

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.cabaneaidees.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 2: Aléatoire et déterminisme

Probabilité et statistiques

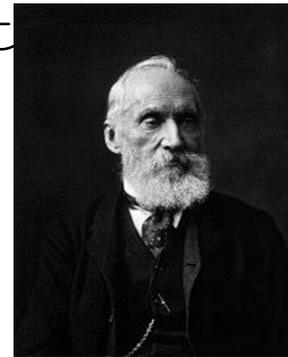
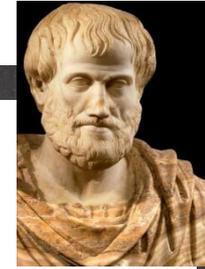


Rappel de l'épisode précédent

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



Âge de la Terre



- Aristote: monde immuable
- Religions monothéistes
- Distance terre-lune
- Évolution de la population humaine
- Recul des océans
- 1: Stratigraphie
- 2: Salinité des océans
- 3: Boule qui se refroidit

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
 - ✓ Fait fabriquer dans ses propres forges des boules de rayons et de matières variés
 - ✓ Extrapolation linéaire jusqu'à une sphère de la taille de la terre.

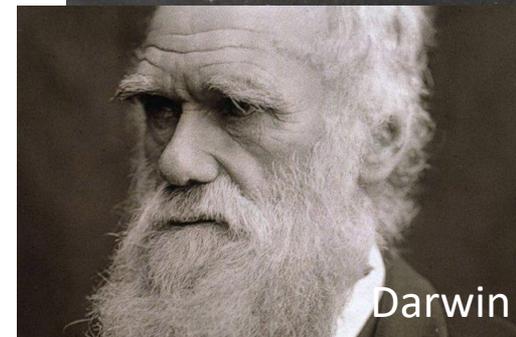
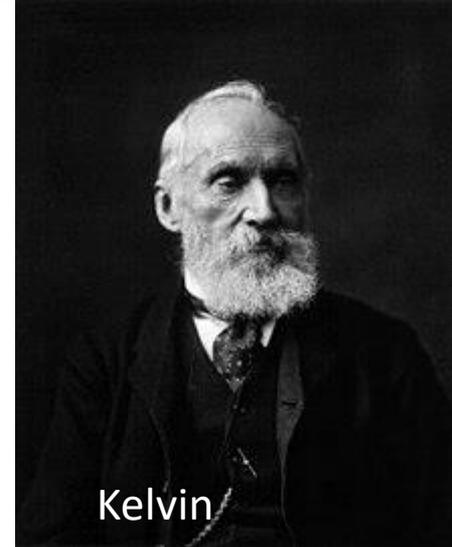
COMMENCEMENT, FIN & DURÉE de l'existence de la NATURE ORGANISÉE dans chaque PLANÈTE.

COMMENCEMENT.	FIN.	DURÉE absolue.	DURÉE à dater de ce jour.
		ans.	ans.
V. Satel. de Sat. 5161 des Plan.	47558 des Plan.	42889...	0...
LA LUNE. 7890	72514	64024...	0...
MARS. 13685	60326	56541...	0...
IV. Satel. de Sat. 18399	76535	58126...	1693
IV. Satel. de Jup. 23730	68696	74966...	23864
MERCURE... 26953	183765	161712...	112933
LA TERRE. 35985	168123	132140...	93291
III. Satel. de Sat. 37672	155658	118586...	81826
II. Satel. de Sat. 40373	167928	117655...	93995
I. Satel. de Sat. 42021	174784	132763...	99952
VENUS. 44067	228540	184473...	153708
An. de Sat... 56396	177558	121172...	102736
III. Satel. de Jup. 50483	247401	187918...	172569
SATURNE. 65956	262020	169114...	187188
II. Satel. de Jup. 64496	271098	206602...	196266
I. Satel. de Jup. 74724	311973	237249...	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
- 1862-1897:
 - ✓ 20-40 millions d'années



Les hypothèses de Lord Kelvin

- L'équation de la chaleur (Loi de Fourier)
 - ✓ La distribution de la température en fonction de la profondeur est reliée à l'évolution de la Température au cours du temps
 - ✓ -0.36 degrés par 100 mètres
 - ✓ Roche en fusion au départ (3900°C)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k\Delta T$$

- Hypothèses fortes:

- ✓ La température à la surface s'est stabilisée autour de 20°, condition nécessaire à l'apparition de la vie
- ✓ Pas d'autre source d'énergie interne
- ✓ Échange de la chaleur par conduction uniquement

D'oh!



- Age du Soleil < 100 millions d'années

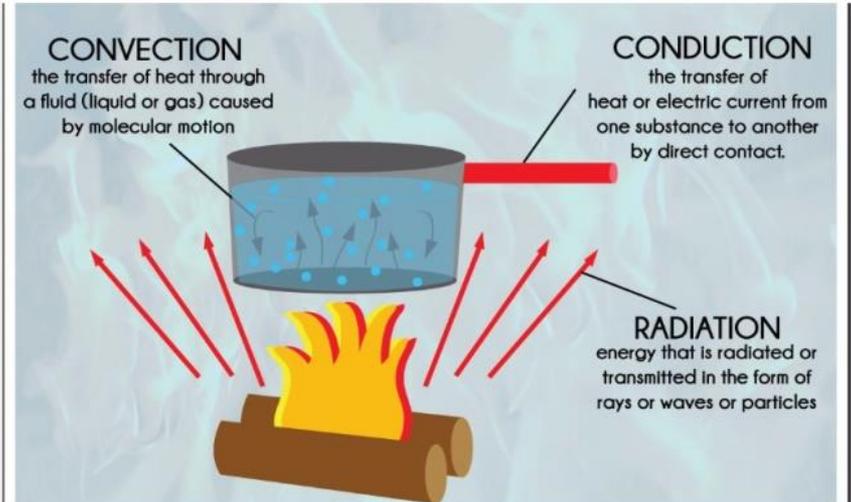
« Unless sources now unknown to us are prepared »

D'oh!



Convection, conduction et radiation

- 3 modes de transmission de la chaleur



Convection :

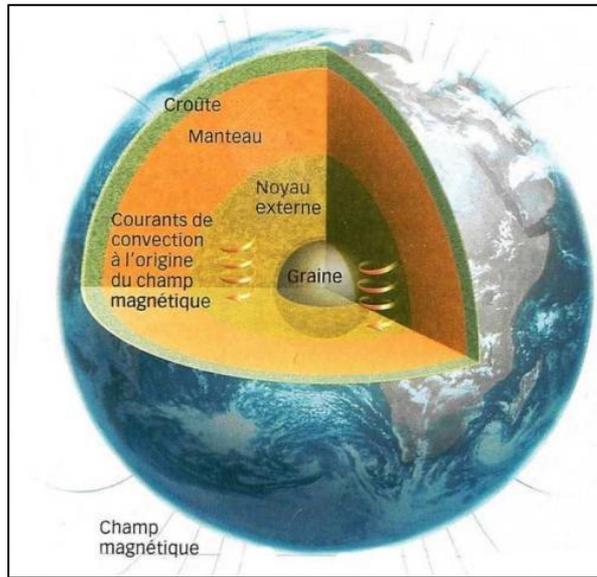
- ✓ Zones denses en haut
- ✓ Zones légères en bas
- ✓ Matière froide redescend
- ✓ Matière chaude monte

- Transfert de chaleur grâce au mouvement du fluide
 - ✓ Chauffage au sol
 - ✓ Liquide dans une casserole
 - ✓ Isolation thermique des habitations
 - Matériaux avec bulles d'air > Air libre

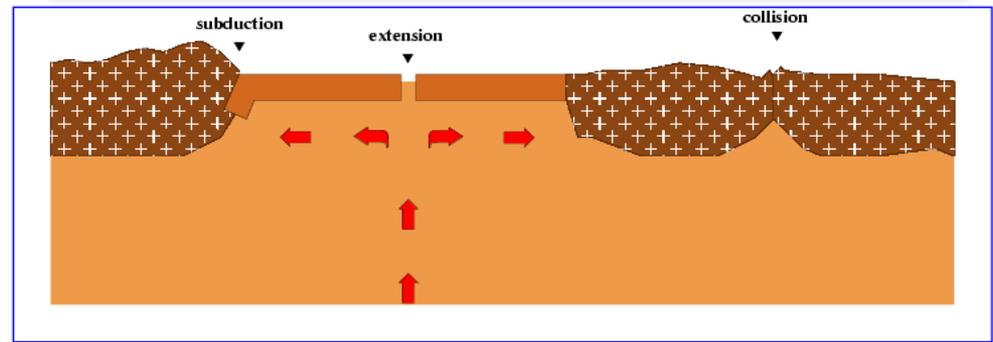
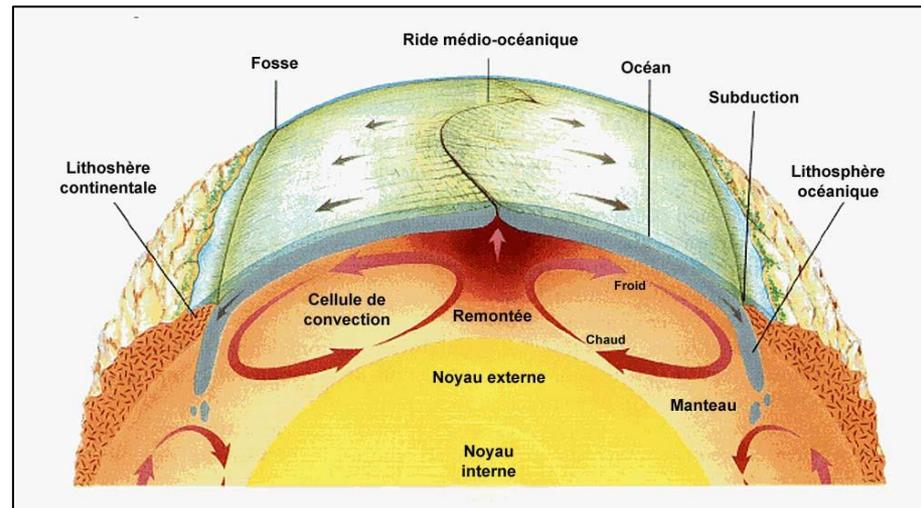
La convection domine

- Sources

- ✓ Chaleur initiale
- ✓ Changement d'état
- ✓ Radioactivité



Convection dans le manteau



Tectonique des plaques

<https://edu.obs-mip.fr/convections/>

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

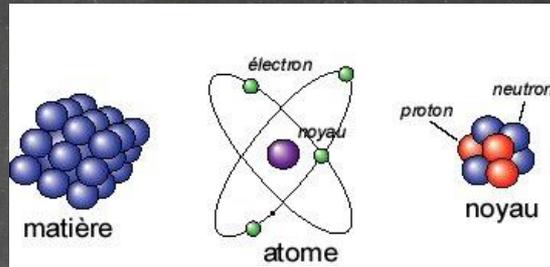
Comment vérifier quand on dispose d'un seul objet d'étude (la terre, l'univers) ?

- 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

La vérité vraiment vraie ?



Les isotopes



Nombre de nucléons (= protons + neutrons) → **A**

Numéro atomique (= nombre de protons) → **Z**

X ← Symbole de l'élément (par ex : H / C / Fe / etc.)

Tableau périodique des éléments

nombre de nucléons: A
numéro atomique: Z

nom: X
symbole chimique: X
masse molaire atomique (g/mol): A

élément primordial / stabilisé par rapport à d'autres éléments

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
H 1 1.0	He 2 4.0	Li 3 6.9	Be 4 9.0	B 5 10.8	C 6 12.0	N 7 14.0	O 8 16.0	F 9 19.0	Ne 10 20.2	Na 11 23.0	Mg 12 24.3	Al 13 27.0	Si 14 28.1	P 15 31.0	S 16 32.1	Cl 17 35.5	Ar 18 39.9	
K 19 39.1	Ca 20 40.1	Sc 21 45.0	Ti 22 47.9	V 23 50.9	Cr 24 52.0	Mn 25 54.9	Fe 26 55.8	Co 27 58.9	Ni 28 58.7	Cu 29 63.5	Zn 30 65.4	Ga 31 69.7	Ge 32 72.6	As 33 74.9	Se 34 79.0	Br 35 79.9	Kr 36 83.8	
Rb 37 85.5	Sr 38 87.6	Y 39 88.9	Zr 40 91.2	Nb 41 92.9	Mo 42 95.9	Tc 43 97.9	Ru 44 101.1	Rh 45 102.9	Pd 46 106.4	Ag 47 107.9	Cd 48 112.4	In 49 114.8	Sn 50 118.7	Sb 51 121.8	Te 52 127.6	I 53 126.9	Xe 54 131.3	
Cs 55 132.9	Ba 56 137.3	lanthanides 57-71		Hf 72 178.5	Ta 73 180.9	W 74 183.8	Re 75 186.2	Os 76 190.2	Ir 77 194.2	Pt 78 195.1	Au 79 197.0	Hg 80 200.6	Tl 81 204.4	Pb 82 207.2	Bi 83 209.0	Po 84 [209.0]	At 85 [210.0]	Rn 86 [222.0]
Fr 87 [223.0]	Ra 88 [226.0]	actinides 89-103																
métaux alcalins		alcalino-terreux		métaux														
				métaux pauvres														
				métaux lourds														
				halogènes														
				gaz nobles														
				lanthanides														
				actinides														

Atomic Mass Number **12**

Atomic Symbol **C**

Atomic Number **6**

A carbon-12 atom has:

- 6 protons
- 6 neutrons
- 6 electrons

Carbon-12
98.9%
6 protons
6 neutrons

Carbon-13
1.1%
6 protons
7 neutrons

Carbon-14
<0.1%
6 protons
8 neutrons



how they REALLY
made the
periodic table



Radioactivité et période radioactive

- Qu'est-ce qu'un élément radioactif ?

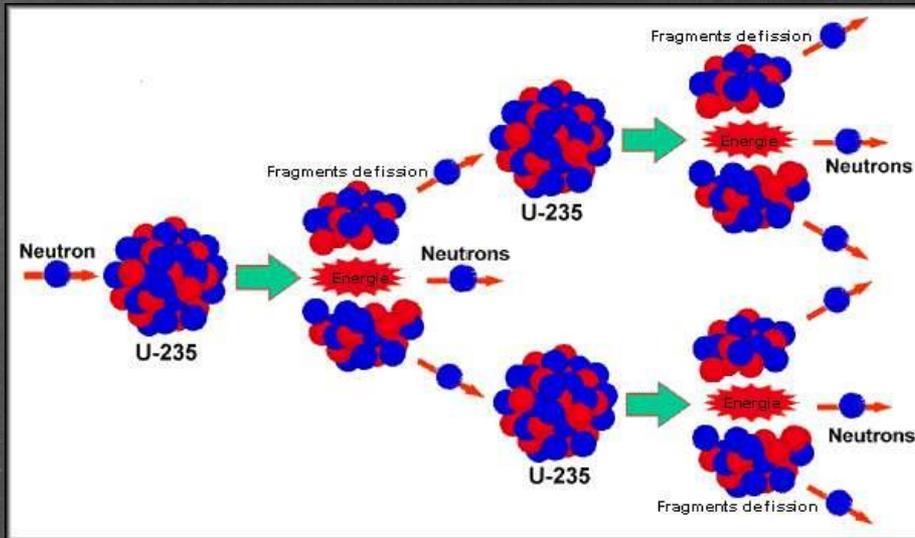
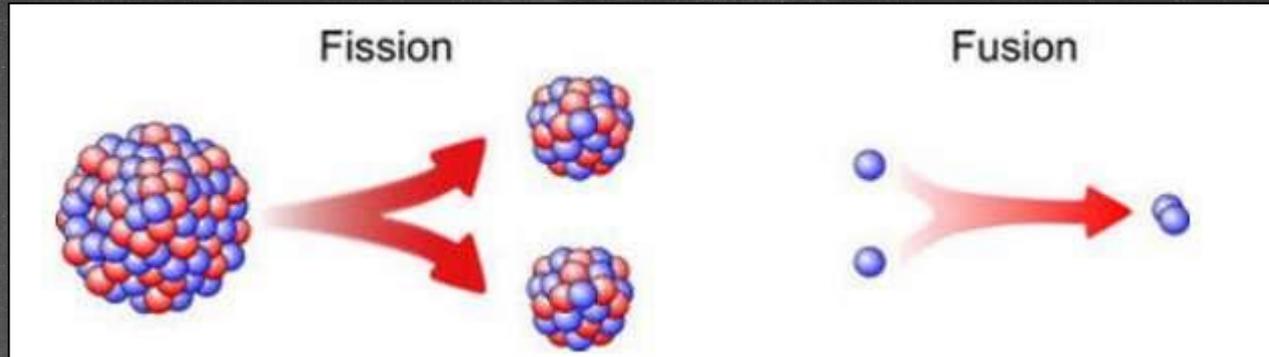
✓ Exemple



✓ Définition de la période (demi-vie) $T_{1/2}$

- Temps au bout duquel la moitié des noyaux se sont désintégrés = constante au cours du temps
- Fournit une échelle de temps absolue
- Comment ?

