

Physique (in)certaine

La construction de la démarche
scientifique

Avant de commencer...

Question



Exercice



Explication
annexe

Pour ceux qui
veulent
aller plus loin

$$\int_0^{\infty} e^{-x} dx$$

Explication
solution

cqfd



À retenir

Erreur !



Référence ou lien

<https://www.cabaneaides.com/l'experience-de-bougie/>

L'empire de l'erreur, G.Bronner (2007)

Qu'allons-nous traiter dans ce cours ?

- Ce module s'attachera à explorer les spécificités de la démarche scientifique.
 - ✓ Apprendre à Démêler le vrai du faux constituera notre fil conducteur.
 - ✓ Nous visiterons tous les pièges susceptibles de nous tromper dans le processus de l'acquisition d'un savoir scientifique.
 - ✓ De nombreux exemples historiques et des expériences pratiques et interactives illustreront ce cours.
- COURS 1: La démarche scientifique:
 - ✓ Prédicibilité, simplicité des hypothèses, testabilité, tentons de définir ensemble la démarche scientifique.
- COURS 2: Aléatoire et déterminisme: Probabilité et statistiques.
 - ✓ Où les phénomènes aléatoires peuvent apporter des surprises.
- COURS 3: Quelle place pour les certitudes en physique ?
 - ✓ De la modélisation de nos méconnaissances jusqu'aux erreurs
- COURS 4: Biais cognitifs et visionnaires
 - ✓ théories alternatives et pseudo-sciences
- COURS 5: Est-ce si simple ? La science en théorie et en pratique.
 - ✓ Explorons la science telle qu'elle se fait. Où nous verrons qu'une définition naïve de la science peut être mis à mal par les exemples historiques.

➤ Développons ensemble notre sens critique !

Cours 1: Qu'est-ce que la démarche scientifique ?

Peut-on la définir et si oui
comment ?

La science peut-elle apporter une réponse éclairante aux questions suivantes ?

- Peut-on comprendre les lois qui régissent la nature ?
- Quels sont les effets de la pleine lune ?
- La détection de l'eau par les sourciers est-elle efficace ?
- Peut-on voir la muraille de chine depuis l'espace ?
- L'eau qui s'écoule dans la baignoire tourne-t-elle dans l'autre sens dans l'hémisphère sud ?
- Santé et médecine
 - ✓ Efficacité de l'homéopathie et des médecines alternatives
- Énergie et environnement
 - ✓ Réchauffement climatique
 - ✓ Énergie nucléaire
- Sciences et technologies
 - ✓ Sensibilité aux ondes électromagnétiques

Répondre au schtroumpf grognon



« Je n'aime pas les scientifiques arrogants, je n'aime pas les OGM, le nucléaire, les experts corrompus, les médecins pompeux et les industries pharmaceutiques. Pourquoi devrais-je écouter un discours scientifique ? »

Exemple de discours, Richard Monvoisin & Denis Caroti

« La science n'a pas réponse à tout »

« Il y a d'autres façons de voir le monde »

« La science ignore l'humain, les sentiments, la spiritualité, l'intuition »

Les 5 significations du mot science

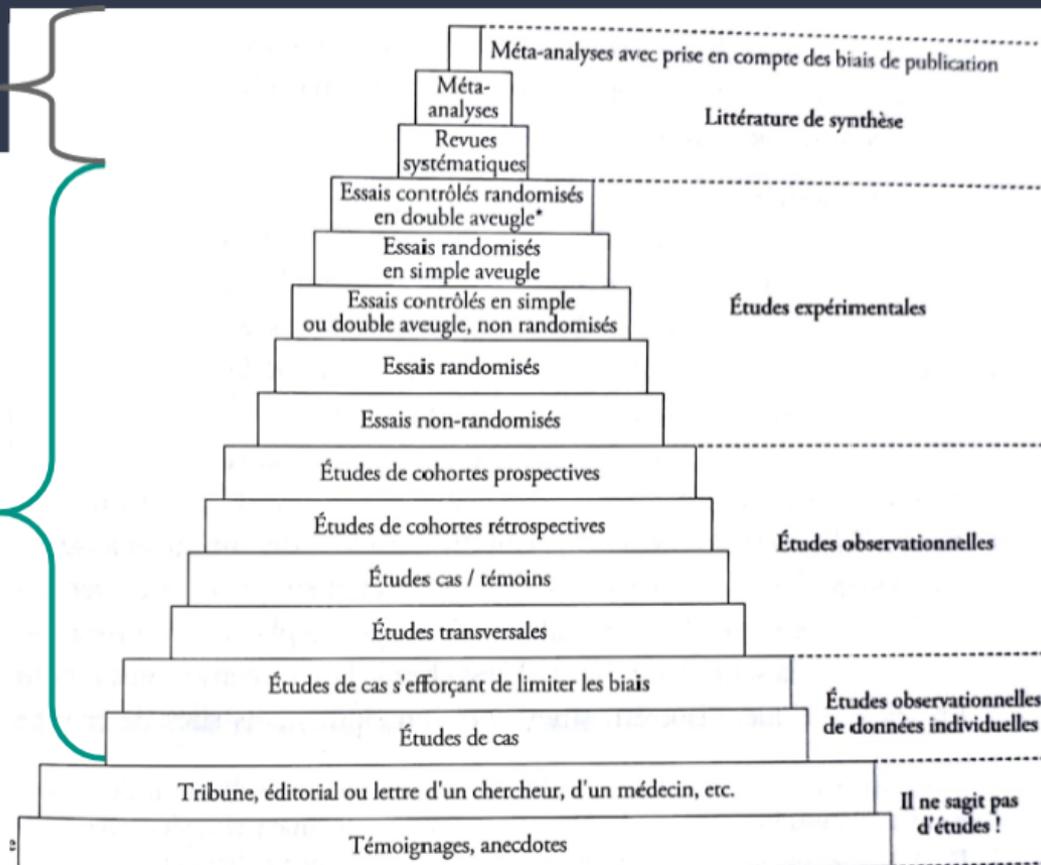
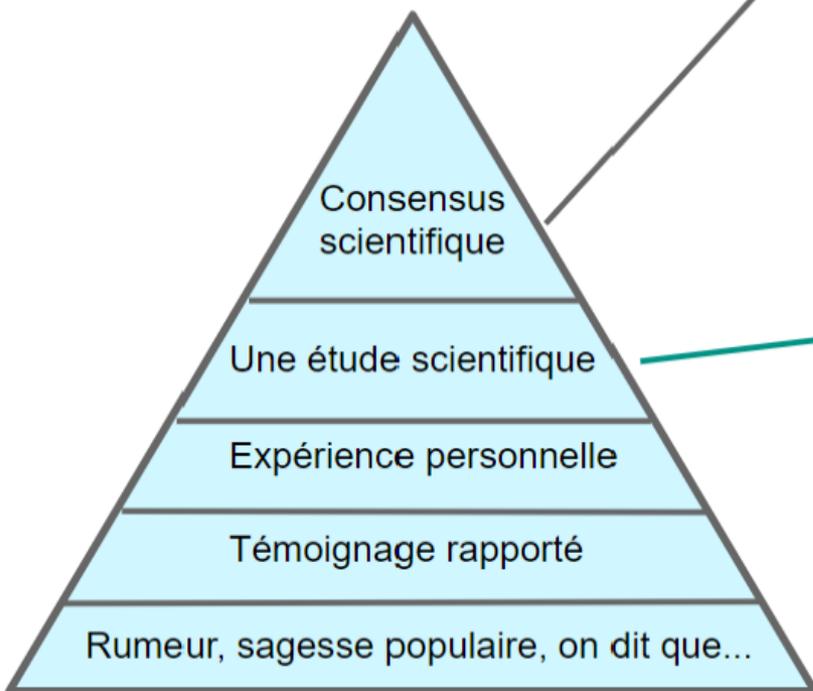
Richard Monvoisin & Denis Caroti

1. La démarche scientifique
 - ✓ Démarche intellectuelle visant à une compréhension rationnelle du monde
 2. La somme des connaissances actuelles
 3. La technique et la politique scientifique
 4. Les scientifiques vus du dedans
 - ✓ la façon dont il s'organisent, se comportent, interagissent, etc.
 5. Les scientifiques vus du dehors
 - ✓ La façon dont il communiquent, vulgarisent, défendent leurs vues auprès du public
- Le biologiste Guillaume Lecoindre:
 - ✓ « Le rejet croissant de la science par le public et le succès de certaines mouvances spiritualistes viennent d'une confusion entre ces cinq définitions : la science comme démarche rationnelle d'investigation du monde (sens 1) sera rejetée parce que le clonage fait peur (sens 3), parce que le camp des pro-nucléaires prend toutes ses décisions en bafouant la démocratie (sens 5), parce que des bombes atomiques ont explosé (sens 3), parce que des querelles de pouvoir s'exercent lors des congrès scientifiques (sens 4) ou encore parce qu'un résultat que l'on tenait pour certain s'avère faux (sens 2). »

La pyramide de la preuve

Echelle(s) de preuves

Denis Caroti (Aix-Marseille) et Delphine Laugier (Paris)



*le cas échéant, contre placebo

D'après F. Gouthière

Première hiérarchisation

J'ai essayé telle thérapie,
ça a marché pour moi,
c'est donc efficace.



Un témoignage ou sa propre expérience
personnelle ne sont en général pas
suffisants.



Explications concurrentes: expérience de la bougie

- 1 bougie
- 1 allumette
- De l'eau
- Une assiette
- Un verre transparent



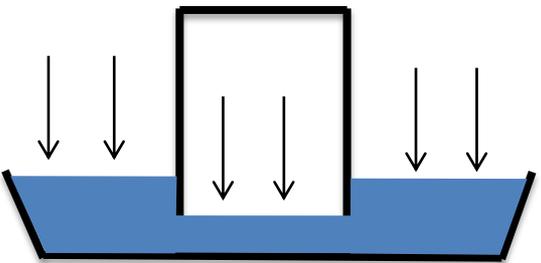
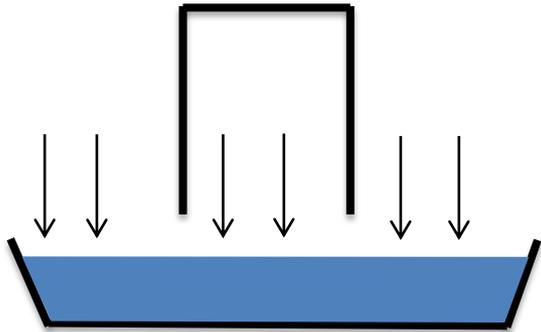
<https://www.youtube.com/watch?v=wtns4-z06wo>

<https://www.cabaneaides.com/lexperience-de-bougie/>

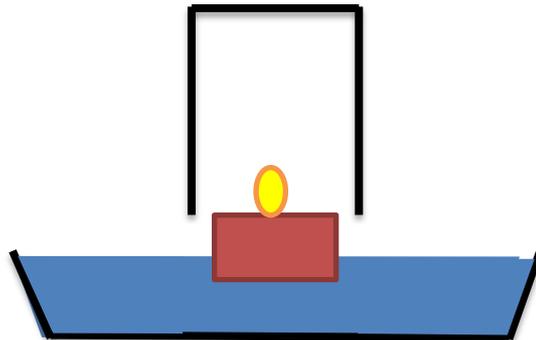
Explications concurrentes

- Égalité initiale et finale des pressions
- De l'air s'échappe ?
- L'Oxygène brulé prend moins de place ?
 - ✓ Est-ce progressif ? Produits de la combustion ?
- Pression et température et lois des gaz parfaits
 - ✓ $P \times V = n \times R \times T$
 - P = Pression
 - V = Volume
 - n = quantité de molécules
 - T = Température
 - R = une constante
- Chute de température

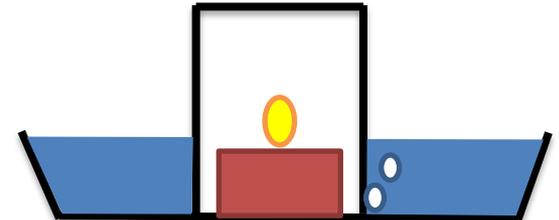
Explications concurrentes



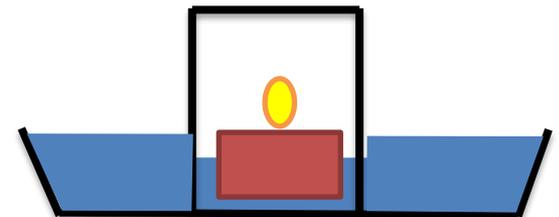
Égalité des pressions



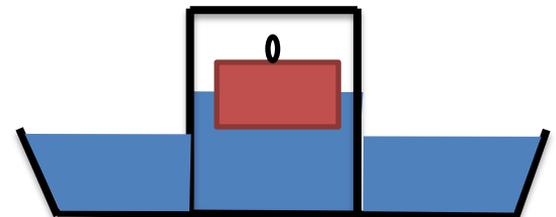
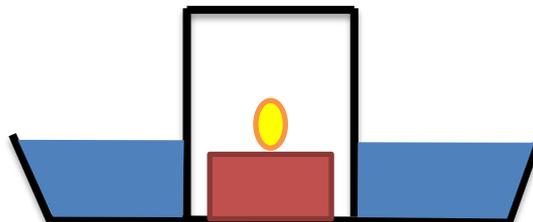
La bougie prend de la place



