

Réflexions sur la science (3)

- Preuve scientifique
- Estimations, mesures
 - Confiance et incertitudes
 - Exactitude, précision

Julien RAMONET
Juin 2025

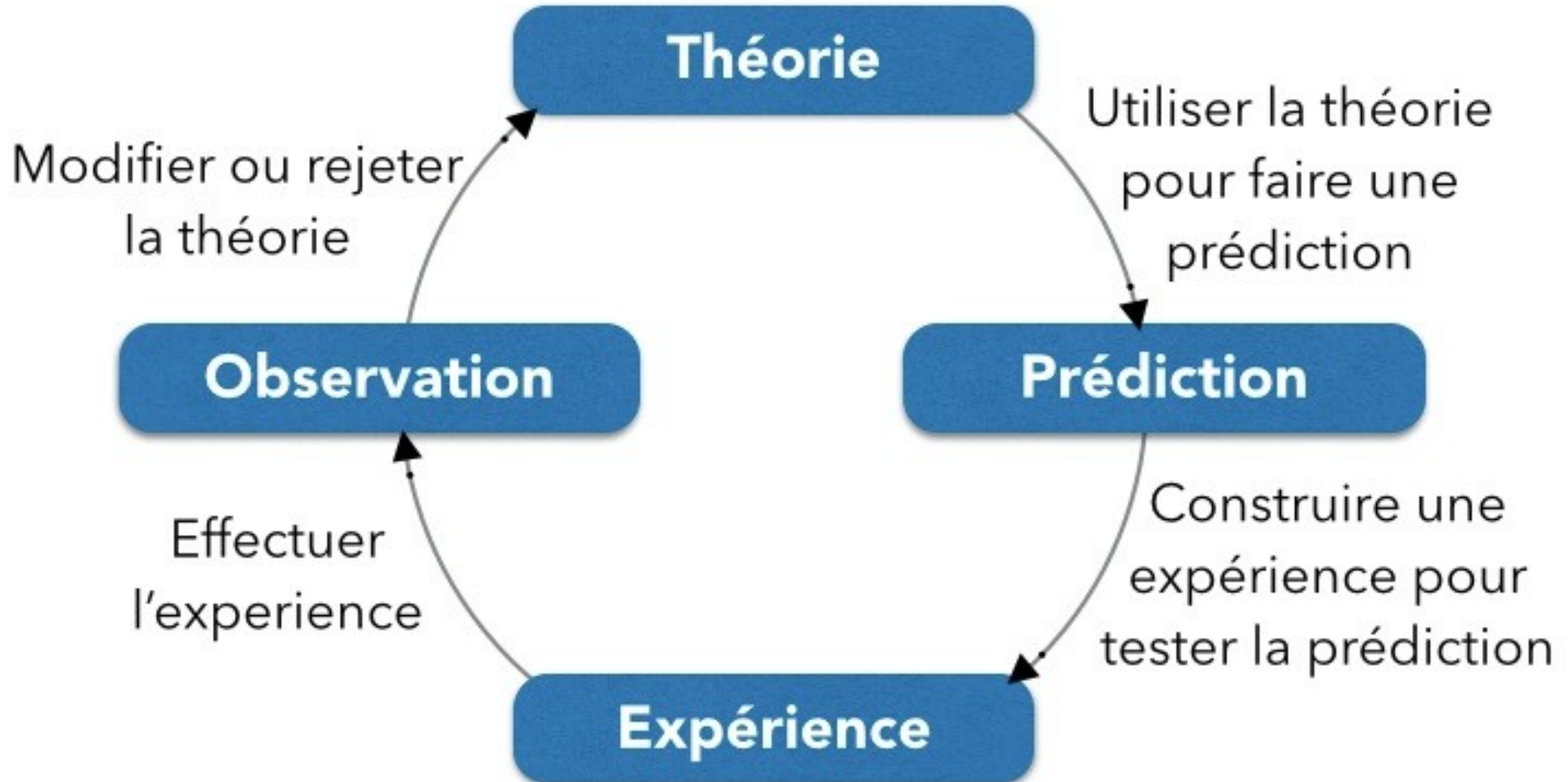
Pour une meilleure compréhension, certaines explications
pourront être légèrement simplifiées/tronquées
Images : Wikipedia sauf mention contraire



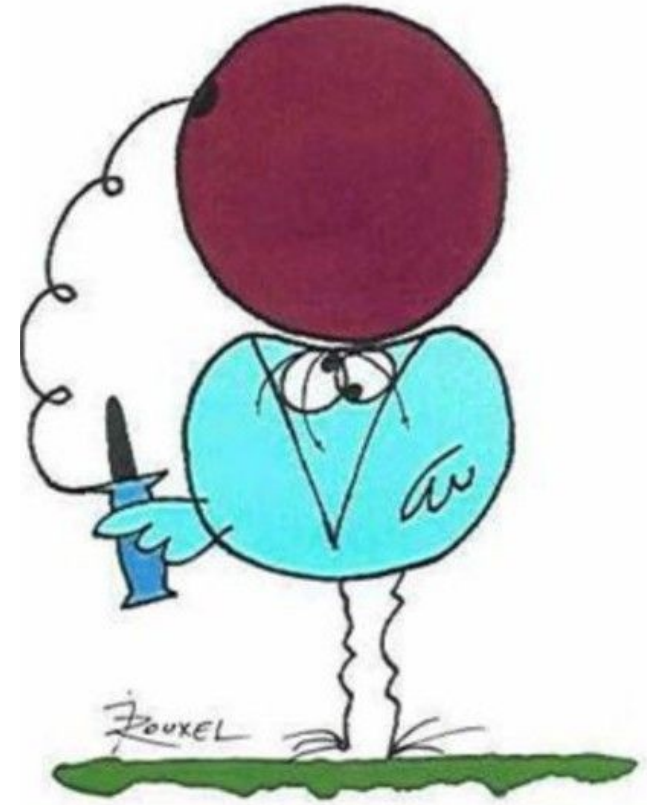
Notions utilisées :

- 51. Réflexions sur la science 1
- 52. Réflexions sur la science 2

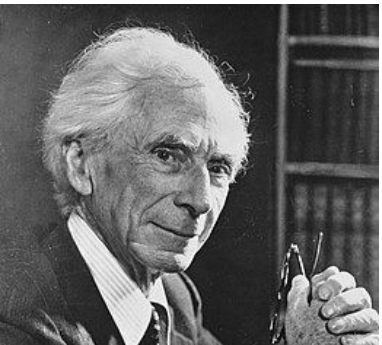
Évolution du savoir scientifique



La preuve scientifique



EN ESSAYANT CONTINUUELLEMENT
ON FINIT PAR RÉUSSIR. DONC:
PLUS ÇA RATE, PLUS ON A
DE CHANCES QUE ÇA MARCHE.



