.

Nous avons donc mis en place une méthode commune à chaque notion abordée pour illustrer au mieux le phénomène.

Cette méthode consiste à faire d'abord des expériences et/ou constatations pour visualiser la notion. En effet, à nos yeux, il est plus simple de retenir, s'approprier une notion en l'ayant observé.

Puis, à partir de ses constatations et expériences, nous avons tenté de retrouver des définitions propres aux notions c'est-à-dire celles données en première année en CTI notamment.

Ce cheminement a donc pour objectif d'expliquer la notion de manière pratique avant d'en déduire les formules théoriques.

Nous espérons ainsi venir en aide aux étudiants de première année qui sont pour certains débordés par tant de formules théoriques et leur présenter une approche scientifique plus douce, plus ludique et peut être plus efficace des notions abstraites.

Notre dossier peut alors servir de catalogue à ces élèves. En cas de besoin, chaque étudiant peut le consulter. De plus, on rappelle que toutes nos vidéos sont consultables sur notre chaîne youtube « [Vulgarisation scientifique de notions abstraites INSA Rouen](https://www.youtube.com/channel/UCo-yNV_pZ2tl15LhsnbO09g) » dont le lien direct est :

https://www.youtube.com/channel/UCo-yNV_pZ2tl15LhsnbO09g .

Les perspectives d'évolution :

Ce projet de vulgarisation n'a jamais été proposé pour les projets de P6 auparavant, il est inédit. Nous l'avons trouvé très intéressant car nous abordons pas moins d'une dizaine de notions. Cependant, des autres notions de CTI, ou en élargissant de physique, peuvent encore être abordées en suivant notre démarche.

Nous avons pensé qu'il serait également intéressant d'élargir la vulgarisation à d'autres matières comme la chimie avec des notions telles que l'oxydo-réduction ou les réactions électrolytiques. Ou bien encore avec la thermodynamique et les notions d'entropie et d'enthalpie par exemple.

Les perspectives sont nombreuses et méritent d'être abordées dans les années à venir grâce à ce projet de P6.

6. Bibliographie

Forces, moment et couple :

http://eleydet.free.fr/BTS/exposes/mecanique/rdm_def/index.html#4

<https://www.technologuepro.com/resistance-des-materiaux-2/chapitre-5-torsion-simple.pdf>

<https://www.brevetdescolleges.fr/revision/svt/la-tectonique-des-plaques-svt-3eme-4385.html>

https://www.dictionnaire-environnement.com/tectonique_des_plaques_ID3691.html

https://fr.wikipedia.org/wiki/Contrainte_de_cisaillement

<https://owl-ge.ch/IMG/pdf/frottement.pdf>

<https://geniemtxblog.wordpress.com/2017/02/21/zoom-les-essais-de-traction/>

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1661>

<http://www.formules-physique.com/categorie/305>

<http://www.formules-physique.com/categorie/293>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_de_compression

http://www.wikiwand.com/fr/Essai_m%C3%A9canique

<http://www.formules-physique.com/categorie/296>

<http://chr.trouillard.free.fr/cdt/Cours/CoursmodelisationAM.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=vN0uNlJNzhI>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Moment_d%27une_force_\(m%C3%A9canique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Moment_d%27une_force_(m%C3%A9canique))

Pression :

<http://sante.lefigaro.fr/actualite/2012/02/01/17232-quelles-reponses-manque-doxygene-altitude>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Air>

<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/terre-air-contient-il-moins-oxygene-montagne-3217/>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Plongée_sous-marine#Barotraumatismes

https://fr.wikipedia.org/wiki/Pression_atmosphérique

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Manomètre>

<https://www.youtube.com/watch?v=EkDhlzA-lwI>

<http://education.meteofrance.fr/dossiers-thematiques/observer-et-mesurer/la-pression>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Baromètre>

<http://tpe-pa-29.e-monsite.com/pages/sommaire/ii-la-mesure-des-variations-de-la-pa.html>

<http://tpe-pa-29.e-monsite.com/pages/sommaire/ii-la-mesure-des-variations-de-la-pa.html>

<https://www.baroland.com/p985.html?product=N-48-2-D>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Variation_de_la_pression_atmosphérique_avec_l%27altitude

https://www.deleze.name/marcel/physique/TemperaturesEbullition/Table_temperature.htm.html

Puissance et énergie :

http://enrj.renouvelables.free.fr/energie_hydraulique.html

<https://youtu.be/kNvmUQc45y8>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Énergie_hydroélectrique

<https://www.superprof.fr/ressources/physique-chimie/terminale-s/mecanique/echanges-energies-dans-systeme-en-mouvement.html>

<http://www.sciences.be/wp-content/uploads/2012/03/Dossier-Energie-web.pdf>

<https://www.histoire-pour-tous.fr/inventions/115-energie.html>

<http://webphysique.fr/energie/>

www.al.lu/physics/deuxieme/robinet/travail.pdf

<https://jeretiens.net/difference-entre-force-energie-et-puissance/>

7. Annexes

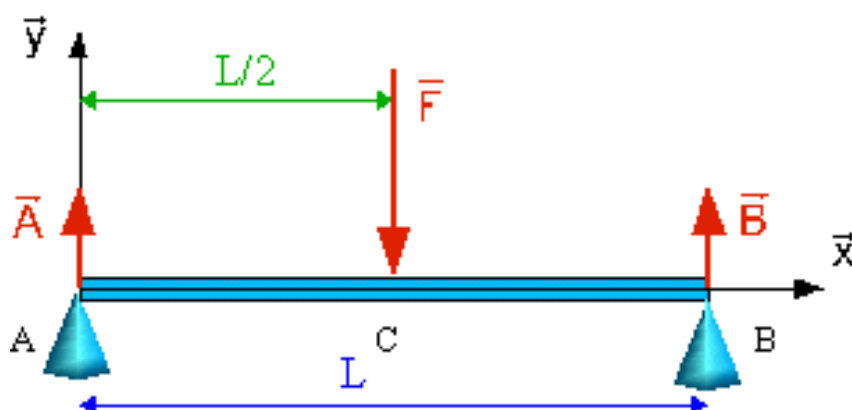
Forces, moment et couple :

La flexion

Déroulement de l'expérience : Pour observer la flexion, nous avons réalisé une expérience très simple : nous avons placé une planche de bois souple entre deux tables et posé ensuite un poids dessus. Ainsi on a pu observer une courbure de cette planche comme on peut le voir sur les photos suivantes:



On peut illustrer le phénomène par le schéma suivant :



L : longueur entre les deux appuis

A et B : appuis plans, forces de réaction du support

F : force appliquée sur l'objet

Théorie : La théorie concernant la flexion est plutôt abordée en deuxième année dans le cadre du cours sur la résistance des matériaux. Cependant le principe est encore une fois le même : on cherche les conditions nécessaires pour ne pas dépasser la limite élastique, afin de préserver la pièce dans son intégrité.

