

Énergie

Federico Carminati

12 mars 2014





Thème de l'année

• • •

« L'énergie cosmique : chemin de guérison de l'âme »



DICTIONNAIRE
PHILOSOPHIQUE
PAR M.-F. AROUET
DE VOLTAIRE,



*Il faut répéter ici ce que Locke a tant recommandé ,
définissez les termes.*

*On trouve l'équivoque partout, elle confond tout. Il
faut à chaque mot dire: Qu'entendez-vous? Il faut
toujours répéter : Définissez les termes".*

*Ne perdons jamais de vue la grande règle de définir
les termes.*

ÉQUIVOQUE

Faute de définir les termes.

*Define your terms, you will permit me
again to say, or we shall never understand
one another*



Définissons donc...



- Le mot français « énergie » vient du latin vulgaire *energia*, lui-même issu du grec ancien *ἐνέργεια* / *enérgeia*.
- Ce terme grec originel signifie « force en action », par opposition à *δύναμις* / *dýnamis* signifiant « force en puissance »
- Aristote a utilisé ce terme « au sens strict d'opération parfaite », pour désigner la réalité effective en opposition à la réalité possible
- Ça nous aide pas beaucoup...



Linéarité...



- Je pense (mais c'est personnel) que nous comprenons seulement les relations linéaires...

$$y = \alpha x + b$$

- La découverte des conséquences de la non-linéarité a été une surprise majeure et a introduit la notion de chaos
 - Ça serait pour une prochaine présentation, ce soir nous restons avec l'énergie du cosmos



Et en fait



- Presque toute la physique est décrite en termes d'équations différentielles

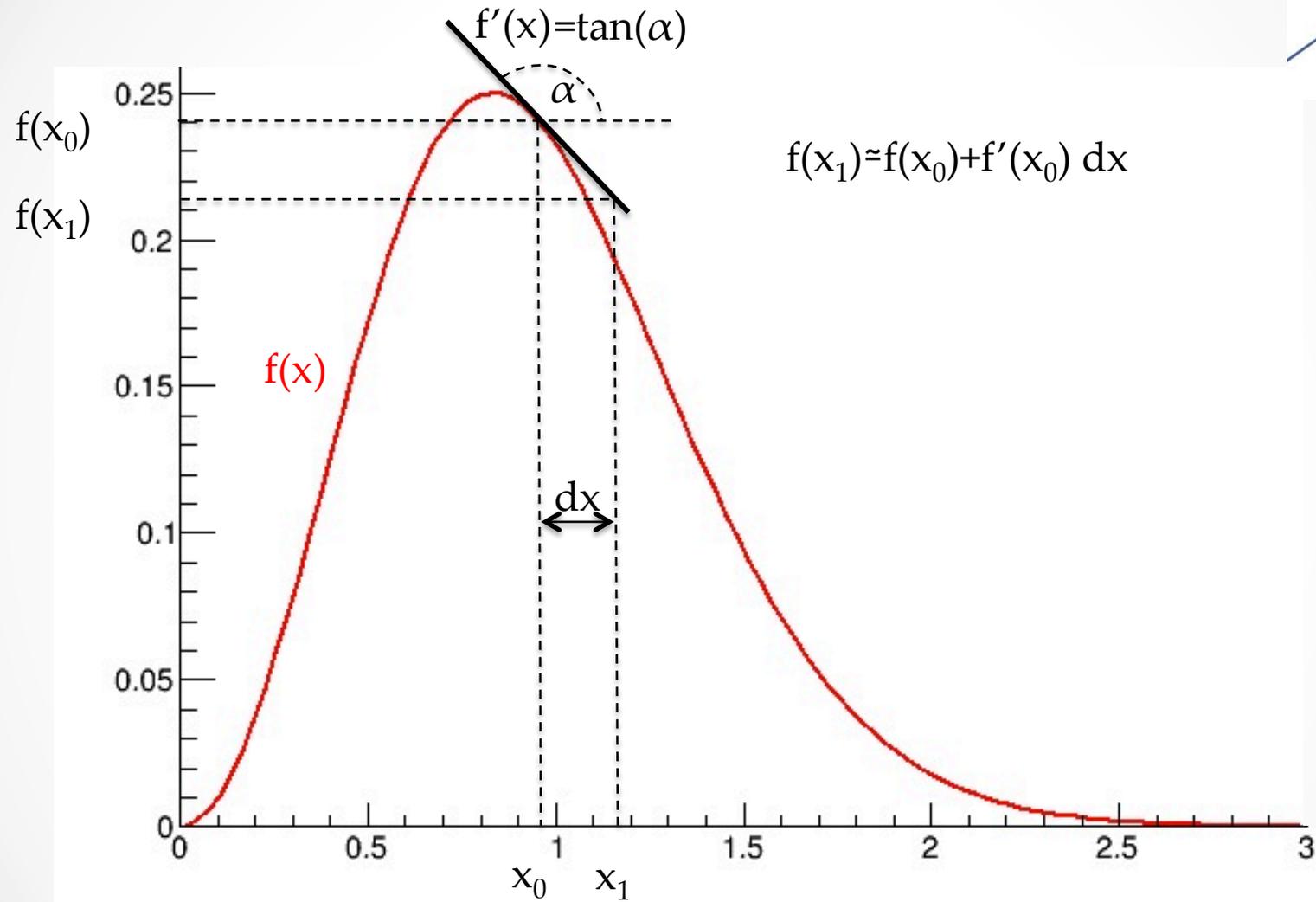
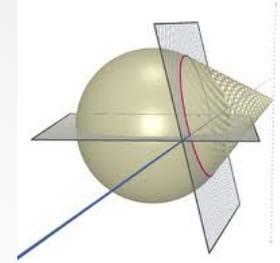
$$y' = f(y)$$