Bertrand Russel :
« Donnez-moi de bonnes raisons de penser ce que vous pensez. »

Vérité par l'exactitude

- La « Vérité » objective existe mais elle est inaccessible
- Ex des constantes de la nature π , e , φ : nb infini de décimales donc « inconnaissables » parfaitement / exactement
- + théorème de Gödel, théorie du chaos, quantité d'informations à gérer
- Quelques **vérités objectives** qui déclenchent de la polémique, pour ne pas dire un certain malaise... :
 - Les tours 1 et 2 du WTC ne se sont pas effondrées, elles se sont **vaporisées**
 - Une explication qui ne le prend pas en compte / ne l'explique pas ne vaut rien
 - Les injections ARNm ont bénéficié d'une AMM **conditionnelle** en décembre 2020, l'AMM **définitive** est arrivée en octobre 2022
 - Pfizer = société pharmaceutique la plus condamnée (10+ milliards de dollars depuis 2000)



<https://www.drjudywood.com/wp/dustification/>
https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/16/rapports/ots/l16b2707_rapport-information
<https://blurt.blog/blurt-194344/@cleanenergygarro/6ylhgt-petition-for-dr-judy-wood-to-s-hare-her-findings-with-congress>
https://www.liberation.fr/checknews/le-groupe-pfizer-a-t-il-ete-condamne-par-le-passe-a-des-milliards-de-dollars-damendes-20220106_RP6Q4O5BKBFUBAGN2DI3SCYN3I/

Le doute

- Poincaré : « **Douter de tout ou tout croire, ce sont deux solutions également commodes, qui l'une et l'autre nous dispensent de réfléchir.** »
- Il faut apprendre à **douter à bon escient**
 - Devrait être la mission principale de l'enseignement
 - But de ces émissions !
 - cf. ordres de grandeur – ce résultat est-il plausible ?
 - Quels sont mes biais ?



Zététique et politique

- La zététique ne s'applique pas en psychologie / politique
 - Mensonges, manipulations, syndrome de la grenouille
 - 12/2020, EM : « Je l'ai dit, je le répète : le vaccin ne sera pas obligatoire. Ayons confiance en nos chercheurs et médecins. Nous sommes le pays des Lumières et de Pasteur, la raison et la science doivent nous guider »
 - 2021, puis 2022 : pass sanitaire puis pass vaccinal

Car nous savons tous, désormais habitués, qu'une fois le soufflé retombé, la même loi sous un autre nom sera unanimement votée par la gauche et la droite, comme la directive Bolkenstein de sinistre mémoire, qui incarnait à elle seule le « non » à la Constitution et qui fut finalement votée en douce, soi-disant amendée, par tout le Parlement européen réconcilié, avec la bénédiction tartuffesque des forces de gauche.

Alain Soral, « Plus con, tu meurs »

Tableau de synthèse

D'après

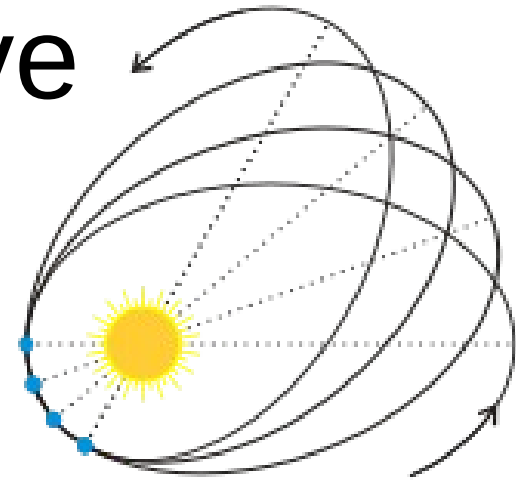


Théorie	Raisonnement employé				Force de la preuve
Mathématiques	Démonstration				Absolue
Réalité physique	Théorisable ?	Confrontation théorie / réel ?	Modélisable mathématiquement ?	Expérimentable ?	
Physique, chimie	✓	✓	✓	✓	Très forte*
Cosmologie	✓	✓	✓	✗	Forte*
Biologie	✓	✓	✗	✓	Forte*
Origine, évolution	✓	✓	✗	✗	Dépend des résultats de la confrontation théorie / réel
Univers parallèles, pré big-bang, ...	✓	✗	✗	✗	Pas de preuves, spéculation pure
Réalité humaine					
Sciences humaines	✓	✓	✓ / ✗	✓ / ✗	Faible, changeante
Histoire	✗	✗	✗	✗	Dépend du nombre et de la crédibilité des documents et des témoignages

* si résultats vrais et honnêtes

L'exemple n'est pas la preuve

- Ni **les** exemples...
- Ni le(s) **témoignage(s)**
- Ni une **majorité** de personnes d'accord
 - Coluche : « C'est pas parce qu'ils sont nombreux à avoir tort qu'ils ont raison ! »
- **Millefeuille argumentatif** : ce n'est pas parce qu'il y a bcp d'arguments que la thèse est vraie. Ils peuvent être tous faux...
- Voir la notion d'**inférence** et ses limites / risques
- En science, il n'y a pas d' « exception qui confirme la règle »...
 - L'exception est une invitation à raffiner / revoir la théorie
 - Exemples :
 - catastrophe UV, spectres discrets des atomes, effet photoélectrique
→ mécanique quantique
 - Expérience de Stern et Gerlach → spin
 - Violation de C, CP, ...
 - (accélération de l')expansion de l'Univers
 -



