



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE

fête de
la Science **fr**



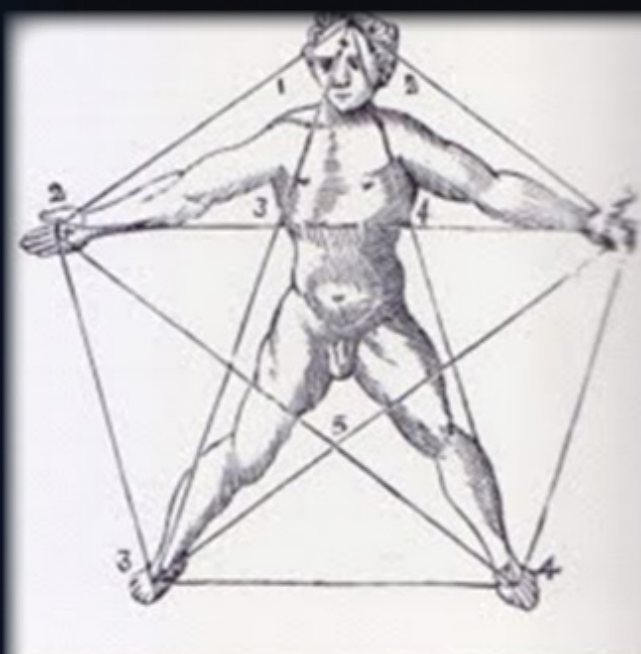
Louv'Science



GÉNÉRALITÉS SUR LES MESURES

L'homme est mesure de toute chose

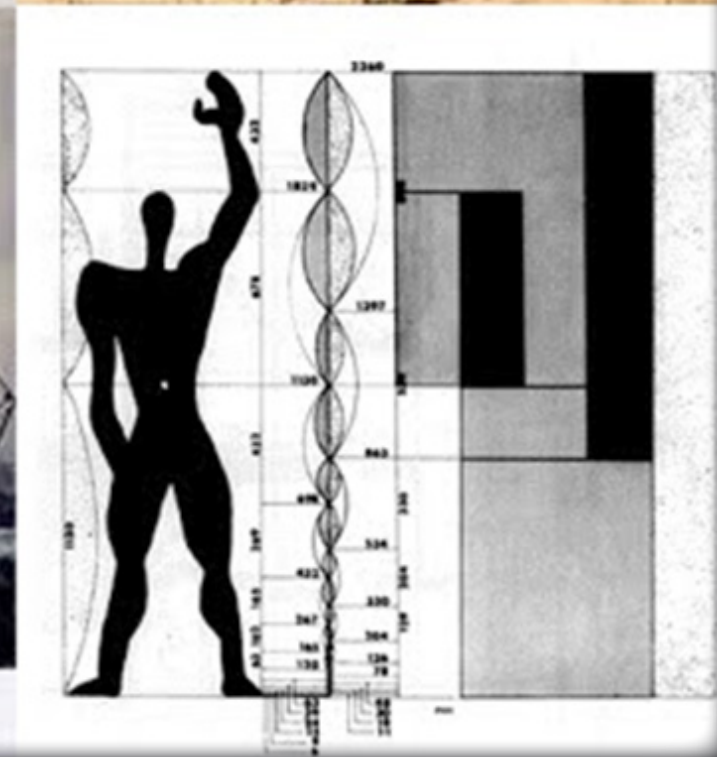
Le pentagone
Giordano Bruno



L'Homme de Vitruve
Léonard de Vinci



L'icosaèdre
Rudolf von Laban



Le Modulor
Le Corbusier

#FDS 2019



GÉNÉRALITÉS SUR LES MESURES

Le système international d'unités (SI)

