



---

# Cours de zététique

## Méthodologie scientifique

Sébastien Paumier

*"On prouve tout ce qu'on veut, et la vraie difficulté est de savoir ce qu'on veut prouver." (Alain)*



# Qu'est-ce que la science ?

---

- ensemble de connaissances ?
- domaines du savoir ?
- communauté de savants ?
- sciences théoriques vs pratiques
- sciences dures vs "molles"

⇒ difficile à définir



# Petit test

---

- qui est le plus scientifique ?
  - l'enfant qui se demande pourquoi l'herbe est verte (sans idée sur la réponse)
  - le type sympa qui affirme que les antennes relais donnent le cancer (sans argument)
  - l'homme politique qui prouve que le chômage baisse (sans rappeler comment le chiffre est calculé)
  - le journaliste qui fait un article sur le nouveau régime à la dioxyphéniléthanolisopropilamine (sans sucre)



# Une méthode

---

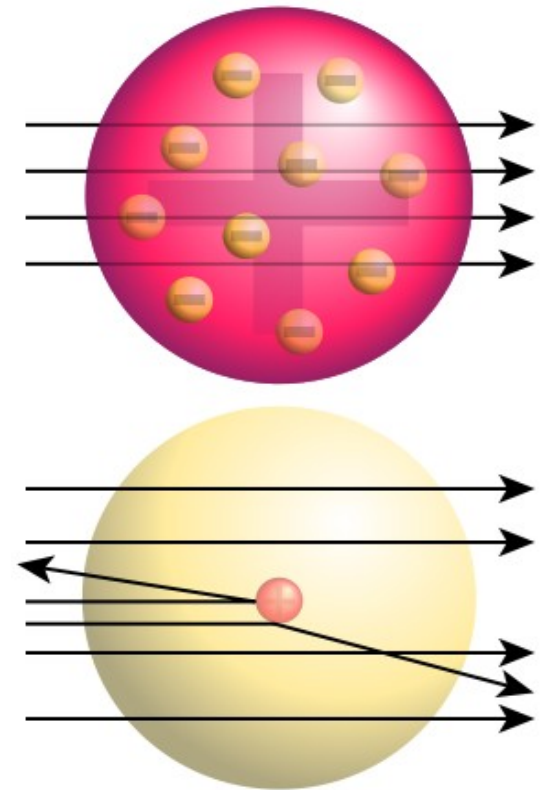
- être scientifique=attitude, pas la conséquence d'un diplôme, ni un acquis immuable
- quelques critères fondamentaux:
  - prépondérance des faits
  - reproductibilité
  - exhaustivité
  - rigueur des expériences
  - importance des incertitudes
  - ouverture d'esprit/esprit critique



# Les faits sont rois

---

- si les faits infirment la théorie, il faut revoir celle-ci
- exemples:
  - fossiles non compatibles avec l'âge présumé de la Terre
  - orbites des planètes non circulaires
  - modèle plum pudding de l'atome et expérience de Rutherford



(image extraite de Wikipedia)



