Besançon

# MUSÉE DU TEMPS DOSSIER LES CLEPSYDRES



















# **Clepsydres**

## D'où vient le terme clepsydre?

**Clepshydre** serait certes plus logique que clepsydre, mais l'H est ignoré, masquant maladroitement l'origine technique du terme. Ce mot est issu du grec *klepsudra* provenant de *kleptein* signifiant dérober (que l'on retrouve dans le terme cleptomane) et de *hydra*, l'eau. Cette origine proviendrait-elle directement de dérober au sens capturer l'eau à dessein pour en "extraire" l'heure?

#### Quelle est l'histoire de cet instrument?

S'affranchir du soleil, dont sont trop tributaires les cadrans solaires, semble avoir motivé les hommes pour la conception des clepsydres. Ils furent sûrement aidés en cela par leurs connaissances approfondies de la gestion des eaux d'irrigation qui devaient être précieusement « comptées » pour être réparties équitablement.

A propos des clepsydres, seuls quelques personnages importants sortent de l'anonymat antique et jalonnent la longue période où elles furent utilisées.

Ce serait à Ctésibius ou Ctésibios ou Ktêsibios (vers 250 av. JC), né à Alexandrie et qui vécu sous Ptolémée II Philadelphe et sous son successeur que l'on devrait attribuer l'invention de la clepsydre. Ctésibius a conçu un autre dispositif mêlant eau et vent pour produire de la musique. Cet instrument très particulier s'appelait « organon hydraulikon ». Il était composé de tuyaux sonores multiples, le tout alimenté par une soufflerie et s'utilisant par l'intermédiaire d'un clavier, savant mélange d'utilisation de l'eau pour comprimer l'air insufflé dans les tuyaux. Il semble que Ctésibios se fit spécialiste de la pression en concevant des pompes aspirantes et refoulantes.

Vitruve, dans son « De Re Architectura» décrit l'horloge à eau en ces termes : « l'eau qui s'écoule lentement dans le vase de l'horloge soulève un flotteur ou une tige dentée actionnant un disque produisant des déplacements linéaires ou circulaires proportionnels. D'autres roues peuvent provoquer le



Système de clepsydre avec mécanisme

déplacement de statuettes, la chute de billes, des sonneries de trompette... ». Tous ces dispositifs semblent bien possibles dans le registre inventif du personnage. Mais est-il vraiment l'inventeur de la clepsydre ?

On peut en douter! Il est beaucoup plus juste de le considérer comme quelqu'un qui

perfectionna des instruments que l'ancienne Égypte et probablement les mésopotamiens euxmêmes connaissaient déjà.

Un certain **Amenemhat (Amenhemet),** porteur du sceau royal, contemporain d'Aménophis I<sup>er</sup> pharaon des dix huitièmes dynasties (entre 1525 et 1504 avant notre ère) selon diverses sources pourrait prétendre largement au statut d'inventeur de cette technique. D'ailleurs, une clepsydre de cette époque a été retrouvée lors de fouilles archéologiques à Thèbes. Vase d'albâtre aux parois évasées dont le fond est percé d'une petite ouverture, aux flancs gravés de hiéroglyphes et à l'intérieur gradué, on y trouve douze traits verticaux, un par mois de l'année et des marques horizontales horaires repérant des durées d'écoulement identiques. La traduction d'une inscription, toujours à Thèbes, dans laquelle ce même **Amenemhat** se glorifie d'avoir découvert « *un récipient extraordinaire.... où chaque heure est à sa place.... et ....où l'eau ne s'écoule que par un orifice* » semble bien confirmer la paternité de cette invention.

La forme conique donnée à ce récipient, si judicieuse soit-elle, reste insuffisante pour pallier la non régularité de l'écoulement, la précision, suffisante pour l'époque, était difficilement améliorable sans la connaissance précise de la forme mathématique à donner au contenant.

**Archimède** (287 - 212 av. JC). On lui devrait les roues dentées. Lorsque l'on sait leurs rôles dans les montres et autres horloges cet illustre géomètre, mathématicien grec a toute sa place dans une chronologie ...de la mesure du temps. Mais nous le mentionnons ici surtout en tant que fondateur de la statique des forces et surtout de l'hydrostatique. Ainsi il est à la base de l'étude raisonnée des clepsydres grâce aux principes régissant les fluides dont il est l'heureux concepteur.

Andronykos de Cyrrhos (I<sup>er</sup>ou II <sup>éme</sup> siècle av. JC). Cet ingénieur et architecte macédonien a réalisé une tour en pierre octogonale de 12 m de hauteur, appelée la Tour des vents sur l'Agora d'Athènes. Un cadran solaire orienté se situe juste au-dessous des reliefs sculptés, figures ailées symbolisant les huit vents sévissant sur la cité grecque. Mais cette tour abritait surtout une horloge hydraulique, aujourd'hui disparue, formée d'un cylindre imposant se remplissant des eaux de source qui jaillissait des flancs de la colline célèbre de l'Acropole. Le niveau de l'eau indiquait les heures. Cet ensemble réputé du monde antique fut décrit par Vitruve.