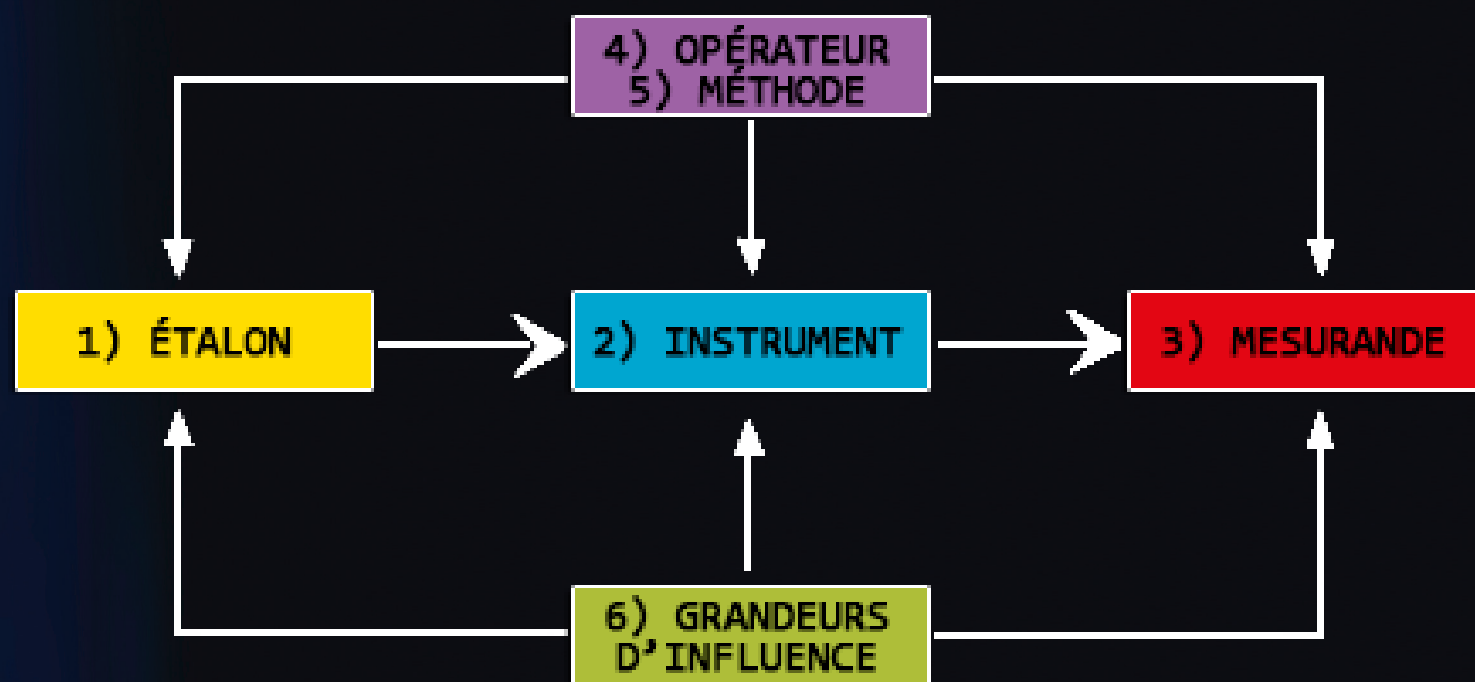


Constante	Symbole	Valeur numérique exacte	Définition de l'unité du SI
Fréquence de transition entre les deux niveaux de l'atome de césium	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770 Hz (avec Hz = s ⁻¹)	La seconde (s) est définie en fixant la valeur de $\Delta\nu_{Cs}$ exprimée en s ⁻¹
Vitesse de la lumière dans le vide	c	299 792 458 m/s	A partir de la seconde, le mètre (m) est défini en fixant la valeur de c exprimée en m s ⁻¹
Constante de Planck	h	$6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ J s (avec J = m ² kg s ⁻²)	A partir de la seconde et du mètre, le kilogramme (kg) est défini en fixant la valeur de h exprimée en kg m ² s ⁻¹
Charge élémentaire	e	$1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ C (avec C = A s)	A partir de la seconde, l'ampère (A) est défini en fixant la valeur de e exprimée en A s
Constante de Boltzmann	k	$1,380\ 649 \times 10^{-23}$ J/K (avec J = m ² kg s ⁻²)	A partir de la seconde, du mètre et du kilogramme, le kelvin (K) est défini en fixant la valeur de k exprimée en K ⁻¹ kg m ² s ⁻²
Constante d'Avogadro	N_A	$6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ mol ⁻¹	La mole (mol) est définie en fixant la valeur de N_A exprimée en mol ⁻¹
Rendement lumineux d'une radiation monochromatique de fréquence 540.10 ¹² Hz	K_{cd}	683 lm/W (avec lm = cd m ² m ⁻² = cd sr et W = m ² kg s ⁻³)	A partir de la seconde, du mètre et du kilogramme, la candela (Cd) est définie en fixant la valeur de K_{cd} exprimée en cd sr kg ⁻¹ m ⁻² s ³



GÉNÉRALITÉS SUR LES MESURES

Incertitude de la mesure, précision



La grandeur dont l'on souhaite obtenir la valeur est appelée **le mesurande**.

On appelle **mesurage** l'ensemble des opérations permettant de déterminer la valeur du mesurande. La valeur vraie du mesurande est la valeur que l'on obtiendrait si le mesurage était parfait.

Une expression complète du résultat du mesurage comprend des informations sur l'incertitude de mesure.

La mesure précise n'existe pas

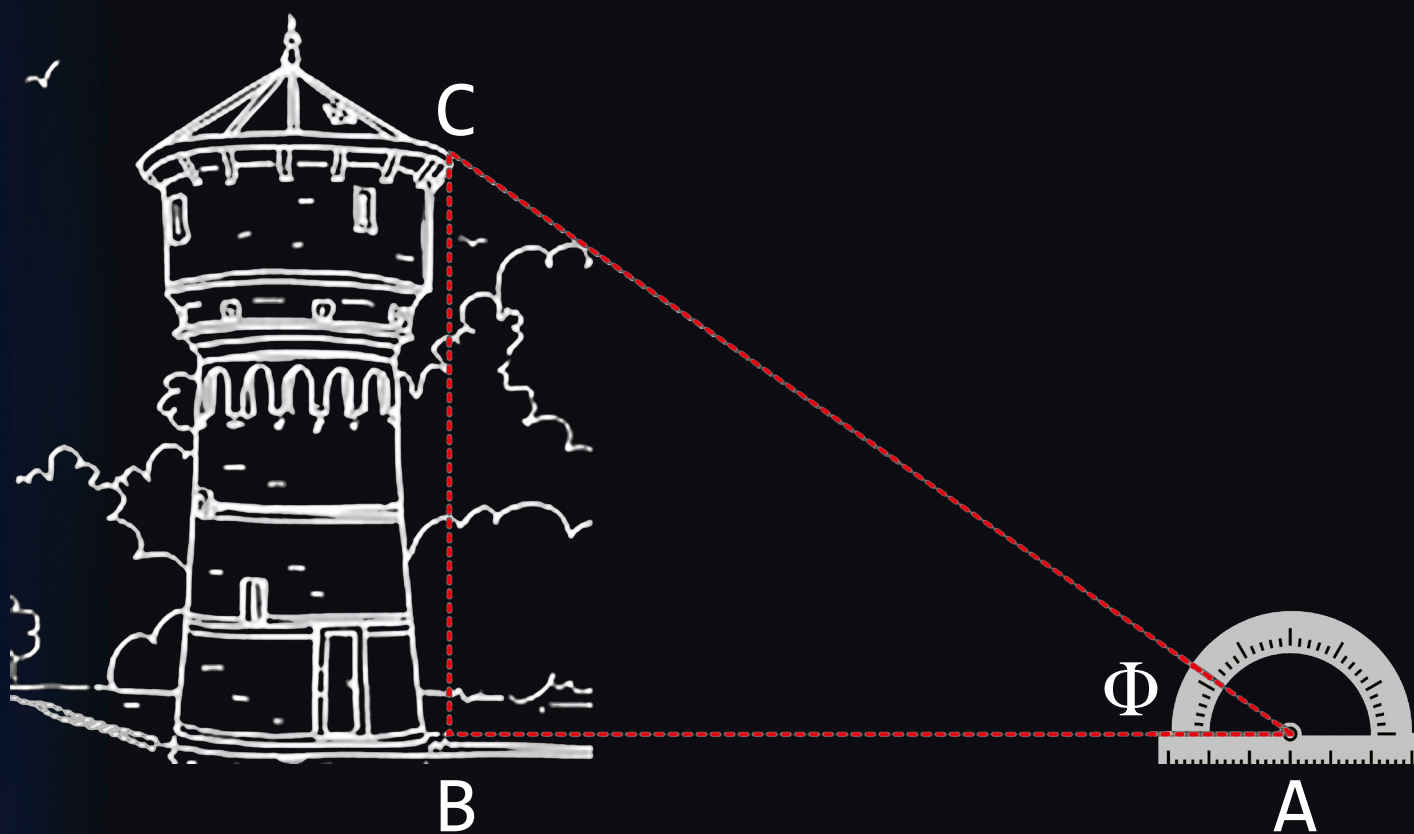
Un mesurage n'étant jamais parfait, il y a toujours une erreur de mesure. L'erreur de mesure est le résultat d'un mesurage moins la valeur vraie du mesurande.