T augmente donc P augmente



L'oxygène brûle



Refroidissement et retour
À l'égalité des pressions

Love thermometer



Identifier et comprendre la validité d'un argument

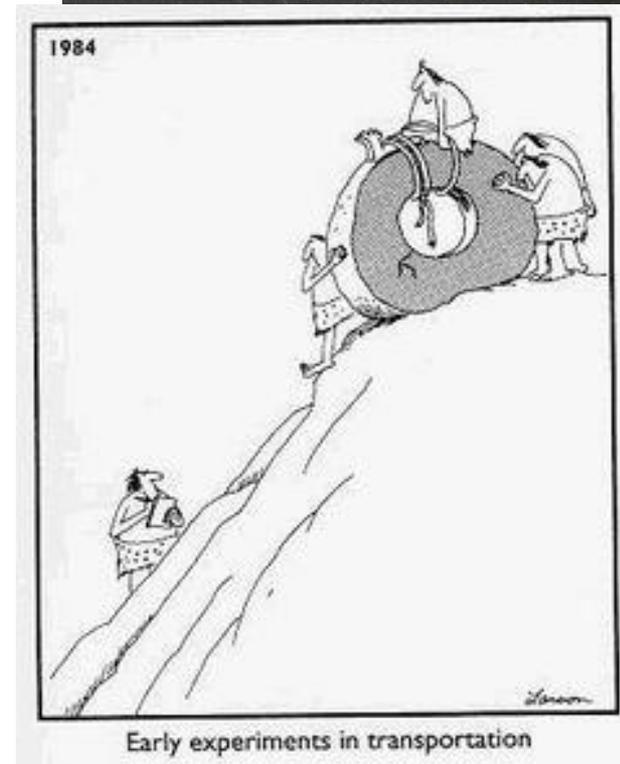


Comment choisir entre deux explications a priori rationnelles ?

L'argument d'autorité de l'enseignant ne suffit pas non plus...

Des critères pour définir la démarche scientifique ?

- Une question débattue depuis longtemps
 - ✓ philosophie des sciences
 - G. Bachelard, K. Popper, T. Kuhn, I. Lakatos, P. Feyerabend, etc.
- Identifier et comprendre la validité d'un argument
- Critères généraux
 - ✓ Parcimonie
 - ✓ Réfutabilité
 - ✓ Cohérence interne
 - ✓ Reproductibilité
 - ✓ Accord entre les experts ?
- Critères spécifiques
 - ✓ Protocole avec un lot témoin (effet placebo)
 - ✓ Garantir l'aléatoire
 - ✓ Évaluer la signification statistique d'un phénomène
- Et son propre jugement ?



La science est-elle un pur mode de raisonnement mathématique ?

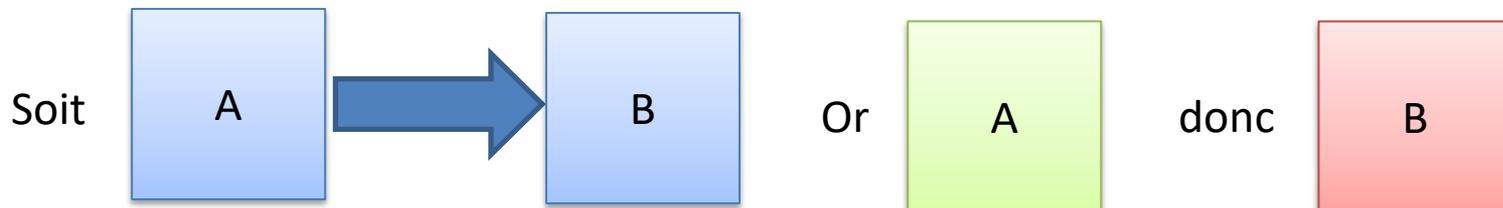


Science = démonstration de fait ?

La démarche scientifique = simple logique ?

Raisonnement déductif

- L'Inférence
 - ✓ opération de l'esprit qui passe d'assertions, comme prémisses, à d'autres assertions, comme conclusions. (Encyclopædia Universalis)
- Inférence déductive
 - ✓ si les prémisses sont vraies alors la conclusion l'est aussi.
 - ✓ Syllogisme: raisonnement déductif simple
 - Proposition majeure (Tous les hommes sont mortels)
 - Proposition mineure (Socrate est un homme)
 - Conclusion (Socrate est mortel)



Quel rapport entre...

Une hypothèse scientifique

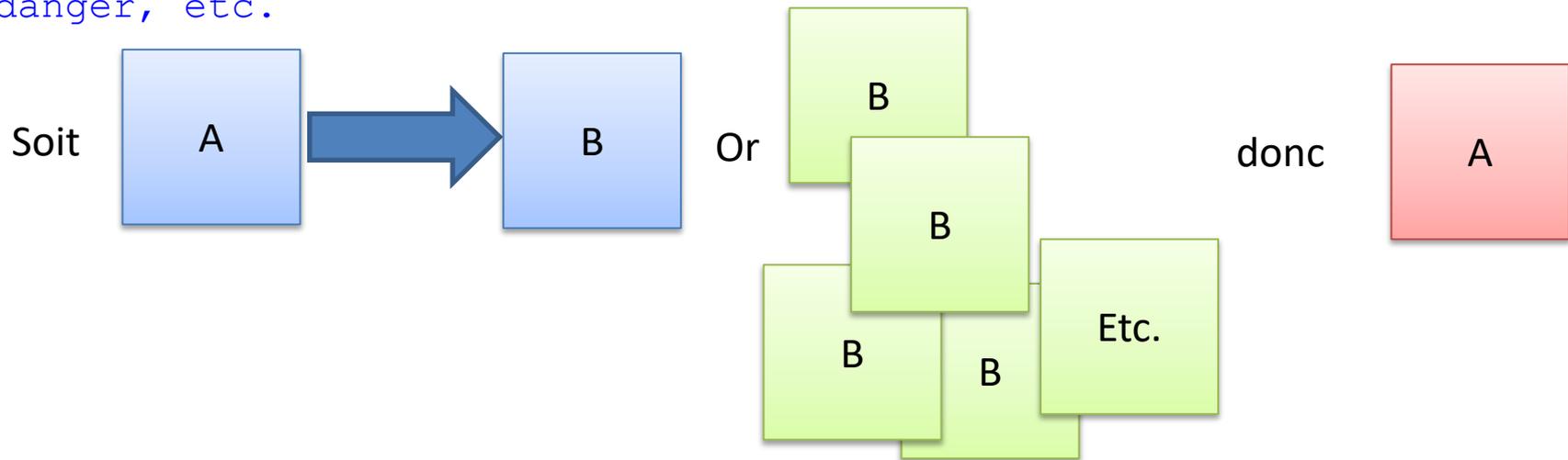


La dinde de Russel ?



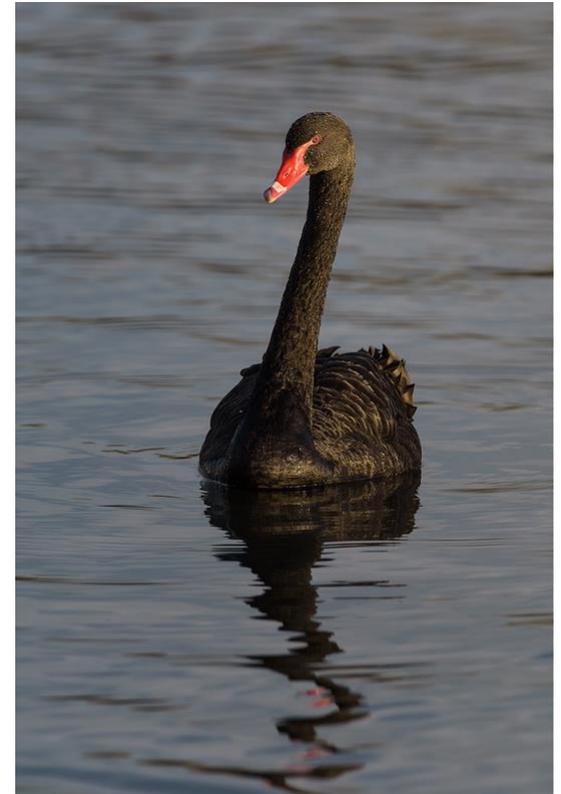
Induction

- Induction = généralisation à partir d'un certains nombres d'observations récurrentes
- genre de raisonnement qui se propose de chercher des lois générales à partir de l'observation de faits particuliers, sur une base probabiliste.
- Abondamment utilisé en science pour élaborer des théories
 - ✓ Racines: évolution et sélection naturelle ?
 - ✓ Retrouver son chemin, trouver de la nourriture, identifier un danger, etc.



Vrai tant qu'on n'observe pas un contre-exemple

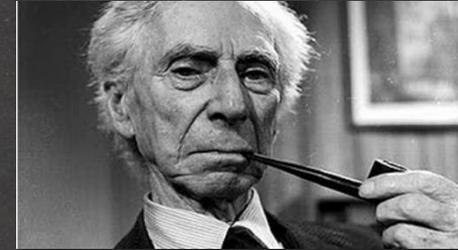
- Cygnes blancs / cygnes noirs



- Notion de vérité « temporaire »

L'induction n'est pas une preuve

- Histoire de la dinde de B. Russell
- Raisonnement par induction
 - ✓ Une dinde, chaque jour est nourrie par le fermier
 - ✓ Après quelques mois elle en conclut que ce fermier lui veut du bien.
 - ✓ Elle déchantera le 24 décembre...



Le raisonnement inductif, bien qu'utilisé fréquemment (en science) n'est pas « correct » du point de vue purement logique (le résultat n'est pas certain).

L'induction n'est pas une preuve

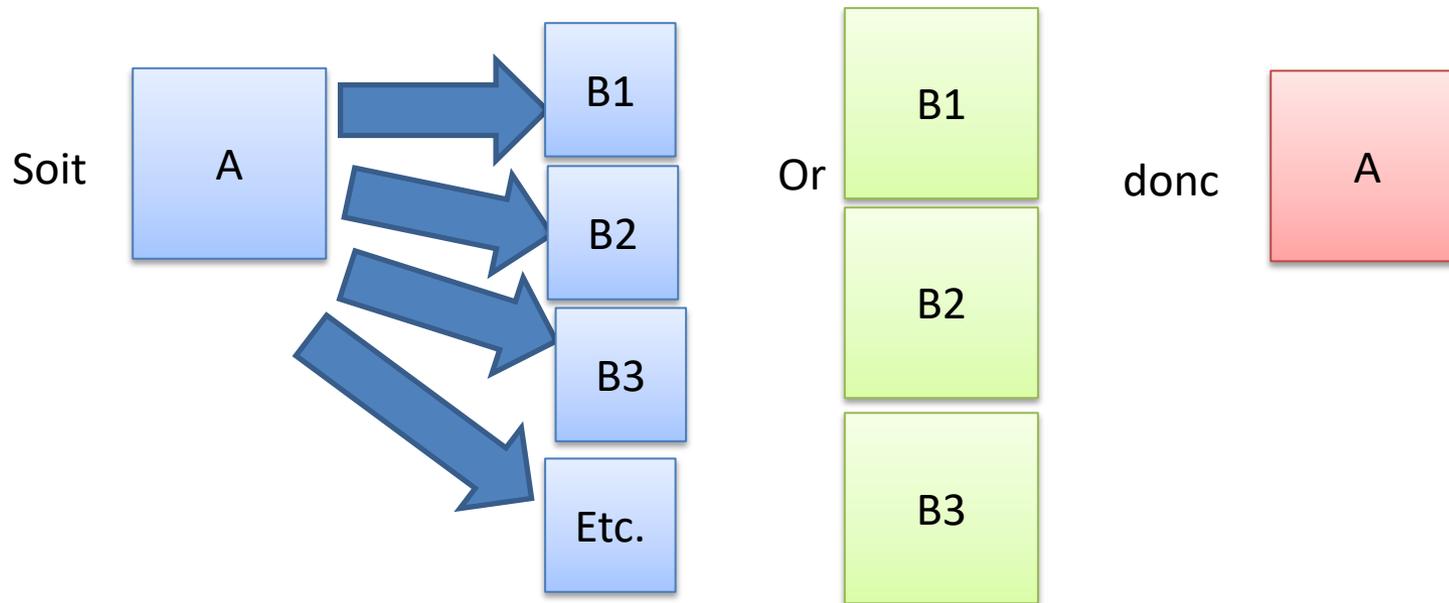
- Histoire de la dinde de B. Russell
- Raisonnement par induction
 - ✓ Une dinde, chaque jour est nourrie par le fermier
 - ✓ Après quelques mois elle en conclut que ce fermier lui veut du bien.
 - ✓ Elle déchantera le 24 décembre...