Nature de la preuve (1)



- Différent d'une preuve mathématique (=démonstration à partir d'axiomes / de propositions) → preuve **empirique**
- Qu'est-ce qui constitue une **preuve valable** ?
 - Objective, quantifiable, réplicable (théorie falsifiable)
- Question de la preuve historique
- Notion également importante en droit !
 - *Actori incumbit probatio* : « La charge de la preuve incombe au demandeur. »
 - Notion de présomption
- Exemples :
 - Chantal Frei : personne habillée à l'identique, même caddie de courses
 - Bilocation de Mère Yvonne-Aimée de Malestroit (1943) :
 - De Gaulle : « J'espère que vous n'êtes pas à Londres en même temps, en train de vous faire décorer par Churchill. »
 - Jean-Pierre Girard : barres de fer tordues

La preuve en droit

- Les modes de preuve :

- Preuve **écrite** : actes authentiques ou sous seing privé
- Preuve **testimoniale** : témoignages de tiers
- Preuve **par présomption** (ou indice) : éléments indirects soumis à interprétation
- **L'aveu** : reconnaissance d'un fait en sa défaveur
- **Le serment** : déclaration solennelle engageant responsabilité / honneur

→ **question de la bonne foi des témoignages, de la moralité des mis en cause et témoins**

- Les systèmes de preuve :

- Preuve **légale** : définie par la loi, hiérarchie édictée par la loi
- Preuve **libre** ou **morale** : tous les moyens sont recevables, appréciation du juge
- Preuve **mixte** : combinaison de preuve légale et de preuve mixte



Nature de la preuve (2)

Documents à l'appui, le secrétaire d'État a égrené les accusations américaines hier à l'ONU

Irak : Powell ne gagne pas la bataille des preuves

Le secrétaire d'État américain, Colin Powell, a dressé hier à l'ONU un sévère réquisitoire contre l'Irak, l'accusant, photos et bandes sonores à l'appui, de posséder des armes prohibées, de se jouer des inspections et d'avoir des liens avec al-Qaïda.

Lors d'un exposé de près d'une heure et demie, M. Powell, qui était accompagné du directeur de la centrale américaine de renseignements (CIA), George Tenet, a fait écouter des enregistrements de conversations entre des individus qu'il a présentés comme des officiers supérieurs irakiens, parlant d'évacuation de matériel.

Il a montré des photos prises par satellite prouvant, selon lui, que des sites inspectés avaient été vidés quelques minutes avant l'arrivée d'inspecteurs de l'ONU,

et estimé que le régime de Bagdad avait choisi de ne pas coopérer et devrait sous peu en payer le prix.

Douze des quinze pays membres du Conseil de sécurité, dont les cinq membres permanents (Chine, États-Unis, France, Grande-Bretagne et Russie), avaient envoyé leur ministre des Affaires étrangères pour cette réunion. Trois autres (Angola, Guinée et Syrie) étaient représentés par leur ambassadeur à l'ONU. Le secrétaire général de l'ONU, Kofi Annan, était également présent, ainsi que les chefs des inspections en désarmement de l'Irak, Hans Blix et Mohamed ElBaradei.

M. Powell s'était donné 90 minutes pour convaincre : une tâche d'autant plus difficile qu'une majorité du Conseil est pour l'instant opposée à l'idée d'une interven-

tion militaire contre l'Irak, insistant sur la poursuite des inspections de l'ONU reprises après quatre ans d'inter interruption fin novembre.

L'Irak, qui n'est pas membre du Conseil, était représenté par son ambassadeur à l'ONU, Mohamed al-Douri.

La France a souhaité le renforcement des missions des inspecteurs en désarmement de l'ONU en Irak et a proposé notamment le déploiement de Mirage IV d'observation pour mieux couvrir le pays. Le ministre des Affaires étrangères, Dominique de Villepin, a souligné devant le Conseil de sécurité que Paris n'exclut pas le recours à la force contre l'Irak en dernier recours si les efforts diplomatiques n'aboutissent pas à son désarmement.

Pages 2 et 3



Pour étayer sa démonstration, le secrétaire d'État américain n'a pas hésité à brandir un tube censé contenir une dose de bacille du charbon, comme en détenait Saddam Hussein en grande quantité. (Photo T.A. Gary/EP)

- Et pourtant 2nde invasion de l'Irak en mars 2003...
- Pas de zététique en politique !
- N'est-ce pas une façon de nous montrer notre impuissance ??

Français, Russes et Chinois sur la même ligne

« Une amitié ». Ainsi a réagi le commentateur de la télévision irakienne après le réquisitoire de Colin Powell contre l'Irak devant le Conseil de sécurité de l'ONU. Le ministre britannique des Affaires étrangères, Jack Straw, a quant à lui affirmé que « Saddam Hussein nous défie tous, et chacune des nations qui nous représentent ».

En revanche, le ministre russe des Affaires étrangères, Igor Ivanov, a insisté sur la poursuite des inspections de l'ONU en Irak : « Seuls les inspecteurs peuvent recommander combien de temps il leur faut » pour accomplir leur mission, a-t-il indiqué. Une ligne dé-

fendue par le chef de la diplomatie chinoise, Tang Jiaxuan, qui recommandait également « la poursuite de ces travaux (des inspections) ».

Pour sa part, le ministre français des Affaires étrangères, Dominique de Villepin, toujours opposé à l'usage prématuré de la force, a proposé un renforcement significatif des moyens de la mission d'inspection des Nations unies en Irak, en personnel et en matériel. Une solution médiane, selon Paris, entre « l'intervention militaire et un régime d'inspections insuffisant en raison d'un défaut de coopération de l'Irak ».