GÉNÉRALITÉS SUR LES MESURES

Mesure directe, mesure indirecte

Une mesure est **directe** lorsqu'un instrument de mesure fournit directement la valeur de la mesure. Si le résultat est obtenu à partir d'autres grandeurs, on parle de mesure **indirecte**.



La distance AB mesurée par un mètre (ou une chaîne d'arpenteur) et l'angle Φ mesuré par le rapporteur seront des **mesures directes**. Les erreurs principales seront liées à la précision du mètre et du rapporteur.

La hauteur de la tour BC sera une mesure indirecte obtenue par la combinaison des deux mesures directes précédentes :

$$BC = BA \operatorname{tg}\Phi$$

Cette mesure cumulera les erreurs liées aux deux mesures directes précédentes.



GÉNÉRALITÉS SUR LES MESURES

Mesure trompeuse, corrélation, causalité

Selon **Coluche** :

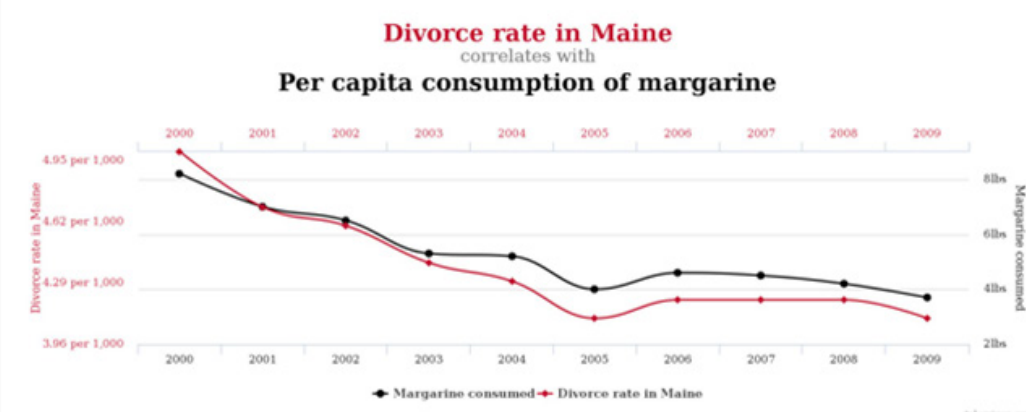
"Quand on est malade, il ne faut surtout pas aller à l'hôpital : la probabilité de mourir dans un lit d'hôpital est 10 fois plus grande que dans son lit à la maison"

"1/3 des accidents de la route étant dus à des conducteurs alcooliques, qu'est-ce qu'on attend pour punir les 2/3 de conducteurs sobres responsables de la majorité des accidents ?"



Ou encore :

La consommation de margarine aux États-Unis affecte le nombre de divorces dans l'État du Maine:



Graphique repris sur le site <http://tylervigen.com/spurious-correlations>, qui reprend toute une série de corrélations... Sans aucune relation de causalité!

Deux événements peuvent être corrélés (reliés) sans pour autant avoir des rapports de cause à effet.

Par exemple, on ne meurt pas plus parce qu'on est dans un lit d'hôpital, mais on y est parce qu'on est malade, et quand on est malade la probabilité de mourir est plus grande.

En savoir plus :

https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2019/01/02/correlation-ou-causalite-brillez-en-societe-avec-notre-generateur-aleatoire-de-comparaisons-absurdes_5404286_4355770.html
<http://www.cndp.fr/entrepot/themadoc/probabilites/reperes/causalite-et-correlation.html>

FDS 2019



GÉNÉRALITÉS SUR LES MESURES

Mesure trompeuse, corrélation, causalité

Une **corrélation** est un lien statistique, sans qu'on se demande quelle variable agit sur l'autre.

Une **causalité** est un lien qui affirme qu'une variable agit sur une autre.

Des corrélations sont souvent interprétées rapidement (volontairement ou non) comme des causalités.

La manipulation ne s'arrête pas à la construction des données.

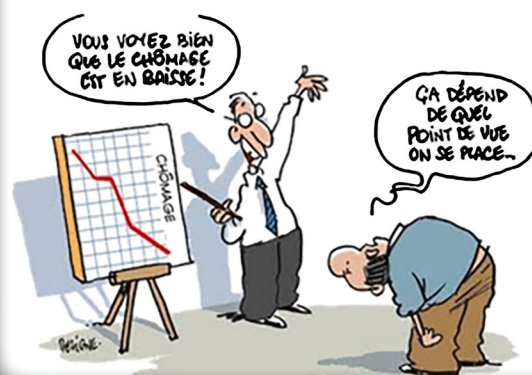
Elle porte également sur :

- La mise en forme graphique.
- La formulation des résultats.
- Des confusions de définitions.

Il faut toujours :

- se demander qui a produit les chiffres.
- faire attention aux modalités de construction des statistiques.
- s'interroger sur ce qu'elles ne disent pas.
- se demander si la causalité est avérée.

QUELLE CAUSALITÉ ENTRE CHÔMAGE ET CROISSANCE ÉCONOMIQUE ?



GÉNÉRALITÉS SUR LES MESURES

Le paradoxe de Simpson

Le paradoxe de Simpson est un **paradoxe statistique** décrit par **Edward Simpson en 1951** : un phénomène observé de plusieurs groupes semble s'inverser lorsque les groupes sont combinés. Ce résultat est lié à des éléments qui ne sont pas pris en compte (comme la présence de variables non-indépendantes ou de différences d'effectifs entre les groupes...). Il est souvent rencontré dans la réalité, en particulier dans les sciences sociales et les statistiques médicales.

Cet exemple réel provient d'une étude médicale^{1,2} sur le traitements de 350 cas de calculs rénaux petits et gros confondus.

Succès en fonction de la taille des calculs			
Petits calculs		Gros calculs	
Traitement A	Traitement B	Traitement A	Traitement B
81/87	234/270	192/263	55/80
93%	87%	73%	69%

Dans les deux cas le traitement A est plus efficace

Taux de succès (succès/total)			
Traitement A		Traitement B	
78%	273/350	83%	289/350

C'est le traitement B qui est le plus efficace

Ce qui crée le **paradoxe**, et l'impression erronée que B est globalement plus efficace, c'est que le traitement A a été donné beaucoup plus souvent pour les gros calculs, qui sont plus difficiles à soigner. Le rebroussement de cette inégalité, qui conduit au paradoxe, se produit à cause de deux effets concurrents :

- **La variable supplémentaire** (ici la taille des calculs) a un impact significatif sur les rapports, elle a une influence en même temps sur le choix du traitement (les calculs de taille élevée ont été plus souvent traités par le traitement A) et sur le résultat du traitement (les calculs de taille élevée sont plus difficiles à soigner). Cette variable est appelée facteur de confusion.
- **Les tailles des groupes** qui sont combinées quand la variable supplémentaire est ignorée sont très différentes.