Ainsi, on va chercher à mesurer la contrainte σ . Cette formule n'est pas abordable en première année mais on peut cependant déterminer la loi de Hooke correspondante à la flexion :

En effet on sait que $\sigma = E \varepsilon$

Or on a vu que l'on peut déterminer expérimentalement la déformation ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} = \frac{-y}{\rho} \text{ avec } \rho \text{ le rayon de courbure.}$$

Donc dans notre cas, la loi de Hooke est :

$$\sigma = \frac{-E y}{\rho}$$

De plus, pour la flexion, le matériau se courbe d'où le rayon de courbure. On va donc chercher à paramétrer cette courbure en écrivant ce que l'on appelle la déformée, c'est-à-dire l'équation de la déformation de la planche (planche que l'on appellera la poutre).

La Torsion



Expérience : Nous avons tracé des traits blancs parallèles sur un cylindre long de caoutchouc. Nous avons ensuite fixé une extrémité du cylindre à un étau puis à l'autre extrémité, nous avons effectué un mouvement de rotation.

Observations : Les lignes ne sont plus parallèles mais ont une forme hélicoïdale.

Remarques : Nous n'avons pas effectué nous même l'expérience sur une machine de traction mais avec l'autorisation de M. Keller et de M. Breteau, nous avons pu voir des éprouvettes de différents matériaux ayant subi des essais de torsion.

Le phénomène de torsion était très distinctement constatable : chaque éprouvette avait soit la forme d'une spirale, soit elle était déformée par l'échauffement.

Théorie : Pour appliquer cet effort en résistance des matériaux, on étudie le cas d'une poutre sollicitée en torsion simple, c'est-à-dire ne subissant qu'un mouvement de rotation.

L'angle de rotation se calcule avec les relations :

$$\theta = \frac{M_t}{G \cdot I_{Gx}}$$

et

$$\alpha = l \cdot \theta$$

θ : Angle de torsion unitaire, en rad/mm.

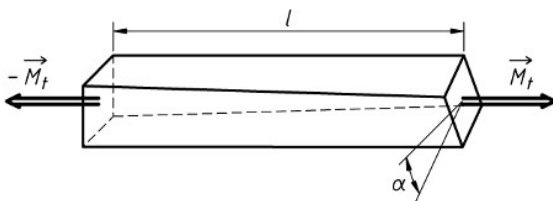
α : Angle de rotation entre les extrémités de la poutre, en rad.

l : Longueur de la poutre, en mm.

M_t : Moment de torsion, en N.mm.

G : Module d'élasticité transversal (module de Coulomb), en MPa.

I_{Gx} : Moment quadratique par rapport à la ligne moyenne, en mm⁴.

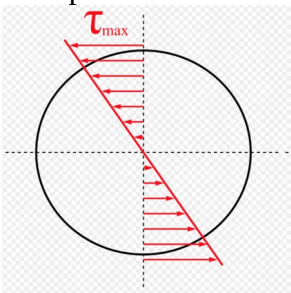


On peut aussi calculer la contrainte tangentielle, qui s'écrit :

$$\tau = G \cdot \theta \cdot \rho$$

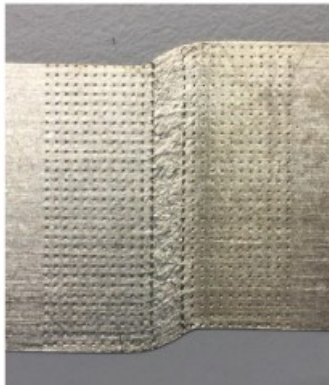
Avec ρ la distance entre le point G, centre d'une section de la poutre, et le point M un point quelconque de cette même surface.

La répartition des contraintes est tangentielle à la poutre et la poutre résiste à l'effort lorsque $\tau_{\max} \geq \tau$.



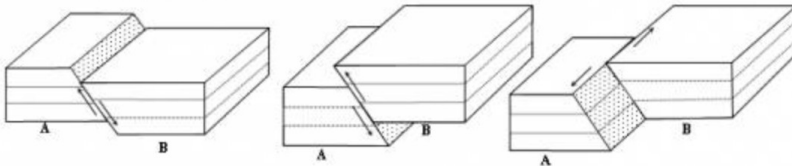
Le cisaillement

Expérience : Comme pour la torsion, nous avons consulté Mr Keller qui nous a montré des essais de cisaillement qu'il a effectué sur de fines plaques de Nickel. Visuellement on remarque bien l'effet de cisaille qui est le décalage entre deux parties de la plaque.



Observations : L'effort appliqué à la plaque est un effort tranchant transversal, mais en pratique, on voit que la matière entre les deux parties de la lame subit également une sollicitation en flexion.

Remarques : Le moyen le plus clair pour visualiser cet effort complexe est de prendre l'exemple de la tectonique des plaques. C'est le phénomène de rupture de blocs de roche sur la couche externe du manteau terrestre suite aux mouvements des plaques lithosphériques. De là naissent les failles tectoniques à l'origine des séismes.



En effet, il existe différents types de failles qui se créent par cisaillement : les failles normales, inverses ou les décrochements schématisés respectivement comme ci-dessus.