La radioactivité: fusion et fission

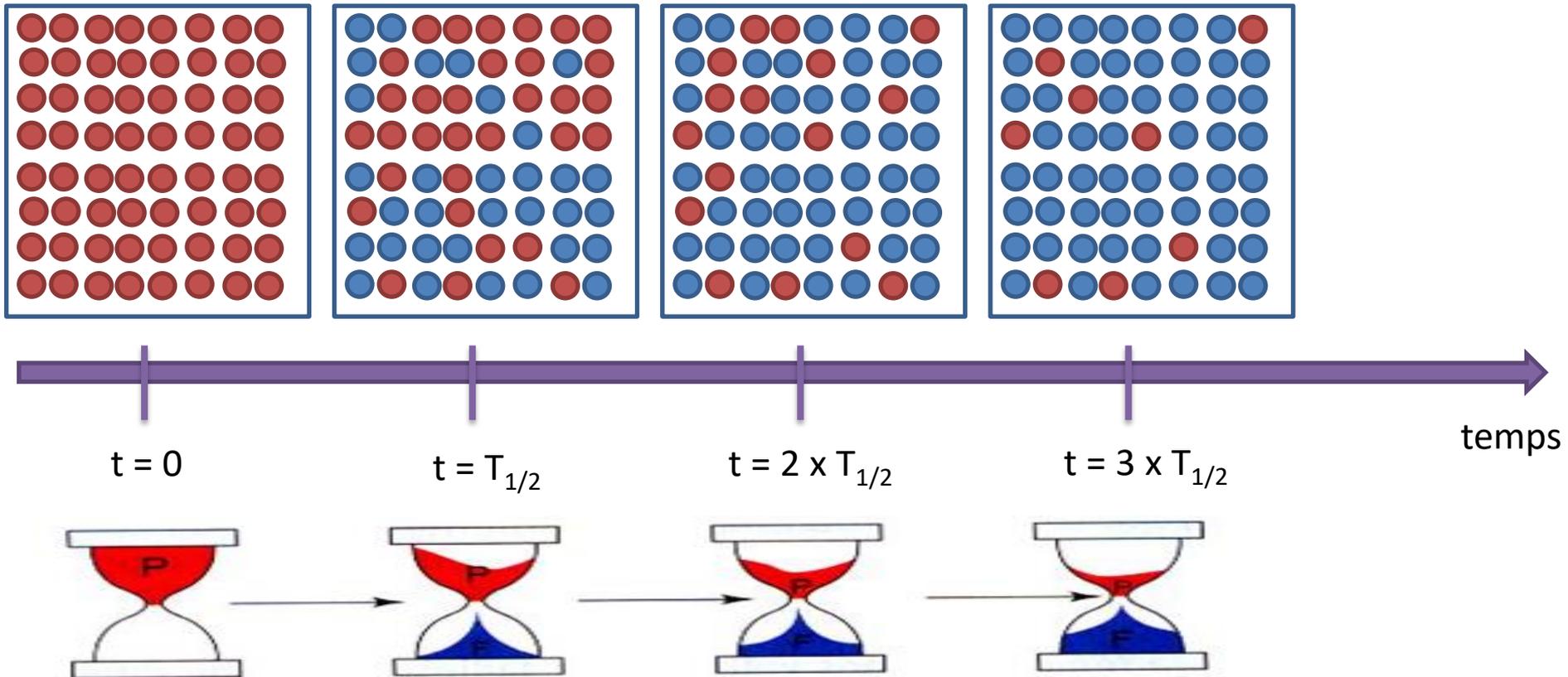


Fission dans les centrales nucléaires
Fusion au cœur des étoiles

La période ou demi-vie radioactive $T_{1/2}$

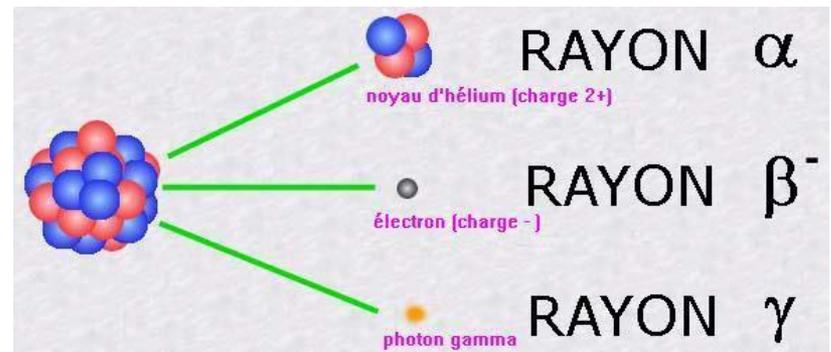
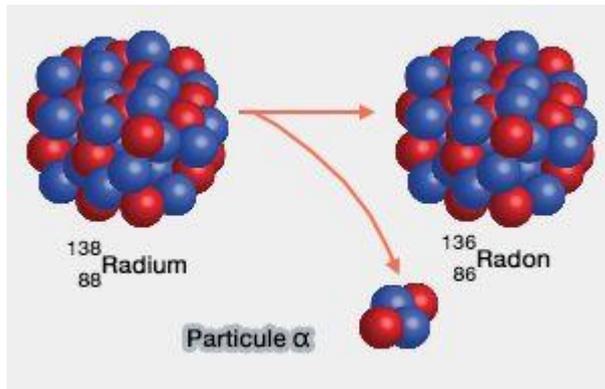
Période = temps au bout duquel, en moyenne, la moitié des noyaux pères se sont désintégrés

● = Noyau père ● = Noyau fils



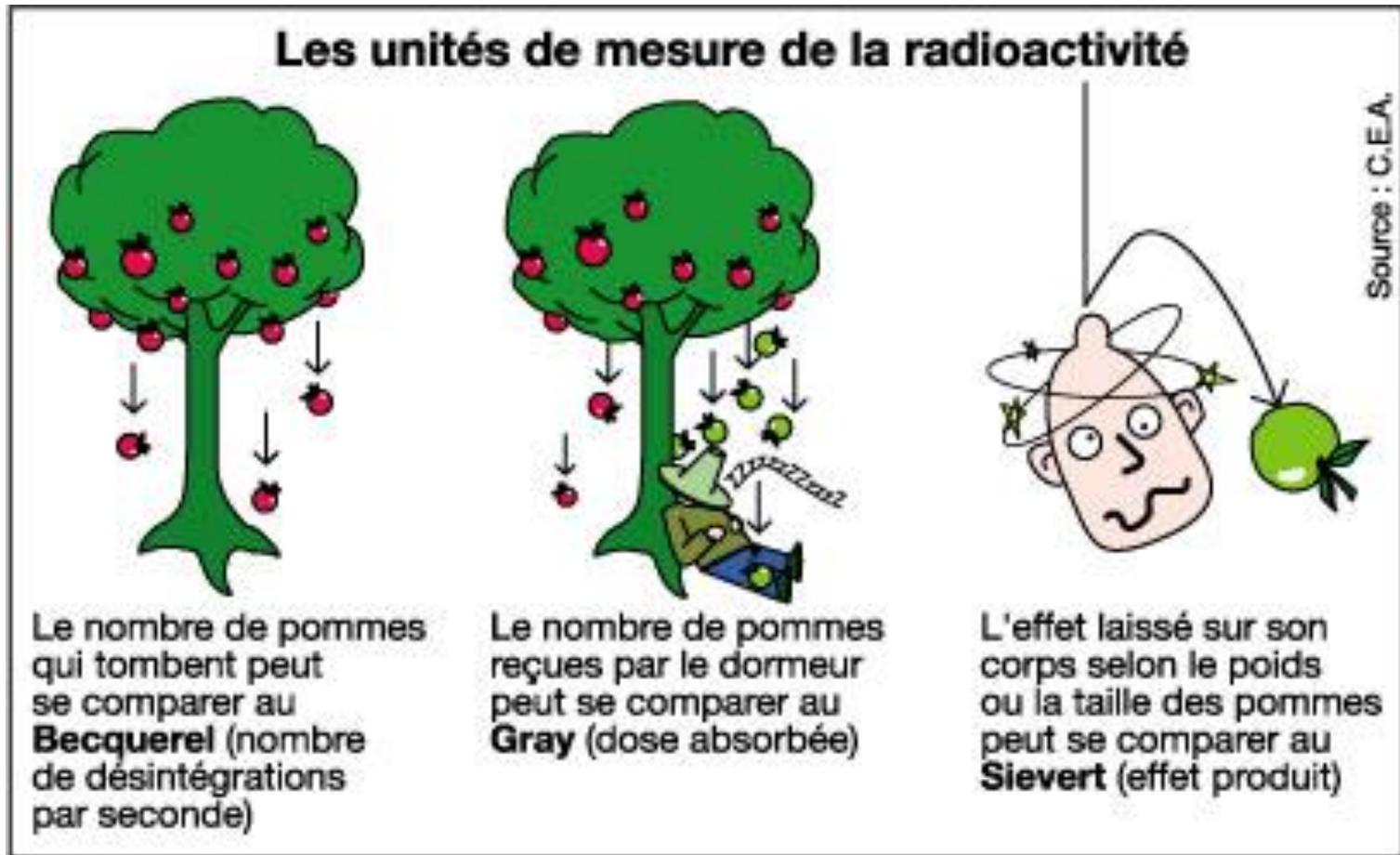
Radioactivité naturelle

- Ici naturelle = spontanée (sans intervention extérieure)

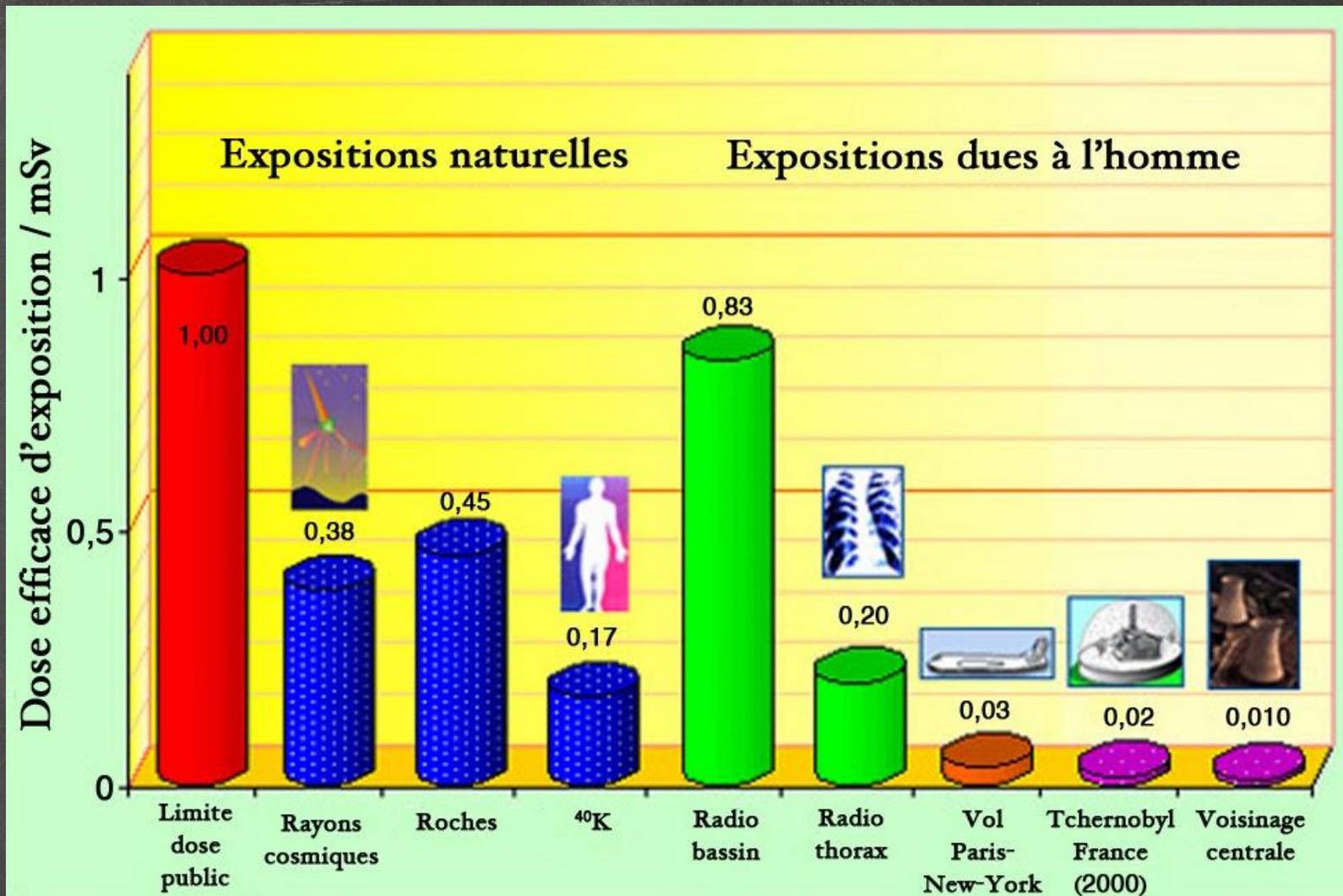


Les unités de la radioactivité

- Becquerel, Gray et Sievert



Radioactivité autour de nous

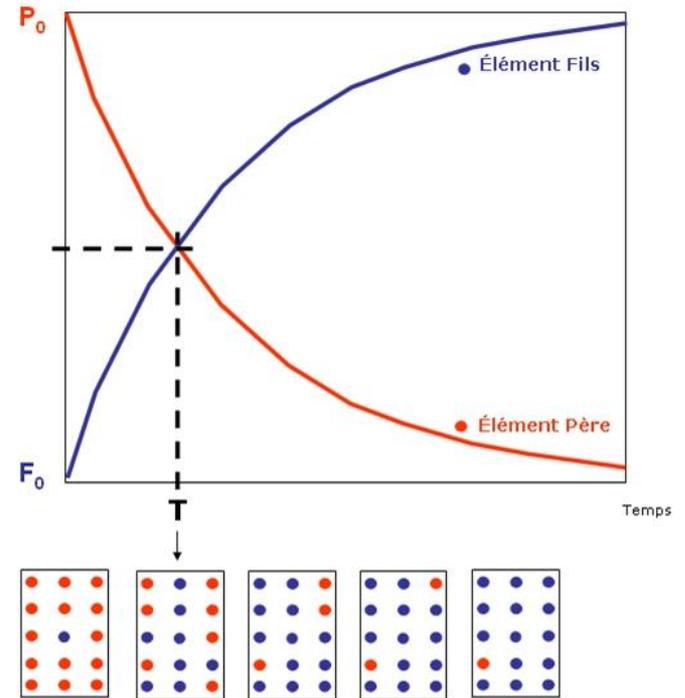
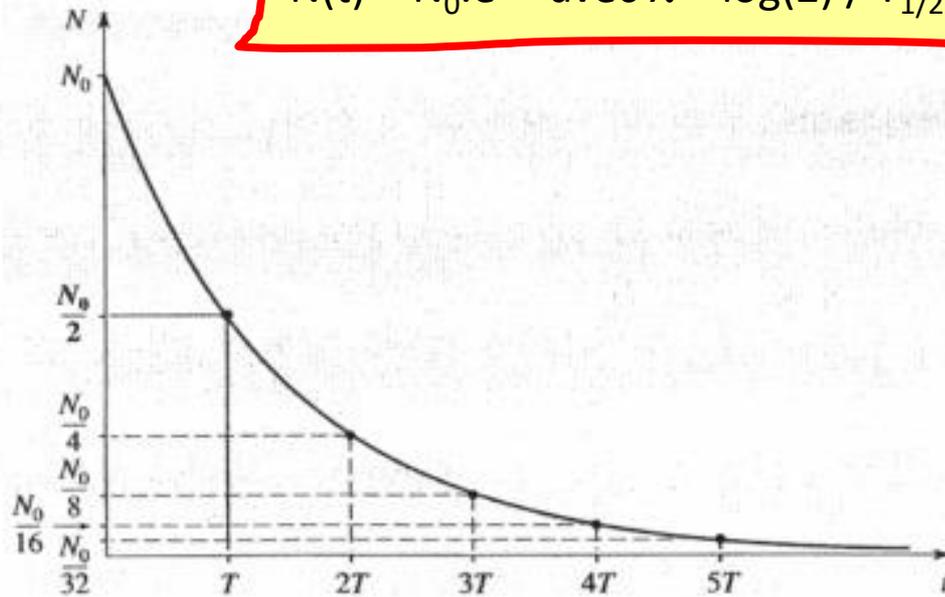


Loi de décroissance: radiochronologie

- Loi en exponentielle négative

- ✓ $T_{1/2}$ = période ; t = temps
- ✓ $N(t)$ = nombre d'éléments « père »
- ✓ N_0 = nombre d'éléments « père » au départ

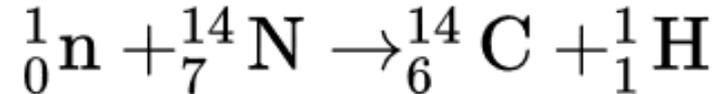
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ avec } \lambda = \log(2) / T_{1/2}$$



Datation au carbone 14

- Carbone 14 ^{14}C :

- ✓ Créé dans la haute atmosphère
 - (rayons cosmiques)



- ✓ Carbone ^{12}C majoritaire

- ✓ La proportion carbone 12/14 est connue et uniforme et constante

- Quand la plante meure, elle cesse d'absorber du carbone.

- ✓ La proportion $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ est fixée au départ par l'environnement.

- ✓ Le ^{14}C va se désintégrer

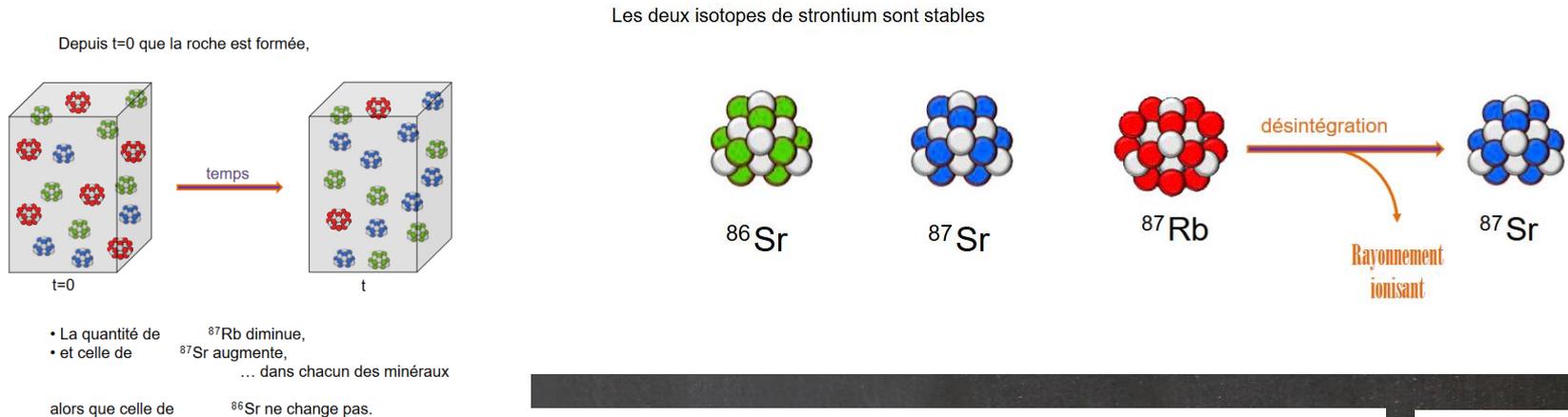
- ✓ La proportion $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ dépendra de la date de décès de la plante.