$$y'' = f(y, y')$$

$$F(y'', y', y) = 0$$

...etc

- Car cela exprime une relation locale et linéaire, vraie seulement dans les limites infinitésimales
 - A ce point je voulais faire une digressions sur les limites mais j'ai résisté à la tentation...



Opérations directes, opérations inverses



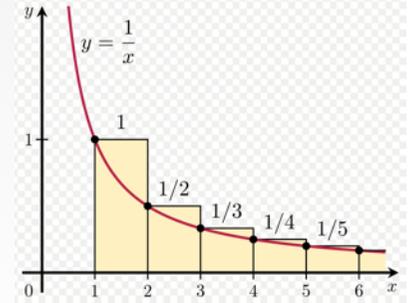
| Facile | Difficile |
|--------------|---------------|
| $a + b$ | $a - b$ |
| $a \times b$ | a / b |
| a^n | $\sqrt[n]{a}$ |
| $f'(x)$ | $\int f(x)dx$ |

- Ne me demandez pas pourquoi, j'aimerais le savoir moi aussi...

•

•

Intégraux et constantes...



- Résoudre une équation différentielle ça peut être très difficile ... mais
- Si nous trouvons des combinaisons de variables qui sont constantes
- Et si nous trouvons une manière de « planquer » ces combinaisons dans notre équation
- Nous pouvons nous « épargner » du travail pour résoudre l'équation
- L'énergie dans les systèmes mécaniques est une constante du mouvement facile à calculer et à utiliser