# Accepter l'évidence

---

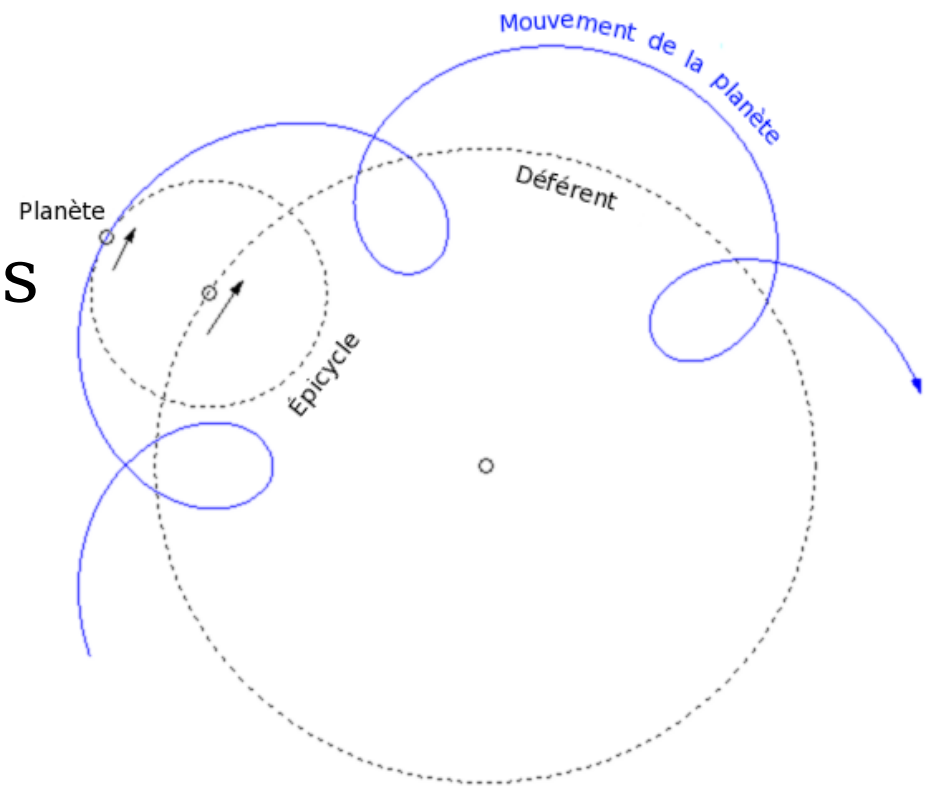
Je me trouvais un jour à Venise chez un médecin fort célèbre; certains se réunissaient là pour leurs études, d'autres par curiosité: cette fois-là, nous venions voir une dissection qu'allait faire un anatomiste aussi savant que soigneux et expert. Il se trouve que ce jour-là on cherchait l'origine et le point de départ des nerfs; on sait que, chez les médecins, une fameuse controverse oppose sur ce point les partisans de Galien et ceux d'Aristote. L'anatomiste montra que l'immense cep des nerfs part du cerveau, passe par la nuque pour s'étendre ensuite le long de l'épine dorsale et se ramifier dans le corps tout entier; au coeur n'arrive qu'un seul fil très fin. Se tournant vers un gentilhomme qu'il savait être philosophe péripatéticien (à cause de sa présence, il avait mis un soin extraordinaire à tout dégager et à tout montrer), il lui demanda s'il était désormais convaincu que les nerfs provenaient bien du cerveau et non du coeur; après un temps de réflexion, le philosophe répondit: "Vous me l'avez fait voir si clairement et sensiblement que, si le texte d'Aristote ne disait pas très clairement au contraire que les nerfs partent du coeur, je serais contraint de le reconnaître."

(extrait de "Dialogue sur les deux grands systèmes du monde", Galilée)



# Ne pas trop bricoler

- il faut savoir adapter une théorie, mais aussi savoir l'abandonner
- exemple des épicycles de Ptolémée:
  - avant: orbites circulaires
  - 1) épicycles simples
  - 2) terre excentrée
  - 3) introduction des équants



(image extraite de Wikipedia)



# Reproductibilité

---

- la nature est sûre
- donc, une expérience doit pouvoir être reproduite indépendamment:
  - des conditions extérieures (l'événement qui ne marche que dans le monastère qui va bien)
  - de l'expérimentateur (pas d'expérience qui ne marche qu'avec une personne très douée)
  - des conditions de contrôle (présence d'observateurs tatillons)





# Protocole

---

- il faut une description très précise pour pouvoir refaire une expérience
- principe de l'article scientifique
- une expérience mal décrite est sans valeur, car incontrôlable
- se méfier des protocoles très compliqués qui ont parfois pour but d'empêcher la vérification



# Contrôle

---

- nécessité d'éliminer le doute par une série significative d'essais
- pour cela, il faut:
  - des sujets/données représentatifs
  - un nombre suffisant d'essais
  - contrôler les variables pouvant perturber les résultats



# Représentativité

---

- élargir suffisamment le champ des observations pour que les mesures aient du sens
- contre-exemples:
  - test d'un médicament sur 10 personnes
  - observer les poules et les autruches, et en conclure que les oiseaux ne volent pas
  - étude sur l'emploi du subjonctif en français ne se basant que sur les œuvres complètes de Joey Starr