<https://www.lefigaro.fr/histoire/archives/il-y-a-20-ans-le-discours-marquant-a-l-onu-de-dominique-de-villepin-contre-la-guerre-en-irak-20230214>

Crédibilité de la preuve

- **Crédibilité du « témoin »**
 - Très important en justice
 - ***Argumentum ad hominem*** : on met en cause la cohérence des propos d'une personne en invoquant ses paroles / actions passées
 - Ex : Rousseau a écrit un livre sur l'éducation des enfants sans jamais en avoir eus lui-même
 - Ne pas confondre avec un ***argumentum ad personam***, qui vise directement la personne et pas les propos (***argumentum ad rem***)
 - **Principe** : on ne se justifie pas soi-même
 - On n'est pas son propre témoin à décharge...
 - (Ni à charge = 5^{ème} amendement US)
 - Les faux :
 - Intelligence artificielle (audio, vidéo) → *deepfakes*
Ex du procès de Dieudonné
- Défense fantaisiste mais vrai**
problème pour la justice : au tribunal,
Dieudonné invoque un "deepfake"
- Fausses études avérées

D'où l'importance de la **reproductibilité** en science

La maxime de Hume

« A wise man, therefore,
proportions his belief to the
evidence. »

« Ainsi, un homme sage
proportionne sa croyance
aux preuves. »

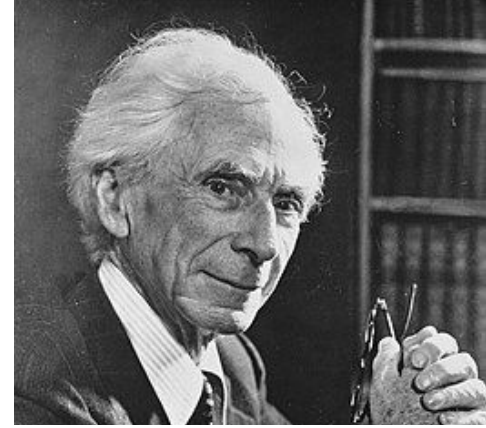


La charge de la preuve

- Notion fondamentale en science et en droit
- **La charge de la preuve incombe à la personne qui affirme**
- **Rasoir de Hitchens** : « Ce qui peut être affirmé sans preuve peut également être rejeté sans preuve »
(= « *quod gratis asseritur, gratis negatur* »)
 - On peut rejeter l'affirmation sans avoir à prouver qu'elle est fausse, car la charge de la preuve incombe à l'autre
 - Exemples : Dieu, la vie après la mort, ...
- **Attention, ce qui n'est pas prouvé n'est pas nécessairement faux !**
- **Inversion de la charge de la preuve** : on fait porter la démonstration de l'inverse de ce que l'on affirme sur son interlocuteur
 - Une de ses formes = « **appel à l'ignorance** » : on considère une proposition comme vraie parce qu'elle n'a pas été réfutée
 - Exemples : Dieu, la vie après la mort, ...

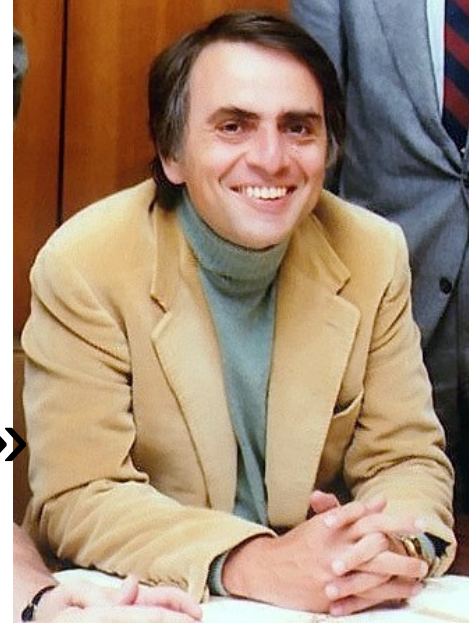
Théière (céleste) de Russell

But : contester l'idée que la charge de la preuve des croyances religieuses doit reposer sur les personnes sceptiques



- « De nombreuses personnes orthodoxes parlent **comme si c'était le travail des sceptiques de réfuter les dogmes plutôt qu'à ceux qui les soutiennent de les prouver**. Ceci est bien évidemment une erreur.
- Si je suggérais qu'**entre la Terre et Mars se trouve une théière de porcelaine** en orbite elliptique autour du Soleil, **personne ne serait capable de prouver le contraire** pour peu que j'aie pris la précaution de préciser que la théière est trop petite pour être détectée par nos plus puissants télescopes.
- Mais, si j'affirmais que, comme **ma proposition ne peut être réfutée, il n'est pas tolérable pour la raison humaine d'en douter**, on me considérerait aussitôt comme un illuminé.
- Cependant, si l'existence de cette théière était décrite dans des livres anciens, enseignée comme une vérité sacrée tous les dimanches et inculquée aux enfants à l'école, alors toute hésitation à croire en son existence deviendrait un signe d'excentricité et vaudrait au sceptique les soins d'un psychiatre à une époque éclairée, ou de l'Inquisiteur en des temps plus anciens. »

Principe de Sagan



- « Des affirmations extraordinaires nécessitent des preuves extraordinaires »
- (Idée déjà formulée au XIXe)
- Mais qu'appelle-t-on « extraordinaire » ?
 - Ou « suffisant » ?
 - Introduit de la **subjectivité** dans le principe