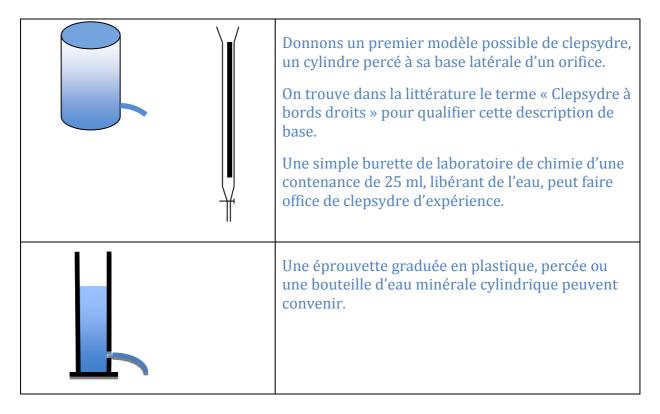
N'oublions pas le fort développement en Chine des divers systèmes hydrauliques suffisamment élaborés pour mériter à eux seuls une longue exégèse.

Schéma simplifié d'une clepsydre avec mécanisme d'affichage

## Comment construire une clepsydre traditionnelle?

La Clepsydre devant servir de garde-temps, l'eau doit s'écouler. L'écoulement de cette eau doit être régulier, mais est-ce le cas ?

D'ailleurs, un récipient qui se vide est l'exemple quotidien de la fuite... du temps.



## Comment s'écoule l'eau dans notre clepsydre?

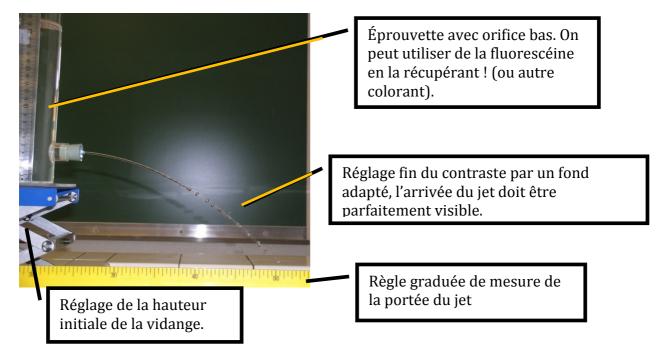
#### Laissons s'écouler de l'eau dans notre dispositif.

Première possibilité, on indique sur la bouteille par des graduations toutes les 10 ou 20 secondes suivant l'écoulement, la position de la surface du liquide restant. Les graduations ne sont pas équidistantes!

Deuxième possibilité, on a gradué régulièrement (c'est facile si on prend une éprouvette graduée) le liquide ne passe pas devant ces graduations à intervalles de temps réguliers.

La régularité attendue ne va pas de soi.

Le problème est posé.



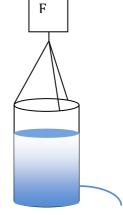
# Comment varie la hauteur d'eau dans cette clepsydre en fonction du temps ?

Exemple de travail expérimental:

Capteur de force associé à un logiciel de traitement et de modélisation (cette possibilité

technique du logicielle sera exploitée plus tard).

On peut également mesurer la hauteur ou peser l'eau.



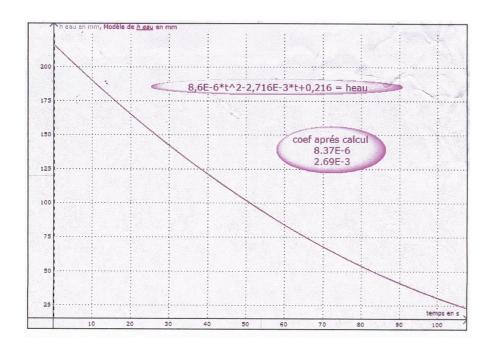
Ex : logiciel LATIS PRO + capteur de force ou calculatrice et système d'acquisition.

Passage de la force à la hauteur pour un récipient cylindrique de diamètre d :

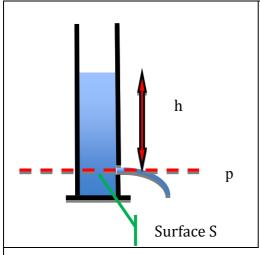
$$h = \frac{V}{S} = \frac{m}{\rho S} = \frac{F - Pf}{\rho g S} = 4 \frac{(F - Pf)}{\rho g \pi d^2}$$

où signifie poids du dispositif à la fin de la vidange (c'est-à-dire poids de l'eau restante sous la vidange et poids de la bouteille vide) t

La hauteur ne varie pas proportionnellement au temps écoulé.

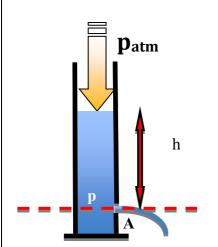


### Qu'est ce que le principe d'Archimède?



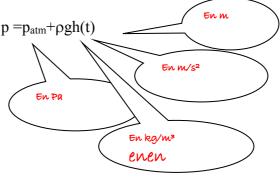
#### Principe d'Archimède de la statique des fluides :

- La pression au sein d'un liquide est constante sur une même horizontale au sein d'un fluide en équilibre.
- La pression p sur une même horizontale dépend de la profondeur h. Elle s'écrit p = mg/S = ρVg/S avec V= S h donc p = ρg h (οù ρ est la masse volumique de l'eau).
- Il est donc facile de voir que si h diminue par vidange la pression p va varier.



Remarque : cette pression p n'est pas celle à la sortie de la vidange mais bien à l'intérieur du cylindre sur une horizontale

Ce qui vient d'être calculé est le différentiel de pression par rapport à la pression atmosphérique la pression absolue est donc :



La pression régnant à la hauteur de sortie du récipient en A, due à la hauteur du liquide h, variable, sera variable elle aussi.