Le raisonnement inductif, bien qu'utilisé fréquemment (en science) n'est pas « correct » du point de vue purement logique (le résultat n'est pas certain).

Abduction

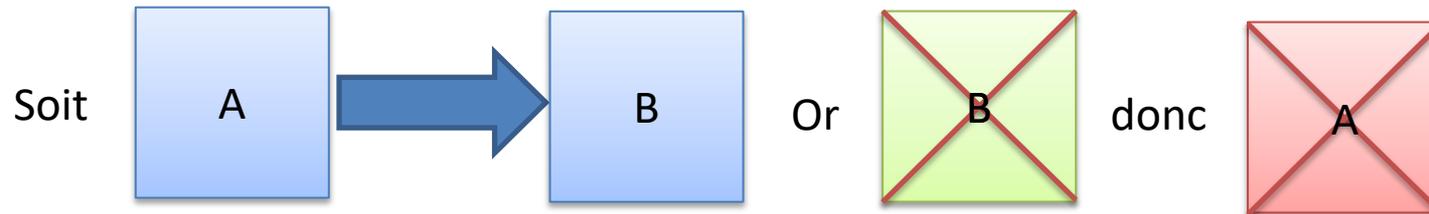
- Un **raisonnement par abduction** consiste, en observant un ou plusieurs faits B1, B2, B3, etc.; dont on connaît une cause possible et la plus vraisemblable A, à prendre A comme hypothèse pour affirmer qu'elle est probablement la cause de B1, B2, B3, etc. en particulier.



- Exemple:
 - ✓ *face à une série de symptômes (maux de tête, fièvre, frisson, etc.), le médecin peut diagnostiquer une maladie (la grippe) dont il est reconnu qu'elle peut provoquer chacun de ces symptômes.*

Contraposition

- **Contraposition** (ou *modus tollens*)



- Variante: raisonnement par l'absurde
 - ✓ Zéro n'a pas d'inverse dans les nombres réels
 - définition de l'inverse : $7 \times 1/7 = 1$
 - ✓ Si c'était le cas on aurait:
 - Il existe un nombre A tel que $0 \times A = 1$
 - Or $0 \times A = 0$ (propriété de la multiplication par zéro)
 - Donc $0 \times A = 0 = 1$ ce qui est impossible.

Retour du Schtroumpf grognon



« Donc les sciences c'est penser de façon ennuyeuse ? »

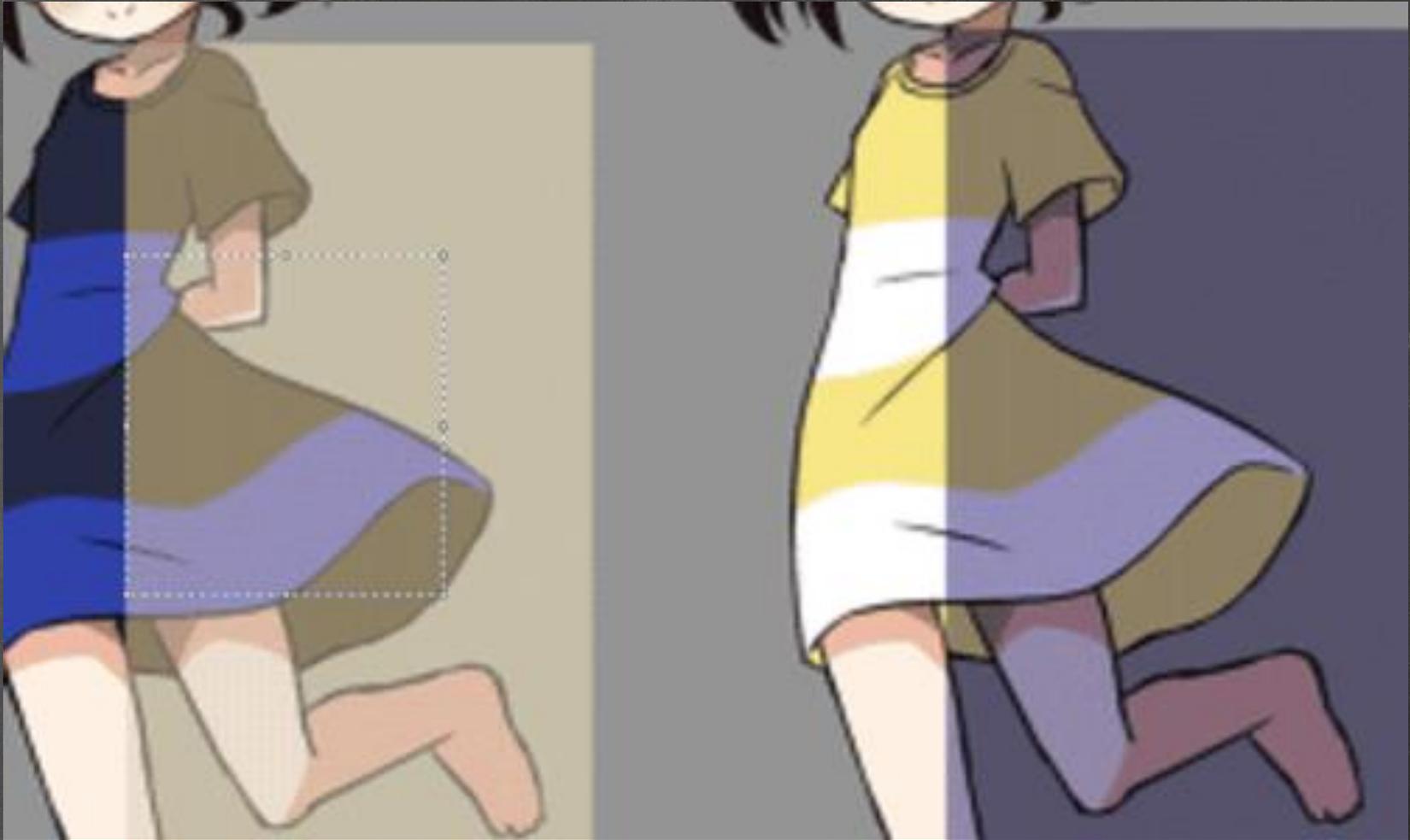
« C'est quand même pas très pratique tout ça... »

Vérifier l'information demande un effort important

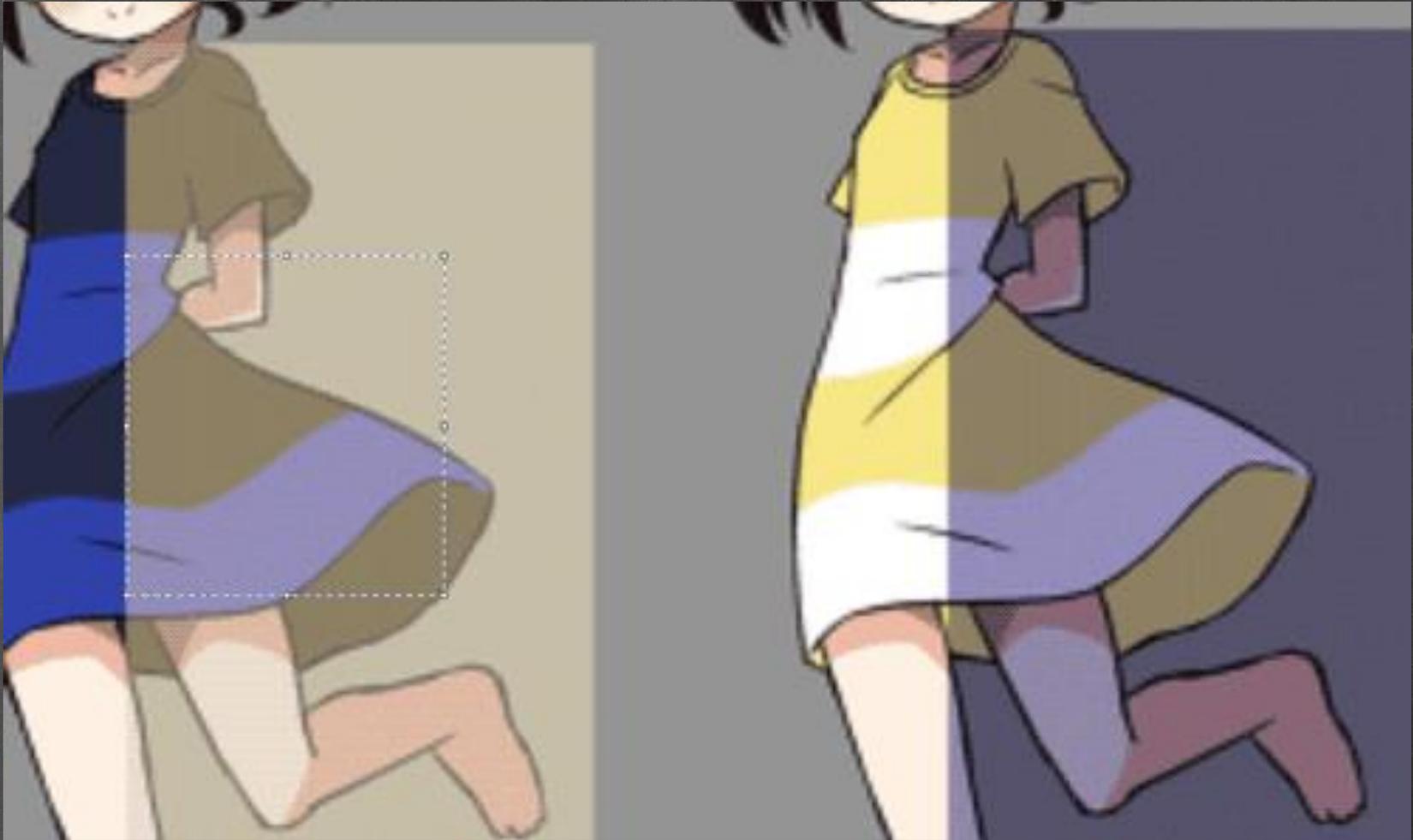


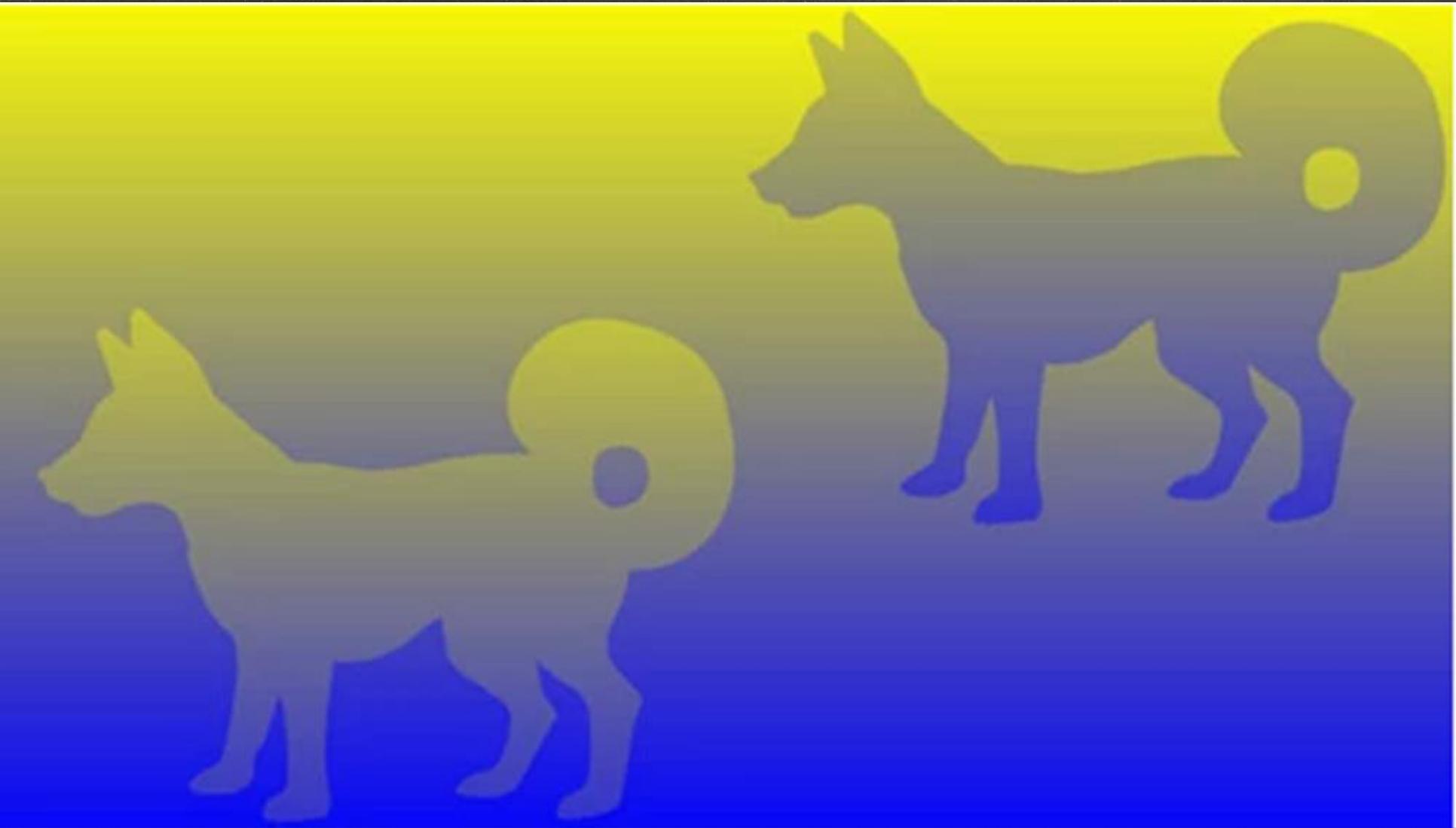
- Soit une information donnée: est-elle vraie ou fausse ?
- L'individu a tendance à préférer baser son jugement sur ses croyances et son expérience
 - ✓ Moins coûteux en temps et en énergie
 - ✓ Mais souvent très approximatif... (biais cognitifs)

Nos sens nous trompent aussi...