Théorie : Si on applique un effort de cisaillement simple à une poutre, on est capable de déterminer la contrainte tangentielle de cisaillement τ .

$$\tau = \frac{F}{S} = G \cdot \left(\frac{dy}{dx}\right)$$

τ : effort unitaire ou contrainte de cisaillement, en MPa.

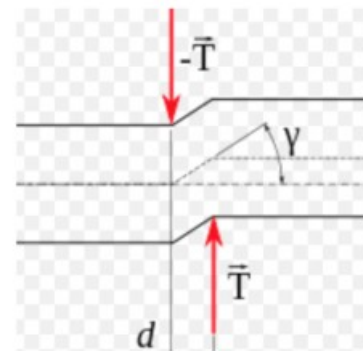
S : aire de la section droite, en mm².

F : force appliquée sur la surface, en N.mm.

G : Module de Coulomb, en MPa.

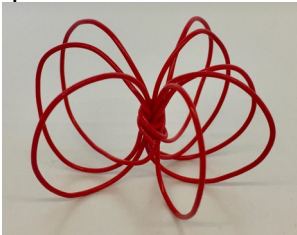
dy : petit déplacement de l'axe des ordonnées entre les deux parties de la lame, en mm.

dx : petit déplacement de l'axe des abscisses entre les deux parties de la lame, en mm.



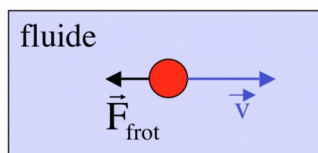
Le frottement fluide

Expérience : Chute libre d'un objet peu dense dans un bac d'eau. Ici on utilise un fil en plastique que l'on noue de manière à ce qu'il forme une sorte de boule comme ci-dessous.



Observations : La vitesse de l'objet lors de sa chute peut être décrite en deux temps. En effet, le fil est dans un premier temps soumis au frottement fluide dû à l'air, et dans un second temps au frottement fluide dû à l'eau. On s'aperçoit que la vitesse de l'objet diminue très fortement dès l'instant où l'objet touche l'eau. En d'autres termes, on en déduit ici que la force du frottement est bien plus importante dans l'eau que dans l'air ; c'est pourquoi en pratique (en cours de mécanique du point) nous pouvons parfois négliger les frottements dûs à l'air.

Remarque : Nous avons initialement prévu de réaliser l'expérience avec des poids (de 1 gramme à 20 grammes) mais ils étaient trop lourds pour que l'effet du frottement fluide soit visible.



Théorie : La force de frottement fluide s'applique à un objet qui se déplace dans un fluide (liquide ou gaz). Elle est orientée de manière opposée à la vitesse de l'objet et dépend à la fois de cette vitesse et d'un coefficient h , appelé coefficient de frottement fluide.

$$f = h * v$$

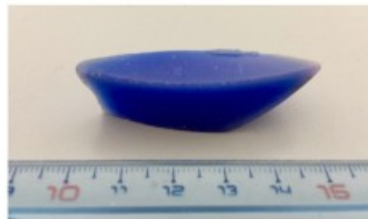
$$\text{avec } h = k * \eta(T)$$

où k est le coefficient caractéristique de la géométrie du solide et $\eta(T)$ est le coefficient de viscosité du fluide, il dépend de la température du fluide.

kg/m/s	0°C	20°C	40°C
$\eta(\text{air}) * 10^{(-3)}$	0.017	0.018	0.019
$\eta(\text{eau}) * 10^{(-3)}$	1.8	1.0	0.7

La Poussée d'Archimède

Expérience : On plonge un objet en plastique dur et moins dense que l'eau au fond d'un bac d'eau et on le relâche.

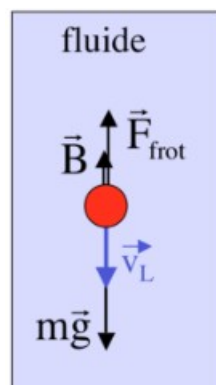


Observations : Dès qu'on relâche l'objet situé au fond du bac, on le voit remonter progressivement jusqu'à la surface de l'eau. Une fois à la surface, l'objet flotte.

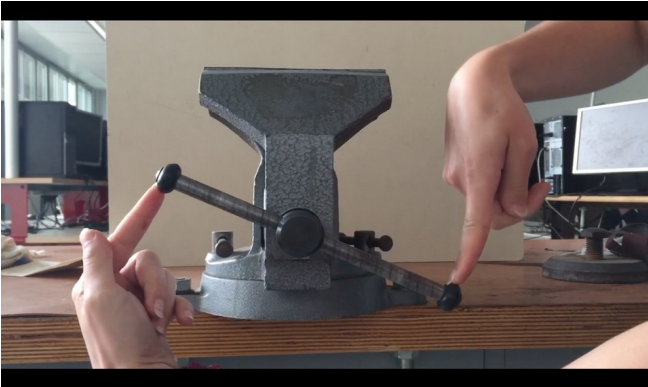
Remarques : La poussée d'Archimède n'est visible que lorsque le fluide est plus dense que l'objet.

Théorie : La poussée d'Archimède B est la force résultante des forces de pression d'un fluide sur un corps totalement immergé. C'est une force verticale qui s'oppose à la force de pesanteur et dont la norme est égale au poids du liquide déplacé par le solide.

Le point d'application de B correspond au centre de gravité du fluide déplacé.



Couple de forces

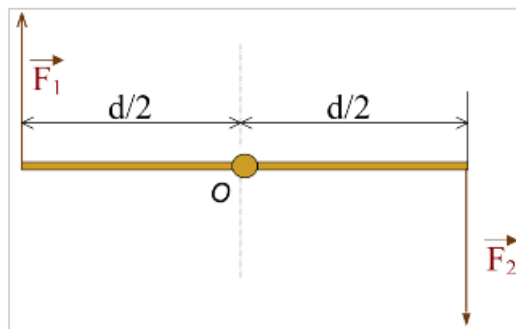


Expérience : On exerce deux forces égales, de même direction, de sens opposé et appliquées perpendiculairement à la barre permettant de régler l'ouverture de l'étau. La somme de ces deux forces est appelée couple de forces.