## Qu'est ce que la loi de Torricelli?

**Loi de Torricelli**. Cette loi a été découverte par Evangelista Torricelli en 1643. Il établit que le carré de la vitesse d'écoulement d'un fluide sous l'effet de la pesanteur est proportionnel à la hauteur de fluide située au-dessus de l'ouverture par laquelle il sort, ou autrement dit la vitesse de sortie du jet est proportionnelle à la racine carrée de la hauteur de liquide restant au dessus de la fuite :  $v^2 \propto h$  ou  $v \propto \sqrt{h}$ 

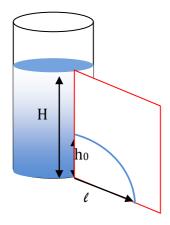
Énoncé initial par Torricelli : « je suppose que les eaux, qui sortent avec violence, ont au point de leur sortie la mesme impétuosité, ou le mesme degré de vitesse, qu'auroit acquis un corps pesant ou une goutte de la mesme eau, si elle estoit tombée naturellement, de la plus haute surface de la mesme eau, jusques à l'ouverture par où elle sort ».

Loi formellement identique à celle de la chute des corps, ce que constate Torricelli!

# Comment varie la portée du jet en fonction de la hauteur de l'eau dans le cylindre ?

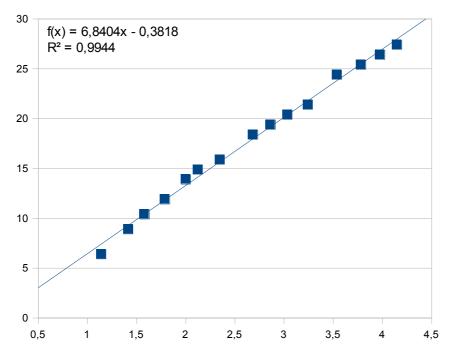
Au niveau expérimental des résultats simples peuvent être acquis avec un matériel minimal. Étude de la portée du jet et hauteur de l'eau dans le cylindre.

#### Résultats de mesure :



Portée du jet en fonction de la racine de la hauteur

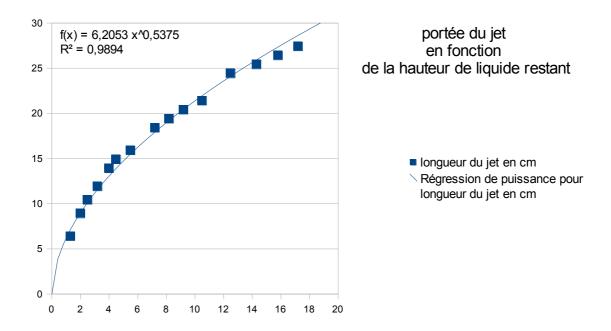
H= hauteur d'eau en cm	ℓ= longueur du		valeur théorique
a caa on om	jet en cm		attendue pour $\ell$
			par la loi de Torricelli
17,2	27,4	4,15	31,0
15,8	26,4	3,97	29,7
14,3	25,4	3,78	28,3
12,5	24,4	3,54	26,5
10,5	21,4	3,24	24,2
9,2	20,4	3,03	22,7
8,2	19,4	2,86	21,4
7,2	18,4	2,68	20,1
5,5	15,9	2,35	17,5
4,5	14,9	2,12	15,9
4	13,9	2	15,0
3,2	11,9	1,79	13,4
2,5	10,4	1,58	11,8
2	8,9	1,41	10,6
1,3	6,4	1,14	8,5



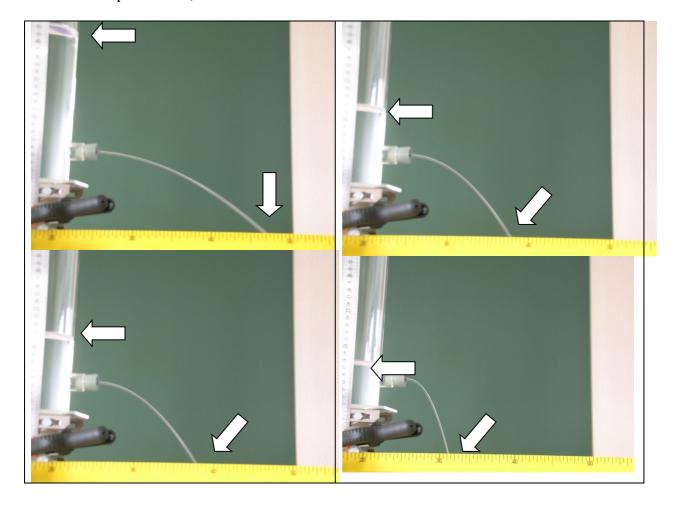
Portée du jet en fonction de la racine de la hauteur de liquide restant

■ longueur du jet en cm

Régression linéaire pour longueur du jet en cm



On découvre le fait que portée et racine de h sont quasi proportionnelles. Portée n'est pas vitesse, il faut montrer le lien!