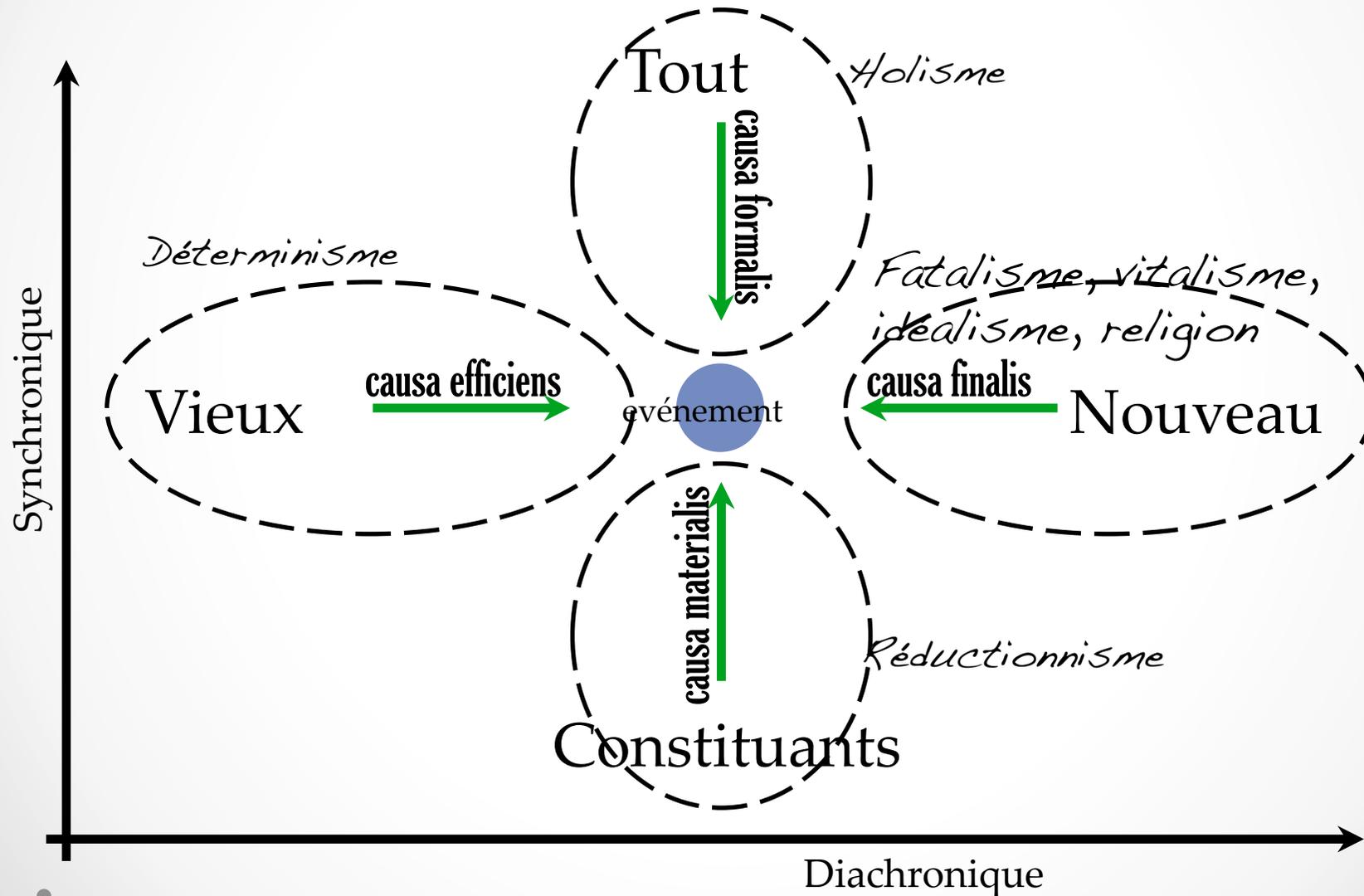


L'énergie une simple
« constante d'intégration »?

Ne vous inquiétez pas, ce
n'est pas la fin de l'histoire...



Petit rappel



Aristote et la physique



- La physique marche souvent avec des causes matérielles et efficientes
 - - Quelque part les équations différentielles ne sont que l'expression mathématique
- Mais toutes les fois que l'on trouve des causes formelles ou finales ça va beaucoup plus vite
 - Nous appelons ça conservations, symétries etcetera
 - Chaque « constante du mouvement » est donc une partie de la cause formelle
- C'est tellement puissant qu'on parle de conservations violées et symétrie brisée...
- En se soumettant toujours à la dure discipline de Popper
 - Est ceci encore pour une autre fois...



Einstein



- Je me mis bientôt à désespérer de la possibilité de trouver de vraies lois par des efforts constructifs à partir de faits connus (c'est à dire: par induction). Et plus j'essayais désespérément, plus j'arrivais à la conviction que seule la découverte d'un principe formel universel pouvait nous conduire à des résultats assurés.
- Mais vous ne croyez tout de même pas sérieusement que l'on ne peut inclure dans une théorie physique que des grandeurs observables?
[...]
cette sorte de philosophie [...] est absurde: c'est seulement la théorie qui décide de ce qui peut être observé.



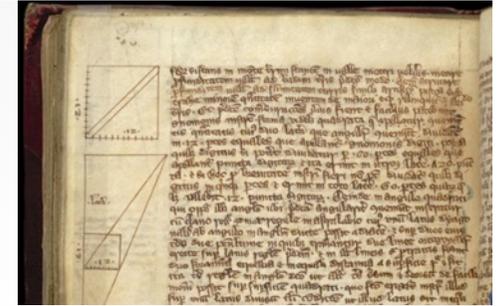
Maupertuis, Descartes ...et dieu



- En 1657 Fermat énonce le principe selon lequel « La nature agit toujours par les voies les plus courtes et les plus simples » (*Synthèse pour les réfractions*)
- Maupertuis le reprend à son compte (1744):
« L'Action est proportionnelle au produit de la masse par la vitesse et par l'espace. Maintenant, voici ce principe, si sage, si digne de l'Être suprême : lorsqu'il arrive quelque changement dans la Nature, la quantité d'Action employée pour ce changement est toujours la plus petite qu'il soit possible. »
- Ceci est plutôt une « causa finalis »
 - Mais ça se discute...



De la philo aux maths...



- Lagrange (1756) « met en formules » ce principe avec ses fameuses équations:

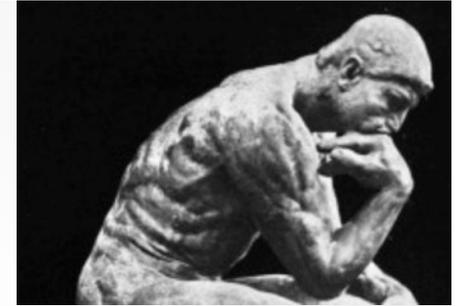
*Ça s'appelle
Lagrangien*

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0$$

C'est si beau!