Observation : Le moment du couple de forces est la somme de deux moments de forces. On retrouve bien ici les deux bras de levier des deux moments des forces.

Remarque : La somme des forces d'un couple est nulle. Un couple est exprimé en N.m.

Théorie : Schématisation d'un couple :



On a alors la formule suivante :

$$P = C \times w \text{ et } C = F \cdot \frac{d}{2}$$

C : couple de forces, en N.m.

P : puissance exprimée en watt.

w : vitesse de rotation exprimée en rad/s.

F : force exercée sur le bras, en N.

d / 2 : distance entre l'axe de rotation et le point d'application de la force, en m.

Pression :

Expériences complémentaires à propos de la pression atmosphérique :

a) Mise en évidence de la compression et de la détente

Le défi :

L'objectif de cette expérience est de mettre en évidence les phénomènes de détente et de compression d'un fluide et de retrouver la définition principale de la pression

Le matériel :

- un ballon
- une cloche à vide (dessiccateur)
- une pompe à vide

La manipulation :

Dans un premier temps, on gonfle légèrement le ballon et on le place dans la cloche. On actionne la pompe à vide jusqu'à ce que le ballon ait pris du volume. Enfin, on éteint la pompe et on ouvre la valve.

Les attentes :

On peut s'attendre à ce qu'en faisant le vide dans la zone autour du ballon, celui-ci gonfle car l'air prend bien plus de volume que le vide. On peut en effet s'attendre à ce que cette différence de densité (et donc de pression ?) exerce une force sur la paroi du ballon.

Les constatations :

A partir du moment où la pompe est actionnée, le ballon va gonfler progressivement. Puis, quand la valve est ouverte, le volume du ballon diminue rapidement. Par ailleurs, on s'est rendu compte qu'en ré-injectant l'air dans le dessiccateur, le ballon monte, puis redescend un peu après.

Conclusion :

Nos résultats correspondent bien à nos attentes. En effet, en faisant progressivement le vide autour du ballon, on crée une différence de densité. Une différence de densité entraîne toujours, logiquement, une dilatation du milieu le plus dense et une compression du milieu le moins dense, ce qui est permis par l'élasticité de la membrane de baudruche. Ainsi, une force va s'exercer sur toute la surface du ballon, ce qui est lié à une augmentation de la pression. En fait, pour être plus précis, l'extraction de l'air du dessiccateur entraîne une chute progressive de pression, parallèlement à la baisse de densité. Pour ce qui est de l'autre phénomène observé (la montée du ballon), il s'explique simplement. L'air étant plus lourd que le vide (ou plutôt quasi-vide), le ballon était en bas avant la ré-injection de l'air. L'air injecté passe en partie sous le ballon et le fait monter. Le ballon redescend une fois que la quantité d'air injecté n'est plus significative.

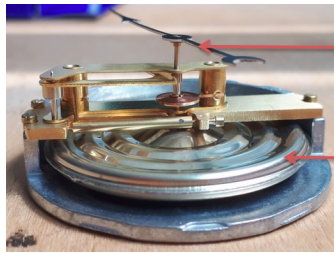


*Photo du baromètre
anéroïde*

b) Désassemblage du baromètre anéroïde

Le baromètre anéroïde, moins encombrant et moins onéreux qu'un baromètre à mercure, a été inventé en 1843 par Lucien Vidie.

Durant le projet, nous avons désassemblé un baromètre anéroïde afin d'étudier son mécanisme. Le baromètre anéroïde possède un très petit mécanisme mais son fonctionnement reste simple.



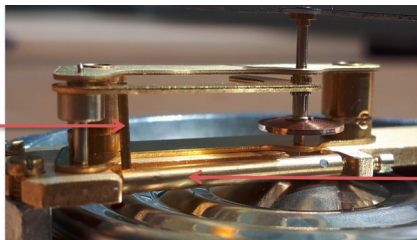
Aiguille

Capsule
métallique

Le fonctionnement est le suivant :

A l'intérieur du baromètre se trouve une capsule métallique sous vide le plus complet possible. Cette capsule s'écrase ou se dilate en fonction de la pression atmosphérique qui s'exerce sur ses parois.

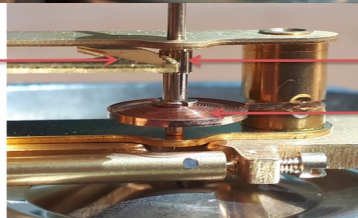
Cette capsule est en contact avec une pointe qui, elle même, est encastrée dans un axe de rotation. L'axe de rotation permet de passer d'un mouvement vertical à un mouvement horizontal.



Levier

Axe de
rotation

Grâce aux variations de hauteurs de la pointe, l'axe se met en rotation et entraîne un levier. Le levier amplifie le mouvement.



Pignon
menant

Pignon mené

Ressort

La rotation du levier autour de l'axe de rotation permet de mettre en rotation le pignon menant autour d'un axe fixe. Le pignon menant entraîne le pignon mené. Le pignon mené tourne et permet la rotation de l'aiguille.

Ce fonctionnement a pour objectif d'amplifier les mouvements résultant des variations de pression pour les rendre plus lisibles.

Une autre aiguille est présente sur le baromètre. Il faut la déplacer par soi-même. Elle permet de garder en mémoire une valeur de pression afin de la comparer avec d'autres valeurs précédemment relevées. En effet, ce ne sont pas les valeurs de pression qui permettent de prévoir les conditions météorologiques futures, mais leurs variations. De cette manière, une forte diminution de la pression est signe du mauvais temps alors qu'une hausse de celle-ci annonce le beau temps.

Nous avons cherché à calculer le rapport d'amplification que permet ce mécanisme. On observe deux étapes : la première se fait autour de l'axe de rotation, avec la pointe et le levier, et la deuxième se fait au niveau de l'engrenage.