Nos sens nous trompent aussi...





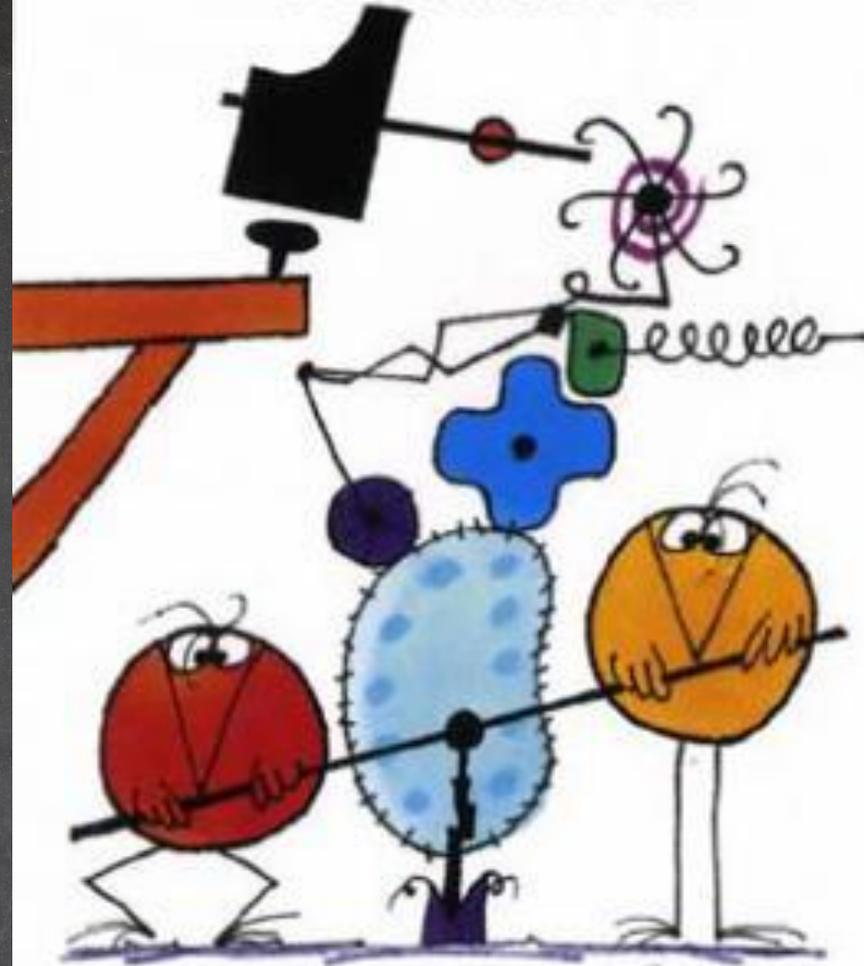


Principe de parcimonie

- Guillaume d'Ockham (1285-1347)
(théologien)
- Économie des hypothèses (rasoir d'Ockham)
 - ✓ « Les multiples ne doivent pas être utilisés sans nécessité » (1319).
 - ✓ « les hypothèses suffisantes les plus simples doivent être préférées »
 - ✓ « Pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple ? ».



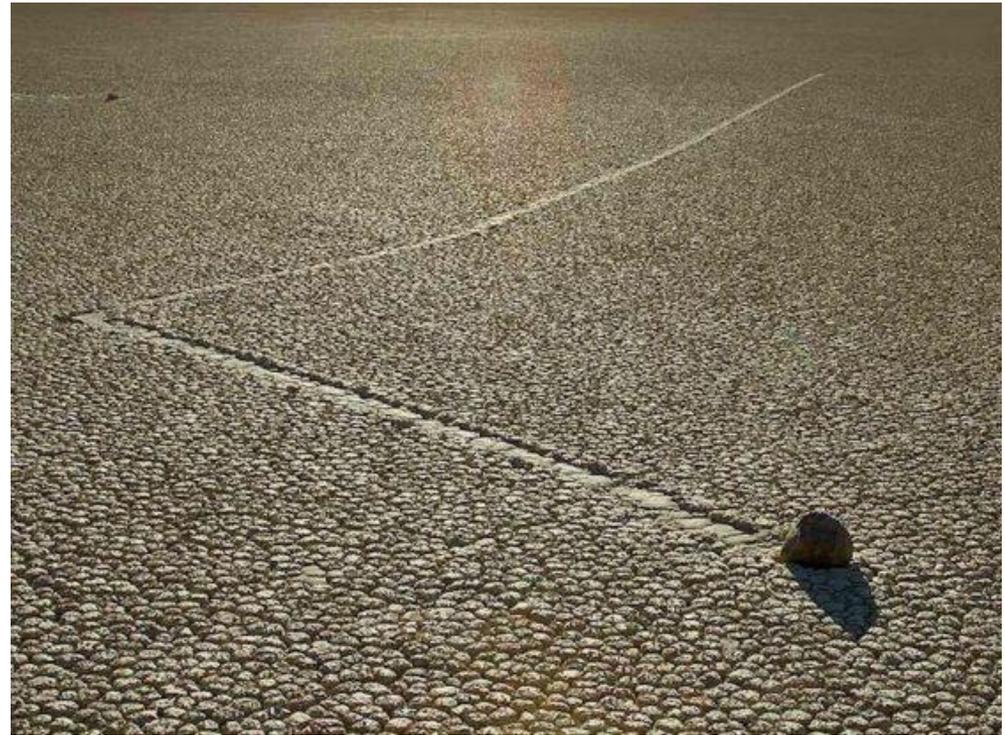
Les devises Shadok



FOUREL
POURQUOI FAIRE SIMPLE
QUAND ON PEUT FAIRE
COMPLIQUE ?!

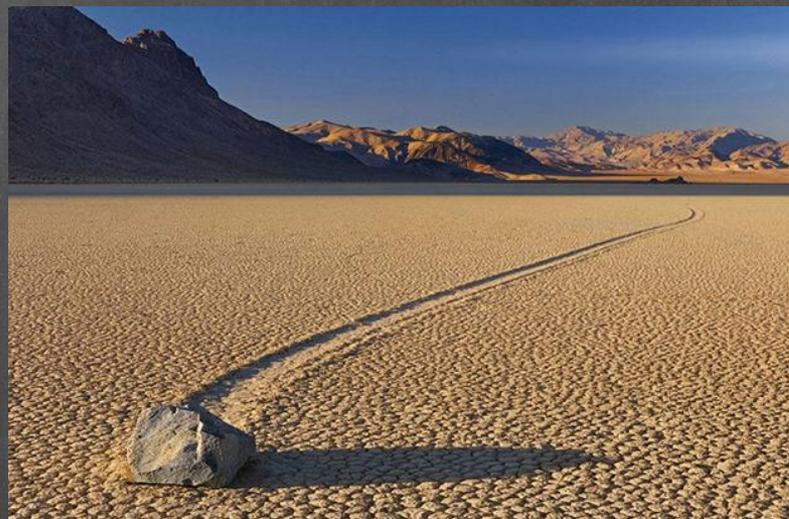
Les pierres roulantes

- Vallée de la mort (Californie)
 - ✓ Observé depuis le 19^e siècle





Quelle est l'explication ?



Facile c'est...



- a. Un canular ?
- b. Une force mystérieuse non identifiée ?
- c. Les esprits de la vallée de la mort ?
- d. Une photo truquée ?
- e. Un phénomène physique inattendu ?
- f. La réponse f.

Indices

- Il y a du soleil le jour
- Il pleut parfois
- Les nuits sont froides
- Le phénomène survient en présence d'un vent moyen





Une chaîne d'événements

- La pluie
 - ✓ Sur ce terrain, l'eau s'infiltré peu
- Le froid de la nuit
 - ✓ couche de glace présente
 - entre 3 et 6 mm d'épaisseur
- Le soleil revient
 - ✓ Craquelle la glace et commence à la faire fondre
 - Fine couche d'eau fondue sous la glace
 - ✓ Plaques de quelque mètres à quelques dizaines de mètres
- des brises
 - ✓ de 4 à 5 m/s (environ 15 km/h).
 - ✓ Le vent pousse les plaques qui glisse sur la fine couche d'eau fondue, emportant ainsi les pierres



Ne pas tout remettre en question

- https://www.youtube.com/watch?v=K_QoFxDpZgo
- Ce n'est pas parce qu'on n'a pas d'explication qu'il faut rajouter des nouvelles lois
- Parfois l'explication survient après un changement de point de vue, une meilleure compréhension, ou des hypothèses modifiées.
- Les lois de la physique sont restées les mêmes avant et après.



Ockham chooses a razor

Le caractère reproductible

Y-a-t-il un rapport entre...



La mystérieuse force de Coriolis...



<https://kaiserscience.files.wordpress.com/2015/10/coriolis-effect-merrygoround.gif?w=960>

...ou pas .

L'eau qui s'écoule d'une baignoire tourne-t-elle dans l'autre sens dans l'hémisphère sud ?



L'eau qui s'écoule d'une baignoire tourne-t-elle dans l'autre sens dans l'hémisphère sud ?

- Affirmation: l'eau qui s'écoule par un trou (d'une baignoire par exemple) tourne dans un sens dans l'hémisphère nord et dans l'autre sens dans l'hémisphère sud
- Il existe même des preuves sur internet
✓ https://youtu.be/2oF9IVhs_mI



Notion de force

- Principe fondamental de la dynamique

✓ Somme des forces = masse × accélération

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

\vec{F} = la flèche indique une direction

- La masse est dite inertielle

✓ Plus on est lourd, moins on accélère facilement

- L'accélération représente un taux de changement de la vitesse

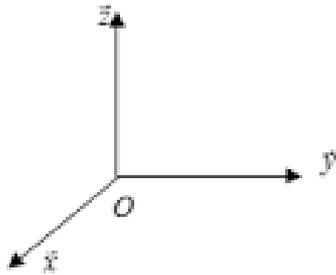
✓ Unité: en mètre par seconde par seconde

✓ En terme mathématique, un taux de changement est une dérivée

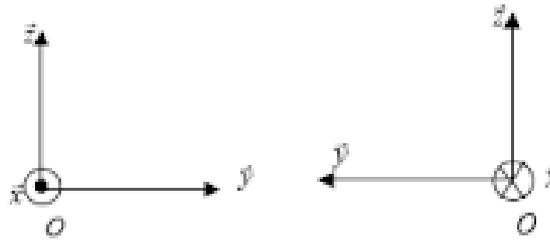
Référentiels, position, vitesse et accélération

- Un référentiel est associé à un repère et permet de donner des coordonnées à un objet

Représentation spatiale



Représentations planes

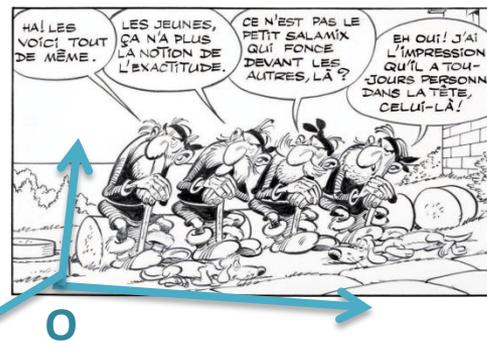
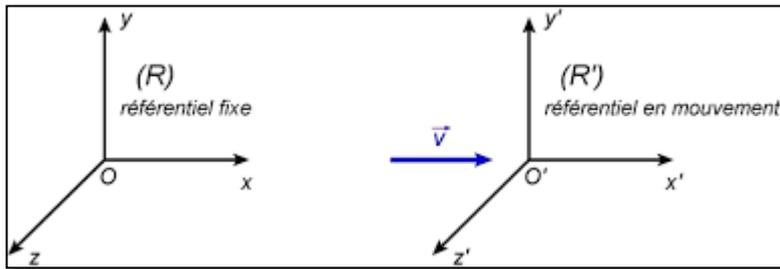


Référentiel absolu ?

- ✓ Repère: des axes et une origine
- Position = coordonnées de l'objet (x, y, z)
 - ✓ Exemple: $x = 1$; $y = 2$; $z = 3$
- Vitesse = taux de changement de la position
- Accélération = taux de changement de la vitesse

Notion de référentiel relatif

- Position, vitesse et accélération définies par rapport à un référentiel



- Vitesse dans un train
- Accélération dans un train

Position, vitesse et accélération dépendent du référentiel



Qu'en est-il des forces ?