GÉNÉRALITÉS SUR LES MESURES

Représentations des mesures

Le résultat de mesures produit des valeurs numériques. Mais il peut être difficile de se représenter ces valeurs, leur variabilité dans le temps et l'espace. Ainsi **les mesures sont fréquemment traduites en graphiques**. C'est un mode d'expression qui permet "visuellement" de saisir et de mémoriser un certain nombre d'informations.

Cette représentation graphique peut répondre à deux types d'objectifs :

- être un moyen de communication et permettre de véhiculer une information.
- être un instrument de travail et permettre une vue d'ensemble synthétique du phénomène étudié, ce qui en facilite l'analyse.

Tout graphique se caractérise par :

- la nature de la série qu'il représente : graphiques chronologiques, graphiques spatiaux, quantitatifs ou qualitatifs.
- le système de coordonnées qu'il utilise : coordonnées cartésiennes, polaires, coordonnées pluri-linéaires.
- l'échelle retenue : échelle arithmétique, semi-logarithmique, logarithmique...

Cette mise en forme des données suppose dans de nombreux cas une interprétation, qui doit être la plus juste possible.



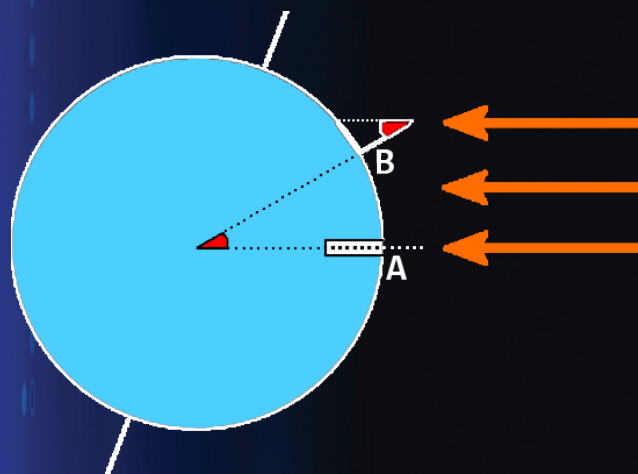
DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Mesurer la circonférence de la terre

Depuis toujours, ou presque, les hommes qui réfléchissent à leur environnement ont considéré que la terre est une boule ronde. Encore fallait-il, pour être crédible, dire quelque chose sur la circonférence de cette sphère. C'est ce qu'entreprit **Ératosthène**, à Alexandrie, quelques 200 ans avant JC.

Il se basait sur :

- **Une observation** : à Syène, proche de la ville moderne d'Assouan, 800 km plus au sud, le jour du solstice d'été, le soleil éclaire jusqu'au fond des puits. Les bâtons plantés dans le sable ne portent pas d'ombre.
- **La géométrie.**



En A : Assouan
En B : Alexandrie

Les rayons du soleil viennent de droite, et sont parallèles. L'ombre du bâton planté à Alexandrie permet de mesurer l'angle (en rouge), qui est le même que l'angle, au centre de la terre, des deux diamètres reliant ce centre à Assouan et à Alexandrie. Cet angle, trouva Eratosthène, est un cinquantième du tour complet. **Il suffit donc de multiplier par 50 la distance A B.**

Restait à mesurer la distance entre Alexandrie et Assouan. Les Egyptiens disposaient d'un excellent instrument de mesure : **le chameau** ! Le pas du chameau est en effet d'une très grande régularité. En comptant les pas du chameau, Eratosthène obtint le résultat pour la circonférence de la terre : 39 375 km. Comparé aux quelques 40 075 km, ce résultat est d'une stupéfiante précision !



La GÉOMETRIE, mot qui signifie MESURE de La TERRE,
commençait à mériter son nom.

En savoir plus : <https://www.youtube.com/watch?v=dZyeKmytFeA>

#FDS 2019



DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Mesurer le ciel : Tycho Brahe et Johannes Kepler

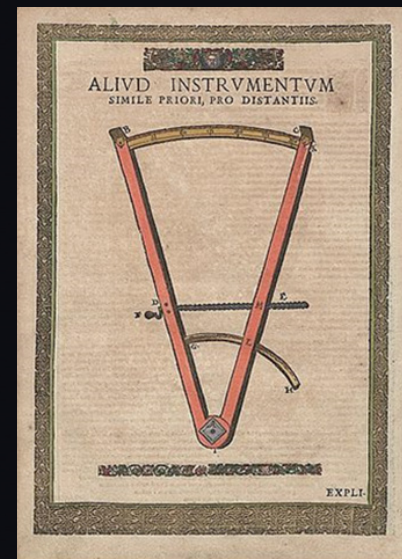
Faut-il croire Copernic ou Ptolémée ?

Les spéculations vont bon train au 16^e siècle. La terre est elle le centre du monde, ou bien tourne-t-elle comme les autres planètes autour du soleil ? Certaines polémiques prendront un tour dramatique (Giordano Bruno, Galilée).

Tycho Brahé ne spéculé pas encore : il mesure. Au moins on saura de quoi on parle ! Pendant des années, il va constituer des tables de résultats de mesures des mouvements des planètes, et observer les événements célestes.

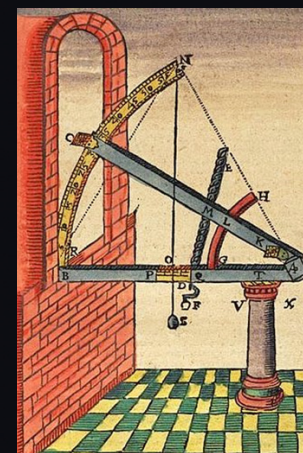


La grande comète,
observée à Prague en 1577



Après l'observation de la super nova de 1572 au Danemark et celle de la Grande Comète à Prague, **Tycho Brahé** met en doute la conception d'Aristote d'un monde sublunaire.

Il n'adopte toutefois pas complètement les idées de Copernic. Les masses de mesures qu'il laissera à **son élève Kepler** permettront à celui-ci de formuler ses fameuses lois. Elles apportent une présomption très forte en faveur de Copernic.



Kepler, c'est "la géométrie dans le ciel". On découvre qu'il est possible de décrire les phénomènes par des "lois". Pour passer de la description à l'explication, il faudra attendre Newton.



DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Invention de l'horloge marine

De longue date les marins savaient aisément mesurer la latitude grâce aux étoiles ou à l'aide d'un sextant. Mais jusqu'au 18^e siècle, il leur était **difficile de mesurer la longitude avec exactitude**, ce qui était un problème majeur pour les trajets en haute mer.