- Tout matériel végétal peut être daté ainsi
- Période typique \rightarrow 5000 - 50 000 ans

- ✓ Sources d'incertitudes

Rubidium et Strontium dans un bateau

- Les temps géologiques sont très supérieurs à la période du carbone
- On utilise d'autres éléments avec une période plus longue.
- Le strontium a deux isotopes stables
 - ✓ Le rapport $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ est le même pour tous les échantillons d'une roche donnée
- Le Rubidium est instable: $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$ avec $T_{1/2} = 4.9 \times 10^{10}$ ans
 - ✓ Le rapport $(^{87}\text{Rb}) / (^{86}\text{Sr} + ^{87}\text{Sr})$ initial est variable pour chaque échantillon.
 - ✓ Il diminue ensuite avec le temps à cause de la désintégration
 - $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$



Transpirons un peu...

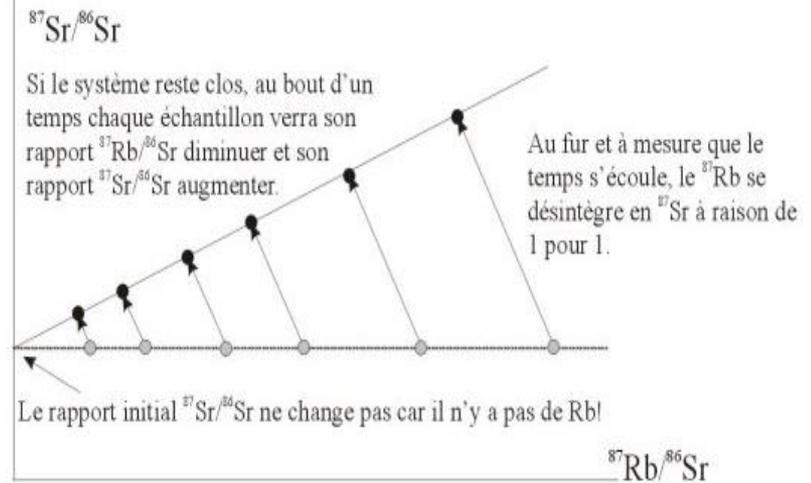
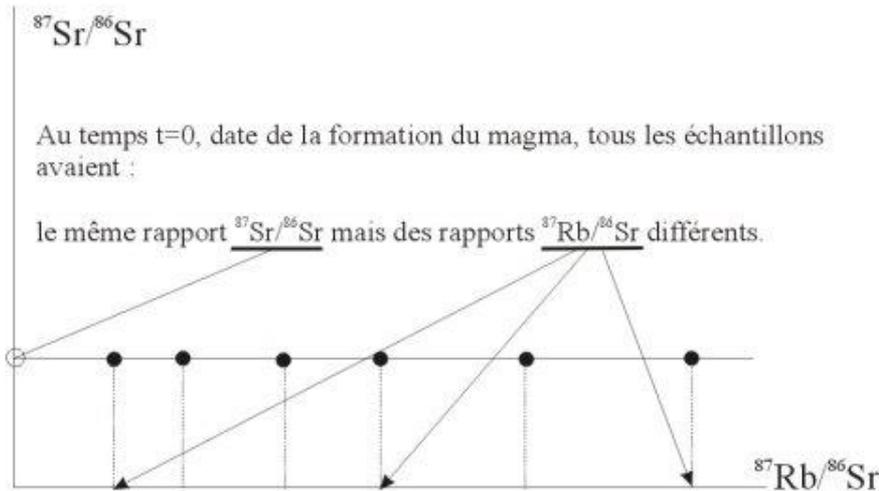
$$\left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} \right) = \left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} \right)_0 + \left(\frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}} \right) (e^{\lambda t} - 1)$$

Mesuré (variable) initial Mesuré (variable) t = recherché

Y = b + x a

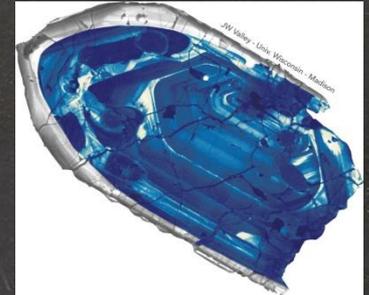
Plus a est grand plus la roche est vieille

$$t = \text{Ln}(p+1)/\lambda$$



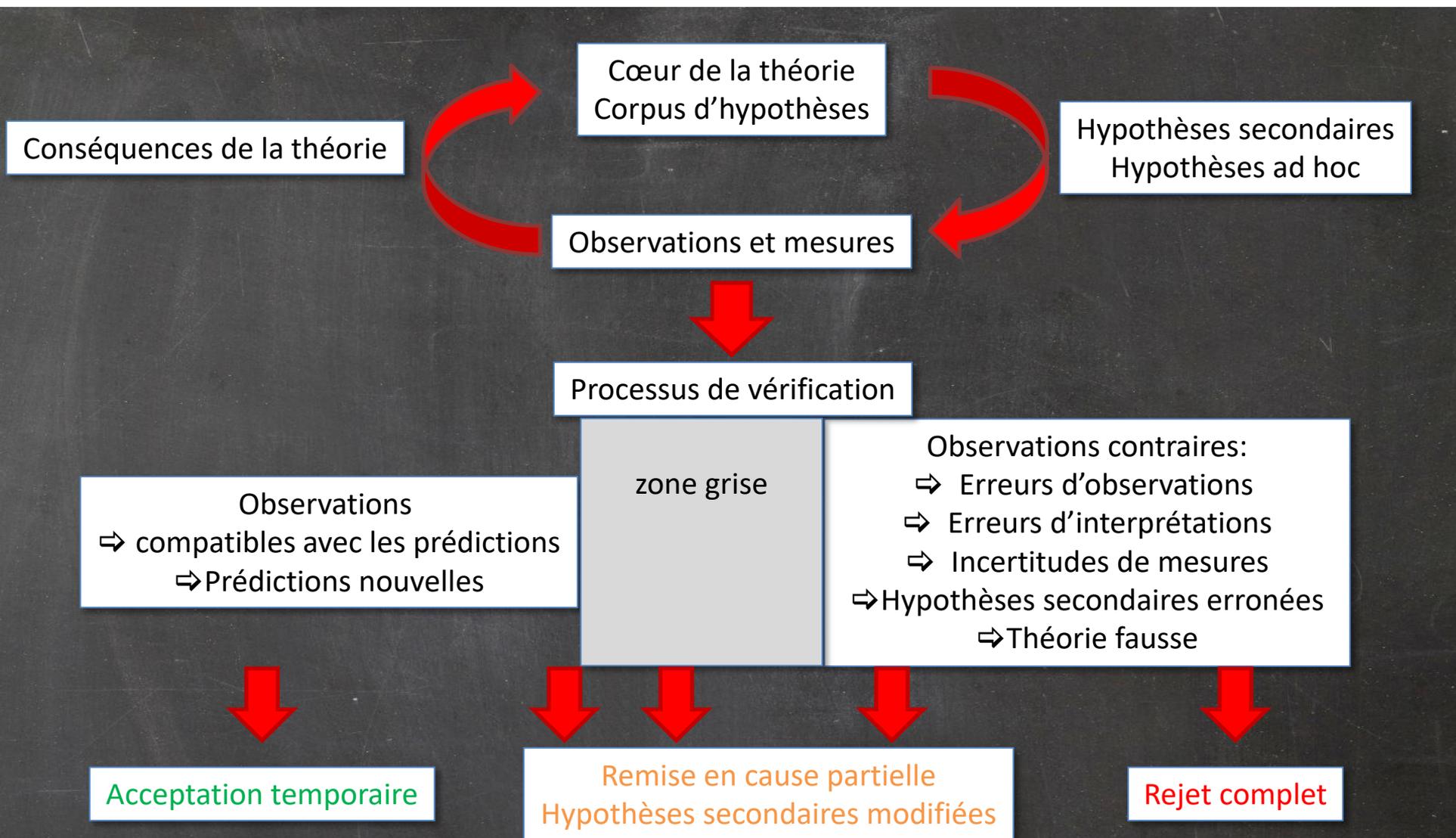
Mais alors, on est sûr de rien ?

- Aujourd'hui: 4,54 milliards d'années
 - ✓ $(4,54 \times 10^9 \text{ ans} \pm 1 \%)$
- Plus vieilles roches: 4.4 milliards d'années
- Hypothèse sous-jacente
 - ✓ les périodes des éléments radioactifs n'ont pas varié dans le temps et les modèles de formation du système solaire sont fiables en ce qui concerne les durées.
 - ✓ Roches les plus anciennes = âge de la terre ?
 - ✓ Age des météorites
- Formation du système solaire
 - ✓ À quelques dizaines de millions près, l'âge du soleil, de la terre et des autres corps du système solaire est le même.

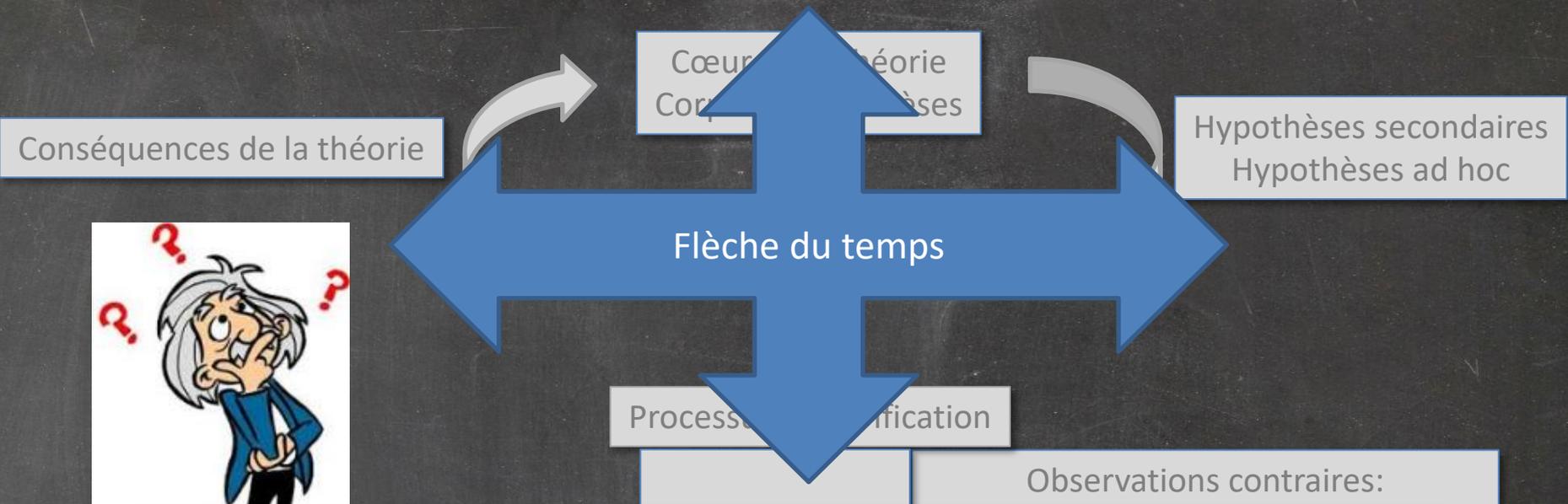


Cristal de zircon

Un schéma (faux et simplificateur)



Un schéma (faux et simplificateur)



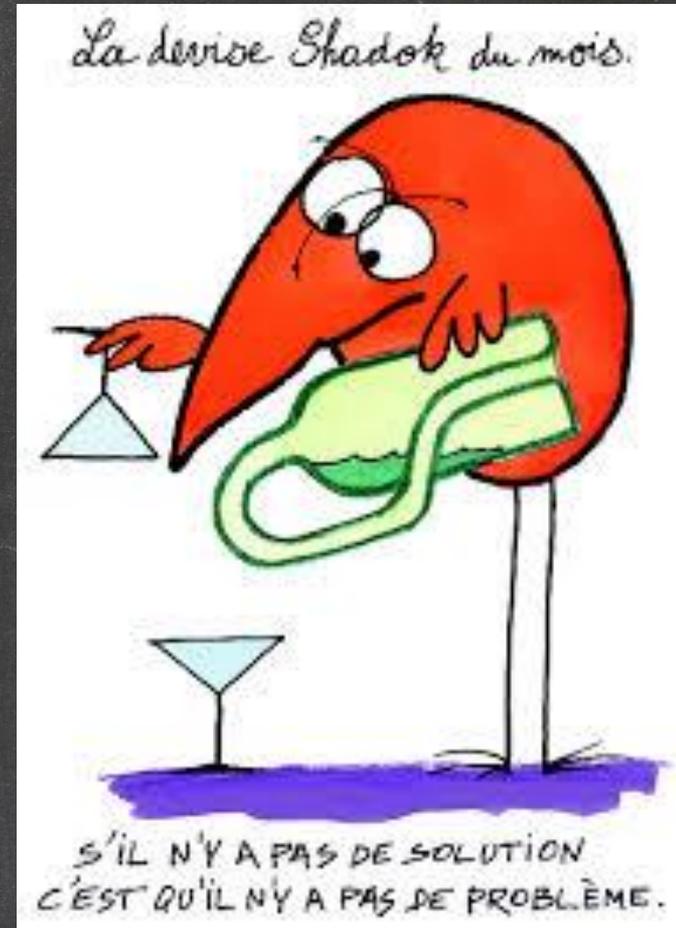
L'histoire des sciences suit-elle ce schéma ?

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

Max Planck

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 ?

La détection de l'eau

Comment tester le pouvoir d'un
sourcier ?

Proposition

- 10 verres
- De l'eau
- Des caches
- Un sourcier



Yves Rocard et les statistiques

Moyennant quoi, les résultats ont été les suivants, pour 3 sujets volontaires. Les coups joués sont représentés par des + et des - signifiant champ magnétique direct ou inversé, et les détections trouvées correctes sont notées V (vrai) sur la ligne du dessous, les autres étant des erreurs :

Sujet H	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-
	V	V		V		V		V		
Sujet M	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-
		V	V	V					V	
Sujet G	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-
	V			V		V			V	

Avec des réponses exactes de 5/10, 4/10, 4/10, cette expérience conduit à un échec assez visible. Cependant, il est intéressant de la discuter davantage.

Premièrement, le hasard des coups, tous notés, conduit un peu trop souvent les sujets à subir trois imprégnations magnétiques de suite dans le même sens. Si on admet, vu la rapidité de la répétition des coups, que l'imprégnation magnétique due à un test subsiste en partie dans le suivant trop vite exécuté, cela fausse les réactions.

Yves Rocard et les statistiques



50 %



40 %



40 %

Rocard (p 192) : « Si on convient par exemple de réduire les séries aux 4 premiers coups seulement, les 3 sujets s'améliorent beaucoup. (...) Même le rationaliste coriace admettra que les sujets se fatiguent si les séries vont jusqu'à 10 coups. »



75 %



75 %



50 %



Discussion : probabilités

- Nombre de combinaisons de réponses:
 - ✓ $2 \times 2 = 2^{10} = 1024$
- Répondre au hasard et probabilité des résultats
 - ✓ 10 réponses justes:
 - 1 combinaison sur 1024 possibles
 - $P(10/10) = 1/1024$
 - ✓ 9 réponses justes, 1 fausse
 - 10 combinaisons
 - ✓ 8 réponses justes, 2 fausses
 - 45 combinaisons

réponse	10/10	9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10	0/10
combinaisons	1	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1
Probabilité	0.001	0.01	0.04	0.12	0.21	0.25	0.21	0.12	0.04	0.01	0.001

Que faut-il retenir ?

- S'assurer que le test est rigoureux:
 - ✓ Reproductible
 - ✓ Pas de triche
 - ✓ Pas de biais
 - Expérience en double aveugle
 - ✓ Statistiquement significatif
 - 10 essais sont insuffisants

Peut-on tester 100 personnes et ne garder que les meilleurs ?

Probabilités

Hasard et lois des grands nombres

Les grands nombres sont partout

- $P \times V = n \times R \times T$ et nombre d'Avogadro

✓ N_{av} = Nombre d'Avogadro

- Nombre d'atomes dans 12g de Carbone 12.

$$N_{av} = 6,02214076 \times 10^{23} \text{ atomes}$$

$$= 602\,214\,076\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ atomes}$$

- Définition de la mole:

$$- 1 \text{ mole} = N_{av}$$

✓ Passage du discret au continu

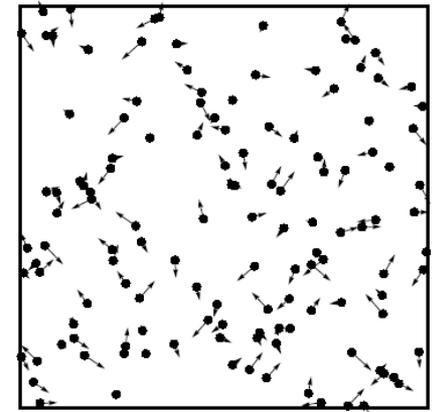
- Gaz parfait

- Chaque molécule de gaz possède une vitesse une position aléatoires
- Volume de la boîte $\Rightarrow V$
- Vitesse moyenne \Rightarrow température T
- Quantité de molécules \Rightarrow nombre de moles n
- Pression : Les molécules « tapent sur la paroi »

La loi des gaz parfaits modélise un grand nombre discret de molécules

(Plus vrai
en 2019)

Césium ^{133}Cs
Température zéro absolu,
Vitesse lumière
Constante de Planck



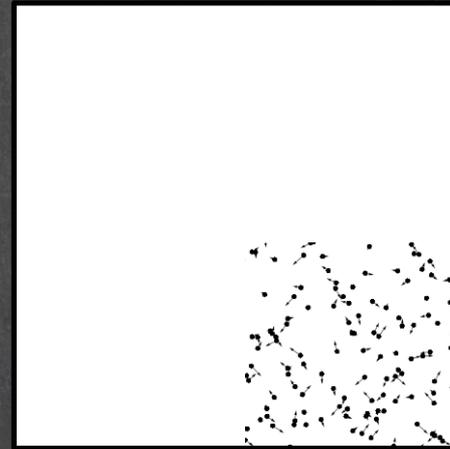
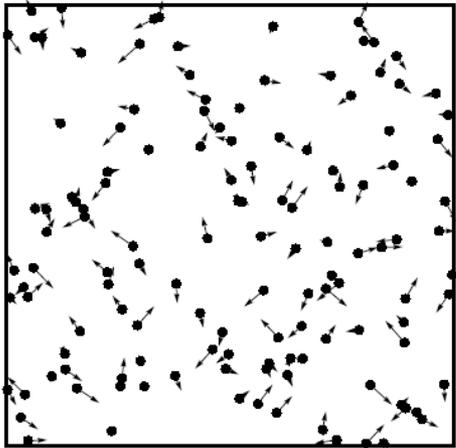
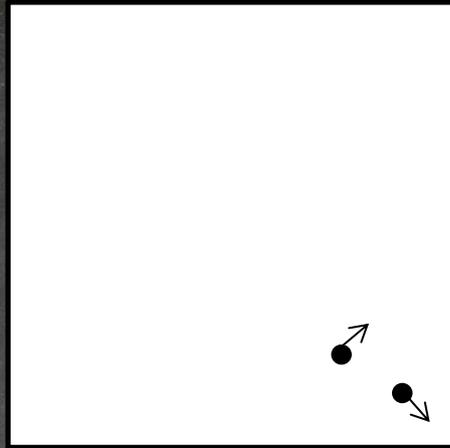
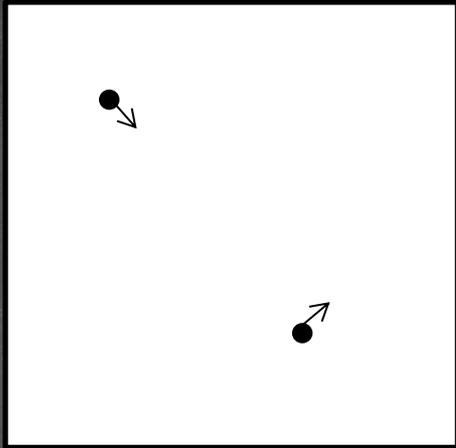
Échelle de température

Et les températures négatives ?