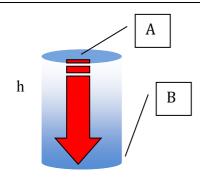


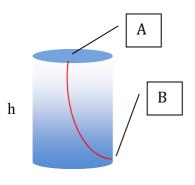
#### Matériel:

- Éprouvette (graduée ou non) avec sortie basse
- Règles/réglets de 50 cm
- Appareil photo numérique (travail possible par groupes sur photographie (attention aux déformations lors de la prise de vue)

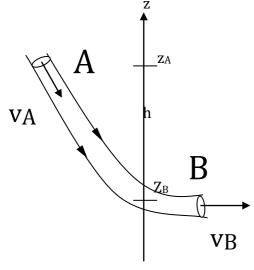
#### Comment vérifier théoriquement ce résultat?

Retrouvons d'abord la loi de Torricelli





Tube de courant d'eau considéré....



En première approximation c'est comme si le fluide tombait d'une hauteur h, la conservation de l'énergie de ce fluide donnerait  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ , soit  $v = \sqrt{2gh}$ .

#### **Démonstration**

La démonstration demande en réalité plus de rigueur et s'appuie sur la loi de Bernoulli.

Il faut supposer que l'on a un liquide idéal non visqueux pour lequel l'énergie se conserve (dans un fluide parfait, les forces de contact sont supposées perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquels elles s'exercent)

 $E = cte \text{ soit ici } \frac{1}{2}mv^2 + mgz + pV = cte \text{ il vient}$  alors:  $\frac{1}{2}mv^2 + mgz + pV = cte \text{ qui devient}$   $\frac{1}{2}\rho Vv^2 + \rho Vgz + pV = cte \text{ ou encore}$   $\frac{1}{2}v^2 + gh + \frac{p}{\rho} = cte$ 

Établissons cette conservation pour le tube de courant d'eau élémentaire entre A et B où la pression en A et en B est supposée être la même

$$\frac{1}{2} v_{\rm A}^{\ 2} + g z_{\rm A} + \frac{p_{\rm A}}{\rho} = \frac{1}{2} v_{\rm B}^{\ 2} + g z_{\rm B} + \frac{p_{\rm B}}{\rho}$$

Or  $p_A = p_B$  car on suppose que les deux extrémités de ce tube sont soumises à la même pression atmosphérique (ce qui est vrai dans le cas général où la clepsydre n'est pas très haute).

De plus  $v_A$  est nulle immobilité supposée ou valeur nettement plus faible que  $v_B$ .

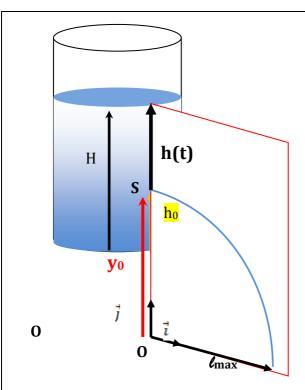
Il vient

$$gz_A = \frac{1}{2}v_B^2 + gz_B$$

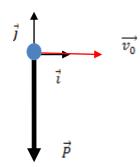
Soit 
$$v_B^2 = 2g(z_B - z_A)$$

$$v_{\rm B} = \sqrt{2g(z_{\rm B} - z_{\rm A})} = \sqrt{2gh(t)}$$

Ceci constitue la loi de Torricelli



Nous ne considérerons ici qu'une simple goutte d'eau de masse m sortant de l'ajutage  $\vec{r}$  avec une vitesse  $\vec{v}_0$  et soumise à son poids  $\vec{P}$ .



$$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = -gt \\ x(t) = v_0 t \end{cases}$$
 (1) 
$$\begin{cases} x(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + y_0 \end{cases}$$
 (2)

De (1) il vient  $t = \frac{x(t)}{v_0(t)}$ 

En replaçant dans (2) on obtient

$$y(t) = -\frac{1}{2}g\frac{x(t)}{v_0(t)^2} + y_0^2$$
$$y(t) = -\frac{1}{2}g\frac{x(t)}{v_0(t)^2} + y_0$$

Si en sortie S par la loi de Torricelli nous avons

$$v_0 = \sqrt{2gh(t)} \text{ alors}$$
$$y(t) = -\frac{1}{4} \frac{x(t)^2}{h(t)} + y_0$$

on obtient bien une forme parabolique à la bonne concavité, dont la forme et l'évolution au cours du temps dépend de h(t). Il s'agit là d'une approximation. On suppose toujours ici la section de sortie suffisante pour qu'il n'y ait pas de problème particulier de viscosité.

La portée qui correspond à la valeur maxi  $de x(t) = l_{max}$ 

Se trouve en annulant y(t):

$$y(t) = -\frac{1}{4} \frac{l_{max}^{2}}{h(t)}^{2} + y_{0} = 0$$

$$\frac{1}{4}\frac{l_{max}^{2}}{h(t)}^{2} = y_0$$

$$\frac{1}{4}\frac{l_{max}}{h(t)}^2 = y_0$$

$$l_{max}^{2} = 4y_0 h(t)$$

$$l_{max} = 2\sqrt{y_0 h(t)}$$

 $y_0$  étant fixé par le montage initial.