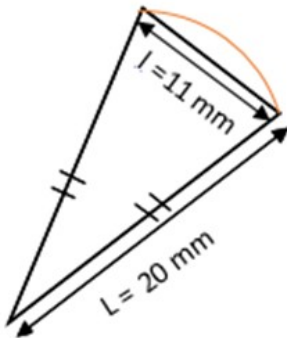
1- Pointe et levier

La pointe a une longueur $l_p = 1.5 \text{ mm}$, et le levier a une longueur $l_l = 7 \text{ mm}$

Le rapport d'amplification est :

$$\rho_1 = \frac{7}{1.5} = 4.7$$

2- Engrenage

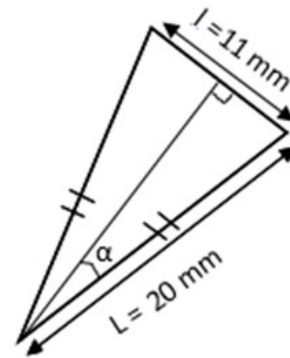


$$\text{arc de cercle} = 2 \times \alpha \times L$$

$$\sin \alpha = \frac{11}{2 \times 20}$$

$$\alpha = 0.28 \text{ rad}$$

$$\text{arc de cercle} = 11.14 \text{ mm}$$



On calcule la longueur de l'arc de cercle du pignon menant :

$$\frac{2\pi \times 23}{0.28 \times 2} = 258 \text{ dents}$$

La longueur de l'arc de cercle correspond à 23 dents, donc pour l'engrenage complet on a :

$$\rho_2 = \frac{\text{Nb dents menantes}}{\text{Nb dents menées}} = \frac{258}{12} = 21.5$$

Le pignon mené a 12 dents. On calcule alors le rapport d'amplification :

$$\rho = \rho_1 \times \rho_2 = 101, \text{ le rapport total d'amplification est donc de } 101.$$

Mesurer la pression

On mesure la pression d'une manière différente en fonction de son ordre de grandeur. On peut la mesurer directement par la mesure de la force qui s'applique sur une certaine surface ou bien en mesurant indirectement une autre grandeur physique (comme la température par exemple). On utilise différents appareils de mesures pour déterminer la valeur de la pression, comme le manomètre ou encore le baromètre.

1. Le manomètre

Le manomètre est un instrument de mesure de la pression d'un fluide ou d'un gaz. La pression est mesurée par rapport à une pression de référence : la pression atmosphérique. Les pressions mesurées doivent être relativement proches de cette dernière.

Il existe de nombreuses sortes de manomètres regroupées dans deux grandes familles : les manomètres hydrostatiques et les manomètres anéroïdes (que nous ne traiterons pas car ils ont un fonctionnement proche du baromètre anéroïde que nous verrons dans la partie b).

Les manomètres hydrostatiques sont les manomètres à valve et les manomètres à colonne de liquide.

a. Le manomètre à valve

Le fonctionnement de ce manomètre :

Les manomètres à valve sont les manomètres que nous pouvons trouver aux stations de gonflage. La pression du fluide va comprimer un ressort de façon plus ou moins importante ou se mettre en équilibre grâce à un contrepoids via une valve.

Inconvénient du manomètre à valve :

- Ce manomètre est peu précis

b. Le manomètre à colonne de liquide

Le fonctionnement de ce manomètre :

Ce manomètre est un tube en forme de U, à moitié rempli d'un liquide. Les extrémités de ce tube sont soumises à deux pressions différentes, d'un côté la pression atmosphérique et de l'autre la pression à mesurer. En fonction de la différence de pression entre les deux extrémités, le liquide dans le tube va monter ou descendre d'un côté jusqu'à atteindre un équilibre. On a vu précédemment que $P_a = P_0 + \rho gh$. Avec P_a la pression à mesurer, P_0 la pression de référence (pression atmosphérique), ρ la densité du liquide, g l'accélération de la pesanteur et h la différence de hauteur du liquide entre les deux branches du U. L'écart entre la pression à mesurer et la pression atmosphérique de référence est donc $P_a - P_0 = \rho gh$.

2. Le baromètre

Le baromètre est utilisé en physique et en météorologie, il permet de mesurer la pression atmosphérique et ainsi prévoir des changements de temps. Il peut également servir d'altimètre.

a. L'histoire du baromètre

Selon Aristote, "la nature craint les espaces vides", le vide ne pouvait pas exister car la matière replie immédiatement le vide. Ce dernier avait tort. Le vide est un élément clé du baromètre.

Peu de gens ont pensé à remettre en cause la théorie d'Aristote et des autres philosophes antiques.

Au début de 17^{ème} siècle, des mineurs italiens ont rencontré un problème. Les pompes ne pouvaient pas élever l'eau au-dessus de 10,3 mètres. Galilée a notamment proposé d'aspirer l'air du tuyau pour que l'eau monte et remplace le vide. Il pensait que le vide exerçait une force limitée sur l'eau.

Gasparo Berti a donc voulu prouver les propos de Galilée. Il a rempli un long tube d'eau et l'a mis dans un bassin peu profond avec les deux extrémités bouchées. Il a ensuite ouvert l'extrémité du bas et l'eau dans le tube s'est déversée en partie dans le bassin jusqu'à ce que le niveau d'eau dans le tube soit de 10,3 mètres. Il y a donc un vide stable en haut du tube, l'air ne pouvant pas rentrer dans le tube.

Evangelista Torricelli a étudié le sujet en se focalisant sur ce qui pourrait influencer l'eau. Comme l'air est le seul élément en contact avec l'eau dans le bassin, il réalise que la pression de l'air était ce qui empêchait au niveau d'eau de baisser en dessous de 10,3 mètres. Il en déduit que le niveau d'eau à l'intérieur du tube baisse jusqu'à atteindre la pression atmosphérique. Il y a donc la même pression à l'intérieur et à l'extérieur du tube. Cette pression est donc atteinte lorsque l'eau arrive à 10,3 mètres.

Cette découverte est difficile à accepter. D'après Galilée, l'air n'avait pas de poids et ne pouvait pas exercer une pression.

b. Le baromètre à mercure

Evangelista Torricelli a refait l'expérience de Gasparo Berti en 1643 en remplaçant l'eau par le mercure, ce dernier étant 13,6 fois plus dense que l'eau. Ainsi il pouvait réaliser l'expérience sans avoir à utiliser des colonnes d'eau de dizaines de mètres de hauteur. Le mercure est resté à 76 centimètres de hauteur. C'est la création du baromètre à mercure.