- Zéro absolu = les molécules sont « figées »
 - ✓ Vision macroscopique !
 - ✓ La température est liée à la mesure du désordre et à l'énergie
- Degrés Celsius et degrés Kelvin



Les grands nombres et les lois

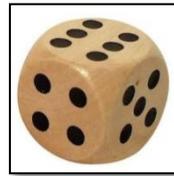


Probabilités d'observation liées au nombre de configurations possibles

Modéliser le hasard

- Le « hasard » semble jouer un grand rôle dans de nombreux phénomènes physiques

- ✓ Radioactivité
- ✓ Thermodynamique
- ✓ Physique statistique
- ✓ Mécanique quantique
- ✓ Génétique
- ✓ Etc.



Le hasard c'est lorsque « c'est trop compliqué à prévoir » ?

Notion de probabilité

- Approche « fréquentiste »
 - ✓ Une probabilité est un nombre entre 0 et 1
 - ✓ Proportion de fois qu'un événement possible se réalise lors d'un nombre infini d'essai équivalents
- Exemple
 - ✓ Probabilité de faire 6 avec un dé (à 6 faces)
 - $1/6$
- Ensemble des possibles
 - ✓ Somme des probabilités de tous les événements possibles (exclusifs les uns des autres)
 - Est égale à 1
 - Pour un dé à 6 faces:
 $1/6 + 1/6 + 1/6 + 1/6 + 1/6 + 1/6 = 1$
- Limitation
 - ✓ Cas idéal d'une séquence infinie
 - impossible en pratique



Combinaison de probabilités

- Probabilité de faire 12 avec la somme de deux dés ?

✓ Nombre de combinaisons: 6×6



✓ Chaque dé est indépendant du résultat de l'autre

La probabilité de faire 12 avec 2 dés est donc

- a) $1/12$
- b) $1/6$
- c) $1/36$
- d) $1/11$

Somme de deux dés

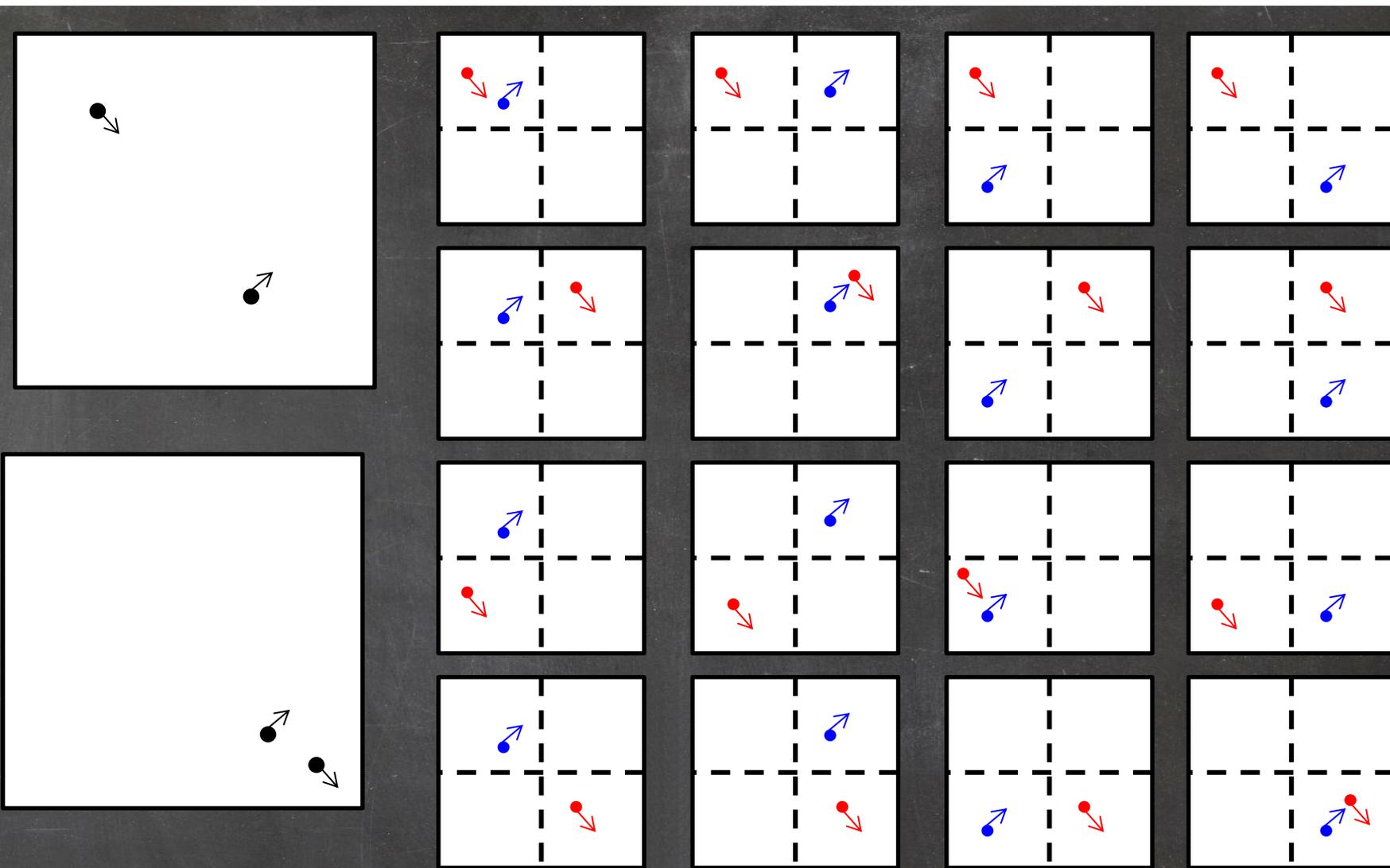
Dé / Dé	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	8
3	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	10
5	6	7	8	9	10	11
6	7	8	9	10	11	12

- Chaque case: 1 chance sur $6 \times 6 = 1/36$
- Probabilité de faire 12:
 - ✓ $1/6 \times 1/6 = 1/36$
- Probabilité de faire 7: $6/36 = 1/6$

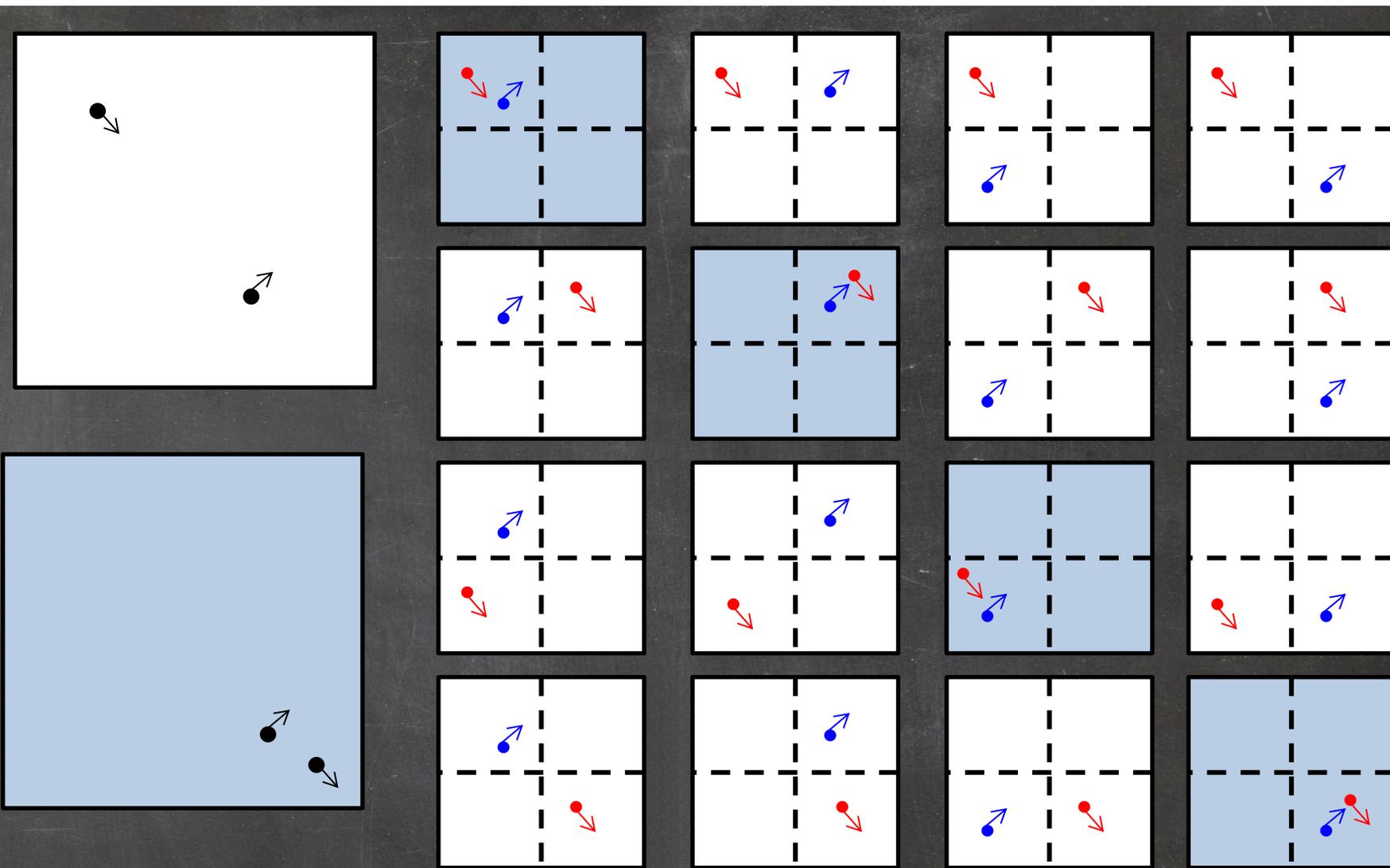
Addition ou multiplication ?

- Si on cherche la probabilité d'un résultat **OU** d'un autre résultat:
 - ✓ on **ADDITIONNE** les probabilités de chaque résultat possible.
 - ✓ Exemple:
 - faire 5 ou 6 avec un dé
 - $1/6 + 1/6 = 2/6 = 1/3$
- Si l'on cherche la probabilité d'un résultat **ET** d'un autre résultat:
 - ✓ on **MULTIPLIE** les probabilités de chaque résultat possible.
 - ✓ Exemple:
 - Faire 6 à chaque dé
 - $1/6 \times 1/6 = 1/36$

Nombre de configurations



Nombre de configurations



Modéliser le hasard

- Une mesure précise vaut-elle mieux que 100 mesures imprécises ?
 - ✓ Répéter les erreurs ne rend pas la mesure plus fiable.
- Plus on fait un grand nombre d'essais, plus la fréquence relative sera en général proche de la probabilité théorique.
- Lancer 100 fois une pièce,
 - ✓ On fera rarement pile 50-50
 - ✓ En revanche la proportion tendra vers $\frac{1}{2}$ si le nombre de lancers augmente

Il suivait son idée. C'était une idée fixe, et il était surpris de ne pas avancer - Jacques Prévert

Le problème de Monty Hall

- 1^e étape: choisir une des 3 boites
✓ (sans l'ouvrir)



- 2^e étape: l'animateur ouvre une boite (vide) que vous n'avez pas choisie
✓ L'animateur sait où se trouve l'argent
- 3^e étape: vous devez soit ouvrir la boite que vous aviez choisie au départ, soit ouvrir la 3^e boite.

Quel choix faites vous ?

- a. Je garde mon premier choix
- b. Je change mon premier choix
- c. Aucune importance
- d. Je réponds au hasard

Quelle est, au mieux, la probabilité de gagner ?

- a. 1 chance sur 3
- b. 1 chance sur 2
- c. 2 chances sur 3
- d. Autre

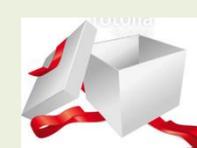
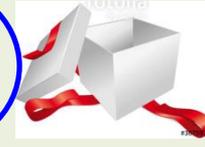


1/3

1/3

1/3

Total = 1



Si je garde mon choix initial: réussite 1 fois sur 3

Si je répons au hasard: réussite 1 fois sur 2

Si je change systématiquement: réussite 2 fois sur 3 !

Imaginez les problème avec 1000 boites

- 1^e étape: choisir une des 3 boites
✓ (sans l'ouvrir)
- 2^e étape: l'animateur ouvre 998 boites vides que vous n'avez pas choisie
✓ L'animateur sait où se trouve l'argent
- 3^e étape: vous devez soit ouvrir la boite que vous aviez choisie au départ, soit ouvrir la 3^e boite.

Notion de probabilité conditionnelle

- Probabilité de tirer un cœur dans un jeu de carte ?
 - ✓ 1 chance sur 4
- Probabilité de tirer un cœur sachant que la carte est rouge ?
 - ✓ 1 chance sur 2
- Modélisation et théorème de Bayes
 - ✓ $P(A)$ = Probabilité de tirer un cœur (1/4)
 - ✓ $P(B)$ = Probabilité de tirer une carte rouge (1/2)
 - ✓ $P_B(A)$ = Probabilité de A sachant B
 - ✓ $P(A \cap B)$ = Probabilité que A ET B surviennent
 - ✓ $P(A \cup B)$ = Probabilité que A OU B surviennent
 - ✓ A = événement ; \bar{A} = non A

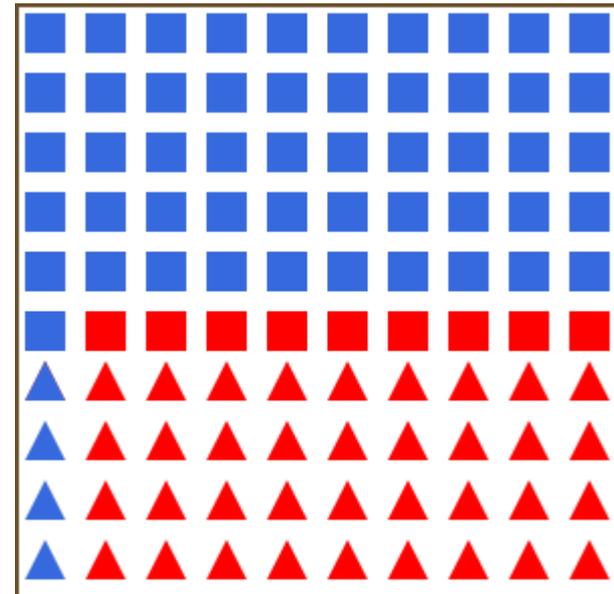
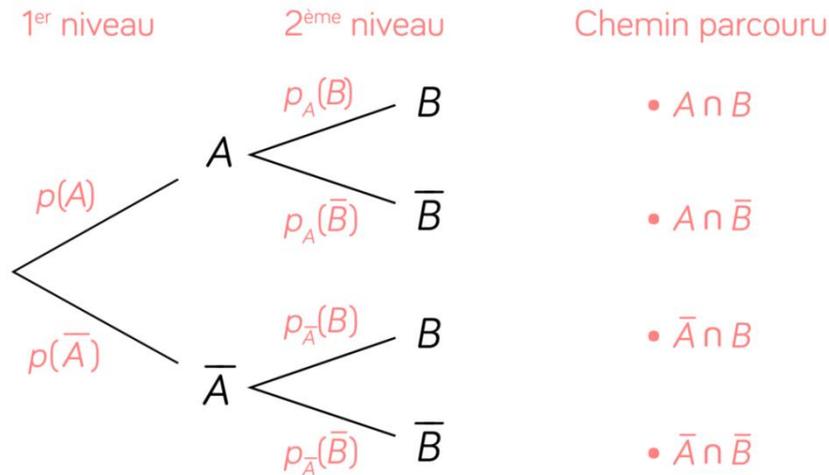


$$P(A \cap B) = P(A) \times P_A(B) = P(B) \times P_B(A)$$

$$P_B(A) = \frac{P(A) \times P_A(B)}{P(B)}$$

L'arbre des décisions

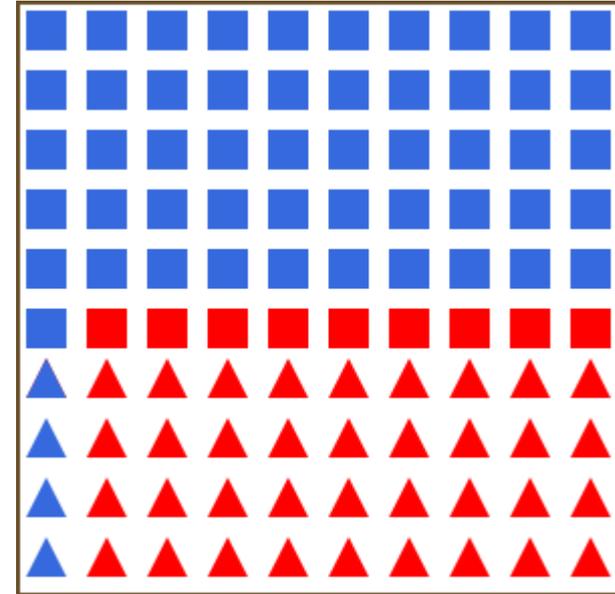
- Intérêt: mettre des chiffres sur des raisonnements inductifs
 - ✓ Est-ce l'observation de B implique A de façon probable ?



Probabilité de...