# Échantillonnage

---

- vérifier que les données sont homogènes
- exemple:
  - l'analyse d'un texte donne 20% de noms propres; ce n'est pas raisonnable
  - donc, il faut examiner les données
  - or, le texte est un journal daté du 2 juillet
  - et il contient un "léger" biais:

Ont obtenu le baccalauréat: AAMCHI Fouad, AARAB Salim, AARAS Fouad, ABABSA Amira, ABACHIAN Emilie, ABAD Jeremy, ABAD Remi, ABADIE Aurelie, ABADIE Edouard, ABADJIAN Fanny, ABADJIAN Romain, ABADLIA Lydia, ABADLIA Melvina, ABADLIA Sophia, ABARKAN Salim, ABARKANE Saloua, ABASSI Etienne, ABASSI Thomas, ...



# Contrôle de variables

---

- exemple: comparer les consommations de carburant de deux moteurs sur route:
  - même parcours (pente, revêtement, affluence sur la route)
  - mêmes conditions météo (pluie, température, vent)
  - mêmes conditions du véhicule (gonflage des pneus, usure de la transmission, poids total)
  - même façon de conduire
  - etc.



# Respect du protocole

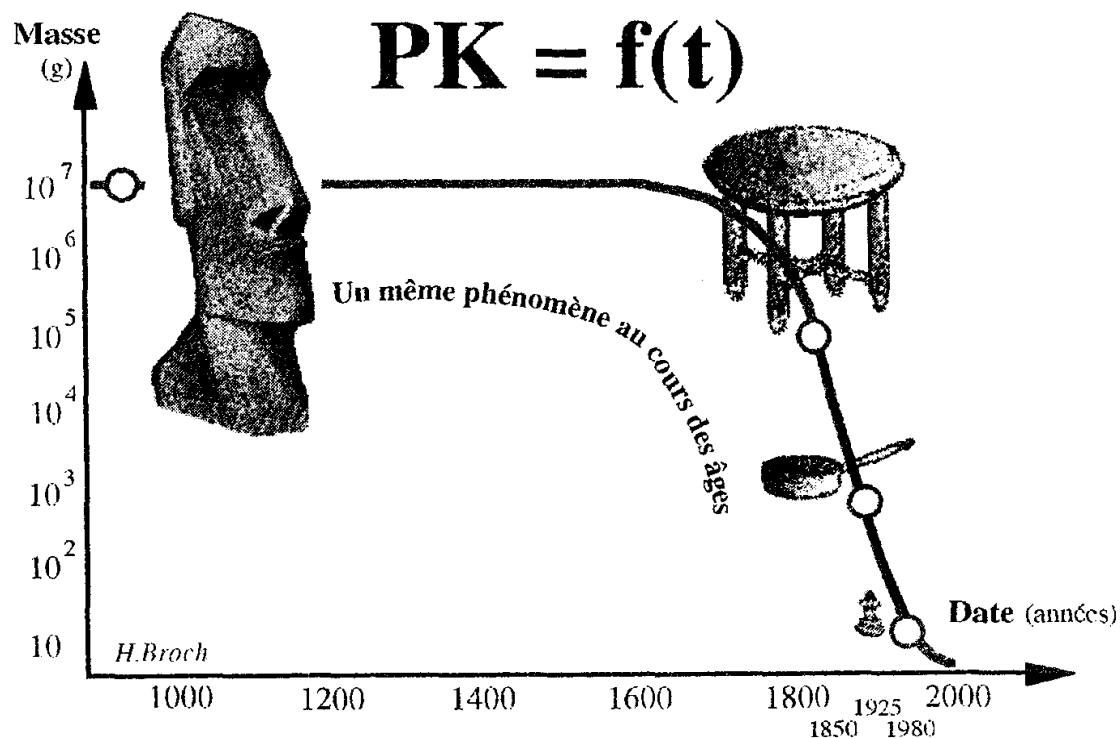
---

- ne surtout pas changer les conditions, ni en cours d'expérience:
  - comparaison des moteurs nulle si une nappe de brouillard oblige à ralentir de 30km/h
- ni à l'analyse des résultats:
  - élimination arbitraire de certaines valeurs extrêmes
  - exemple: élimination des élèves ayant eu 0 pour le calcul d'une moyenne, sous prétexte qu'ils ne sont pas représentatifs