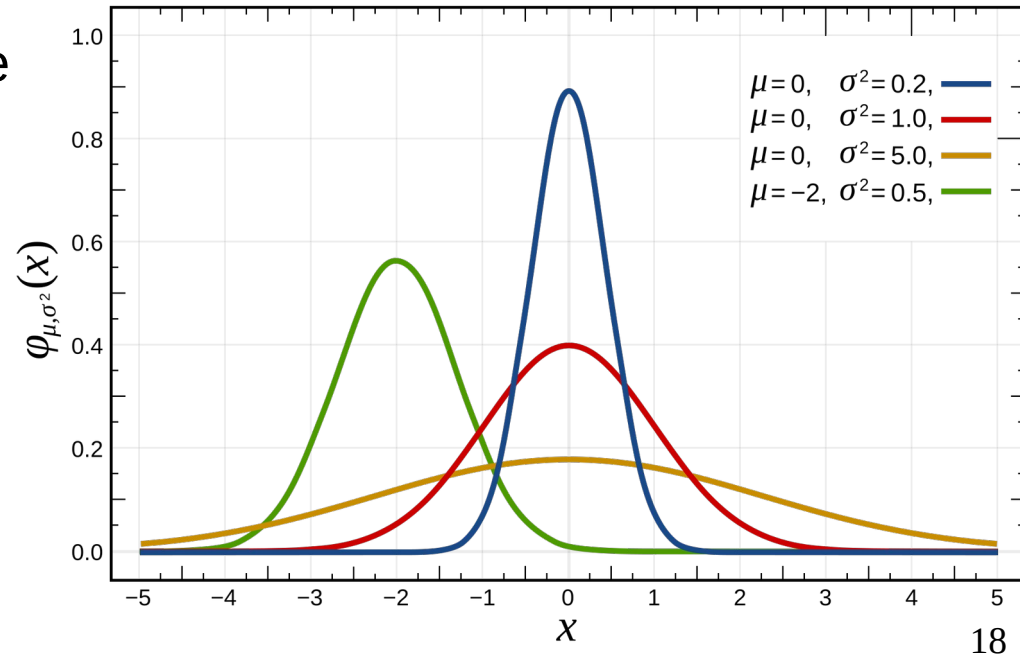
Estimations
et mesures



La loi « normale » (1)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

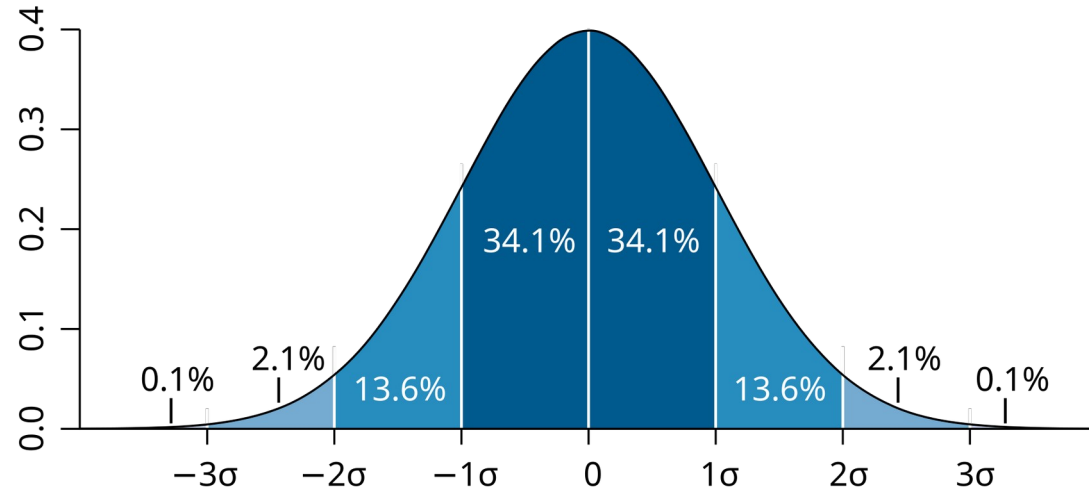
- Ou « loi de Gauss », « courbe en cloche »
- Deux paramètres :
 - **moyenne** (μ , espérance) = centre
 - **écart-type** (σ , lié à variance) = largeur
- **Loi de probabilité fondamentale décrivant la nature** : taille, QI, dim. d'une pièce, nb de SMS envoyés pendant une période...
 - Limite des grands nombres pour d'autres lois (binomiale, Poisson)
 - Aire totale sous la courbe = 1
 - Ex : la taille des femmes suit $N(165,7)$
- Dans le langage courant, on confond normal / souhaitable, pas normal / pas acceptable
(cf. Larousse : normal = juste, équitable)



La loi « normale » (2)