- Il y a
 - ✓ 51 carrés bleus
 - ✓ 4 triangles bleus
 - ✓ 9 carrés rouges
 - ✓ 36 triangles rouges

60 carrés
40 triangles
55 figures bleues
45 figures rouges

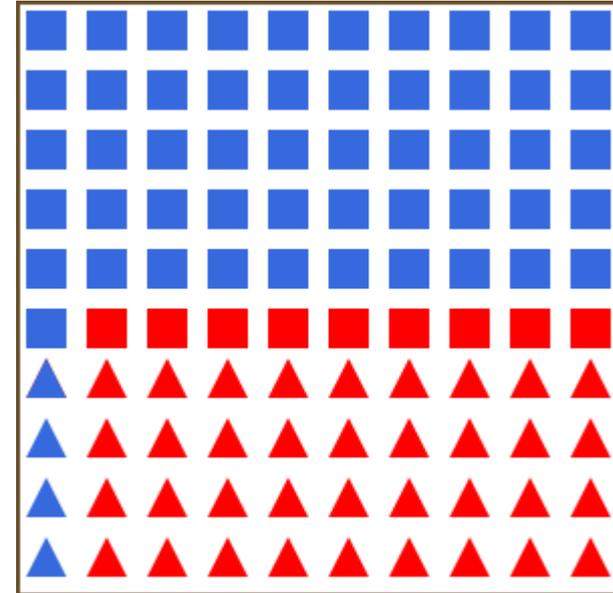


1. Tirer un carré ?
2. Tirer un carré sachant que la figure est rouge ?

Probabilité de...

- Il y a
 - ✓ 51 carrés bleus
 - ✓ 4 triangles bleus
 - ✓ 9 carrés rouges
 - ✓ 36 triangles rouges

60 carrés
40 triangles
55 figures bleues
45 figures rouges



1. Tirer un carré ?
2. Tirer un carré sachant que la figure est rouge ?

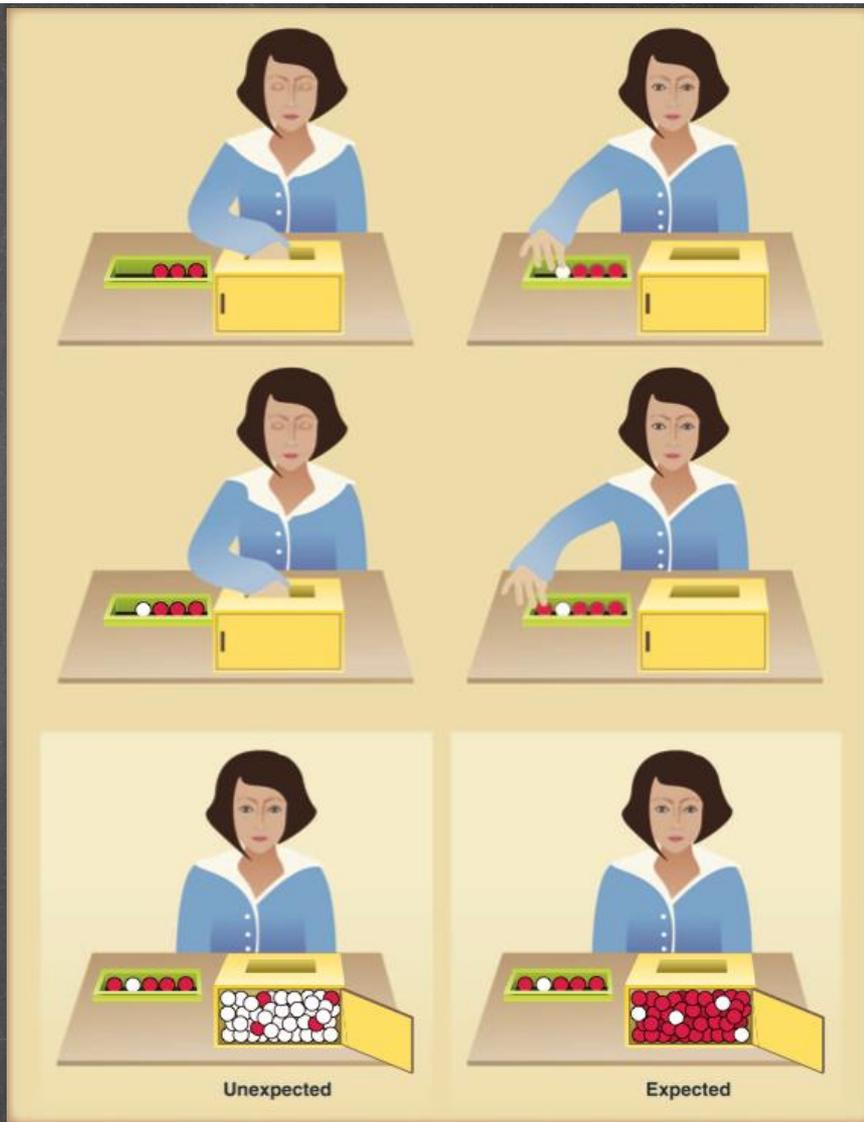
60/100

9/45

$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

$$P(\text{Carré sachant Rouge}) = P(\text{Carré et Rouge}) / P(\text{Rouge}) = 9 / 45$$

L'inférence chez les bébés...



[1] Alison Gopnik, *Scientific Thinking in Young Children: Theoretical Advances, Empirical Research, and Policy Implications*, *Science* 337, 1623 (2012);

A retenir

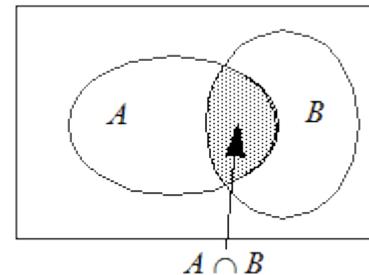
Le hasard n'a pas de mémoire



Si on applique des restrictions à un événement
(sachant que B est réalisé)
Alors la probabilité que A survienne est modifiée

$$P_B(A) = \frac{P(A) \times P_A(B)}{P(B)}$$

$$P_B(A) \neq P(A)$$



Les faux positifs en médecine

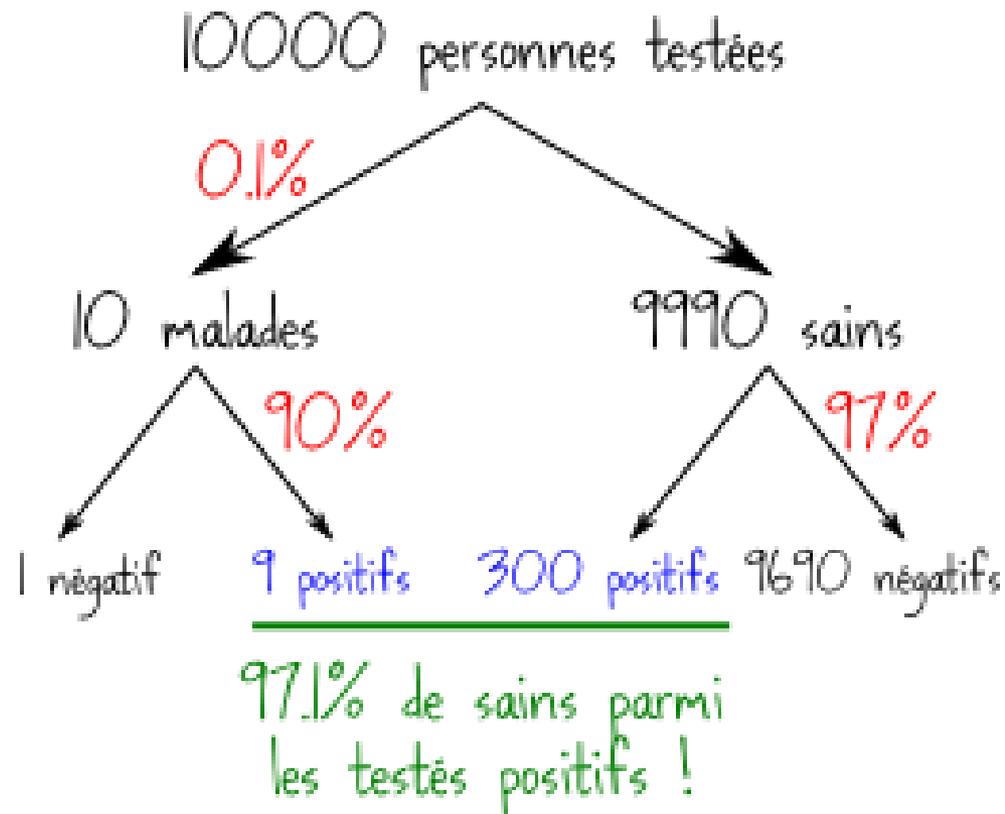
- Test médical sur une maladie
 - ✓ Un test de maladie est positif sur 90% des malades.
 - ✓ Il peut aussi être positif sur 3% des personnes saines
 - ✓ Une personne sur 1000 est malade
 - ✓ On teste 10 000 personnes

Si je suis positif, ai-je plus de chances d'être sain ou malade ?

<https://sciencetonnante.wordpress.com/2012/10/08/les-probabilites-conditionnelles-bayes-level-1/>

Paradoxe apparent seulement

- Exemple de probabilité conditionnelle



<https://sciencetonante.wordpress.com/2012/10/08/les-probabilites-conditionnelles-bayes-level-1/>

QUOI?! QU'EST-CE QU'IL A
NOTRE SYSTÈME D'ÉVALUATION?



Les probabilités inversées

- « 80% des directeurs ont commencé leur carrière comme équipier »
- « 100% des gagnants ont tenté leur chance »

L'effet Will Rogers, ou effet de migration des stades

- Soient 2 groupes d'études pour lesquels on mesure une donnée
 - ✓ Exemple: Intelligence, richesse, efficacité d'un médicament, bien être ressenti, etc.
 - ✓ Le premier lot A comporte 4 patients
 - $\{1,2,3,4\} \Rightarrow \text{moyenne}=(1+2+3+4)/4 = 2,5$
 - ✓ Le deuxième lot B comporte 5 patients
 - $\{5,6,7,8,9\} \Rightarrow \text{moyenne}=(5+6+7+8+9)/5 = 7$
- On décide de changer la répartition des personnes
 - ✓ Le premier lot A comporte 5 patients
 - $\{1,2,3,4,5\} \Rightarrow \text{moyenne}=(1+2+3+4+5)/5 = 3$
 - ✓ Le deuxième lot B comporte 4 patients
 - $\{6,7,8,9\} \Rightarrow \text{moyenne}=(6+7+8+9)/4 = 7,5$
- Exemple: dépistage précoce amélioré
 - ✓ Lot A = personnes malades
 - ✓ Lot B = personnes en bonne santé



On conclut que la moyenne s'est améliorée

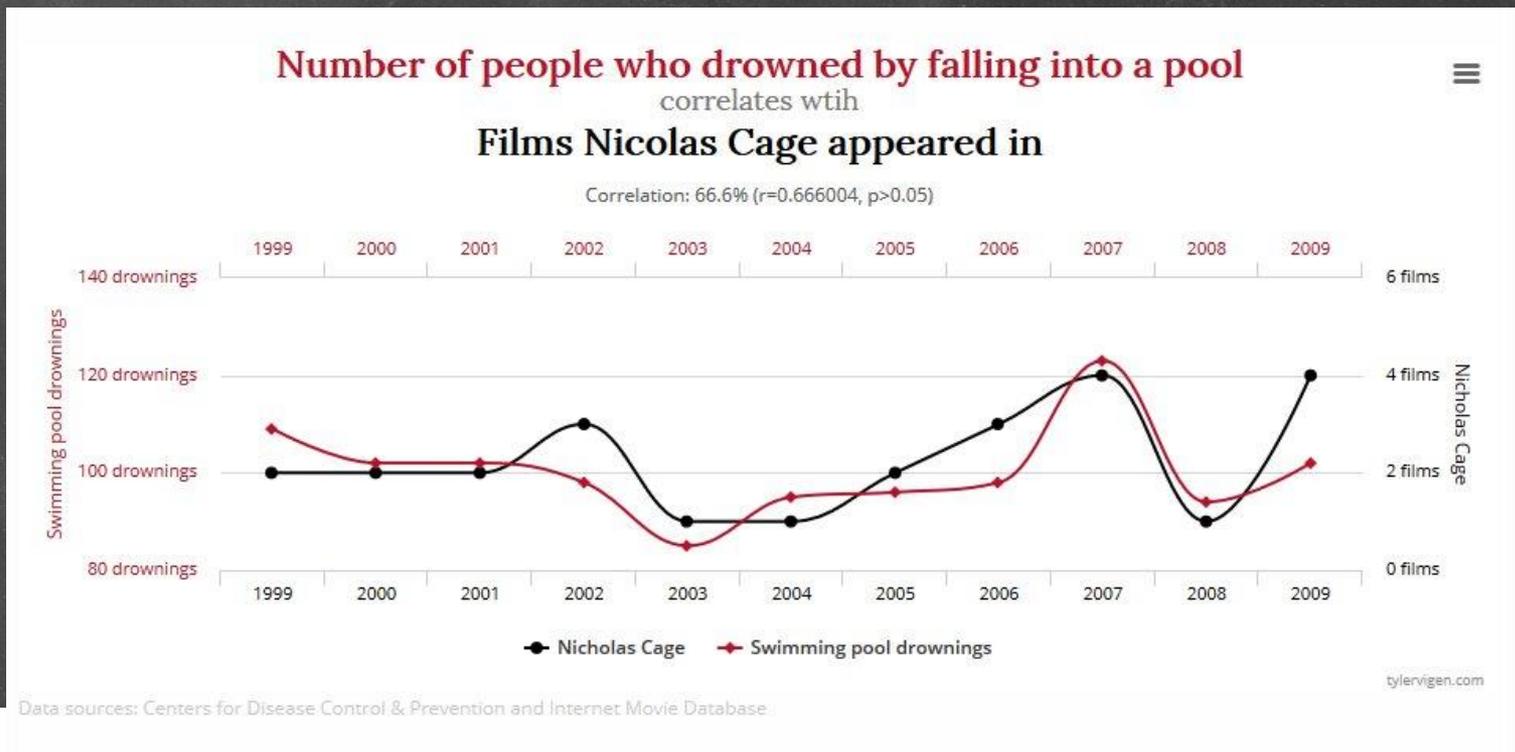


"Ulrich, that's bad science and you know it!"

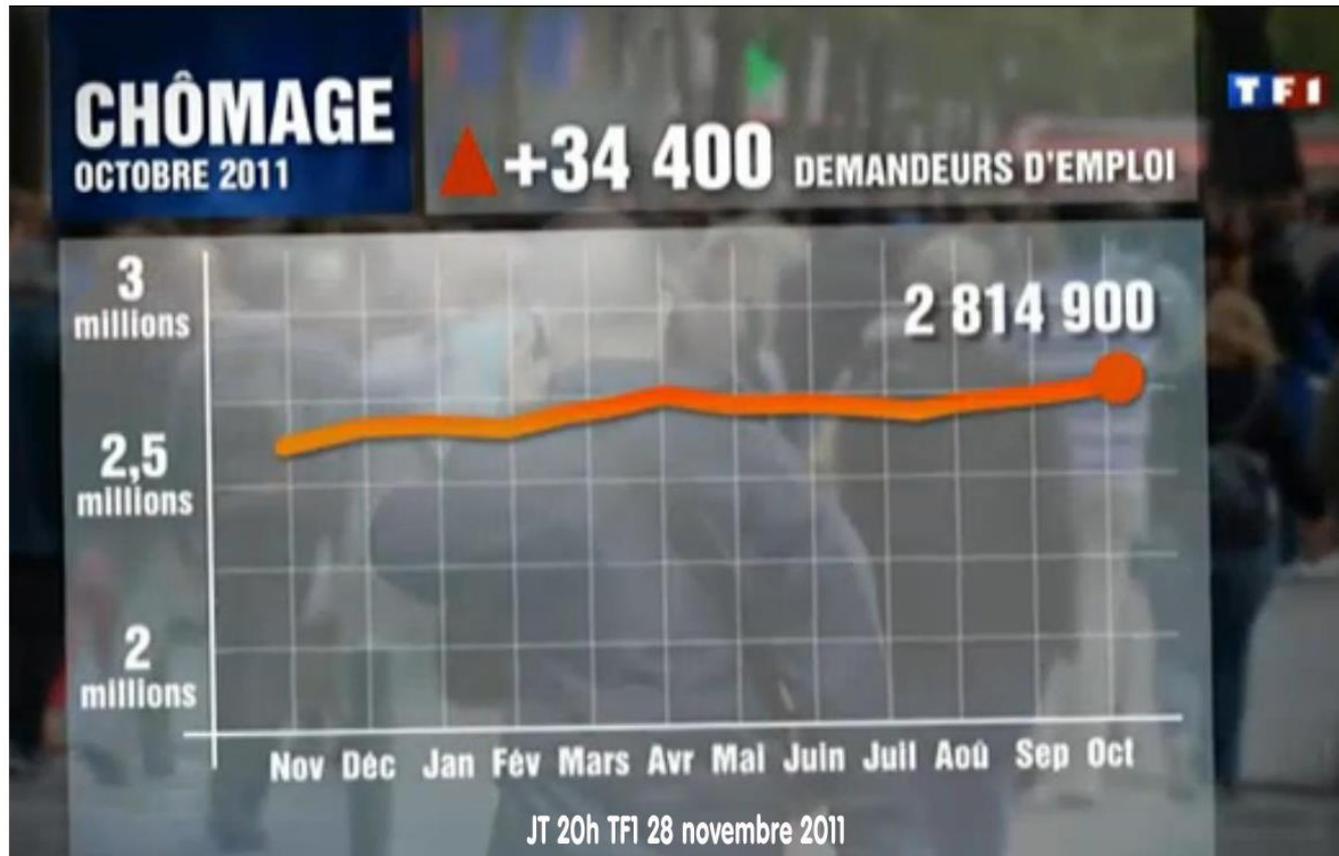
Corrélation n'est pas raison

- Exemple

✓ Dans un train, un couple de gens âgés rencontre un voyageur qui leur offre de goûter un fruit qui leur était jusqu'alors inconnu: la banane. Le vieil homme prend la première bouchée juste au moment où le train s'engouffre dans un tunnel. Il crie aussitôt à sa femme: « N'en mange pas ! Ça rend aveugle ! »



Lecture de graphiques



<https://cortecs.org/ateliers/cours-esprit-critique-et-mathematiques-au-lycee-se-tromper-avec-les-graphiques/#T%C3%A9l%C3%A9chargement>