Les forces d'inertie

- Poids dans un ascenseur
 - ✓ Quand on descend et que l'ascenseur freine, on ressent une force
- Notion de Force d'inertie
 - ✓ Si le référentiel relatif (O') est accéléré
 - (si il change de vitesse par rapport à O).

<https://physiqueludique.fr/2017/01/petit-poids-ascenseur/>

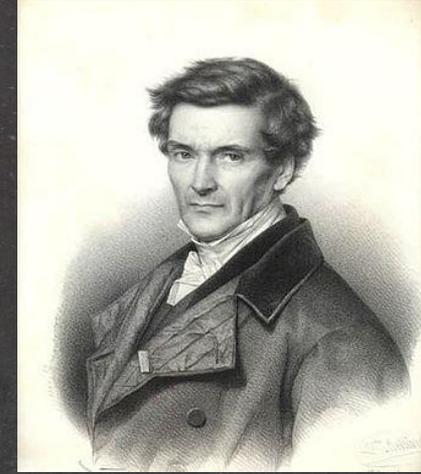
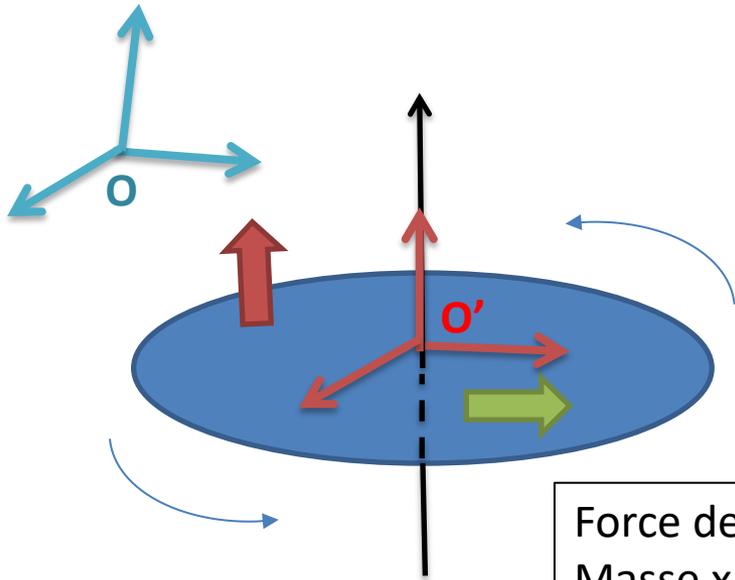
- Ces Forces sont « virtuelles »
 - ✓ Apparaissent dans les équations lorsque 2 référentiels sont en jeu.
 - Si l'un des référentiel est accéléré par rapport à l'autre
 - On ne ressent rien quand le train roule à vitesse constante
 - Tourner c'est accélérer
 - ✓ Personne ne pousse !
 - ✓ Elles sont effectivement ressenties



© physiqueludique.fr

La force de Coriolis est une force d'inertie

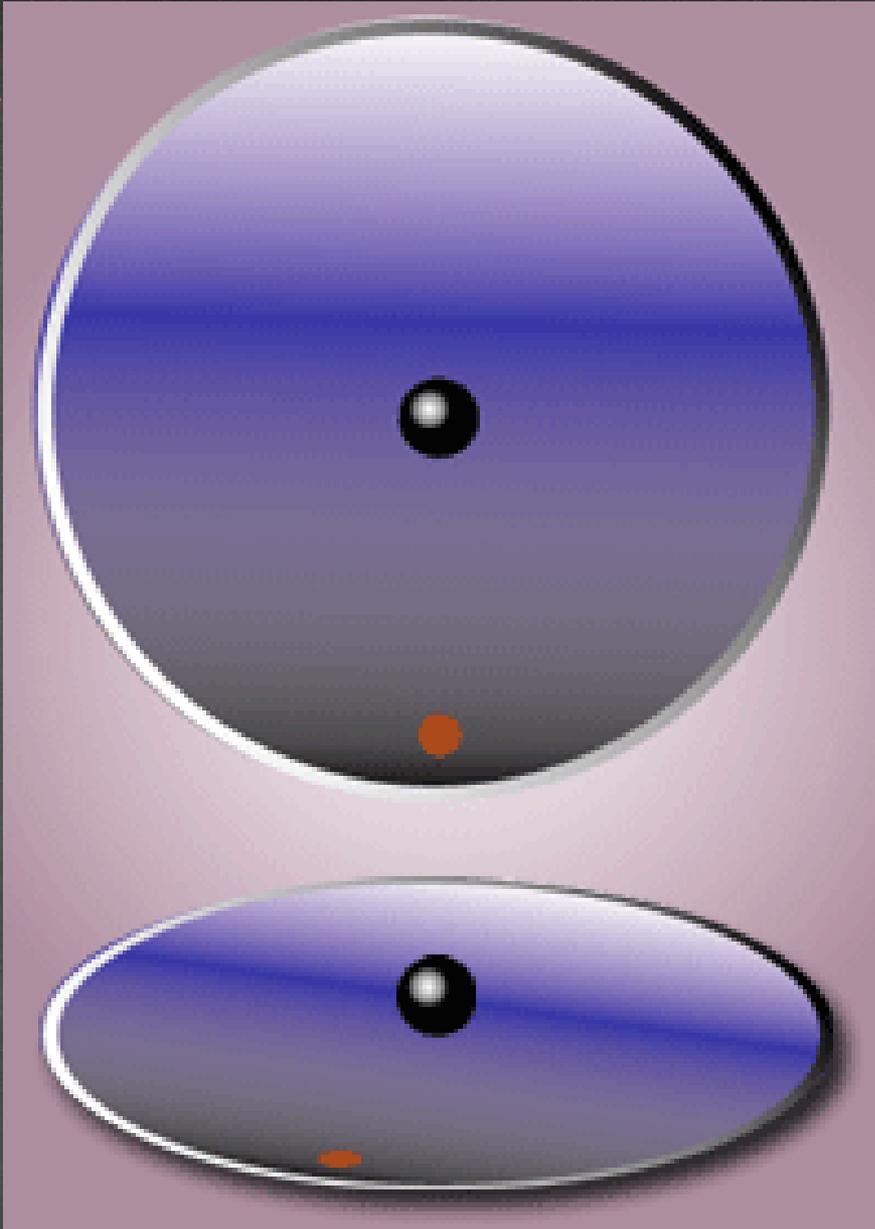
- Si on se déplace dans un référentiel tournant par rapport à l'autre référentiel dans une direction perpendiculaire à l'axe de rotation



Gaspard-Gustave de Coriolis.

$$\vec{F}_C = -2m\vec{\Omega}(t) \wedge \vec{v}$$

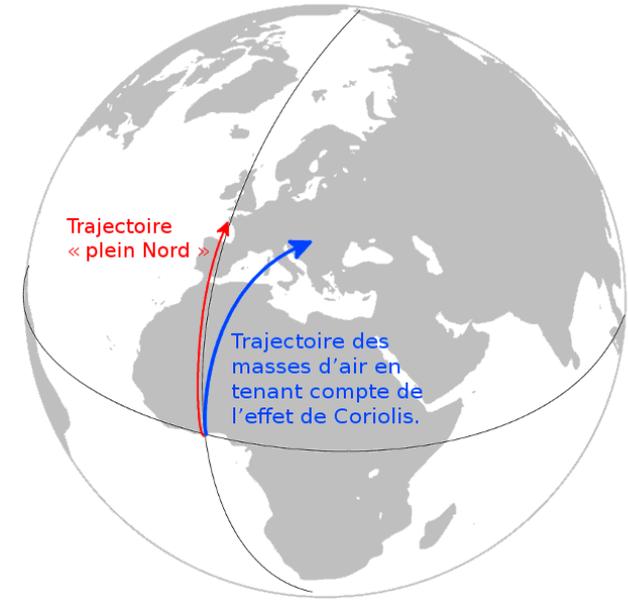
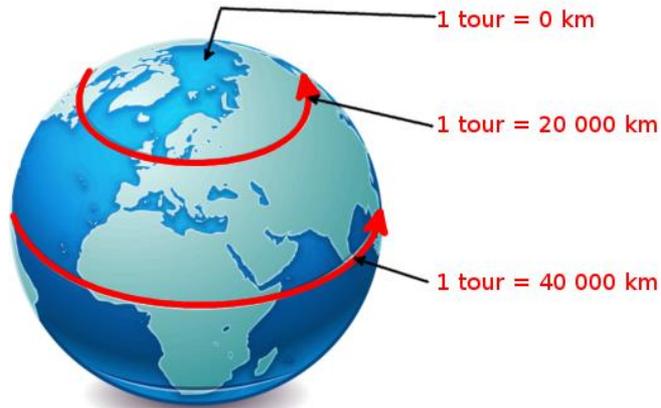
Force de Coriolis proportionnelle à :
Masse x Vitesse angulaire de la rotation x vitesse de déplacement



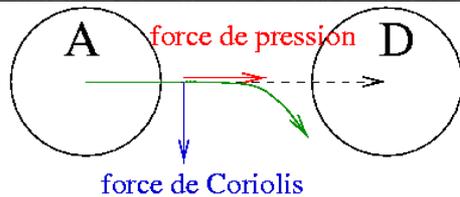
Point de vue de quelqu'un extérieur au disque

Point de vue de quelqu'un sur le disque

Les masses d'air sont déviées à droite dans l'hémisphère nord



Tenir compte des forces de pression



En pointillés, la trajectoire sans force de Coriolis.
La vraie trajectoire est en vert.



Mais cela devrait être le cas de tous le monde !

L'aspect quantitatif entre en scène

- Vitesse angulaire:

✓ Ω (angle par seconde): 360° par 24 heures

$$\vec{F}_C = -2m\vec{\Omega}(t) \wedge \vec{v}$$

- Masse mise en jeu

✓ De l'ordre du kg

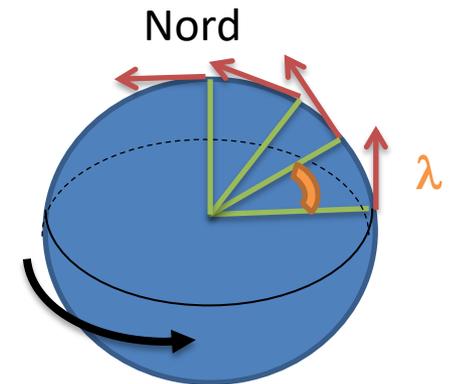
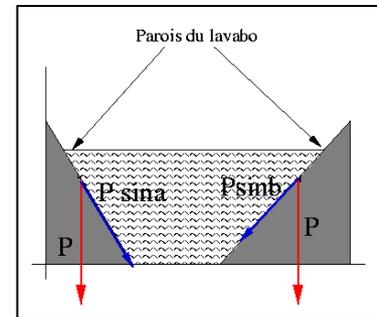
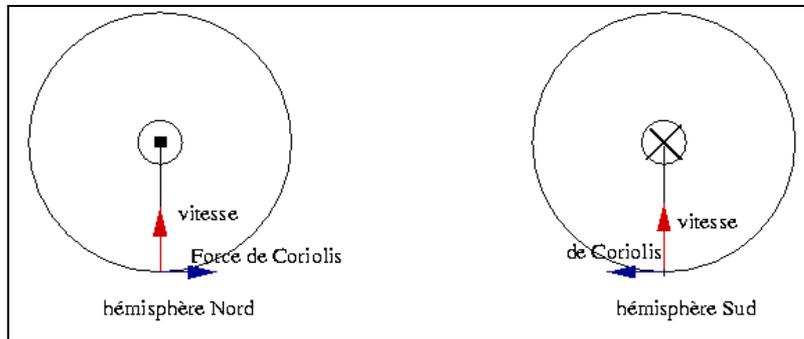
$$F_{\text{Coriolis}} = 2 \times m \times \Omega \times v \times \sin\lambda \sim 0.0001 \text{ Newton}$$