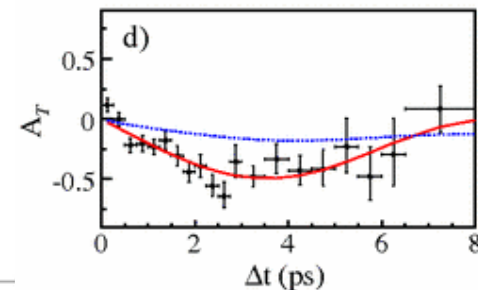
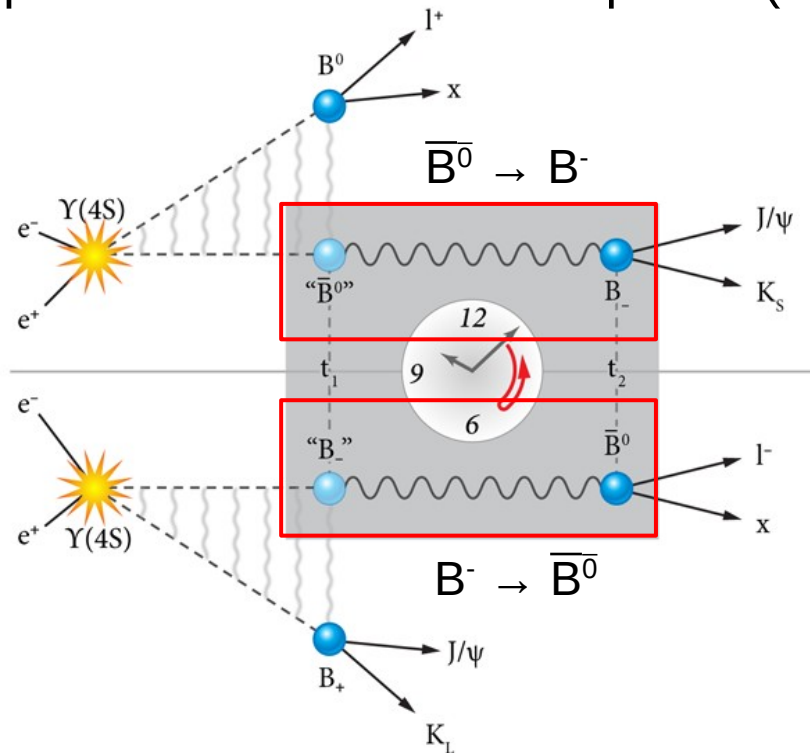
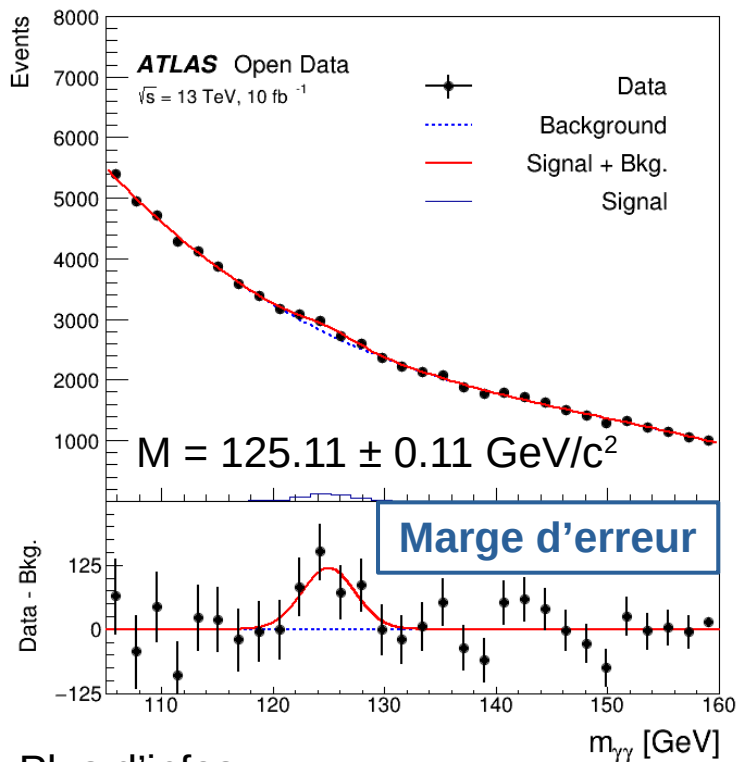
- Règle des 68 – 95 – 99,7 %
- Ex pour $N(165,7)$
 - 68 % de proba/population à $\mu \pm 1 \sigma$
(femmes entre 1,58 m et 1,72 m)
 - Donc ~ 32 % en-dehors,
16 % au-dessus, 16 % en-dessous
 - 95 % à $\mu \pm 2 \sigma$
(entre 1,50 m et 1,79 m)
 - Donc $\sim 1/22 \approx 5$ % en dehors
 - 99,7 % à $\mu \pm 3 \sigma$
(entre 1,43 m et 1,86 m)
 - Donc $\sim 1/370 \approx 0,3$ % en-dehors

1 chance sur 1,75 millions
d'être en-dehors des 5σ



Les 5 σ

- En physique, on considère une découverte valide au-delà de « 5 sigma » = **moins d'une chance sur 1 million de se tromper** et de **reconnaître un phénomène nouveau** là où il n'y aurait que des fluctuations statistiques
- On peut même envisager des seuils supérieurs (7σ) pour des phénomènes très « exotiques » (ex : pentaquarks)



Ajustements **avec** ou **sans** hypothèse de la violation de T

Plus d'infos :
home.cern.fr/resources/faqs/five-sigma

https://root.cern/doc/v622/df104_HiggsToTwoPhotons_8py.html
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.109.211801>
https://irfu.cea.fr/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=3263

Hypothèses et incertitudes

- Un résultat de mesure n'a de sens que s'il est accompagné d'une **incertitude**
 - Ex : annonce quotidienne à l'unité près du nombre de morts pendant la crise Covid par Jérôme Salomon (médecin !)
 - → notion d'**intervalle de confiance** : je suis sûr à x % de ce que je dis
- Le résultat d'un raisonnement / d'une estimation n'a de sens que si l'on précise les **hypothèses utilisées**
 - Neil Ferguson : « le covid va faire 500k+ morts au RU et 2,2 M+ aux USA si pas de confinement »
 - I. Aberkane : Quelles sont tes hypothèses ? Quel est ton modèle ?
 - Il finira par démissionner pour non-respect du confinement...



<https://www.radiofrance.fr/franceinter/coronavirus-deces-contaminations-notre-carte-interactive-pour-connaître-la-situation-en-france-3792602>

https://www.libération.fr/checknews/2020/06/03/les-previsions-de-ferguson-qui-ont-conduit-de-nombreux-pays-a-se-confiner-etaient-elles-fantaisistes_1790061/