La Terre tourne sur elle-même à 464,99 m/s à l'Équateur. La mesure de longitude est très difficile à effectuer si l'on ne possède pas de montre précise, car **la Terre pivote d'un tour en 86 164 s.**

A l'équateur, une erreur d'un dixième de seconde correspond à une erreur de 46 m ! En haute mer, impossible de déterminer la longitude sans connaître l'heure.

Au 16^e siècle, de nombreuses tentatives furent faites pour proposer aux navigateurs un accès à la mesure du temps :

- **J. WERNER** : mesure des distances entre la lune et les étoiles
- **GALILEE** : observation des positions des satellites de Jupiter
- **HUYGENS** : utilisation du pendule à balancier.

Aucune de ces méthodes ne satisfaisait vraiment aux conditions marines.



*Chronomètre H4 de John Harrison, Le premier embarquable
Conservé à l'observatoire de Greenwich (1761)*

Après les tentatives d'Henry Sully (1716), il fallut attendre le milieu du 18^e siècle, en particulier avec **John Harisson**, pour qu'apparaissent des solutions praticables. Dès lors, une cartographie sûre pouvait exister.

De nos jours, le GPS, qui utilise l'**HORLOGE ATOMIQUE**, résout évidemment le problème. Néanmoins, un vrai navigateur sait s'en passer. Il a à sa disposition les **horloges à quartz**, qui ont fait faire un grand progrès dans la mesure du temps.



DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

*La balance de Lavoisier :
accès à la chimie moderne*

En 1772, **Lavoisier** calcine de l'étain dans un vase hermétiquement clos, rempli d'air. Il constate que :



- le poids total n'a pas changé
 - le métal (transformé en oxyde) a augmenté de poids
 - le poids de l'air contenu dans le vase a diminué.
- => ces deux variations de poids se compensent.

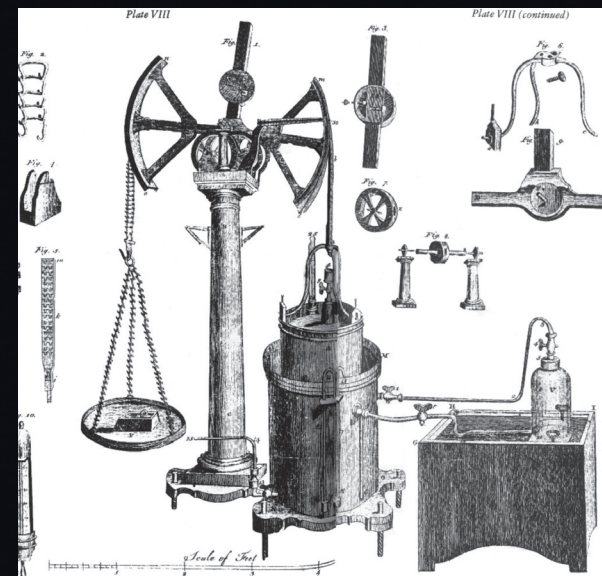
L'interprétation de l'époque était basée sur l'existence supposée du "phlogistique", sorte de fluide constitutif du feu, qui s'incorpore aux éléments lors des combustions, calcinations...

Armé de sa balance, **Lavoisier** envoie au musée ce poétique concept, ainsi que la plupart des idées issues de l'alchimie. Il refera la mesure avec plusieurs autres corps, tels que le mercure et le charbon.

La suprématie de la balance en chimie sera exprimée par "**rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme**". La conservation de la matière entre dans les esprits.

Le rôle de l'oxygène est mis en évidence. Cela conduira Lavoisier à l'analyse de l'eau et à isoler de l'hydrogène.

Il conservera cependant à la chaleur la nature d'un "élément", le "calorique". Ceci l'empêchera de franchir le pas de la conservation de l'énergie.



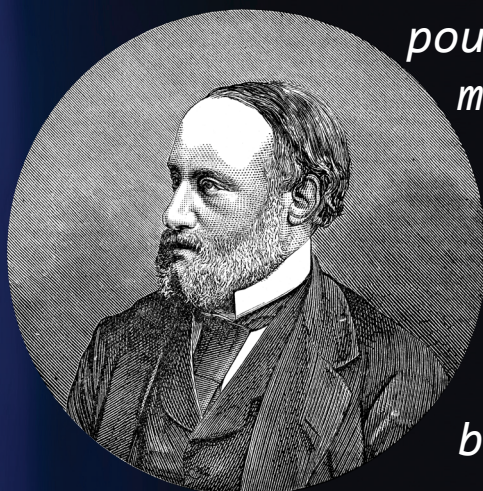
DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Joule et la calorimétrie

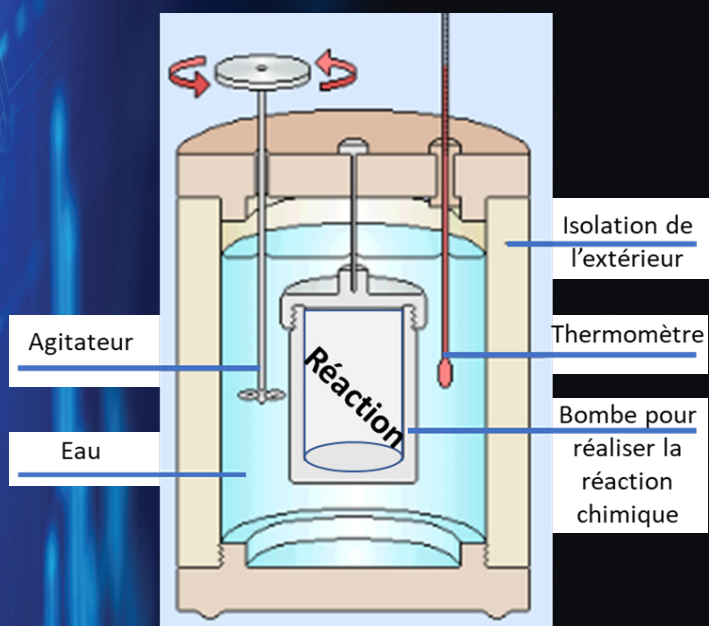
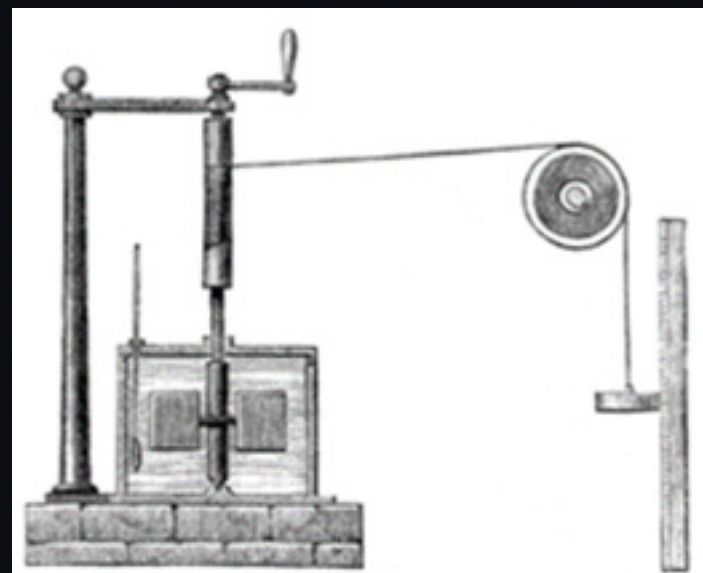
Carnot écrit en 1830 : "La chaleur n'est autre que la puissance motrice... qui a changé de forme".