- Vitesse de déplacement

✓ De l'ordre du mètre par seconde

$$F_{\text{pesanteur}} = m \times g = 1 \times 9.81 \sim 10 \text{ Newton}$$

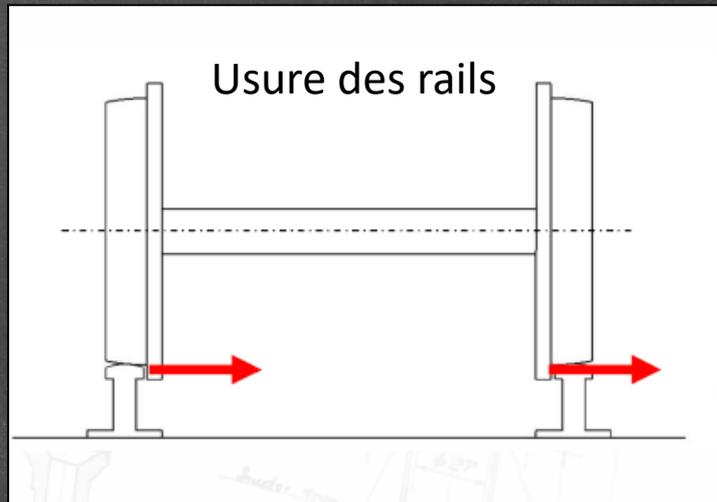
✓ Latitude λ



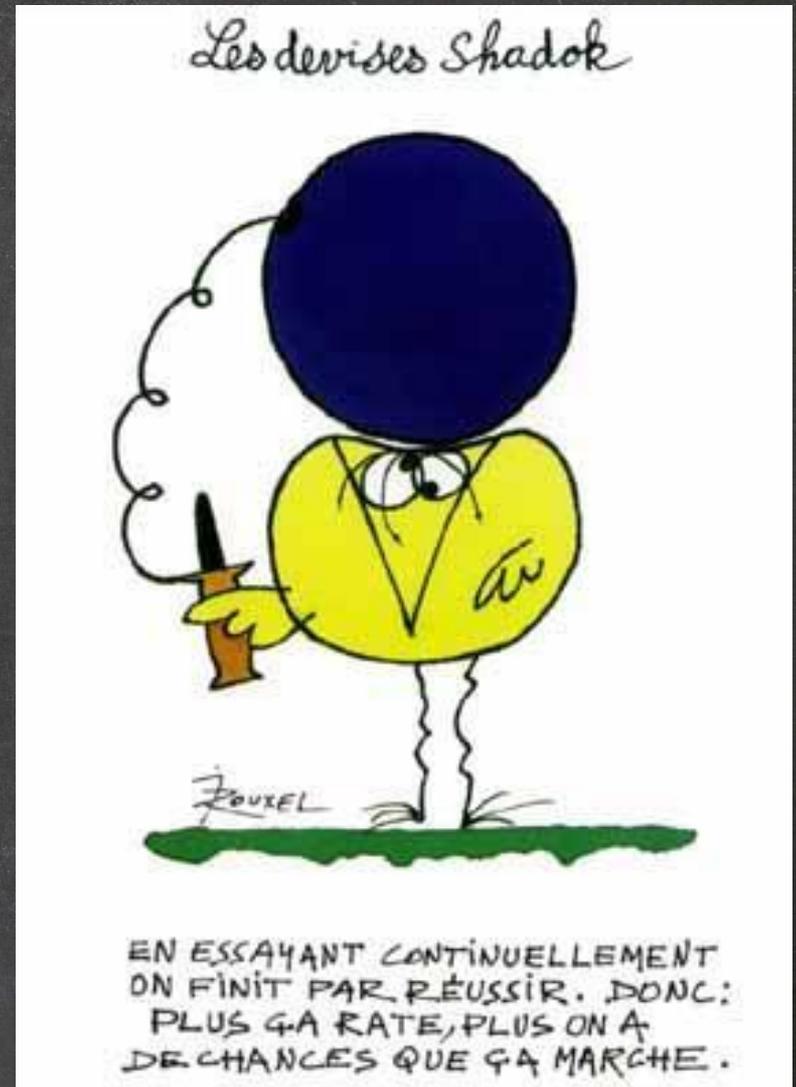
Une aspérité de 0,000001 mètre aurait le même effet

Argument juste et effet négligeable

- Un raisonnement qui semble correct peut se révéler non pertinent dès lors qu'on le quantifie
 - ✓ Certains effets, certaines causes, sont négligeables



Effet non reproductible...





Réfutabilité

Si je peux prouver que tu as tort, ta théorie est scientifique

- Proposé par K. Popper (1902-1994)
 - ✓ il faut qu'il soit possible de formuler un plusieurs énoncés qui puissent éventuellement contredire la théorie, ou en montrer la fausseté totale, ou partielle.



Une théorie qui ne prend pas le risque d'être invalidée ne peut être scientifique.



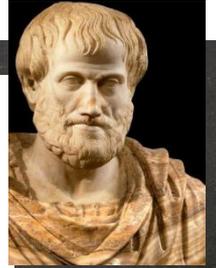
Scientifique ou pas ?

- Noter ces théories ou ces disciplines de 0 (pas scientifique du tout) à 10 (purement scientifique)
 - ✓ mathématiques
 - ✓ Physique
 - ✓ Chimie
 - ✓ Biologie
 - ✓ Médecine
 - ✓ Histoire
 - ✓ Archéologie
 - ✓ Psychologie
 - ✓ Sociologie
 - ✓ Anthropologie
 - ✓ Astrophysique
 - ✓ Astrologie
 - ✓ Psychanalyse
 - ✓ Mécanique classique
 - ✓ Mécanique quantique
 - ✓ Thermodynamique
 - ✓ Cosmologie
 - ✓ Théorie de l'évolution
 - ✓ Tectonique des plaques
 - ✓ Relativité générale
 - ✓ Statistiques
 - ✓ Économie

Un exemple historique: L'évaluation de l'âge de la Terre



Âge de la Terre

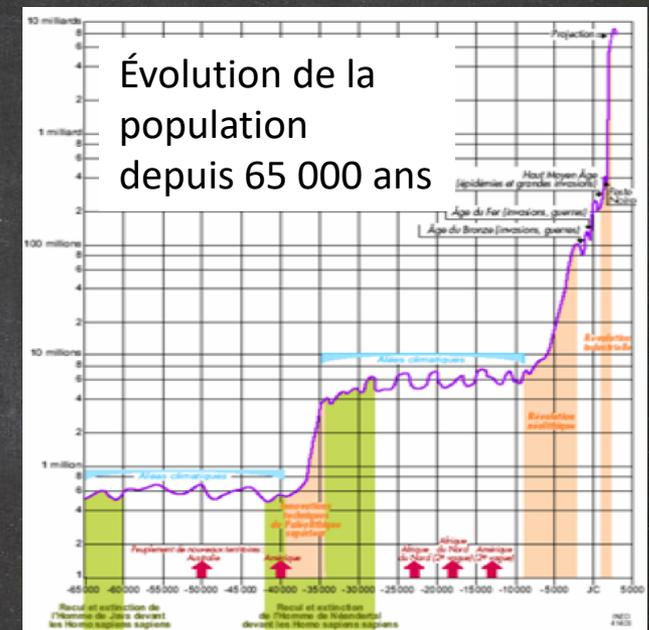
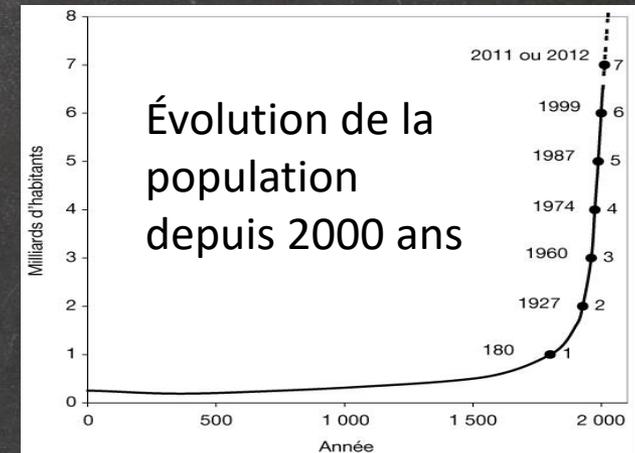


- Aristote (384–322 av. J.-C.)
 - ✓ La Terre est éternelle
 - ✓ Les modifications de la surface se compensent en moyenne
- 3 religions monothéistes
 - ✓ Création du monde ⇨ La terre a un âge.
 - ✓ Dans la bible:
 - Nombre de générations depuis Adam et Ève
 - Événements historiques
 - ~ 6000 ans (Newton, Kepler, etc.)
 - ✓ Archevêque Ussher (1581–1656)
 - 23 octobre 4004 av. J.-C. (sans incertitude !)



De bonnes idées ?

- L'évolution de la distance Terre-Lune.
 - ✓ La Lune, initialement issue de la Terre, s'en écarte.
 - ✓ modèle de l'évolution de la distance Terre-Lune
 - ✓ estimation d'un âge minimum de la Terre.
 - ✓ L'astronome Georges Darwin (1845-1912)
 - 56 millions d'années
- Croissance de la population
 - ✓ Si on connaît le taux de croissance on peut en déduire la date du déluge donc l'âge de la Terre depuis Noé (population connue)
 - ✓ Hypothèse:
 - Age de l'humanité = âge de la terre



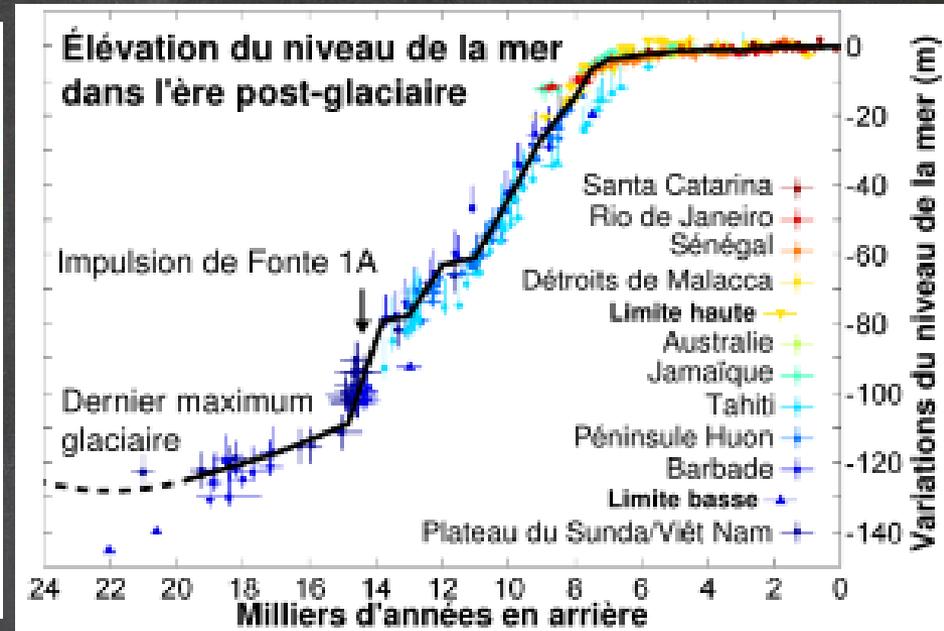
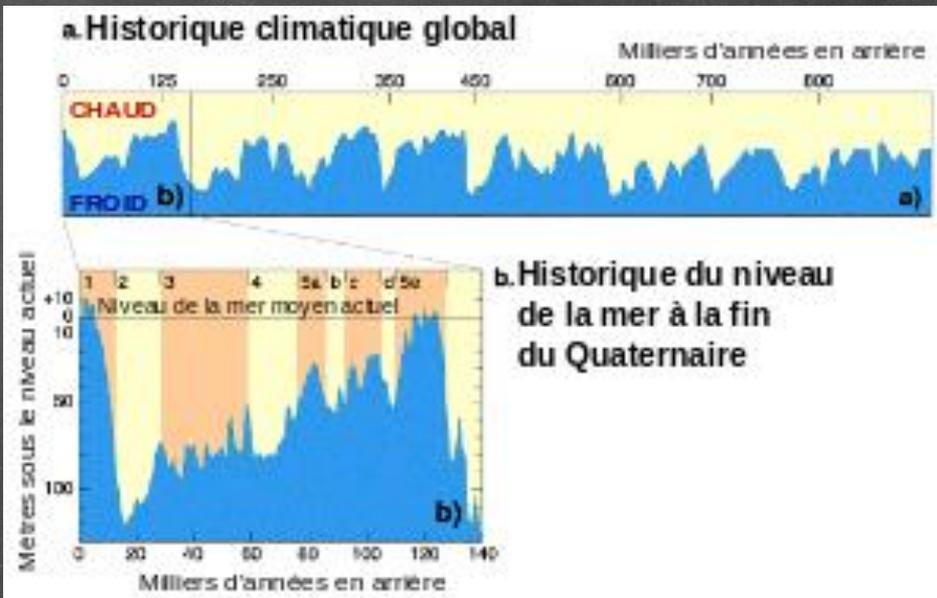
Recul des océans

- Benoist de Maillet (1656–1758)
 - ✓ deux milliards d'années.
 - ✓ Craignant l'Église
 - pseudonyme (Telliamed, anagramme de de Maillet)
 - publié que dix ans après sa mort aux Pays-Bas.
 - ✓ Avec le même enthousiasme, il accumule les preuves de l'existence contemporaine d'hommes (et de femmes) poissons
- Exemple Brouage (Charentes)



Recul des océans

- Problème de linéarité
- Niveau de la mer mais aussi:
 - ✓ Envaselement
 - ✓ Érosion



1^e tentative d'approche scientifique

- 1^e approche scientifique: la stratigraphie
 - ✓ Dès le XVIII^e siècle
 - ✓ Exemple: 1 mm ⇨ 100 ans
 - ✓ Résultats très variés
 - De 1 000 à 1 000 000 000
 - ✓ Problème de calibrage et de testabilité