On trouve  $l_{max} \propto \sqrt{h(t)}$  relation confirmée par l'étude expérimentale, avec le coefficient de proportionnalité valant  $2\sqrt{y_0}$ 

Rappel de l'expérience

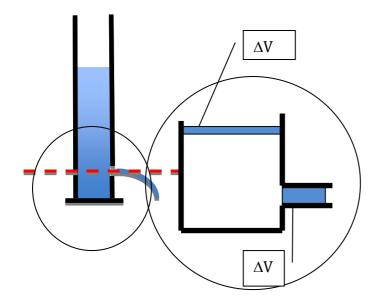
$$y_0 = 12 \ cm$$
  
 $2\sqrt{y_0} = 6.98$ 

Expérimentalement on a trouvé comme coefficient directeur

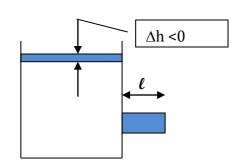
k = 6.8 pour la regression linéaire corr espondant à la droite

$$l_{max} = k\sqrt{h(t)}$$

## Quel est le débit d'une clepsydre?



Si on considère un volume  $\Delta V$  qui s'échappe de la clepsydre, alors le niveau intérieur du liquide doit descendre d'un volume  $\Delta V$  identique.



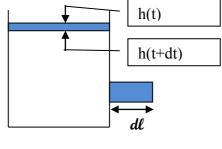
D'où la relation :

 $-\Delta h S = s \ell$  en recherchant par unité de temps il vient par division avec $\Delta t$ 

$$\frac{\Delta h}{\Delta t}S = s \frac{\Delta l}{\Delta t}$$
 soit  $-\frac{\Delta h}{\Delta t}S = s v(t)$  représentant la vitesse d'écoulement au niveau de la vidange

La quantité obtenue, à savoir -S $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ est appelée débit volumique noté  $Q_v$ .

$$Q_{v} = -S \frac{\Delta h}{\Delta t} = s \ v(t)$$



On peut exprimer ce résultat par des différentielles :

$$[h(t+dt)-h(t)].S = dV$$

$$Q_v = \frac{dV}{dt} = \frac{[h(t+dt)-h(t)].S}{dt} = -S\frac{dh(t)}{dt}$$

$$et \ Q_v = S\frac{dl}{dt} = S.v(t)$$
En m/S

#### Comment varie la durée de l'écoulement ?

Équation différentielle à partir	Rappels des données
du débit	
[h(t+dt)-h(t)].S=dV	$Q_v(t) = d\acute{e}bitce n'est pas une vitesse!$
$Q_v(t) = \frac{dV}{dt} = -S\frac{dh(t)}{dt} = s.v(t)$	V = volume d'eau
Or $v_0 = \sqrt{2gh(t)}$ d'où	$\frac{dV}{dt} = variation temporelle du volume d'eau$
$-S\frac{dh(t)}{dt} = s.\sqrt{2gh(t)}$	S = section droite de la clepsydre
	s = section de l'orificede sortie
	$v(t) = vitesse \ d'écoulement$

#### Recherchons h(t)

$$\frac{dh(t)}{\sqrt{h(t)}} = -\frac{s}{S}\sqrt{2g} \, \mathrm{dt} \qquad \qquad \frac{dh(t)}{\sqrt{h(t)}} = d\left(\sqrt{h(t)}\right) = -\frac{s}{S}\sqrt{2g} \, \mathrm{dt}$$

Il vient en intégrant

$$\sqrt{h(t)} = -\frac{s}{S}\sqrt{\frac{g}{2}}t + k$$

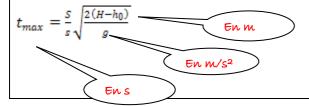
Or à 
$$t = 0$$
,  $h(t) = H - h_0$  donc  
 $k = \sqrt{H - h_0}$ 

$$\sqrt{h(t)} = -\frac{s}{S} \sqrt{\frac{g}{2}} t + \sqrt{H - h_0}$$

$$\sqrt{h(t)} = (\sqrt{H - h_0})(-\frac{s}{S}\sqrt{\frac{g}{2(H - h_0)}} t + 1)$$

$$h(t) = (H - h_0) \left[ 1 - \frac{s}{S} \sqrt{\frac{g}{2(H - h_0)}} t \right]^2$$

La hauteur d'eau diminue bien au cours du temps de la valeur  $H-h_0$  à la valeur 0 obtenue à la date  $t_{max}$  qui correspond à  $\left[1-\frac{s}{s}\sqrt{\frac{g}{2(H-h_0)}}\,\mathrm{t}\right]^2=0$  d'où  $t_{max}=\frac{s}{s}\sqrt{\frac{2(H-h_0)}{g}}$ 



On remarque que plus s diminue plus  $t_{max}$  augmente

Donc  $\Delta t \neq k \Delta h$ , le même écart entre deux hauteurs ne correspondra pas toujours à la même durée.

## Peut on retrouver la loi expérimentale h=h(t)?

On peut, en partant de...

$$h(t) = (H - h_0) \left[ 1 - \frac{s}{s} \sqrt{\frac{g}{2(H - h_0)}} t \right]^2$$
 (1) définie dans le paragraphe précédent, aboutir à une forme qui pourra être trouvée pratiquement;

$$(1)s'\acute{e}crit: h(t) = (H - h_0) \left[ 1 - \left( \frac{s}{S} \sqrt{\frac{g}{2(H - h_0)}} \right) t \right]^2$$