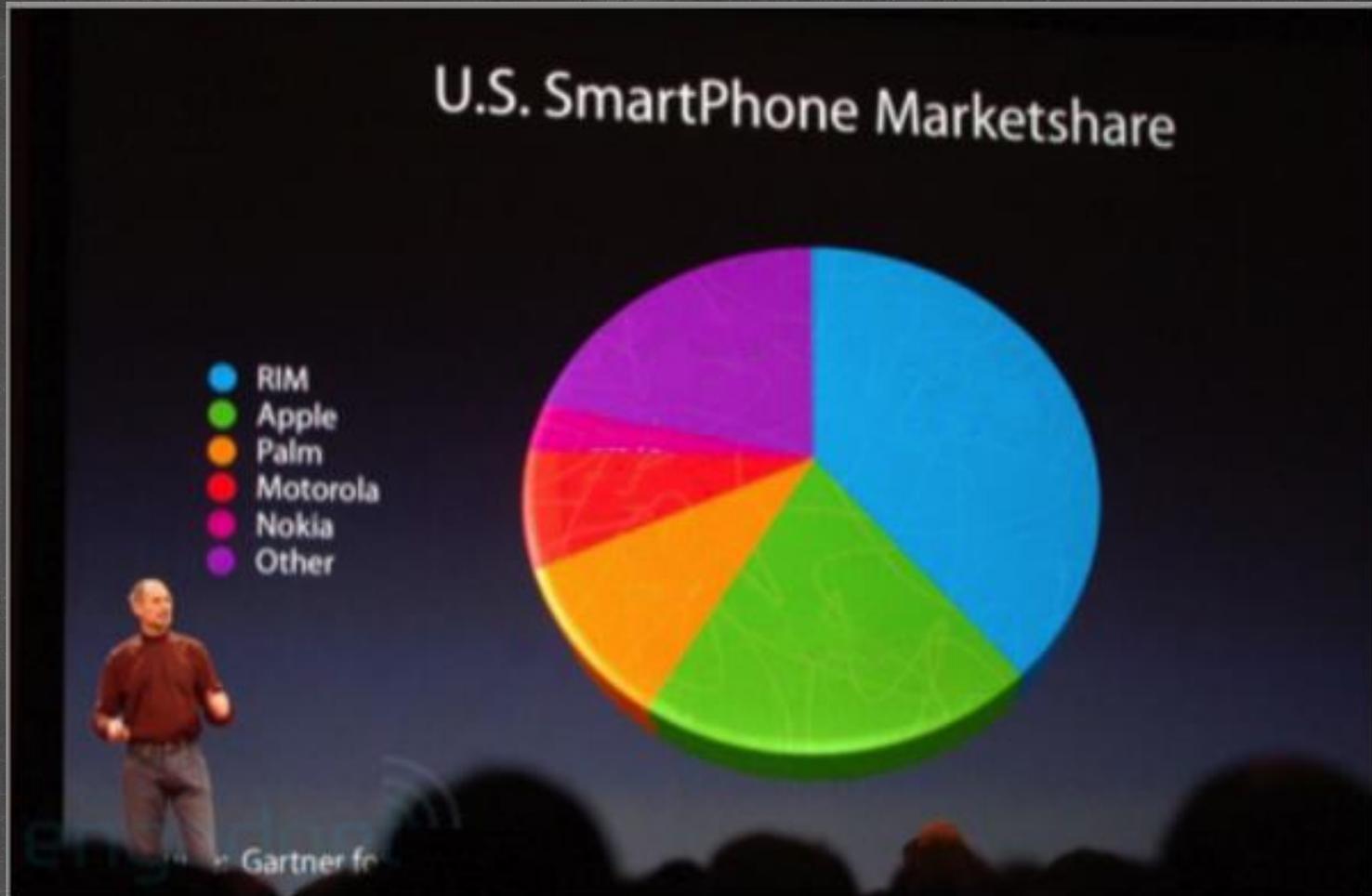
Autre version



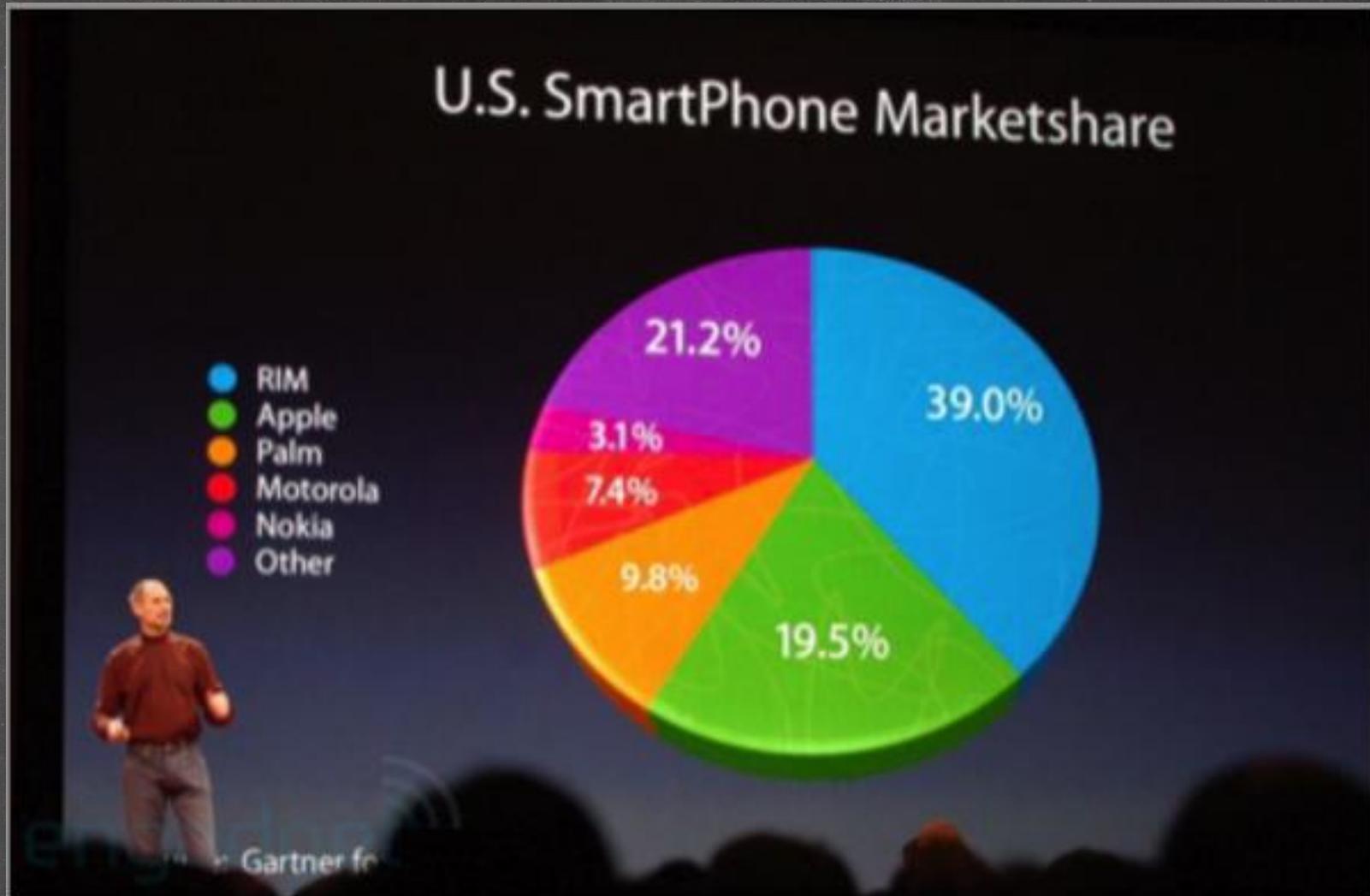
Autre version



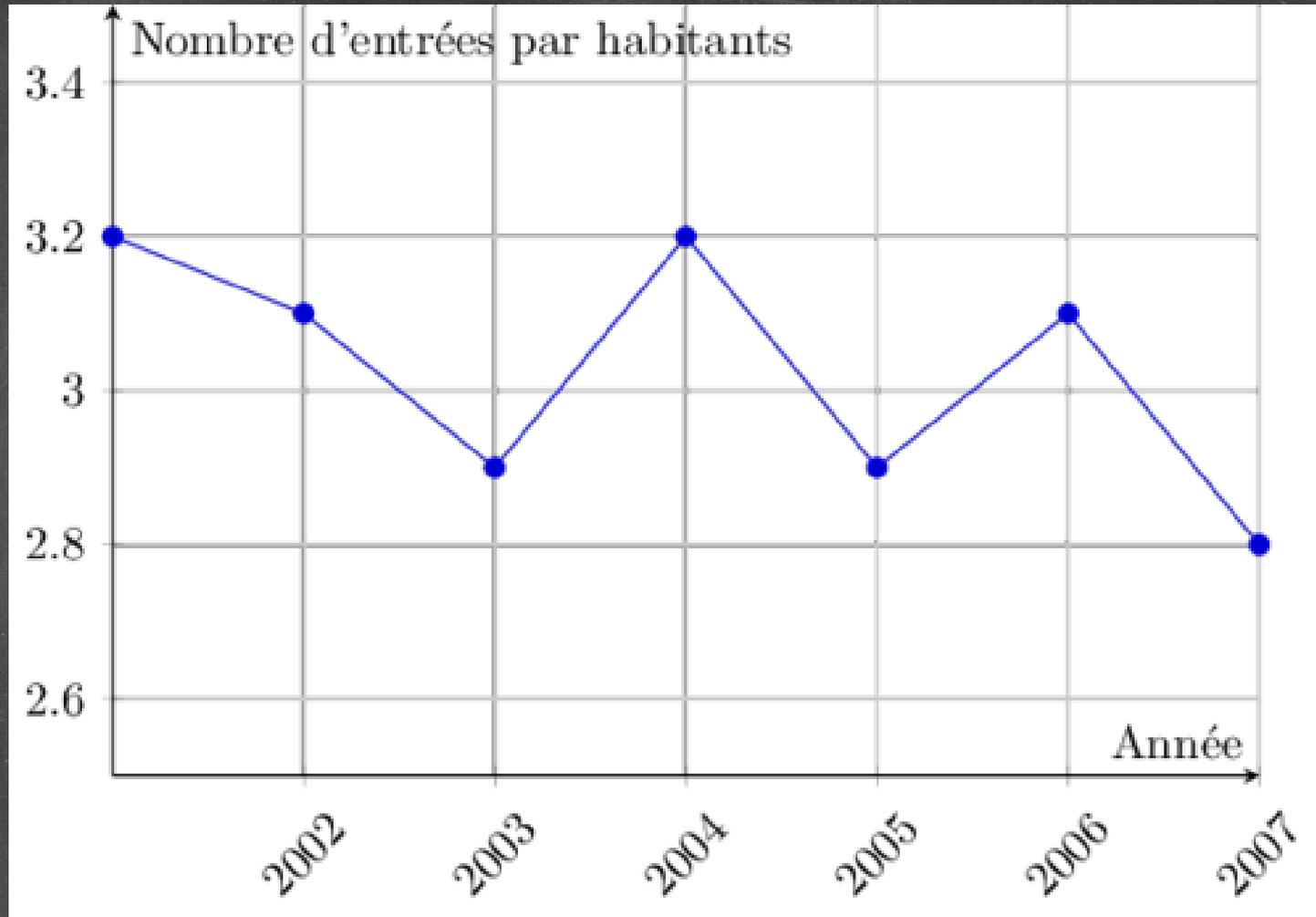
Camenbert



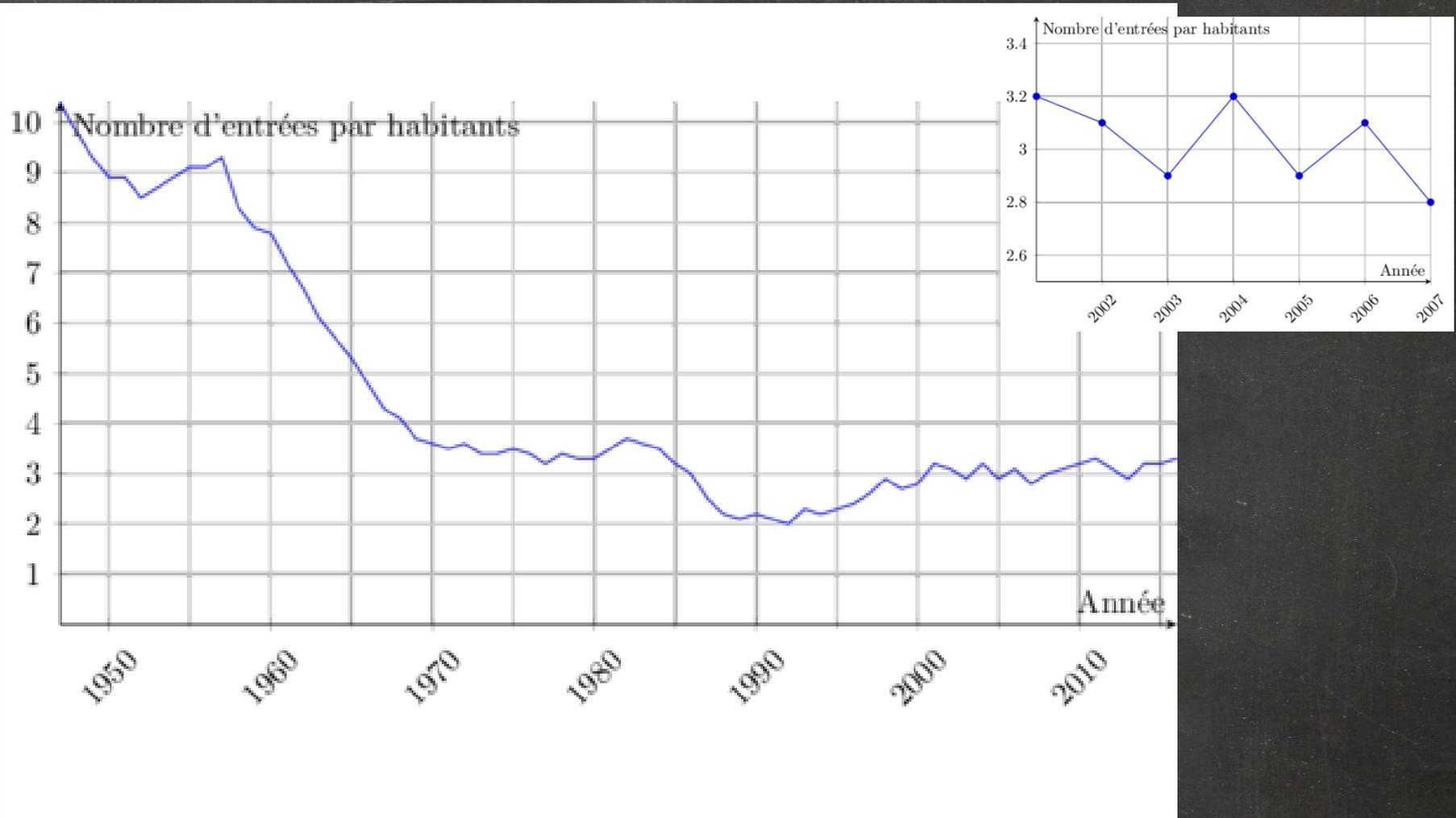
Avec légende



Fréquentation au cinéma



Changement de perspective



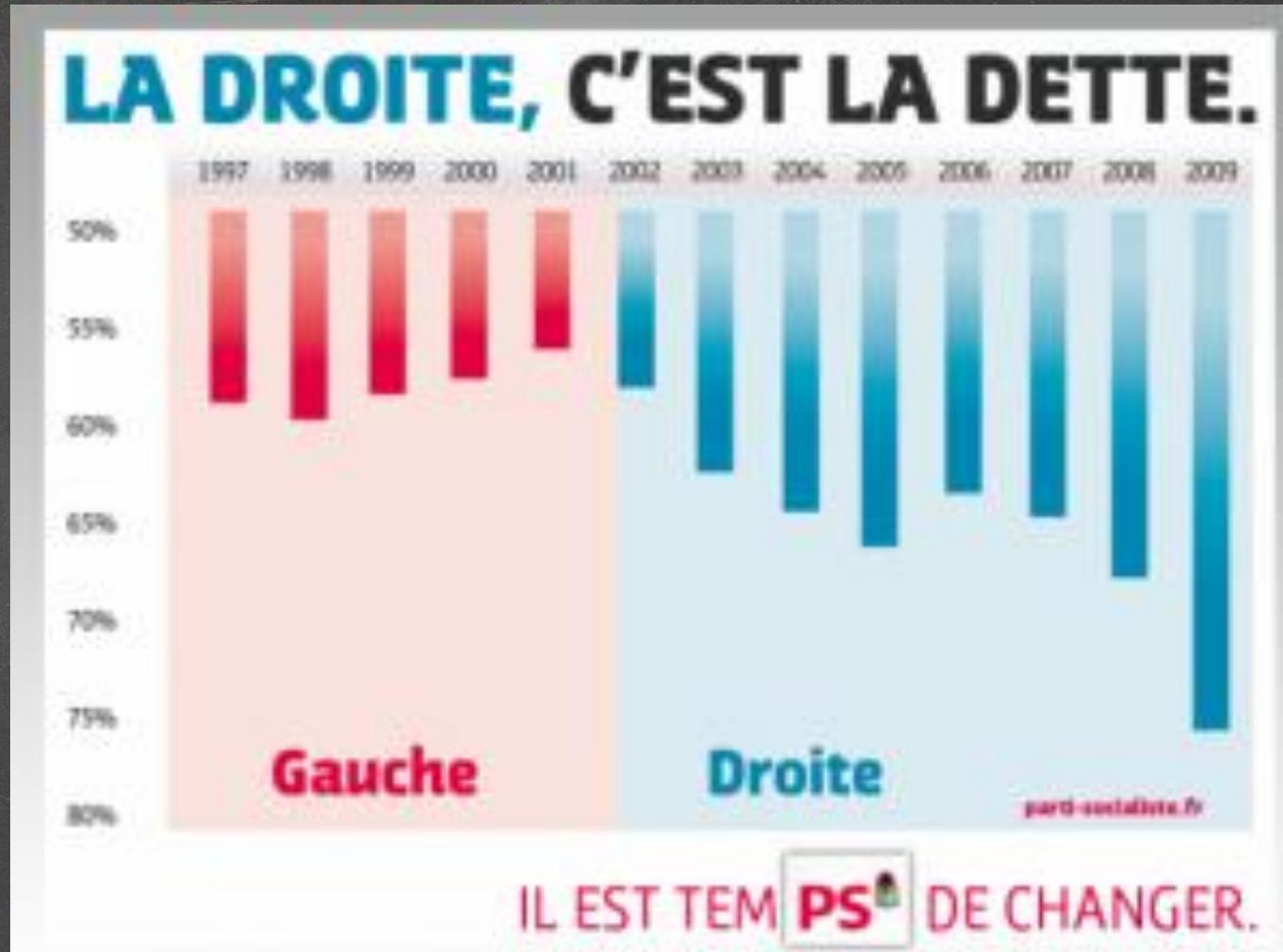
Rayon et surface



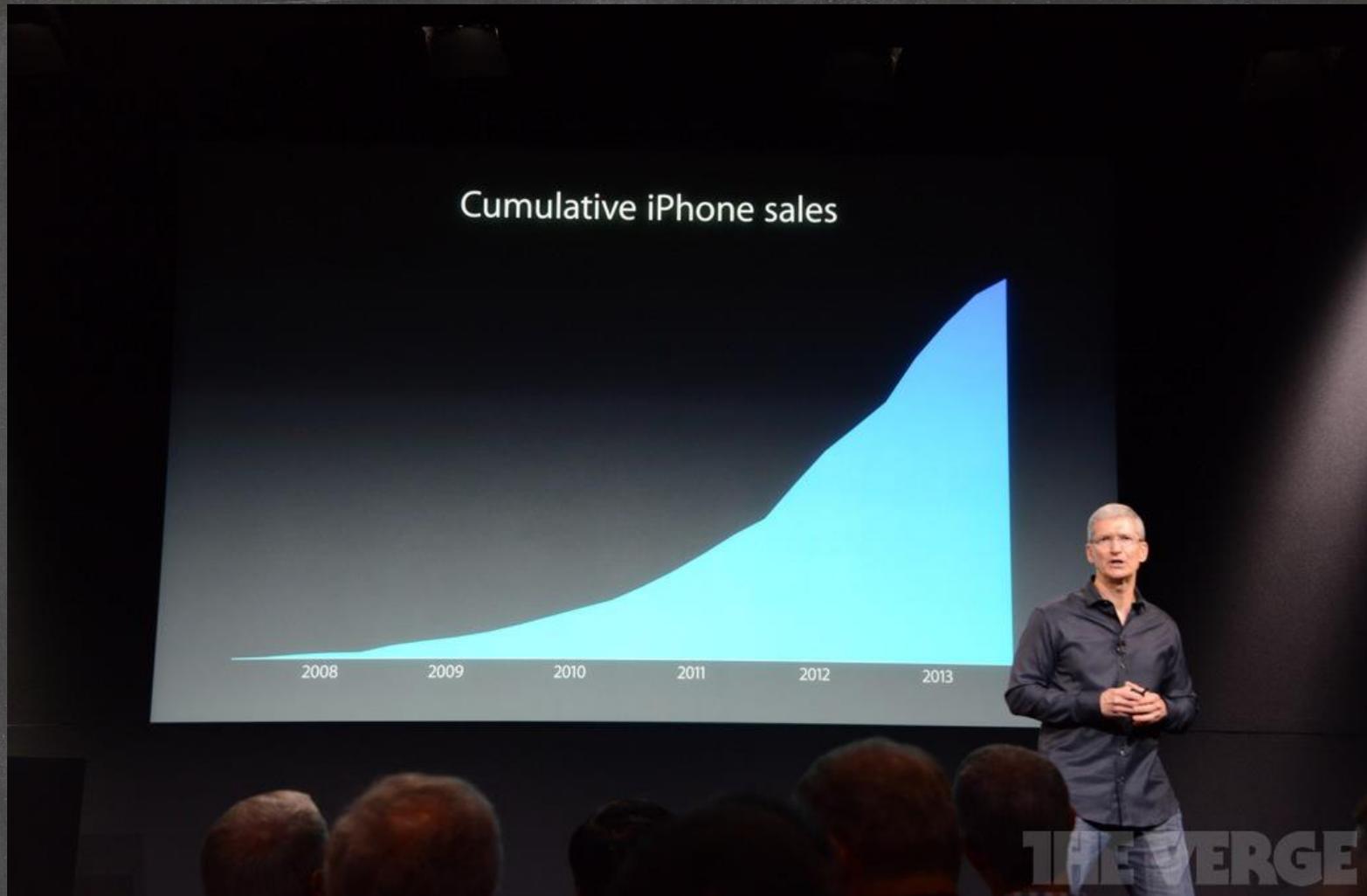
Multiplier le rayon par 2 multiplie la surface par $2^2 = 4$