Date	Auteur	Epaisseur des sédiments (km)	Taux de sédimentation	Durée (Ma)
1860	Phillips	22	22,9	96
1890	De Lapparent	46	51,1	90
1892	Geike	30	0,4 à 4,4	73 à 680
1893	Mc Gee	80	0,5	1584
1893	Upham	80	8	100
1900	Sollas	81	31,1	26
1909	Sollas	102	12,7	80

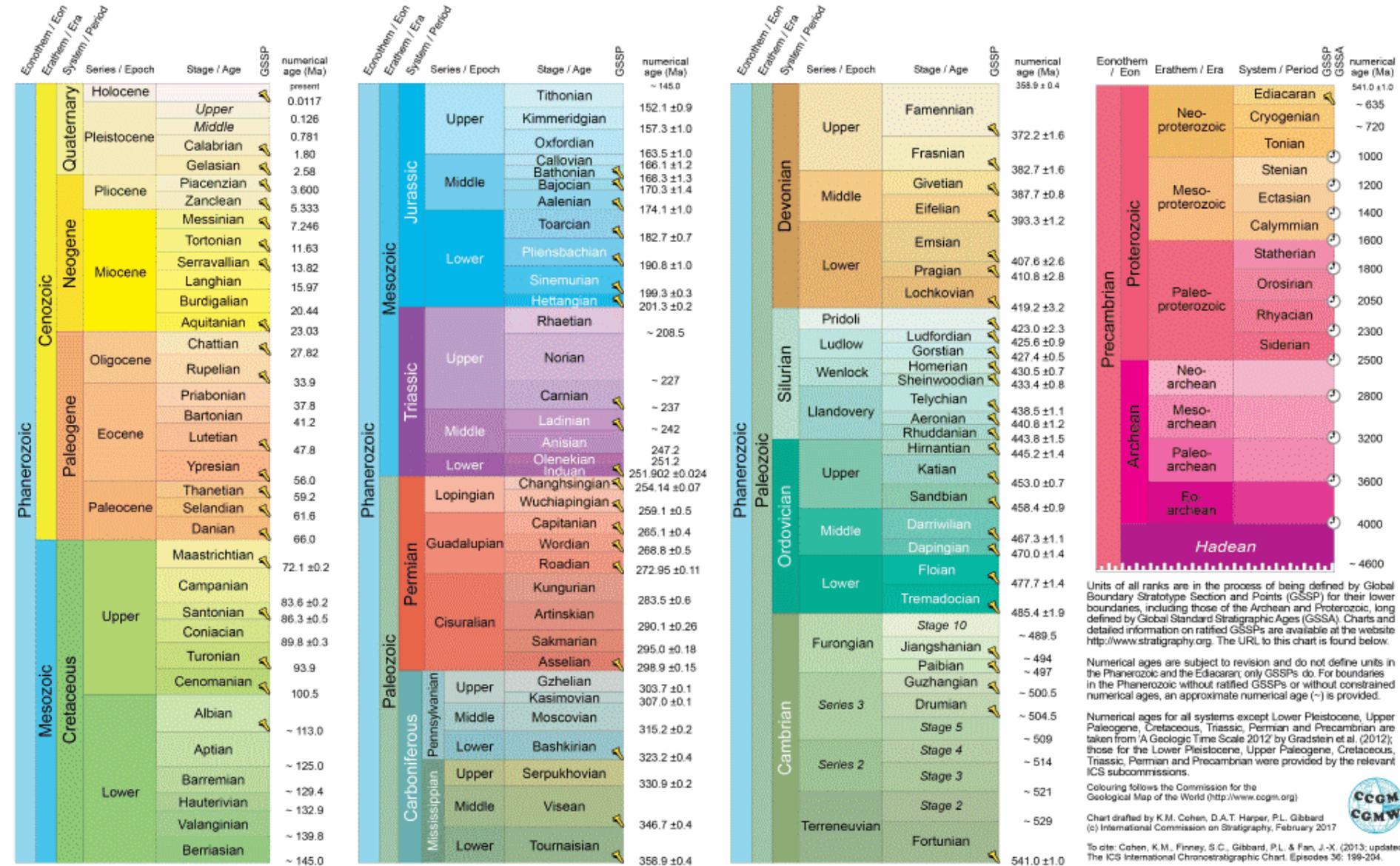


INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2017/02



Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran; only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (~) is provided.

Numerical ages for all systems except Lower Pleistocene, Upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012); those for the Lower Pleistocene, Upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian were provided by the relevant ICS subcommissions.

Colouring follows the Commission for the Geological Map of the World (<http://www.cgmw.org>)



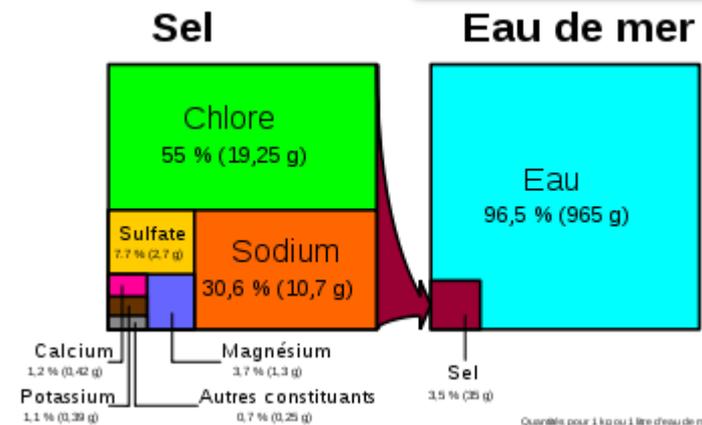
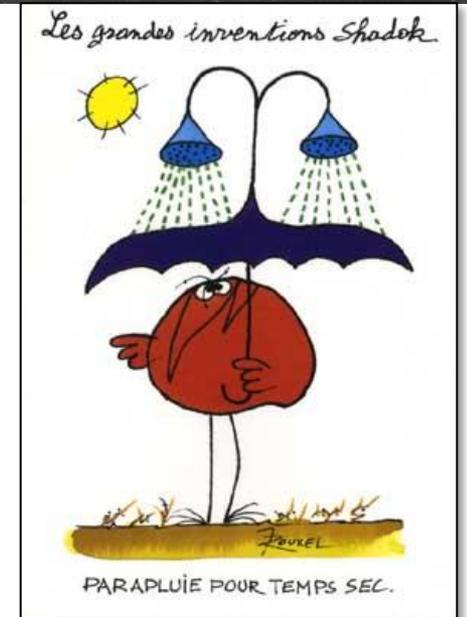
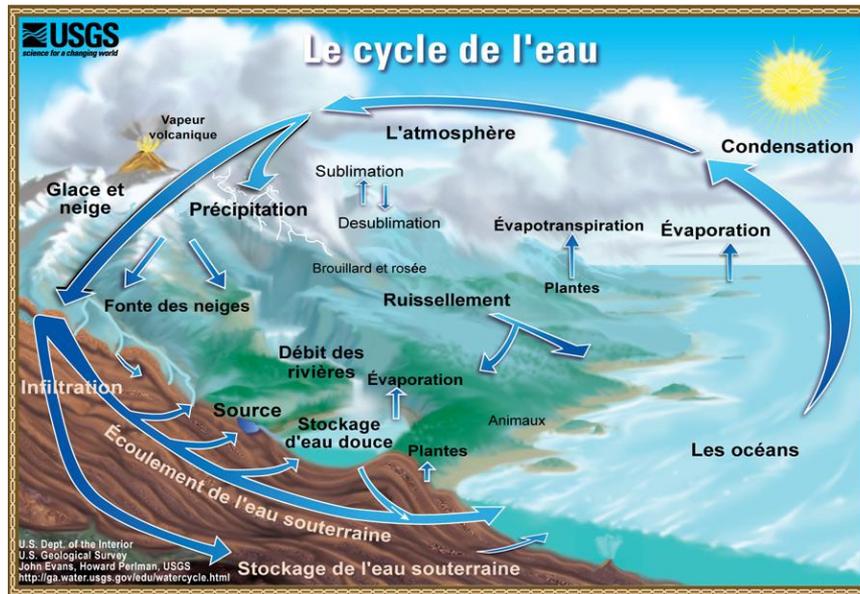
Chart drafted by K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard (c) International Commission on Stratigraphy, February 2017

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013) updated! The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2017-02.pdf>

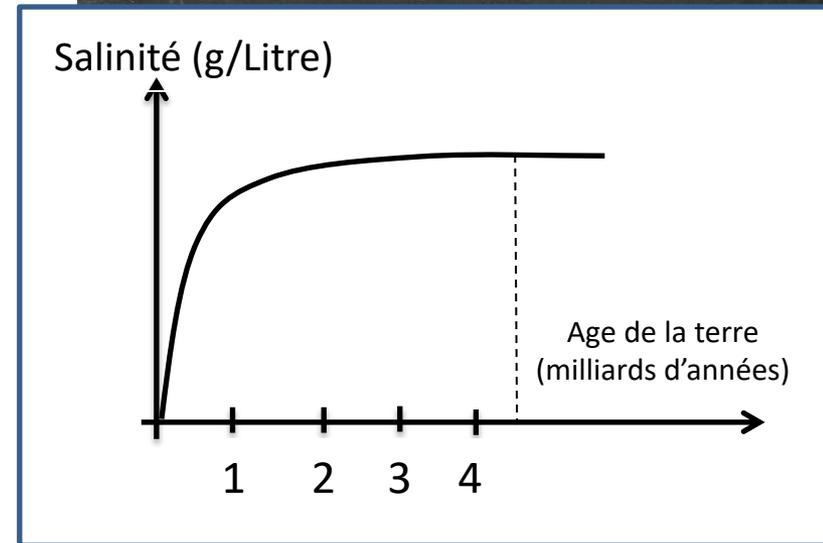
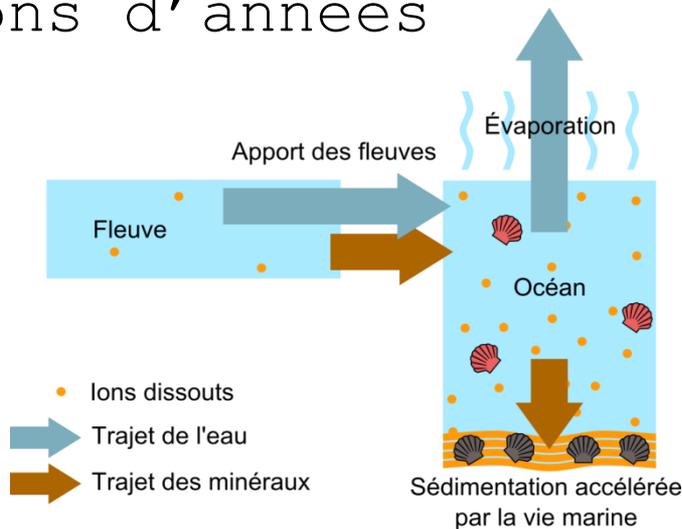
2^e approche: la salinité des océans

- Salinité de la mer
 - ✓ ~35 g/Litre
- Salinité des rivières
 - ✓ ~ 10-20 mg/Litre
 - ✓ ~ 2-4 milliards de tonnes de sels / an



Encore un problème de linéarité

- Salinité dépend aussi
 - ✓ Sédimentation
 - ✓ Évaporation
 - ✓ Activité chimique et biologique
- Stable depuis ~200 millions d'années



3^e approche: le refroidissement

- Idée proposée par Georges Buffon (1707-1788)
 - ✓ La terre était d'abord un globe en fusion qui s'est refroidi
 - ✓ Quelques 100 000s ans

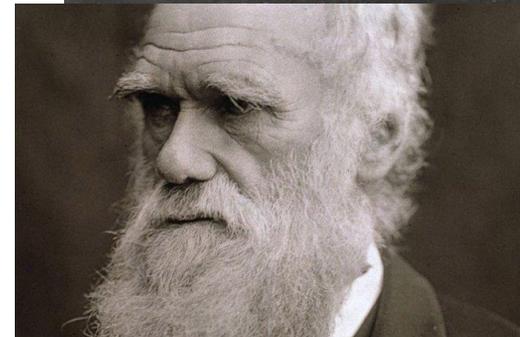
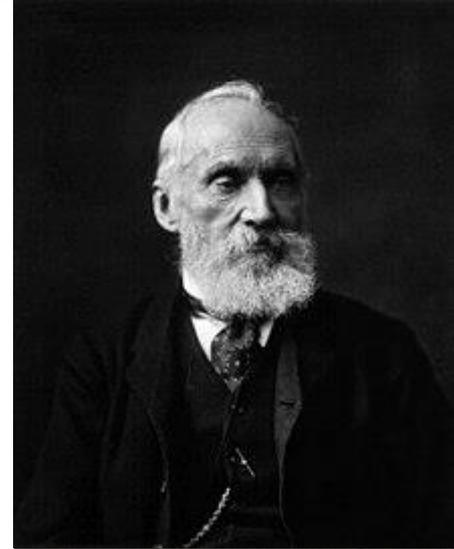
COMMENCEMENT, FIN & DURÉE de l'existence de la NATURE ORGANISÉE dans chaque PLANÈTE.