# La rigueur

- la rigueur des contrôles est un pilier fondamental de la démarche scientifique
- exemples:
  - la psychokinèse
  - Uri Geller au Tonight Show
  - le projet Alpha



(image extraite de "Devenez sorciers, devenez savants", Broch & Charpak)



# Le projet Alpha

---

- expériences parapsychologiques "sérieuses" menées par Peter Philips
- conseils préliminaires de Randi:
  - aucune entorse au protocole
  - objets marqués non substituables
  - un seul objet de test à la fois
  - minimum de personnes dans la pièce
  - présence de Randi lui-même pour contrôler l'absence de manipulations





# Le projet Alpha

---

- deux sujets très doués: Steve Shaw et Michael Edwards, 2 élèves de Randi
- violations du protocole:
  - cuillère attachée par un fil à une étiquette, donc remplaçable par une autre
  - arrêt des essais quand ils étaient filmés de trop près (mauvaises ondes du cameraman)
  - sujets laissés seuls avec des enveloppes dont ils devaient deviner le contenu
  - etc.



# Le projet Alpha

---

- pouvoirs extraordinaires:
  - dérégler les montres digitales (micro-ondes)
  - faire apparaître des images sur des photos (crachat sur l'objectif)
  - déplacer des objets dans un récipient scellé (souffle par une ouverture)
- deuxième avertissement de Randi:
  - ce sont peut-être des fraudeurs utilisant des trucs de magiciens



# Le projet Alpha

---

- en 1981, Randi envoie à Philips une vidéo montrant la technique de torsion de cuillère utilisée par Shaw et Edwards
- intensification des contrôles, mais toujours possibilité de frauder
- Randi dévoile le pot aux roses:
  - ce sont des magiciens
  - ils avaient pour consigne d'avouer si on leur posait la question



# Le projet Alpha

---

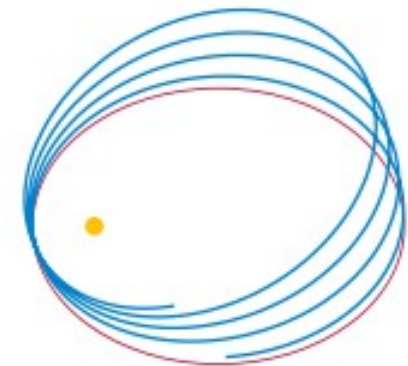
- Shaw et Edwards furent accusés de mentir pour cacher leurs vrais pouvoirs
- expériences prétendument sérieuses balayées:
  - par des trucs souvent enfantins
  - malgré des avertissements avant
  - malgré des violations manifestes des règles pendant
  - malgré de nouveaux avertissements



# Exhaustivité

---

- la théorie doit rendre compte de tous les faits
- contre-exemples:
  - modèles cosmologiques n'expliquant pas l'expansion de l'univers
  - Pythagore, les rationnels et  $\sqrt{2}$
  - Newton et le périhélie de Mercure



(image extraite de Wikipedia)



# Influence sur l'acteur

---

- quand un sujet sait ce qu'on attend de l'expérience, cela fausse le résultat
- exemple:
  - *Alors ce nouveau traitement ? Pas d'effet indésirable ?*
  - *Non, non, tout va très bien.*
  - *Il paraît qu'il peut provoquer des démangeaisons.*
  - *Maintenant que vous me le dites...*
- solution: expérience en aveugle



# Influence des actants

---

- mais, l'expérimentateur lui-même peut avoir une influence sur le résultat
- expérience des rats et des labyrinthes:
  - 2 groupes d'études: rats doués, rats non doués (en réalité, pas de différence)
  - meilleurs résultats dans le groupe des rats "doués"
  - influence positive dans un cas et/ou influence négative dans l'autre
- le cas du cheval télépathe Clever Hans