Multiplier le rayon par 5 multiplie la surface par $5^2 = 25$

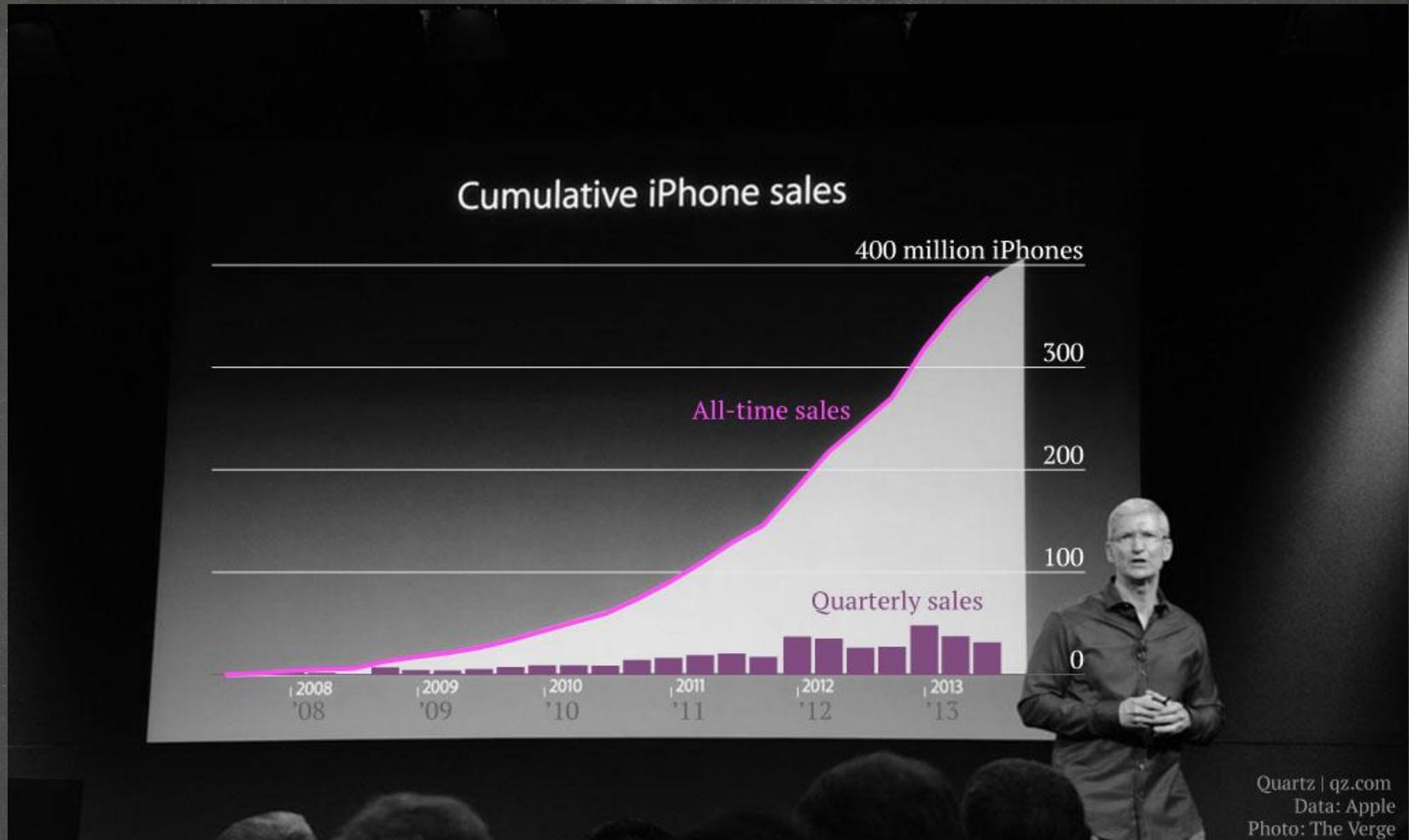
Ne parlons pas de politique



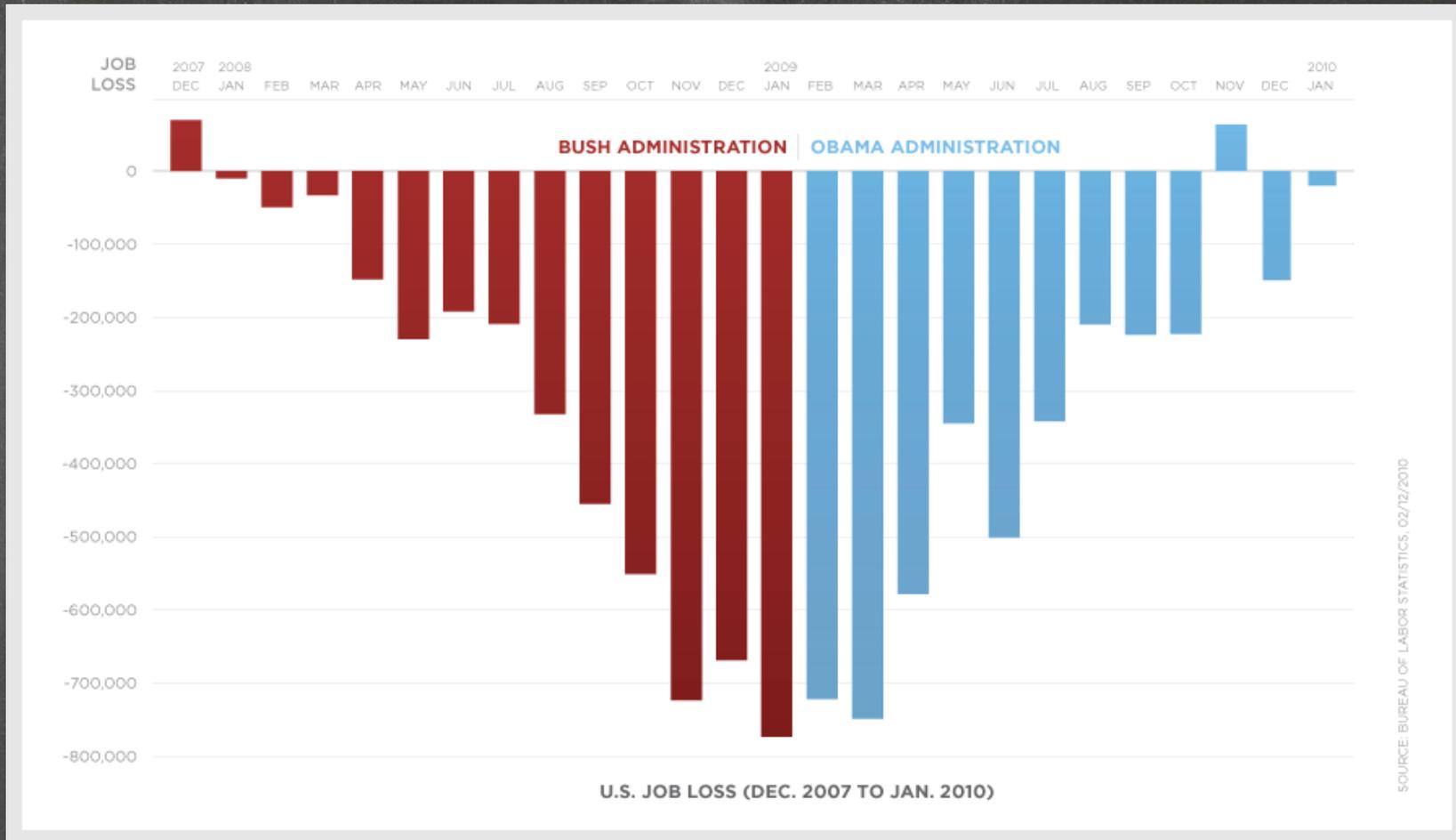
Valeurs cumulées



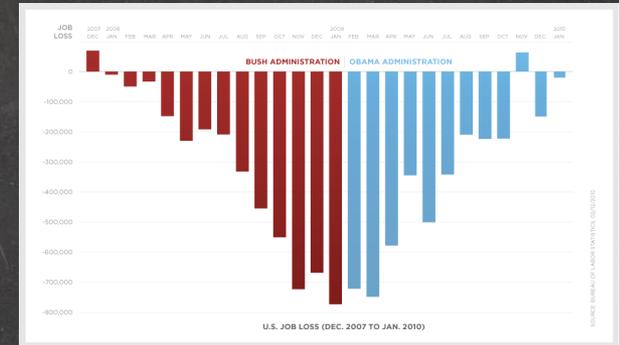
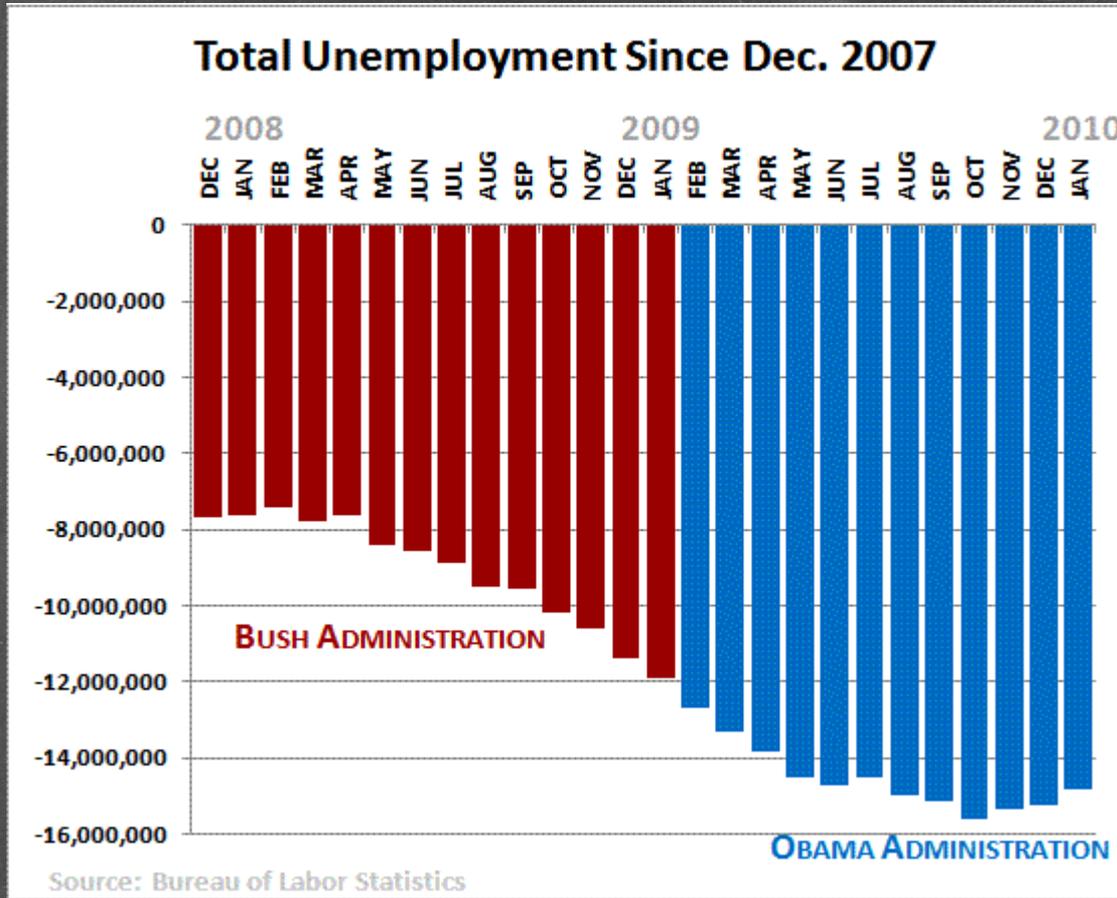
Valeurs annuelles



Emplois perdus



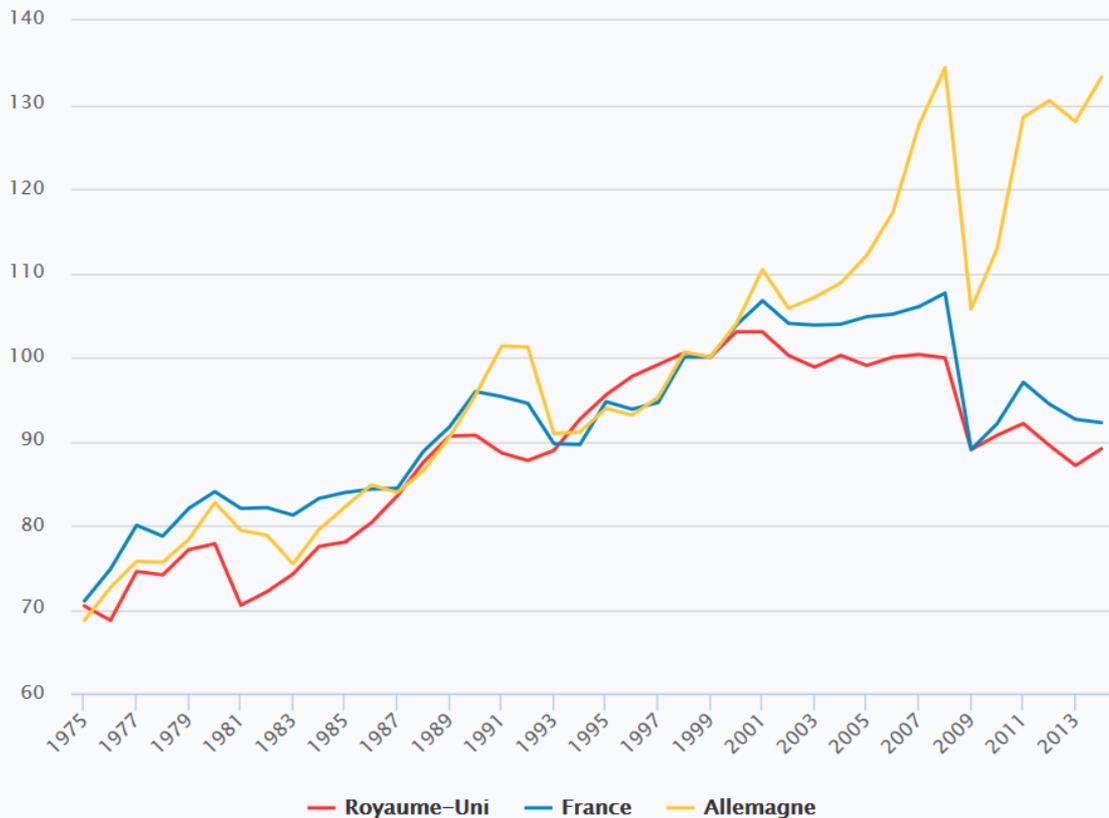
Taux de chômage



Base 100 à quelle date ?