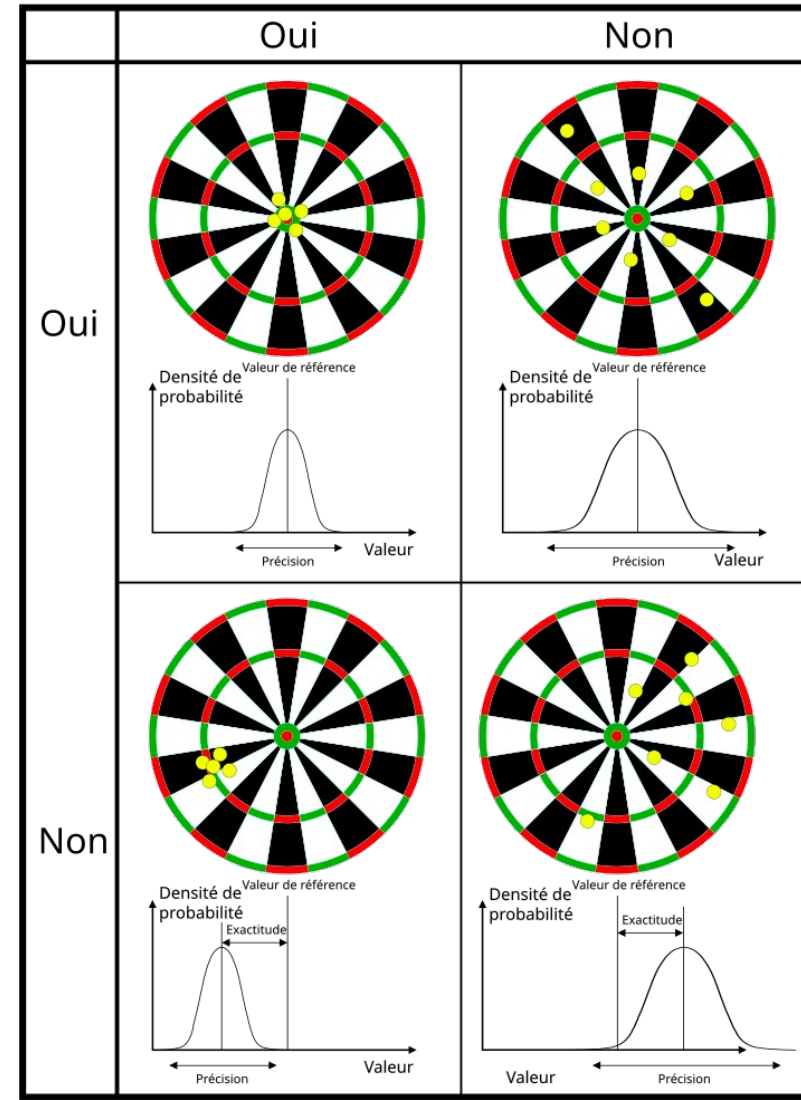
<https://www.bbc.com/news/uk-politics-52553229>

Exactitude & précision

- Pas de consensus sur les termes (**justesse, fidélité, fiabilité, ...**)
- Notion utile en **métrologie** et en **statistiques**
- **Exactitude** (justesse) : le résultat de la mesure / l'estimation est proche de la réalité → **erreur systématique (biais)**
- **Précision** (fidélité) : les résultats des mesures / estimations sont regroupés → **erreur statistique (variabilité)**
 - Précision matérialisée par le nombre de **chiffres significatifs** du résultat
 - Un résultat peut-être **très précis mais faux** !
 - Erreur classique des étudiants qui reportent les nombreux chiffres après la virgule donnés par leur calculatrice
 - Nombre de chiffres significatifs inadapté dans certaines disciplines (ex : marketing agro-alimentaire)
- Quelle précision est réaliste dans mon cas ?
 - Si je mesure un être humain
 - Si je mesure la longueur des côtes françaises
 - Si j'estime le nombre de morts de la covid tous les jours

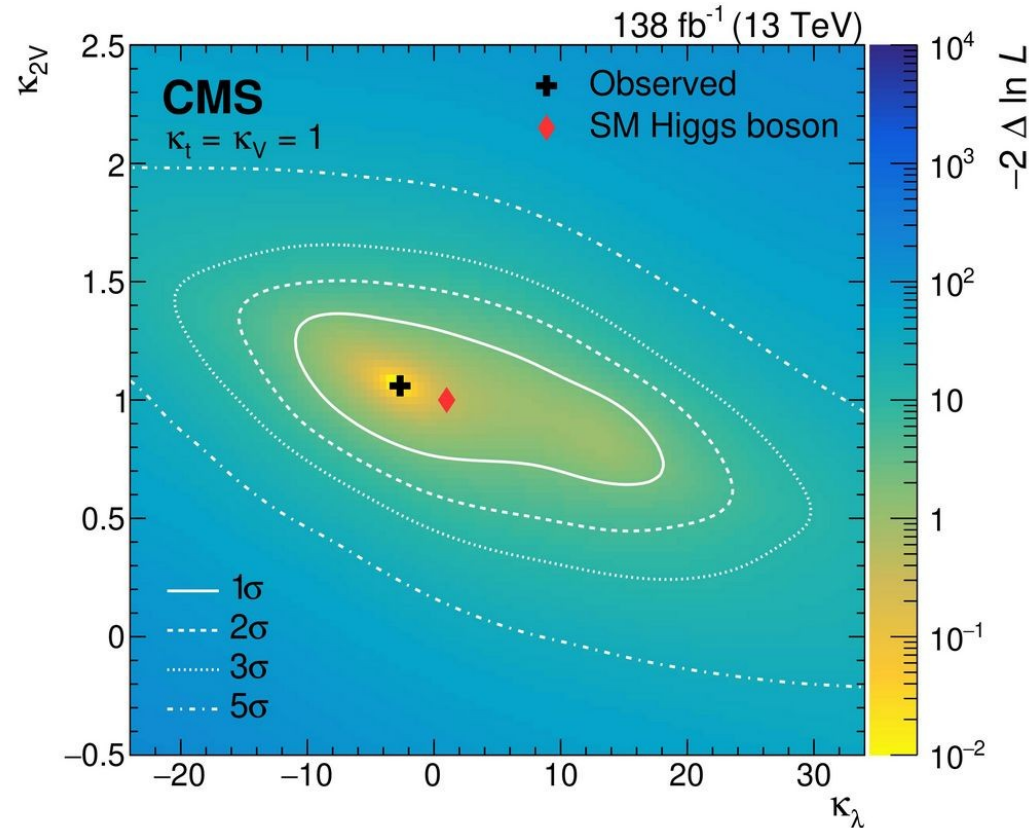
Exactitude

Précision



Le niveau de confiance

- Toute **estimation** / **mesure** doit être accompagnée d'une **marge d'erreur** ($\sim$ écart-type) !
 - Ex : $M_{\text{Higgs}} = 125.11 \pm 0.11 \text{ GeV}/c^2$ (précision de 0,09 % !)
 - M. A / Mme B ont $X \pm y \%$ d'intentions de vote
- Ou d'un **intervalle de confiance** (CL = « confidence level »)
 - Je suis confiant à 90, 95, 99 % que la valeur se situe dans tel intervalle



Les sondages

Problèmes de représentativité, rétributions pour fidéliser les sondés, redressement, incertitude du vote... Les biais des sondages sont nombreux. Les résultats du premier tour pourraient ne pas refléter les sondages. Il convient de les prendre avec prudence et surtout de savoir les lire et connaître leur élaboration.