Comment trouver cette valeur?

On réalise la même expérience qu'avec l'eau. On remplit un bassin et un tube en U de mercure. On prend $1 \text{ atm} = 101\,300 \text{ Pa}$ comme valeur de la pression atmosphérique. Le niveau de mercure va baisser jusqu'à atteindre la même pression que la pression atmosphérique. Il y a donc un vide stable en haut du tube. On cherche donc la hauteur de mercure. Pour cela on utilise la formule suivante: $P = \rho gh$. On connaît $\rho(\text{Hg}) = 13600 \text{ kg/m}^3$. On a ainsi $h = 0,76\text{m}$ soit 76cm. Le poids est donc le facteur décisif. Il y a équilibre entre le poids de l'air atmosphérique, et le poids de la colonne de mercure dans le tube.

Comment déterminer la pression extérieure?

On met des graduations sur le tube en U en plaçant 1 atm à 76 cm du tube et on lit la valeur de la pression extérieure sur le tube en fonction de la hauteur du mercure. S'il fait beau, le niveau de

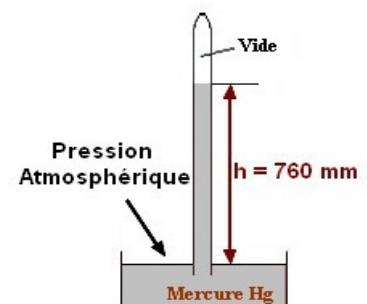


Schéma du baromètre à mercure

mercure dans le tube est haut, et bas s'il fait un temps pluvieux.

Inconvénients du baromètre à mercure :

- Le baromètre à mercure était l'un des baromètres les plus utilisés pour mesurer la pression atmosphérique jusqu'en 2007, année de la restriction sur le mercure. Le mercure est toxique. Il n'est donc plus utilisé en Europe.
- Le tube en forme de U est fragile car en verre. Il est également encombrant. En effet, la hauteur du baromètre à mercure est supérieure à 76 cm.
- Le mercure est un métal cher.
- Le mercure est un métal qui se dilate créant une variation de densité, une correction en fonction de la température doit être apportée.
- Le mercure a une forte tension superficielle qui fait que dans les tubes étroits, le niveau de mercure est en dessous de la valeur théorique. Il faut donc corriger la valeur de la pression extérieure obtenue en fonction du diamètre du tube.

c. Le baromètre à eau

Le baromètre à eau aurait été inventé par le Hollandais Gijsbrecht de Donckere mais ce baromètre aurait été réinventé par Johann Wolfgang von Goethe en 1792, à partir des expériences de Torricelli. Comment fonctionne ce baromètre:

L'eau est emprisonnée dans un dispositif en verre. Selon la pression que subit l'air dans l'appareil, l'air se contracte ou se dilate. Il y a donc une variation du niveau de l'eau en fonction de la pression atmosphérique. Cela est modélisé par l'augmentation du niveau d'eau dans le tube sur le côté du dispositif lorsque la pression atmosphérique baisse et par une diminution du niveau d'eau dans le tube lorsque cette pression augmente.



baromètre à eau

Inconvénient du baromètre à eau :

- Ce baromètre est peu précis. En effet, il n'y a pas de graduation sur le tube pour lire la valeur exacte de la pression atmosphérique.
- La température influence le baromètre à eau, modifiant la valeur réelle de la pression atmosphérique.

Avantage:

- Ce baromètre peut faire un élément de décoration

d. Le baromètre à gaz

Le baromètre à gaz, inventé en 1818 par Alexandre Adie, est composé d'un gaz enfermé dans une enceinte dont on observe la compression ou la détente en fonction de la pression atmosphérique.

Il est composé de deux parties mises en parallèle : un tube en forme de U rempli de liquide ainsi qu'un thermomètre qui permet de rectifier les erreurs dues à l'effet de la température ambiante sur le gaz. Plus la pression atmosphérique est élevée, plus le liquide dans le tube monte, et plus la pression est basse, plus le liquide descend.

Avantages:

- il n'y a pas de mercure
- la lecture est plus simple et plus précise que pour un baromètre à mercure
- il est beaucoup plus petit qu'un baromètre à mercure

e. Le baromètre électronique

Le baromètre numérique mesure la pression atmosphérique sur le même principe que le baromètre anéroïde. En effet il est doté de deux capteurs, un pour la pression et un pour la température. La pression est mesurée grâce à la dilatation du capteur assimilé à une capsule. Puis le capteur de température permet de corriger précisément les erreurs dues à la dilatation du capteur de pression par la température. Les données relevées par le capteur sont analysées par un microprocesseur et les valeurs de pression sont affichées numériquement.

Avantages :

- Il est beaucoup plus précis grâce à la prise en compte de la température
- Il n'y a pas de mercure

Autres annexes sur la pression:

Altitude	Pression en hPa
0 m	1013,25
500 m	954,61
1000 m	898,76
1500 m	845,58
2000 m	794,98

2500 m	746,86
3000 m	701,12
3500 m	657,68
4000 m	616,45
4500 m	577,33
5000 m	540,25
6000 m	471,87
7000 m	410,66
8000 m	356,06
9000 m	307,48
10000 m	264,42
11000 m	226,37

Tableau représentant la pression en fonction de l'altitude

Tableau représentant la température d'ébullition en °C en fonction de l'altitude.

Comment lire ce tableau?

Prenons l'exemple suivant: on cherche la température d'ébullition à 2100 mètres d'altitude.

Pour cela, on cherche l'intersection entre la valeur 2000 mètres située dans la colonne gauche du tableau et la valeur 100 mètres située dans la première ligne du tableau.