Le "calorique" de Lavoisier n'est plus intangible, mais reste à mesurer ces équivalences supposées.

Joule écrit en 1843 : "La puissance mécanique employée pour faire tourner une machine électromagnétique est convertie en chaleur qui provient du passage des courants d'induction à travers ses bobines ; et, d'un autre côté, la puissance motrice du moteur est obtenue aux dépens de la chaleur de la réaction chimique de la batterie grâce à laquelle il fonctionne".



Machine utilisée par Joule pour montrer l'équivalence chaleur-travail mécanique. L'appareil s'apparente à un calorimètre, appareil qui permet de mesurer un apport de chaleur.



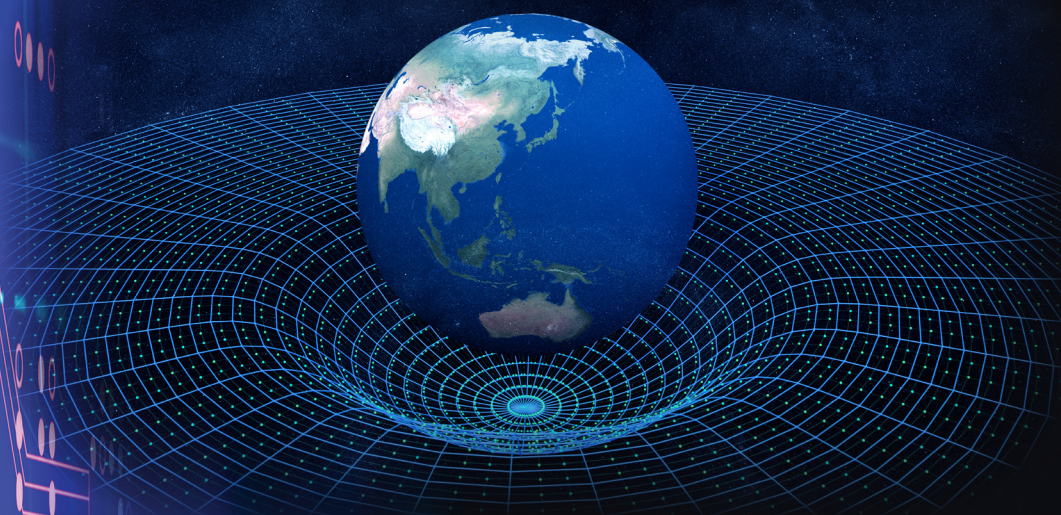
Ces mesures permettent de faire progresser un concept plus général : **l'énergie**.

Après la conservation de la matière (Lavoisier) mesurée par la balance, la conservation de l'énergie est approchée par un instrument de mesure type calorimètre.



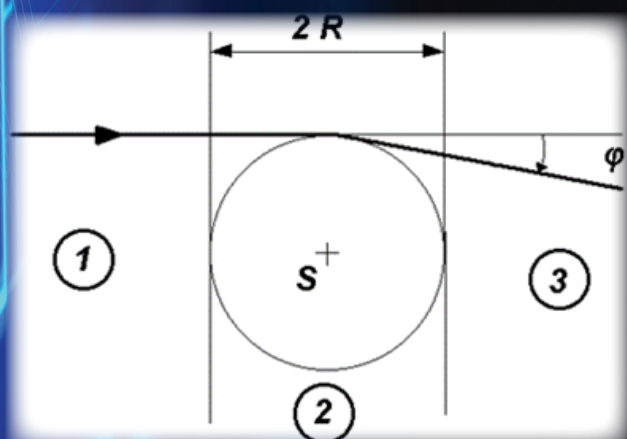
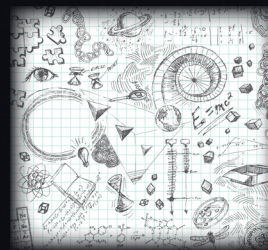
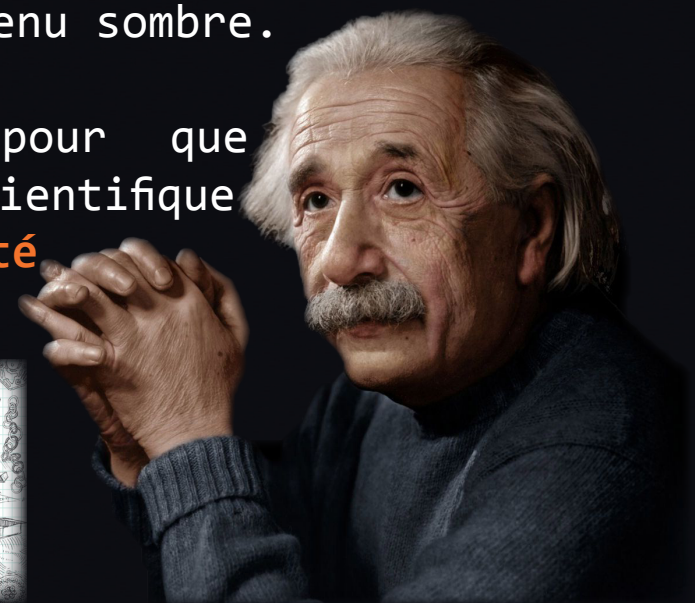
DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Lentille gravitationnelle et relativité générale



L'espace-temps n'est pas le théâtre passif des événements physiques. Il joue un rôle actif dans ces événements. En particulier, la lumière est déviée au voisinage de masses importantes. Il revient à **Eddington** de mesurer cette déviation, lors d'une éclipse de soleil en 1919. L'occultation du disque solaire permet de voir des étoiles proches du bord de ce disque devenu sombre.