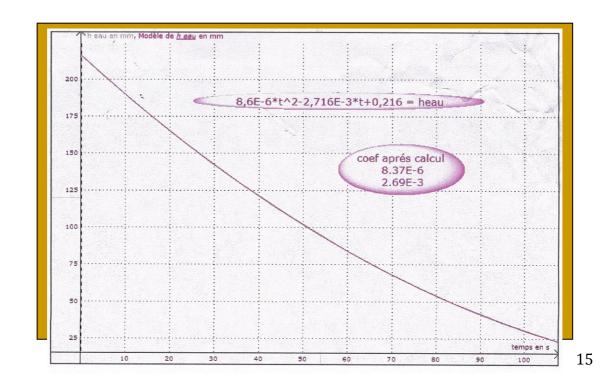
$$h(t) = (H - h_0) \left[ 1 - \left( \frac{s}{S} \sqrt{\frac{2g}{(H - h_0)}} \right) t + \left( \frac{s}{S} \right)^2 \left( \frac{g}{2(H - h_0)} \right) t^2 \right]$$

$$h(t) = (H - h_0) - \left( \frac{s}{S} \sqrt{2g(H - h_0)} \right) t + \left( \frac{s}{S} \right)^2 \left( \frac{g}{2} \right) t^2$$

$$h(t) = \left( \frac{s}{S} \right)^2 \left( \frac{g}{2} \right) t^2 - \left( \frac{s}{S} \sqrt{2g(H - h_0)} \right) t + (H - h_0) \text{ formule du type } h(t) = at^2 + bt + c$$

$$\begin{cases} \mathbf{a} = \left( \frac{s}{S} \right)^2 \left( \frac{g}{2} \right) \\ \mathbf{b} = -\left( \frac{s}{S} \sqrt{2g(H - h_0)} \right) \\ \mathbf{c} = (H - h_0) \end{cases}$$

Un bon accord avec les valeurs expérimentales peut être vérifié par la modélisation de la courbe expérimentale en retrouvant les valeurs a,b et c

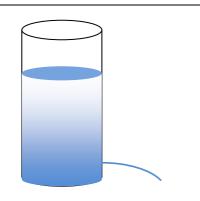


# La portée du jet augmente-t-elle toujours avec la profondeur ?

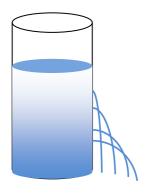
Récipient cylindrique percé d'un trou.

Mais où doit-on positionner l'orifice ? Réponse classique : au plus bas !

En effet, il faut que la pression soit plus grande!.... Mais, est-ce le bon raisonnement?



Prenons plutôt un récipient cylindrique percé de plusieurs trous sur une même génératrice



Une observation facile à mettre en évidence au moins qualitativement : plus le trou est placé haut plus le jet est court.

Ceci semble directement relié au fait que la pression intérieur augmente en fonction de la profondeur.

Attention : l'erreur facile à commettre à ce stade. A proximité du fond, le jet aurait donc la plus grande portée ?

L'observation précédente doit donc être plus fine.

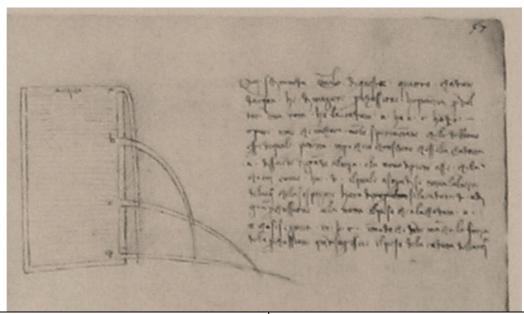
Observons seulement la photographie de l'article « loi de Torricelli » dans Wikipédia.

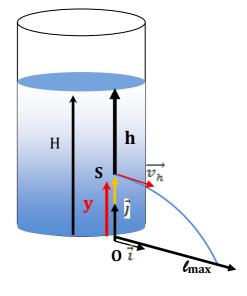
Ce qui est vrai pour les orifices supérieurs s'avère inexact pour la partie basse, on ne voit pas clairement l'organisation théorique escomptée des jets.



Document extrait de l'« étude pour une chute d'eau » du Codex de Madrid de Léonard de Vinci.?

Ce dessin est il conforme à la réalité ?





La vitesse de départ de l'orifice se calcule par la loi de Torricelli,  $v_h^2 = 2gh$ Si on prend le modèle simple d'une goutte d'eau qui chute, celle ci atteindra le sol (portée maxi)de telle sorte que  $y = \frac{1}{2}gt^2$ Sur l'axe horizontal choisi, la vitesse sera

Sur l'axe horizontal choisi, la vitesse sera constante (on supposera l'absence de frottement). D'où  $l_{max} = v_h \times t$  donc

frottement). D'où 
$$l_{max} = v_h \times t$$
 donc  $l_{max} = \sqrt{2gh} \times \sqrt{\frac{2y}{g}} = 2\sqrt{hy}$ 

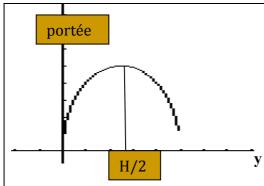
Sachant que H = h + y on obtient que

$$l_{max} = 2\sqrt{y(H-y)}$$

Si la variable est la hauteur de l'orifice (y)

$$\frac{dl_{max}}{dy} = \frac{H - 2y}{4\sqrt{y(H - y)}} = 0 \text{ si } y = \frac{H}{2}$$

La situation est symétrique, c'est pour la hauteur médiane que l'on obtient la portée maximale...A montrer expérimentalement!



Forme de la variation de la portée en fonction de la hauteur de l'ajutage.