# Le double-aveugle

---

- pour éviter ces deux biais, expériences en double-aveugle
- ni le sujet, ni l'expérimentateur ne savent tout
- technique fondamentale en médecine pour tester des médicaments
- pose quelques problèmes éthiques (heureusement surmontables), mais indispensable pour éliminer la part de placebo





# Problèmes pratiques

---

- pas toujours possible à mettre en œuvre
  - comment faire de l'acupuncture en double-aveugle (possible en simple aveugle) ?
- pas toujours possible de trouver les sujets
  - peu de patients pour des affections rares
  - difficile d'isoler une affection précise dans des cas à complications



# Analyse

---

- se montrer prudent dans l'analyse des résultats
- éviter les pièges des cours précédents:
  - corrélation vs causalité
  - influence de variables cachées
  - influence du hasard (échantillonnage)
  - prise en compte de l'incertitude expérimentale (erreurs de mesure ou de calcul)
  - etc.



# Analyse

---

- ne pas se focaliser sur ce qu'on veut trouver !
- risques de biais:
  - influence de l'expérimentateur
  - mauvaise prise en compte des résultats contraires
  - surinterprétation des légers positifs
  - oubli des explications alternatives



# Analyse

---

- exemple 1: déplacer un brin de laine par la pensée
  - négligence des courants d'air et de l'électricité statique
- exemple 2: test de divination
  - si 70 réussites sur 100 essais, publication immédiate d'un résultat positif
  - mais, si 70 échecs sur 100 essais, les expériences vont sûrement continuer, au moins jusqu'à égaliser le hasard pur...



# Les incertitudes

---

- se rappeler qu'il faut toujours tenir compte des imprécisions:
  - inhérentes aux objets mesurés (diamètre de la Terre: équateur ? pôle ?)
  - inhérentes aux instruments de mesure (précision d'une règle d'écolier: pas moins de 1/2 mm et pas plus de quelques dizaines de centimètres)
  - dues aux conditions (élasticité d'une corde plus la même au bout de 200 tests)



# Résultat négatif

---

- biais de publication:
  - tendance à ne publier que les résultats positifs
- mais: l'absence de résultat est un résultat
  - exemple: personne n'est arrivé à reproduire l'expérience de la mémoire de l'eau
- attention: ne pas confondre avec "l'absence de preuve n'est pas une preuve de l'absence"



# Réfutabilité

---

- pour avoir une valeur scientifique, une théorie doit pouvoir être testée
- donc, on doit pouvoir imaginer une expérience qui confirme ou infirme l'idée
- critère de falsifiabilité/réfutabilité de Karl Popper
- contre-exemple en psychanalyse:
  - si pas de souvenirs refoulés qui reviennent, le sujet fait un blocage prévu par la théorie
  - à tous les coups on gagne !



# Réfutabilité quantique

---

- argument de charlatan:
  - la présence de sceptiques perturbe l'expérience
  - ça marche bien pour la physique quantique...
- l'observation perturbe la mesure
- toujours vrai en mécanique quantique:
  - principe d'incertitude de Heisenberg
  - on ne peut pas connaître précisément la position et la vitesse d'une particule





# Réfutabilité quantique

---

- "moins vrai" en physique classique:
  - le thermomètre ne perturbe que légèrement la température de l'eau à mesurer
- vrai dans certaines expériences:
  - influence du médecin sur le patient
- mais, possibilité de contrôler ces biais:
  - double-aveugle
  - instruments de mesure objectifs
  - maîtrise des marges d'erreur



# Réfutabilité quantique

---

- à moins d'avoir une très bonne justification (acupuncture en double-aveugle impossible), le principe d'incertitude ne s'applique pas
- indice:

une notion très technique empruntée à la science hors de son contexte est très souvent le signe d'un mauvais raisonnement (principe d'incertitude, théorème de Gödel, relativité, etc)