L'accord fut jugé suffisant pour que l'ensemble de la communauté scientifique adopte la **théorie de la relativité générale de Einstein**.



Le soleil est le cercle de rayon R . L'étoile à observer est à gauche (zone 1). L'observateur est à droite (zone 3). La déviation est donnée par l'angle ϕ .

Calcul de EINSTEIN :

$$\phi = 1.75''$$

Mesures de EDDINGTON :

$$1.98'' < \phi < 1.61''$$

En savoir plus :

<https://www.youtube.com/watch?v=61VJnWrY-BU>

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/physique-premiere-preuve-relativite-generale-100-ans-19471>

#FDS 2019



DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Mesurer le non local ?

Dans les années 30, la **mécanique quantique** permet de décrire des phénomènes à l'échelle atomique, par une approche probabiliste. Les lois sont appliquées à de grandes populations de "particules".

Mais quand on réfléchit à ce qui arrive à une particule individuelle, compte tenu du **principe d'incertitude**, on arrive à des paradoxes, tel que celui énoncé par Einstein, Podolski et Rosen (EPR).

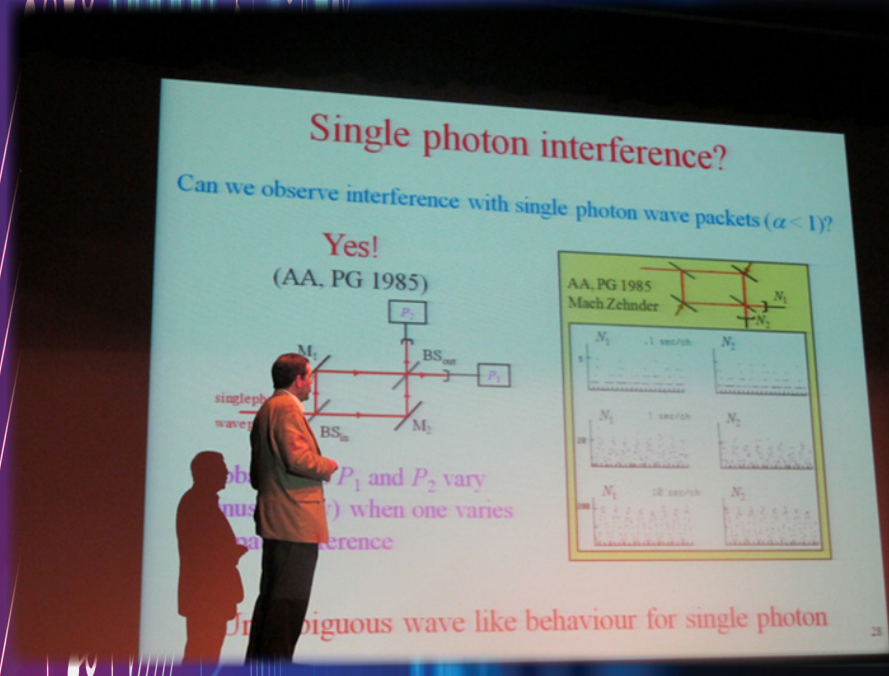
Pendant un demi-siècle, un doute agita le milieu des physiciens. Jusqu'à l'arrivée de **John Bell**, 1964, qui proposa un jeu d'inégalités sur les quantités mesurées lors d'expériences sur des particules dites "intriquées". Il fallut attendre 1981 pour que Alain Aspect et son équipe réussisse la mesure prouvant la réalité des situations dites paradoxales, en se basant sur les inégalités de Bell.

Dès lors, **les lois quantiques s'appliquent à la particule individuelle**. En outre, l'expérience confirme que deux particules ayant interagi, (devenues intriquées), conservent leur communauté de propriétés sur de très longues distances.

Les mesures ont été faites sur plusieurs centaines de kilomètres. Mesurer l'une d'elles informe sur ce que donnerait une mesure sur l'autre, comme si l'information allait plus vite que la lumière. Ce phénomène s'appelle la **NON LOCALITÉ**.

Il est à l'origine de la téléportation quantique, ainsi que des méthodes de cryptographie quantique. Ces phénomènes échappent largement à notre intuition.

La "vision" que l'on peut avoir du monde devient quelque peu floue. En tous cas, elle doit se soumettre humblement à la mesure.



Alain Aspect expose ses mesures
(Commémoration Louis de Broglie,
conférence à La Celle St Cloud en 2012)



DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Big data en santé publique : prévoir ou contrôler les épidémies

Disposant de nombreuses informations sur l'état de santé des individus, le BIG DATA, permet l'**identification de facteurs de risque de maladie** comme le **diabète**, **Alzheimer** ou le **cancer**, le suivi de l'efficacité des traitements et de leurs effets indésirables (pharmacovigilance) et de prévoir ou suivre des épidémies comme celles du virus **Ebola** ou du **SIDA**.

La finalité du BIG DATA est de mettre en place des messages de prévention, d'identifier les populations à risque et de développer des programmes de prévention à leur destination.

Cette exploitation repose sur les données colligées sur une large échelle de populations regroupées dans diverses bases de données publiques dans le domaine de la santé telles que :

- **Les bases de données médico-administratives de la SNIIRAM** (Système national d'information interrégimes de l'Assurance maladie), créée en 1999. En 2013, cette base a permis d'étudier le risque d'Accident Vasculaire Cérébral et d'infarctus du myocarde chez les femmes utilisant une pilule contraceptive dite de 3^e génération.
- **Le réseau Sentinelles**, créé en 1984, qui permet entre autres de suivre les épidémies de grippe, varicelle, maladie de Lyme...
- **L'ANRS**, Agence nationale de recherches sur le SIDA et les hépatites virales, créée en 1988, coordonne les études, les enquêtes et les informations obtenues sur ces thèmes.



Pilule contraceptive pour homme



Tique maladie de Lyme

A l'international, le site américain **HealthMap**, créé en 1986, a pour objectif de prédire la survenue d'épidémies à partir des données provenant des réseaux sociaux et des rapports émis par les autorités sanitaires locales...

Malheureusement ce site ne s'intéresse qu'aux données en anglais et les pays francophones, en particulier l'Afrique, échappent donc à son réseau.