Une référence bibliographique très intéressante montre comment l'erreur est ancienne à ce sujet : « En physique pour comprendre » de Laurence Viennot éd. EDP Paris 2011 (page 151)

(Attention : Une petite erreur de calcul s'est glissée page 155 equation (4) dans ce chapitre de l'ouvrage)

## Quelle forme doit-on donner à la clepsydre?

On remarque souvent une forme particulière sur les modèles antiques retrouvés. La clepsydre n'est pas cylindrique. Cette forme rappelle celle des sabliers.

Quelle est cette forme?

Reprenons l'étude sur la différentielle, mais S n'est plus constante et dépend de h

donc

Si l'on veut un écoulement avec une variation de hauteur constante, alors :

$$\frac{dh(t)}{dt} = -a = cte$$

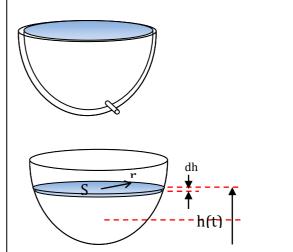
On a pour plus de facilité supposé une symétrie de révolution de cette forme.

On obtient

$$h(t) = \frac{\pi^2 r^4 a^2}{2s^2 g}$$

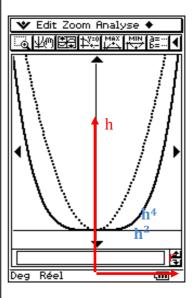
Cette solution revient à graduer de façon équidistante cette clepsydre.

Heureux ceux qui possèdent à ce stade une imprimante 3D...mais une forme en polystyrène extrudé nous semble aussi réalisable.



#### Forme exacte:

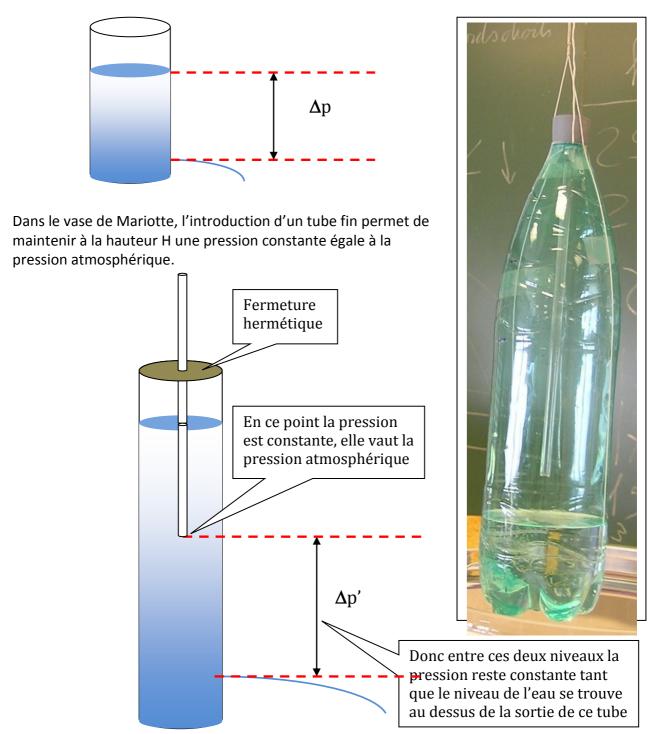
sur calculatrice en pointillé h<sup>2</sup>et en trait continu h<sup>4</sup>.



# Y a-t-il un moyen plus simple d'accéder à une régularité de fonctionnement ?

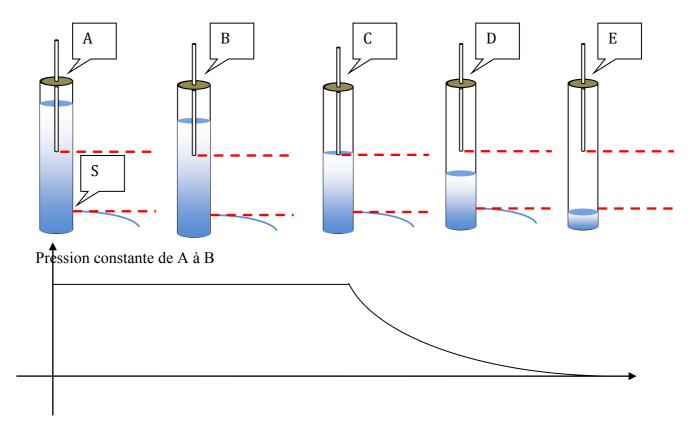
Il suffit de concevoir ce que l'on appelle **un vase de Mariotte**.

Partons de la clepsydre traditionnelle. La différence de pression en jeu est celle existant entre les deux traits rouges. À savoir niveau haut du liquide et niveau de l'ajutage.



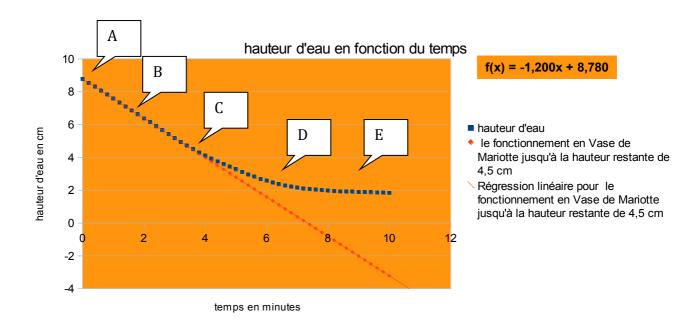
Ce dispositif donne un écoulement régulier par pression constante donc un débit volumétrique constant.