	0	100	200	300	400
-500	101.7	101.3	101.0	100.7	100.3
0	100.0	99.7	99.3	99.0	98.7
500	98.3	98.0	97.7	97.3	97.0
1000	96.7	96.3	96.0	95.7	95.3
1500	95.0	94.7	94.3	94.0	93.7
2000	93.3	93.0	92.7	92.3	92.0
2500	91.7	91.3	91.0	90.7	90.3
3000	90.0	89.7	89.3	89.0	88.6
3500	88.3	88.0	87.6	87.3	87.0
4000	86.6	86.3	85.9	85.6	85.3
4500	84.9	84.6	84.3	83.9	83.6
5000	83.3	82.9	82.6	82.2	81.9
5500	81.6	81.2	80.9	80.6	80.2
6000	79.9	79.5	79.2	78.9	78.5
6500	78.2	77.8	77.5	77.2	76.8
7000	76.5	76.1	75.8	75.5	75.1
7500	74.8	74.4	74.1	73.8	73.4
8000	73.1	72.7	72.4	72.0	71.7
8500	71.4	71.0	70.7	70.3	70.0
9000	69.6	69.3	69.0	68.6	68.3
9500	67.9	67.6	67.2	66.9	66.5
10000	66.2	65.8	65.5	65.2	64.8
10500	64.5	64.1	63.8	63.4	63.1
11000	62.7	62.4	62.0	61.7	61.3
11500	61.0	60.6	60.3	59.9	59.6
12000	59.2	58.9	58.5	58.2	57.8

Puissance et énergie :

Un peu d'histoire

Si on définit l'énergie comme étant la « capacité du système qui la possède à effectuer une action » ou encore la capacité d'un système à agir sur lui-même ou sur des corps (c'est-à-dire provoquer des modifications comme la température, la forme, la vitesse, etc), alors l'énergie est présente depuis bien longtemps dans la vie des hommes. Les hommes utilisaient déjà de l'énergie par exemple avec la découverte du feu en 500 000 avant J-C ou encore avec l'invention du moulin à vent en 700 avant J-C. Sans en donner une liste exhaustive, on peut également citer l'invention de la pile électrique en 1800 ou encore la découverte du pétrole en 1859.

Cependant, les premières idées en matière d'énergie en tant que telle apparaissent au cours du 19^{ème} siècle grâce à plusieurs savants mettant en avant la relation entre énergie mécanique et chaleur. De ces observations, découlent les grands principes de transformation et surtout de conservation de l'énergie. Cependant, malgré son utilisation dans le domaine scientifique, la notion d'énergie reste difficile à appréhender, du fait qu'elle ne se montre qu'à l'occasion de ses changements de formes.

Dès la fin du 18^{ème} siècle, une expérience étonnante a permis de mieux comprendre la notion de chaleur. Lors du forage de tubes à canon en cuivre, le Comte de Rumford, B. Thompson, observe l'échauffement des pièces et il interprète celui-ci comme la libération d'un fluide contenu dans la matière lorsque la mèche fore le métal. Il se rend compte que même lorsque la mèche est de mauvaise qualité, l'échauffement a quand même lieu et de manière importante. Une question se pose alors : d'où vient cette chaleur ? Cette chaleur ne peut venir d'un corps matériel car cette chaleur était fournie de manière inépuisable. C'est seulement en 1842 que l'on arrive à avoir des résultats significatifs: Le médecin allemand J. R. Mayer établit un lien entre chaleur et travail mécanique et propose une loi de conservation de l'énergie. Plus tard, c'est J. P. Joule qui affirme l'équivalence entre les deux grâce à la machine électromagnétique. Un article fondamental sur la conservation de l'énergie est alors publié quelques années après sur la conservation de l'énergie par H. L. von Helmholtz.

Cinq années après, la notion d'énergie potentielle est introduite. Plus un objet est situé en hauteur, plus son énergie potentielle est élevée. Cette énergie est liée à l'énergie cinétique : l'augmentation de cette dernière provoque la diminution de cette première.

Au début du 20^{ème} siècle, c'est la notion de quantification qui est introduite par M. Planck. Ce physicien montre que la lumière peut être émise par une substance seulement à certains niveaux d'énergie. Ces quantités spécifiques d'énergie produite sont alors appelées quantum d'énergie. Plus tard, A. Einstein explique l'effet photoélectrique : la lumière, constituée de photons dépendant de la longueur d'onde et de la fréquence et eux même constitués d'énergie lumineuse, est un corpuscule (on a la relation : célérité de la lumière = longueur d'onde * fréquence).

La célèbre relation $E=mc^2$ de Einstein est alors publiée quelques mois après et montre que la lumière se transforme en énergie et inversement.

Pour le scientifique également, l'énergie demeure longtemps mystérieuse. Ce n'est que depuis le milieu du 19^{ème} siècle, soit environ deux siècles après la clarification du concept de force par Isaac Newton, que la notion d'énergie commence à être éclaircie. Ces progrès très tardifs témoignent sans doute du caractère complexe de l'énergie.

Calcul de la puissance d'une chute d'eau

On sait que la définition générale de la puissance s'écrit sous la forme :

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (*)$$

P : puissance (W) E : énergie (J) t : durée (s)

Dans notre cas, E représente l'énergie potentielle :

$$E = m * g * h$$

E : énergie potentielle (J) m : masse de l'eau (kg) g : accélération de la pesanteur (m/s²) (g=9,81 m/s²) h : hauteur (m)

(*) devient :

$$P = \frac{m * g * h}{\Delta t} \quad (**)$$

Or,

$$m = \mu * V$$

μ : masse volumique (kg/m³) ($\mu_{\text{eau}}=1 \text{ kg/m}^3$) V : volume (m³)

(**) devient :

$$P = \frac{V * g * h}{\Delta t} \quad (***)$$

Cette écriture nous permet d'introduire le débit :

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$

Q : débit de la chute d'eau (m³/s)

Finalement, (***) devient :

$$P = Q * g * h$$

Cette expression de la puissance montre qu'elle ne dépend que de la hauteur de la chute et du débit (g étant une constante)

Réalisation de la vidéo du moulin à eau et interprétations

Bien sûr, l'objectif de cette installation était de filmer les effets de l'eau sur le moulin et d'observer les différentes vitesses de rotation. Avant d'entrer dans les détails, il est conseillé de se rendre sur notre chaîne YouTube intitulée « [Vulgarisation scientifique de notions abstraites INSA Rouen](#) » et de choisir la vidéo « Moulin à eau ».