En savoir plus :

Epidémiologie - France (catalogue bases de données santé) : <https://epidemiologie-france.aviesan.fr>

SNIIRAM : <https://www.ameli.fr/l-assurance-maladie/statistiques-et-publications/sniiram>

Réseau sentinelle : <https://websenti.u707.jussieu.fr/sentiweb>

SIDA : <http://www.anrs.fr>

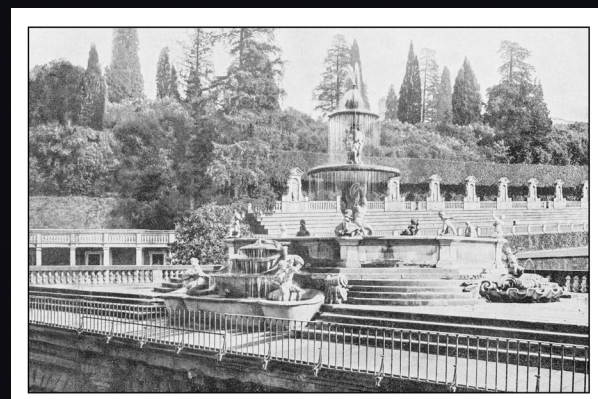
#FDS 2019



DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Mesurer la pression atmosphérique : Galilée

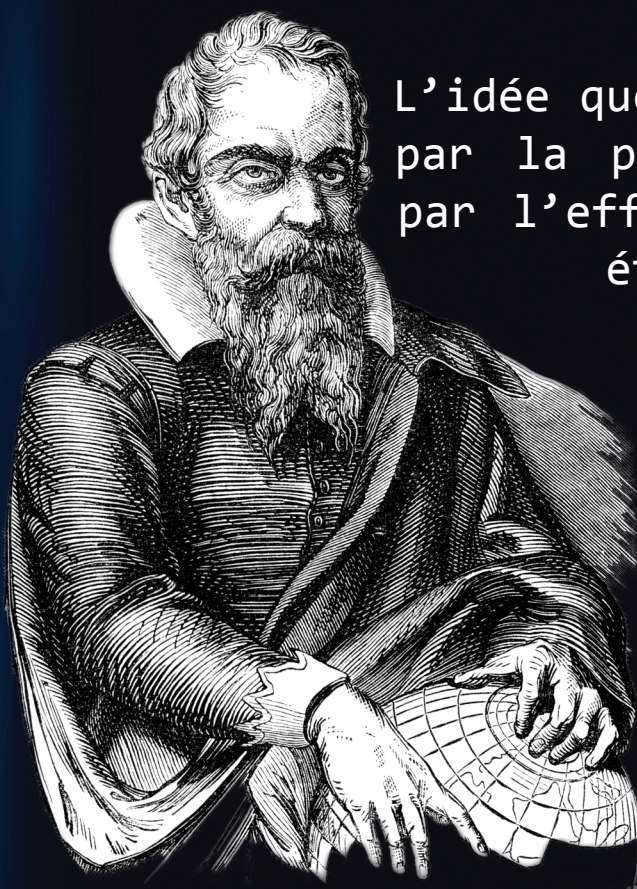
Vers 1635, les ingénieurs et de Florence sont chargés de construire de gigantesques fontaines et installations hydrauliques dans les jardins des palais. Avec stupéfaction, ils découvrent que les pompes aspirantes sont incapables d'aspirer l'eau de plus de 6 brasses (environ une dizaine de mètres).



Galilée est sollicité mais il meurt en 1642 sans avoir eu le temps de résoudre ce problème :

**Pourquoi ne peut-on pas aspirer l'eau
au-delà d'une certaine hauteur ?**

On retrouva plus tard, dans ses notes, qu'il avait songé que l'air devait avoir un poids mais il n'en avait tiré aucune conclusion.



L'idée que le liquide n'est pas aspiré par la pompe mais refoulé vers elle par l'effet d'une pression extérieure était en totale contradiction avec les dogmes admis à cette époque, qui voulaient que l'eau s'élève dans les tubes parce que **la nature a horreur du vide.**





MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE

fête de
la Science fr



Louv'Science

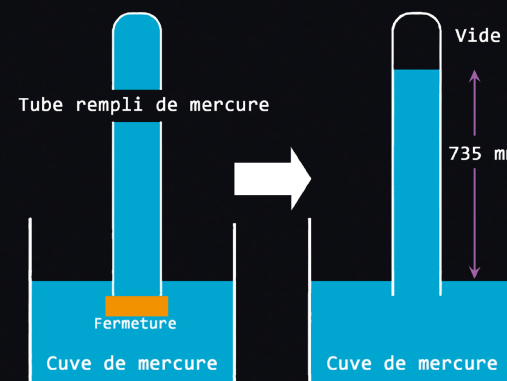


DES MESURES QUI ONT CHANGÉ NOTRE VISION DU MONDE

Mesurer la pression atmosphérique : Torricelli, Descartes, Pascal

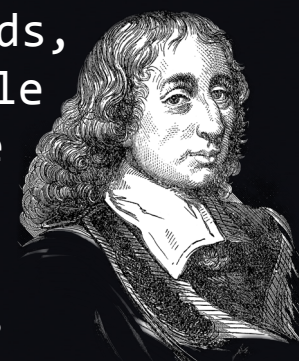
Torricelli succède à Galilée comme physicien à la cour du Duc de Toscane. Reprenant les notes de son prédécesseur, il fait des expériences pour prouver que **la pression atmosphérique est responsable de la montée de l'eau dans un espace vide**. Pour éviter d'utiliser des colonnes d'eau d'une dizaine de mètres de hauteur, il a l'idée de faire des essais avec du mercure qui est 13,6 fois plus dense. Il en remplit un long tube de verre, le bouche avec le doigt et le retourne sur un bassin rempli, lui aussi, de mercure.

Il observe que le tube ne se vide que partiellement dans le bassin et qu'il y reste toujours une colonne de mercure d'environ 76 cm de hauteur, quel que soit l'enfoncement du tube dans le bassin. Il en déduit que la pression de l'air sur la surface du bassin contrebalance le poids de la colonne de mercure et que c'est elle qui permet de faire monter l'eau dans les pompes d'une hauteur d'environ 10 m, mais pas davantage. **C'est ainsi que Torricelli invente le baromètre en 1643**. Il remarque également que la hauteur du mercure dans le tube varie avec les changements climatiques et qu'une baisse précède généralement une période de mauvais temps (pluie).



Le physicien et philosophe français **René Descartes** améliore le système de Torricelli en ajoutant une graduation en papier. Il est le premier à émettre l'idée que la pression atmosphérique doit diminuer avec l'altitude.

Blaise Pascal refait l'expérience de Torricelli et pense, comme Descartes, que si l'air a un poids, alors le mercure doit monter moins haut dans le tube si l'on fait l'expérience en altitude, ce qu'il vérifie, au sommet de la Tour Saint-Jacques à Paris (52 m). Il refait l'expérience au Puy de Dôme, le 19 septembre 1648, à diverses altitudes et constate qu'en effet, **la hauteur du mercure diminue bien au fur et à mesure que l'on s'élève**.



#FDS 2019