=cte car sera constante si est constante.



La variation de la pression en S en fonction de l'écoulement tout comme la variation de la vitesse et la portée du jet seront nulles de A à C.

# Comment varie la hauteur d'eau en fonction du temps pour un vase de Mariotte ?



#### Tableau des valeurs du travail pratique

Temps en	hauteur	
minutes	d'eau en cm	
0	8,77	
0,2	8,54	
0,4	8,31	
0,6	8,06	
0,8	7,83	
1	7,59	
1,2	7,34	
1,4	7,1	
1,6	6,86	
1,8	6,62	
2	6,37	
2,2	6,15	
2,4	5,89	
2,6	5,65	
2,8	5,41	
3	5,17	
3,2	4,94	
3,4	4,71	
3,6	4,5	
3,8	4,3	
4	4,11	
4,2	3,92	
4,4	3,75	
4,6	3,58	
4,8	3,43	
5	3,27	
5,2	3,11	
5,4	2,95	
5,6	2,82	
5,8	2,68	
6	2,57	
6,2	2,46	
6,4	2,37	
6,6	2,28	
6,8	2,21	
7	2,14	
7,2	2,1	
7,4	2,06	
7,6	2,02	
7,8	2,01	
8	1,97	
8,2	1,95	
8,4	1,93	
8,6	1,92	
8,8	1,9	
9	1,89	
9,2	1,88	

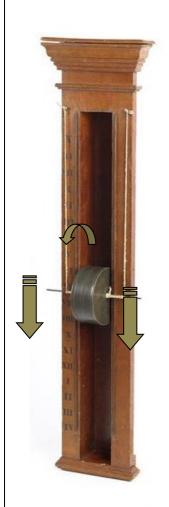
9,4	1,87
9,6	1,86
9,8	1,85
10	1,84

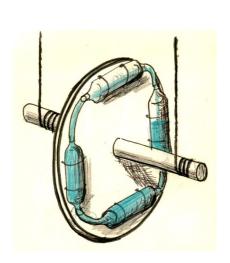
# Bibliographie et sources documentaires sur les clepsydres :

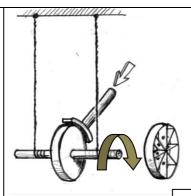
- Les mécaniciens grecs, la naissance de la technologie, par Bertrand Gille, Collection science ouverte, Ed. du Seuil, Paris 1980 (pour les clepsydres antiques)
- L'histoire de l'heure (l'horlogerie et l'organisation moderne du temps), par Gerhard Dohrn-van Rossum, Ed. de la Maison des sciences de l'homme, Paris 1997
- L'heure qu'il est, les horloges, la mesure du temps et la formation du monde moderne, par David S. Landes, Coll. bibliothèque illustréée des histoires, Ed. Gallimard, Paris 1987
- La science du mouvement des eaux de Torricelli à Lagrange par Michel Blay, Collection histoire des sciences, Ed. Belin, Paris 2007 (pour les études de la loi de Torricelli)
- En physique pour comprendre, par Laurence Viennot, Ed. EDP, Paris 2012

# Qu'est ce qu'une clepsydre à tambour ?

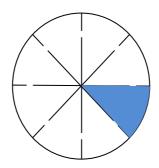
Clepsydre à tambour France, début du XIXe siècle Coll. musée du Temps

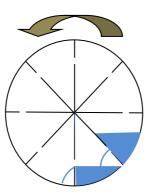






Mécanisme et interprétation du rôle de l'eau comme frein à la descente de ce tambour





(Ci contre, la version d'une maquette du conservatoire des Arts et Métiers, Paris).

Il s'agit de la simulation du mécanisme avec des ampoules remplies d'huile ou d'eau, fixées sur une planche de bois, les rétrécissements du conduit entre les ampoules créent un ralentissement dans la rotation de l'ensemble, par le fait que le liquide se déplace lentement et crée un contre poids.



Ce fonctionnement, basé sur la viscosité du liquide, rappelle fortement les petits amortisseurs d'un hayon arrière d'une voiture actuelle, où l'on force l'huile à passer dans de petits trous, ce qui peut prendre un certain temps ...

Cette clepsydre à tambour présente au musée du Temps de Besançon, d'une hauteur d'un mètre environ, comporte des indications horaires en chiffres romains peints sur le coffre mouluré en bois.

Le tambour mobile creux métallique contient un liquide. Ce dernier freine le déplacement vertical du tambour suspendu par un axe métallique et deux cordelettes.

C'est l'écoulement de ce liquide à travers des orifices (percés dans les parois intérieures qui délimitent des secteurs angulaires) qui ralentit la chute au rythme souhaité.

Il serait tout aussi judicieux de décrire cette horloge particulière comme un dispositif à poids en chute rectiligne uniforme. En effet, le fonctionnement se rapproche plus d'une horloge à poids dont la position de ce dernier donnerait l'heure que d'une clepsydre à proprement parler.

La lecture de l'heure se fait par la position de l'axe du tambour par rapport à l'échelle horaire graduée verticalement. Une horloge à poids nécessite sa remontée périodique. Sur ce dispositif également il faut remonter le mécanisme pour une nouvelle durée de fonctionnement.

Cette clepsydre à tambour... n'est en fait pas une clepsydre au sens technique où nous l'avons étudiée plus haut!