► Production industrielle du Royaume-Uni, de l'Allemagne et de la France

Indice 100 = 1999



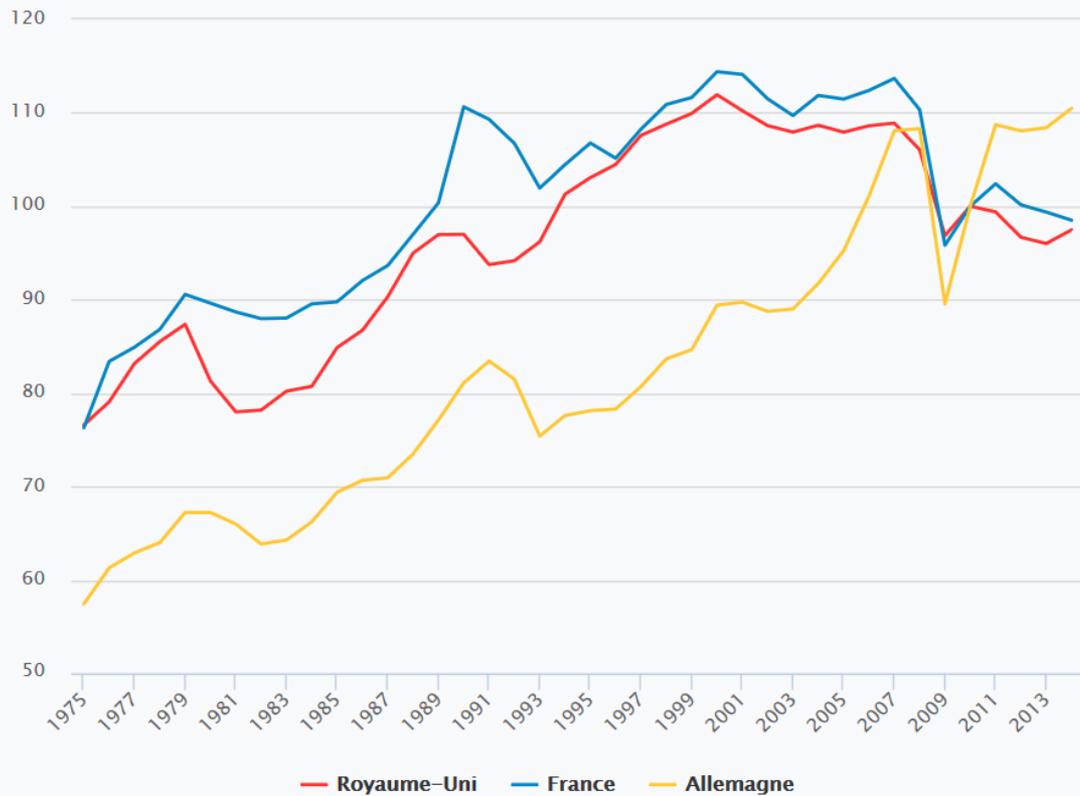
Source : [Federal Reserve Economic Data](#)

1999: c'est la faute de l'Euro

Base en 2010

► Production industrielle du Royaume-Uni, de l'Allemagne et de la France

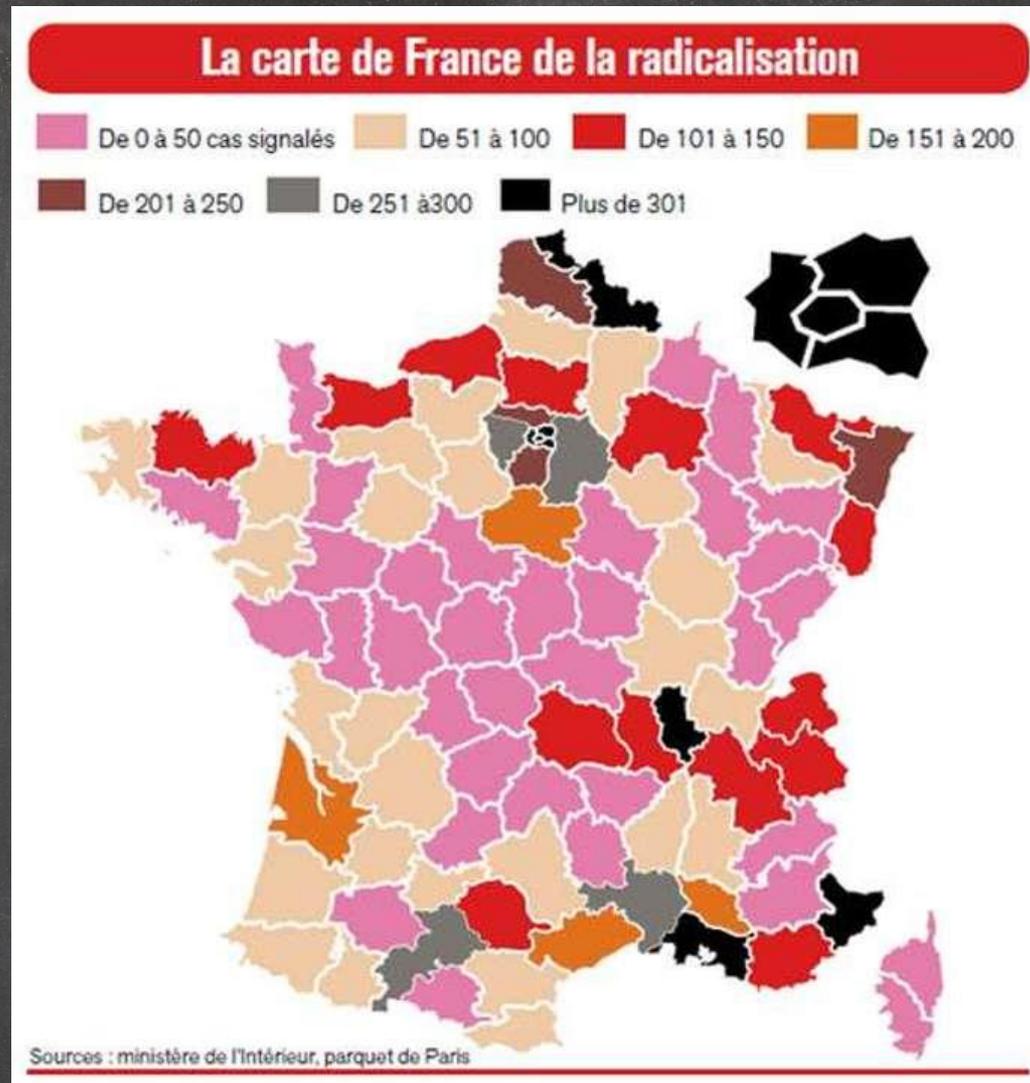
Indice 100 = 2010



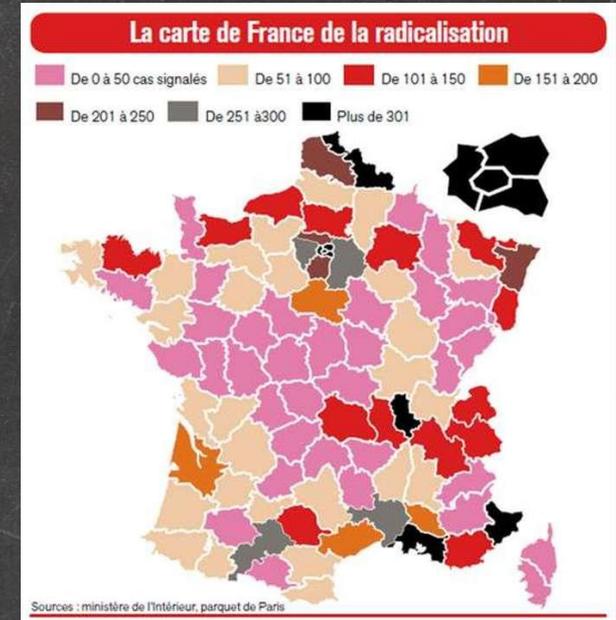
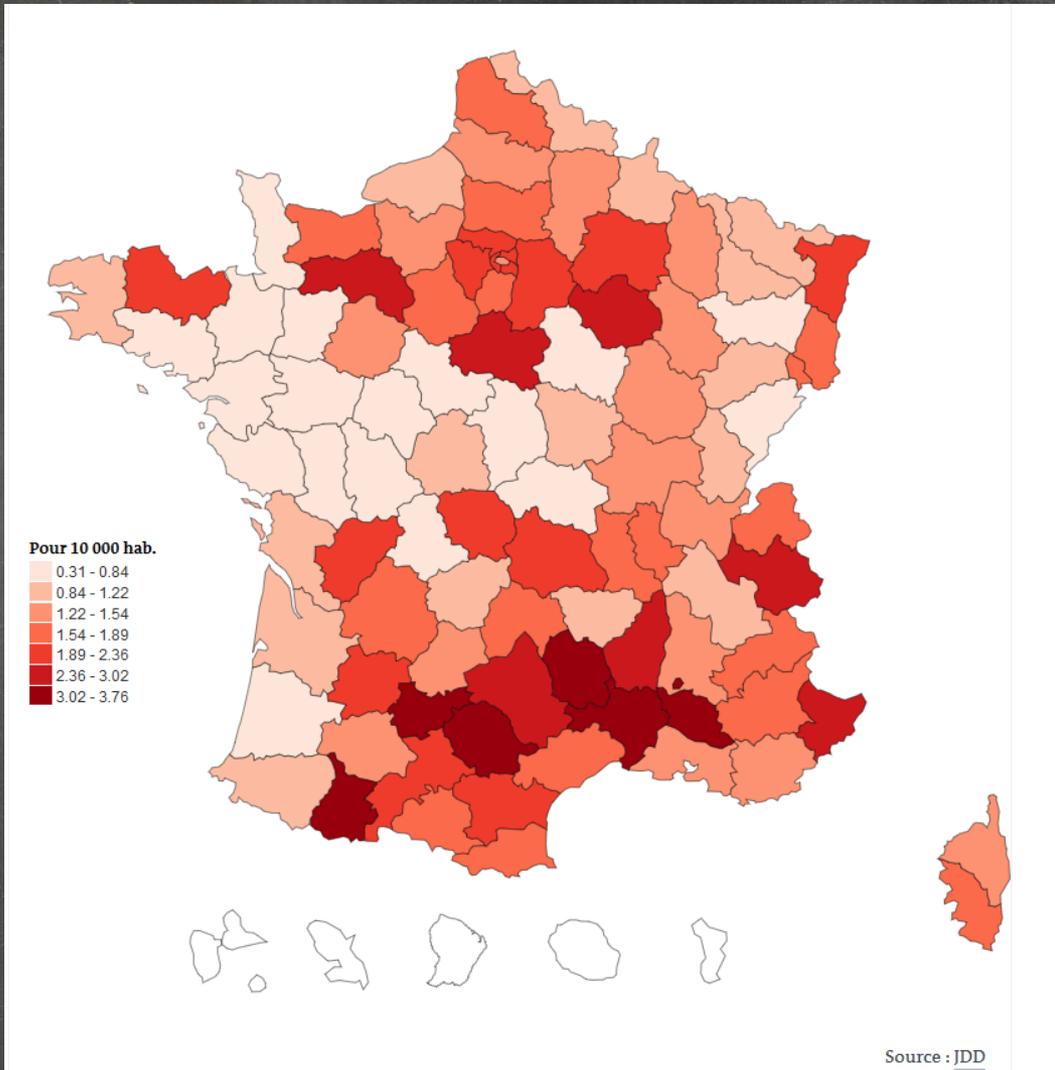
Source : OCDE

2010: c'est la faute de la crise

Donnée brute et population



Ramené à la population



Retour sur la planche de Galton

- <https://youtu.be/rNTFDRhF6Ag>



Jeu du Fakir

La loi normale permet de quantifier la distribution des écarts à la moyenne

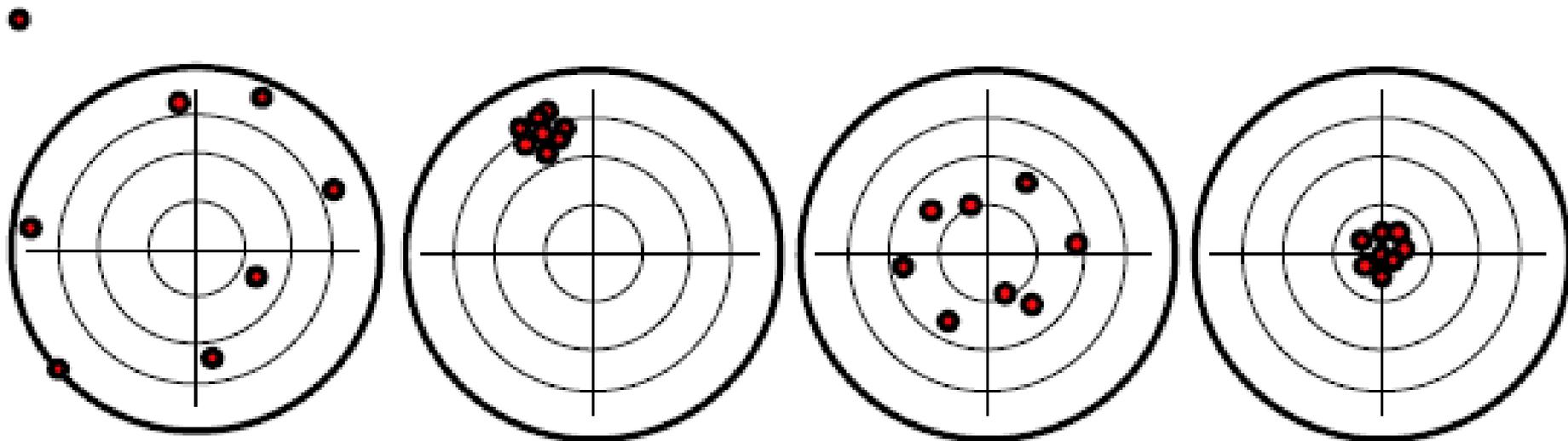
Précision et exactitude

Ni précis ni exact

Précis mais... pas exact

Exact mais... pas précis

Exact et précis



Causalité et hasard

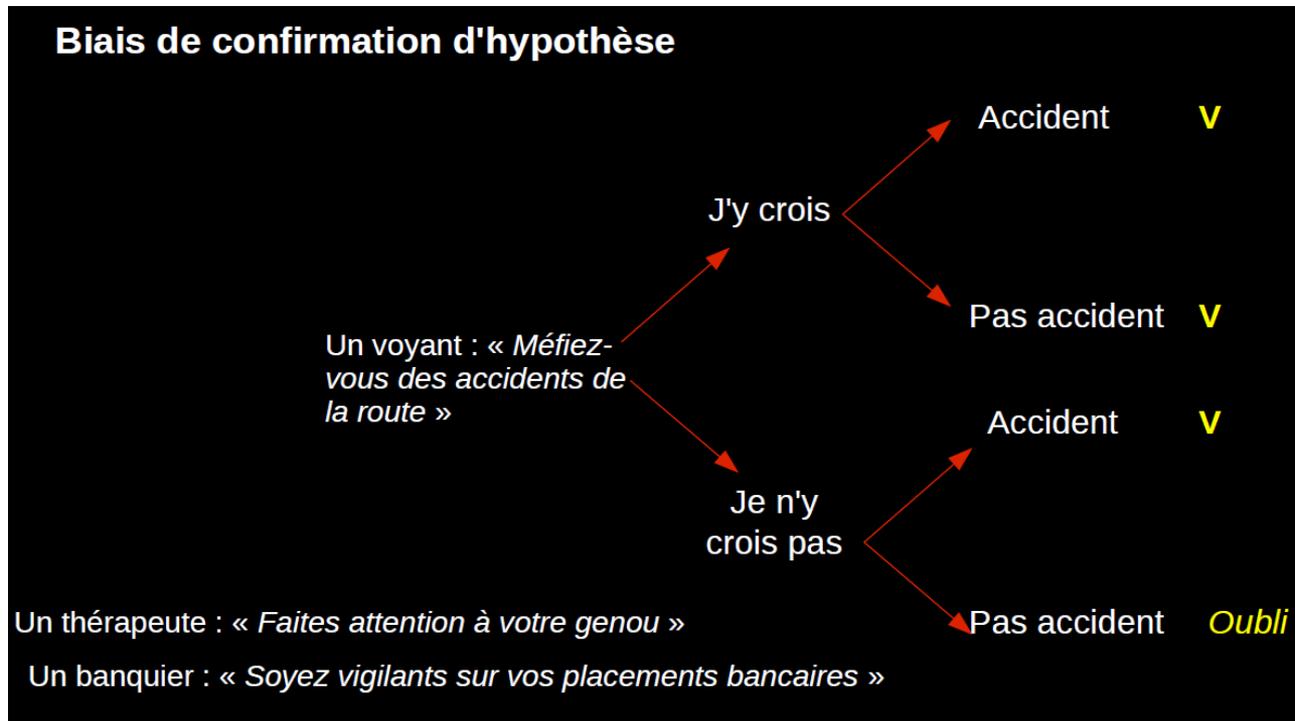
- **E. Klein, le hasard purgatoire de la causalité**
 - ✓ <https://www.youtube.com/watch?v=y8zGqu5cW5s>
 - ✓ « La causalité se déploie dans l'ombre du hasard »
 - ✓ « La présence du hasard est liée à une difficulté de l'explication causale »
 - ✓ « Le hasard est le purgatoire de la causalité »
- Bouleversement de la mécanique quantique:
 - ✓ Hasard intrinsèque



À la semaine prochaine

Biais de confirmation

- Ne retenir que les événements qui vont dans le sens de ce que l'on cherche à démontrer.



Biais de publication

- On aura tendance à publier les études nouvelles qui montre un effet positif
 - ✓ On aura tendance a ne pas publier les études montrant qu'il n'y a pas d'effet
 - ✓ Exemples:
 - Nombre de naissance influencées par la lune
 - Efficacité d'un traitement

<https://cortecs.org/materiel/biais-de-publication-et-effet-tiroir-qui-certains-nest-pas-commode/>