COMMENCEMENT.	FIN.	DURÉE absolue.	DURÉE à dater de ce jour.
		ans.	ans.
de la format. de la format.	de la format. de la format.		
V.Satel. de Sat. 5161 des Plan.	47558 des Plan.	42380...	0...
LA LUNE. 7890	72514	64624...	0
M A R S . . . 13685	60326	56541...	0
IV.Satel. de Sat.18399	76525	58126...	1693
IV.Satel. de Jup.23730	98696	74966...	23864
MERCURE... 26953	187765	161712...	112933
LA TERRE. 35985	168123	132140...	93291
III.Satel. de Sat.37672	156658	118086...	81826
II.Satel. de Sat.40373	167928	127655	93095
I.Satel. de Sat.42021	174784	132763...	99952
VÉNUS. . . .44067	228540	184473...	153708
An. de Sat....56396	177568	121172...	102736
III.Satel. de Jup.59485	247401	187918	172569
SATURNE... 62926	262020	199114...	187188
II.Satel. de Jup.64466	271098	206602	196266
I.Satel. de Jup.74724	311973	237149...	237141
JUPITER.... 115623	483121	367498...	

Pascal Richet

La controverse

- 1859: Darwin publie *L'origine des espèces*.
- 1864: Maxwell réunit le magnétisme et l'électricité en une seule théorie l'électromagnétisme
- Lord Kelvin contre Charles Darwin
 - ✓ Enjeu: la théorie de l'évolution elle-même
- La réponse viendra plus tard
 - ✓ Voir la semaine prochaine



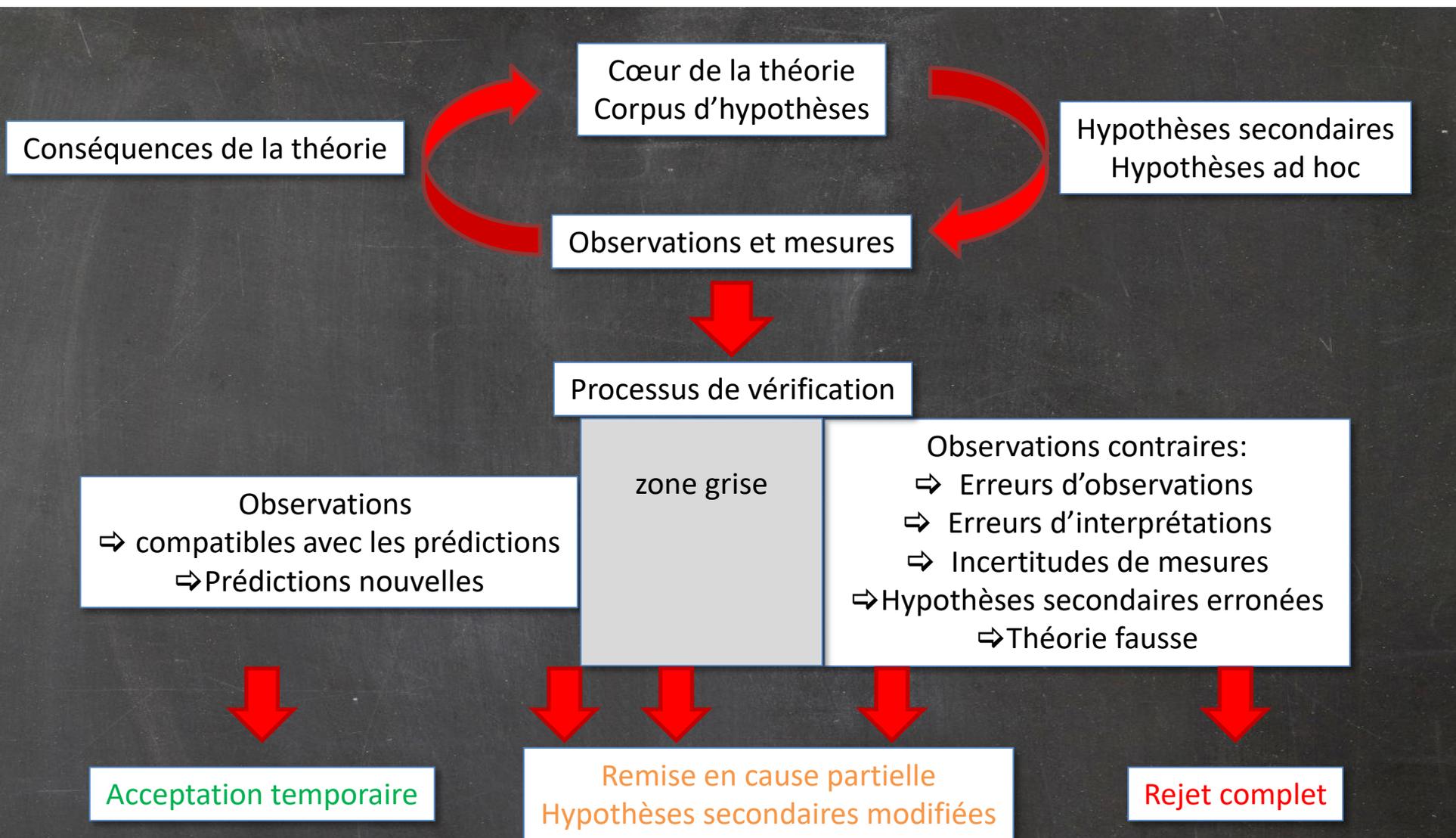
Que penser des ces méthodes ?

- En un sens elles sont toutes scientifiques
 - ✓ Utilisation des connaissances de l'époque
 - ✓ Formulations d'hypothèses de bases
 - ✓ Construction d'un modèle
 - ✓ Prédiction
 - ✓ Tentatives de comparaisons / vérifications

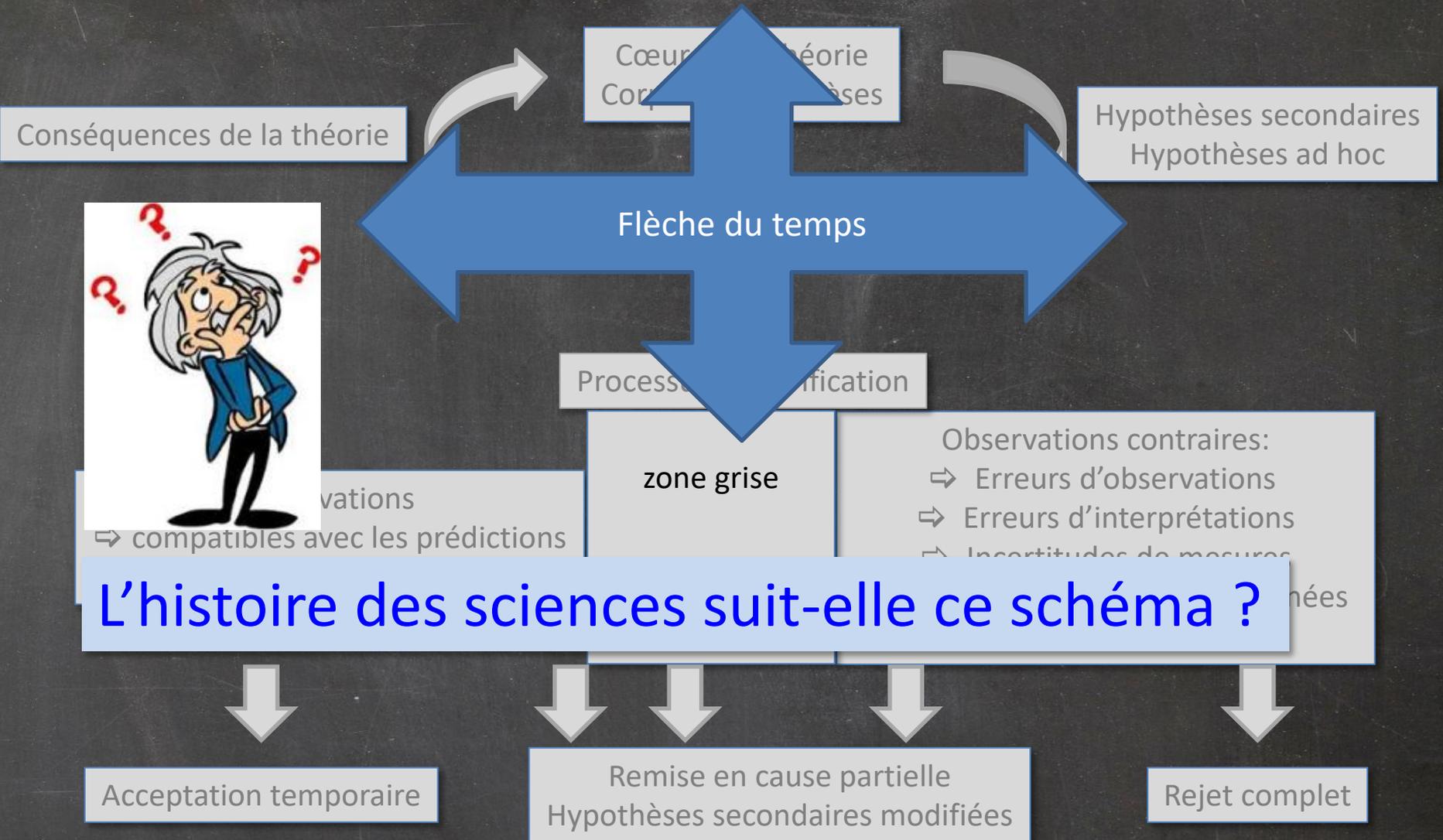
Comment vérifier quand on dispose d'un seul objet d'étude (la terre, l'univers) ?

- Age de l'univers (~14 milliards d'années)
 - ✓ Méthodologie analogue
 - ✓ Pourquoi cette prédiction est plus probable ?
 - Différentes approches qui donnent des résultats compatibles
 - Théories/Modèles qui prédisent d'autres choses vérifiées par ailleurs

Un schéma (faux et simplificateur)

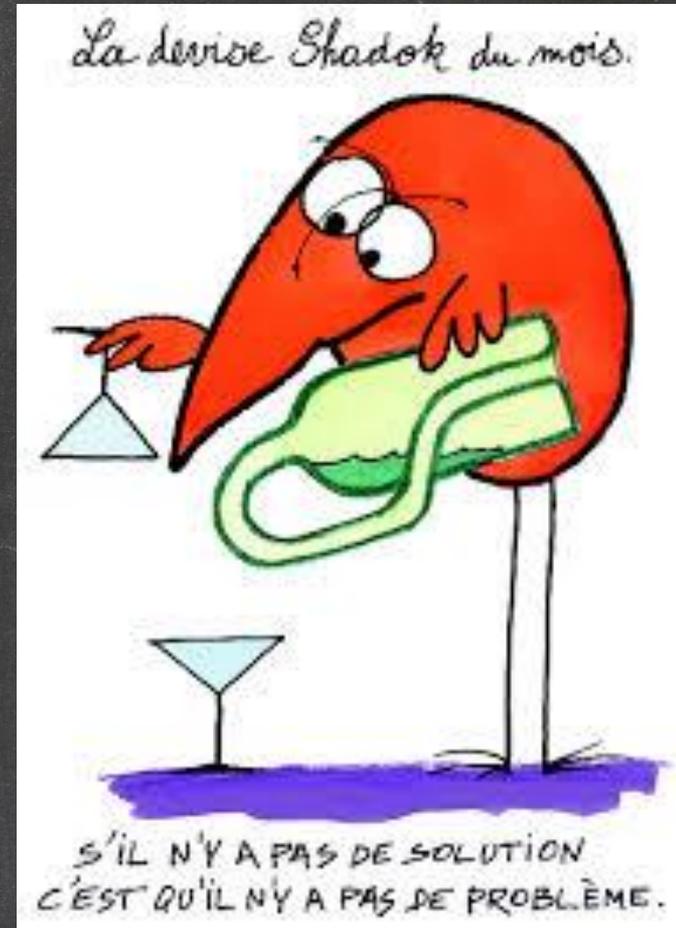


Un schéma (faux et simplificateur)



Mais alors comment définir ce qui est scientifique ?

- Lorsqu'une observation est incompatible avec la théorie, la théorie n'est pas nécessairement rejetée
 - ✓ Vision de K. Popper trop naïve (Réfutabilité)
 - ✓ Décalage temporel entre la prédiction et la réfutation
 - Il faut laisser le temps à la théorie de s'installer et de se raffiner
 - ✓ Une mise en cause partielle peut suffire
 - ✓ On n'a pas forcément mieux en magasin...
 - ✓ L'apport de la théorie actuelle peut rester suffisamment satisfaisante dans la plupart de ses domaines d'application
 - La fécondité d'une théorie est un facteur déterminant quant à sa survie
- Ça ne veut pas dire qu'invalider une théorie ne sert à rien
 - ✓ L'erreur fait partie du processus
 - ✓ La science possède une capacité à se corriger



Définition simple de la science contredite par l'histoire ?

« Une nouvelle théorie ne triomphe jamais, ce
sont ses adversaires qui finissent par mourir. »

Max Planck

FIN

La semaine prochaine:
Incertitudes probabilités et statistiques