 **Par Public Sénat**
Temps de lecture : 12 min

Publié le 19/04/2017 à 12:17

Mis à jour le 20/04/2017 à 19:11

Il y a déjà la fameuse marge d'erreur. Si l'on n'en tient pas compte, on tombe dans un biais de lecture et de compréhension du sondage. Par exemple, selon un tableau publié [sur le site de l'Ifop](#) avec son sondage quotidien (le « rolling »), sur un échantillon de 1.500 personnes, la marge d'erreur est de +/- 2 points pour un score autour de 20%. Cette marge d'erreur augmente quand on s'approche des 50%, pour atteindre 2,5 points.

INTERVALLE DE CONFIANCE A 95% DE CHANCE						
Si le pourcentage trouvé est...						
Taille de l'échantillon	5 ou 95%	10 ou 90%	20 ou 80%	30 ou 70%	40 ou 60%	50%
1 000	1,4	1,8	2,5	2,8	3,0	3,1
1 100	1,3	1,8	2,4	2,7	2,9	3,0
1 200	1,2	1,7	2,3	2,6	2,8	2,8
1 300	1,2	1,6	2,2	2,5	2,7	2,7
1 400	1,1	1,6	2,1	2,4	2,6	2,6
1 500	1,1	1,5	2,0	2,3	2,4	2,5
1 800	1,0	1,4	1,9	2,1	2,3	2,3
2 000	1,0	1,3	1,8	2,0	2,2	2,2
2 500	0,9	1,2	1,6	1,8	1,9	2,0
3 000	0,8	1,1	1,4	1,6	1,8	1,8

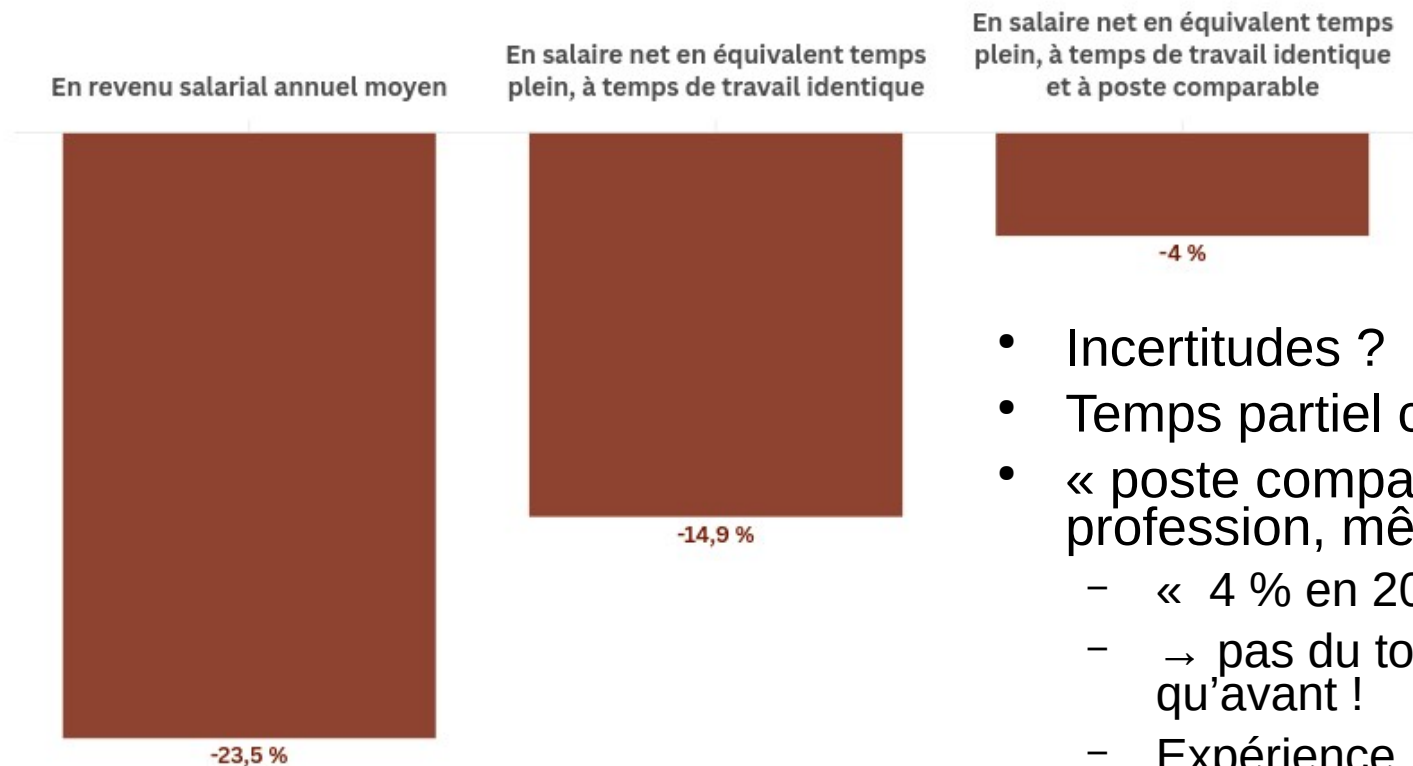
Exemple de lecture du tableau : dans le cas d'un échantillon de **1 500** personnes, si le pourcentage mesuré est de 10%, la marge d'erreur est égale à 1,5. Le vrai pourcentage est donc compris entre **8,5%** et **11,5%**.

<https://www.publicsenat.fr/actualites/non-classe/incertitude-marge-d-erreur-retributions-ce-qu-il-faut-savoir-sur-les-sondages>

Autre exemple

Les trois chiffres à connaître

Écarts de salaire moyen entre les femmes et les hommes en France, en 2022



- Incertitudes ?
- Temps partiel choisi ou subi ?
- « poste comparable » = « même profession, même employeur »
 - « 4 % en 2022, contre 4,3 % [en 2021] »
 - → pas du tout le même ensemble qu'avant !
 - Expérience, âge, négociation, ...
- Et chiffres de la création d'entreprise ?