# Ouverture d'esprit

---

- ne jamais refuser d'examiner des faits:
  - découverte de l'ornithorynque
  - fossiles marins en haute montagne
  - vraies tablettes de Glozel
- ne jamais refuser d'examiner des idées:
  - dérive des continents reconnue 40 ans après Alfred Wegener
  - théorie atomiste de Démocrite (-460, -370)
  - héliocentrisme d'Aristarque (-310, -230)
  - Einstein et la mécanique quantique



# Esprit critique

---

- ne pas non plus tomber dans l'excès inverse

*"Je veux bien avoir l'esprit ouvert, mais pas au point d'avoir des trous dans la tête" (J. Randi)*

- ne pas céder aux théories du complot:
  - domination du monde par (au choix): les francs-maçons, les militaires, Microsoft, les juifs, les extra-terrestres, les groupes pétroliers, les scientifiques, les templiers, etc
  - délires sur le 11 septembre de Th. Meyssan



# Sérendipité

---

- ne jamais négliger les petits détails insolites

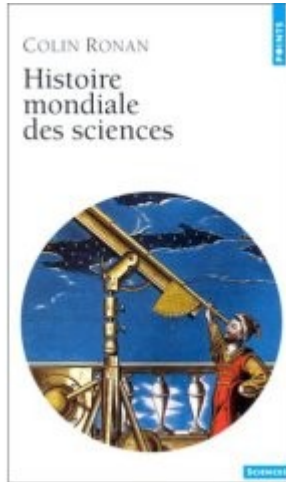
*"La chance ne sourit qu'aux esprits bien préparés"* (Louis Pasteur)

- exemples:
  - Fleming et la pénicilline
  - Penzias, Wilson et le bruit parasite





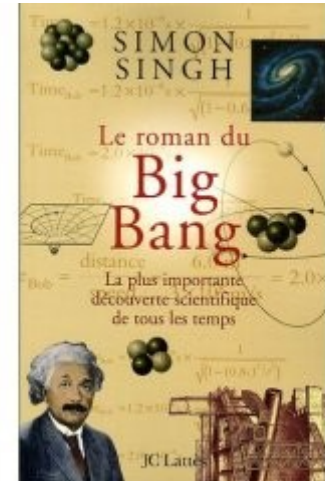
# Bibliographie



*Histoire mondiale des sciences*  
Colin Ronan



*Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*  
Galileo Galilei

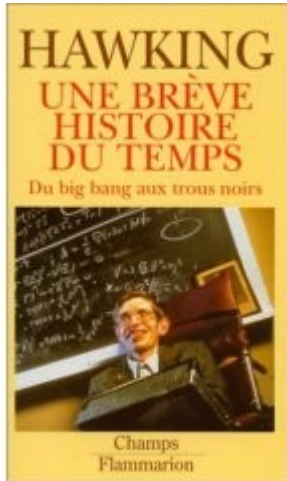


*Le roman du Big Bang*  
Simon Singh

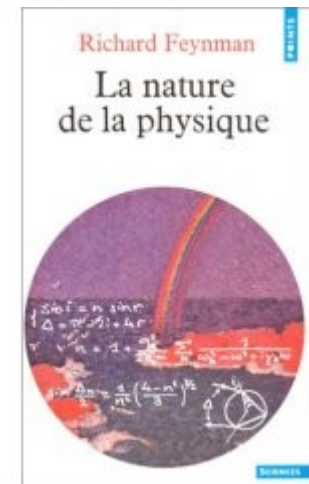


# Bibliographie

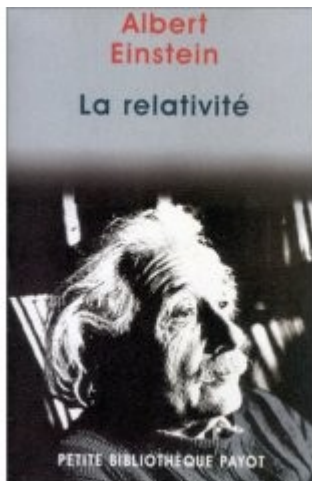
---



*Une brève histoire du temps*  
Stephen Hawking



*La nature de la physique*  
Richard Feynman



*La relativité*  
Albert Einstein