Comme vous avez pu le voir durant la vidéo, nous avons choisi de mettre en place différentes configurations de notre système en modifiant le débit de trois manières : une ouverture du robinet à 25 %, à 50 % et à 100 % (ouverture totale) dans un premier temps pour une hauteur fixe ($h=15\text{cm}$). Nous pouvons en tirer quelques conclusions qui peuvent paraître évidentes mais nécessitent une description approfondie et précise. Lorsque l'on modifie le débit, on agit sur la puissance qui, comme décrit précédemment, correspond à la capacité de produire de l'énergie. Plus on augmente le débit, plus la roue tourne vite et longtemps. Ceci reste difficilement observable pour de gros débits du fait de la qualité de l'image. Des caméras de très bonne qualité avec une fonction de ralentissement permettraient de mieux percevoir les actions de l'eau et même de calculer la vitesse de rotation, et donc de quantifier la production éventuelle de courant électrique. Des exemples de calculs de puissance seront détaillés en fin d'analyse de la vidéo.


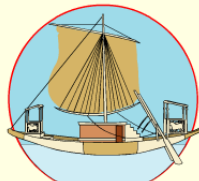

Désormais, parlons en termes d'énergie. La réserve d'eau, que ce soit un lac ou dans notre seau, représente une réserve d'énergie comme une batterie ou une pile. Quand on veut de l'électricité, on ouvre le robinet ou les vannes, quand on n'en désire plus, on les ferme. C'est là l'avantage des centrales hydroélectriques qui permettent de fournir de l'électricité rapidement en heure de forte consommation par exemple. Revenons à nos énergies ; lors du déroulement de nos manipulations, tout se passe comme dans une centrale : l'énergie potentielle de l'eau dans le seau se convertit en énergie cinétique lors de sa chute à la verticale, entraînant les pales du moulin. L'énergie électrique n'est donc pas mise en avant via notre système à cause de l'absence d'alternateur. Mais notre moulin à eau s'avère tout de même être un bon moyen de vulgariser ces notions de puissance et d'énergie. Son fonctionnement et les mécanismes internes qui s'y produisent sont très accessibles.

Dans un second temps correspondant à la deuxième partie de vidéo, bien que cela ne réponde pas exactement à notre problématique, nous avons voulu montrer l'impact du changement de hauteur avec ces mêmes débits en passant de 15 à 30cm (distance entre l'extrémité du robinet et une pale à l'horizontale). Ce changement implique une augmentation générale de la puissance du système en agissant directement sur l'énergie potentielle de pesanteur ($E_{pp}=m*g*h$). Le rendement s'en trouve augmenté. Nous pouvons en conclure que l'objectif, lors d'une installation de centrale hydroélectrique est de faire en sorte que le débit soit très important pour une très grande hauteur de chute, ainsi que d'optimiser la puissance afin de fournir de grande quantité d'énergie en peu de temps. On retrouve donc finalement la relation essentielle entre la puissance et l'énergie : **$E=P*t$**


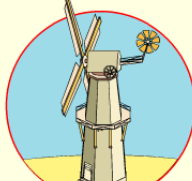
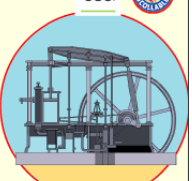
Les grandes dates de l'énergie

Nous avons parlé de l'énergie au sens physique, mais il est évident que l'énergie ne cesse d'être utilisée et d'évoluer d'années en années. Voici un récapitulatif de l'évolution de l'énergie avec les grandes dates des inventions :

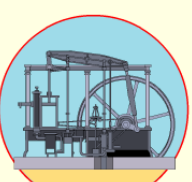
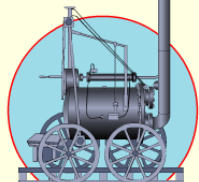
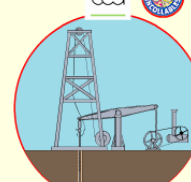
Les grandes dates de l'énergie

		
Préhistoire L'homme domestique le feu	-8000 L'homme invente l'agriculture et utilise la force animale	-5000 Les premiers bateaux à voile utilisent la force du vent


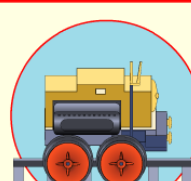

Les grandes dates de l'énergie

		
-100 L'homme crée des moulins à eau pour mouliner le grain avec la force des rivières	10^e siècle Les Chinois inventent la poudre pour projeter des objets	13^e siècle L'homme crée des moulins à vent pour mouliner le grain avec la force éolienne

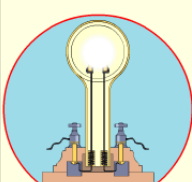
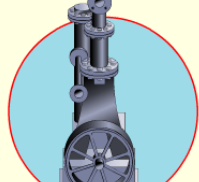
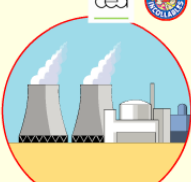
Les grandes dates de l'énergie

		
1769 L'Écossais Watt perfectionne la machine à vapeur	1800 L'italien Volta invente la pile électrique	1814 La première locomotive à vapeur roule en Angleterre

Les grandes dates de l'énergie

		
1859 Le premier puits de pétrole est exploité aux Etats-Unis	1866 L'allemand Siemens perfectionne la dynamo	1879 L'allemand Siemens fait rouler la première locomotive électrique

Les grandes dates de l'énergie

		
1882 L'américain Edison crée l'ampoule électrique	1885 L'allemand Benz lance la première automobile à essence	1893 L'allemand Diesel invente le moteur qui porte son nom

1903
Les frères Wright font voler le premier avion à hélices

1942
L'italien Fermi réalise la première réaction nucléaire marquant le début de l'industrie nucléaire

<http://www.cea.fr/multimedia/Pages/animations/energies/grandes-dates-de-l-energie.aspx>