- Et il démontre que ses équations sont équivalentes à celles de Newton
- Ces équations sont « formellement » vraies aujourd'hui et nous pouvons décrire la physique classique, la relativité et aussi mécanique quantique avec ça

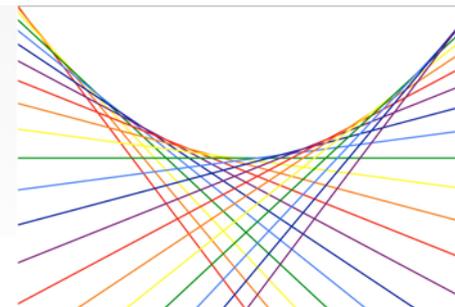
... à la philo...



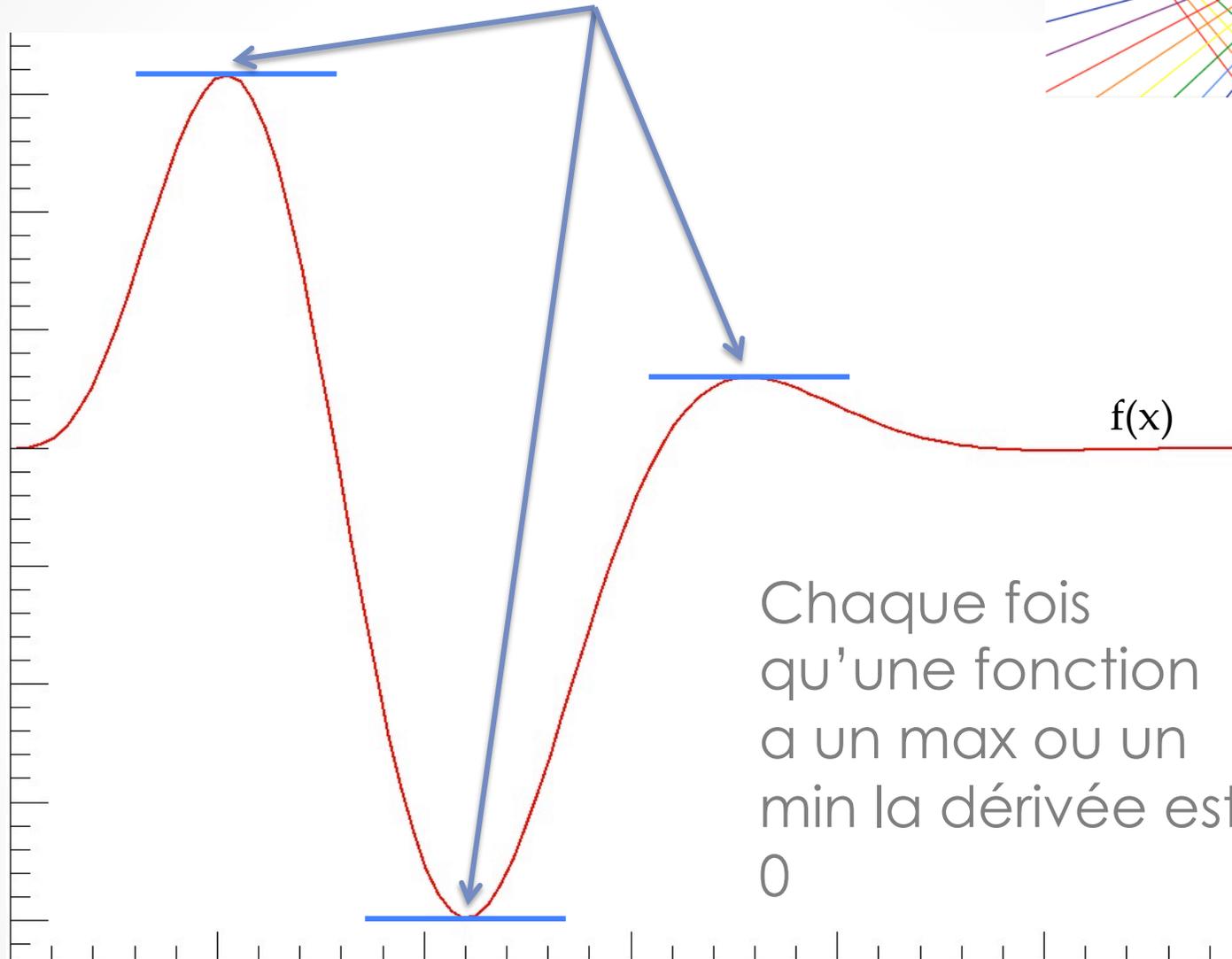
- Dixit Wikipedia: Cette démonstration met un point final aux interrogations métaphysiques sur le principe de moindre action [...] la « cause finale » est alors comprise comme un artifice mathématique
- Pour moi rien n'est moins sûr...
- En revanche ce qui est sûr c'est que le fondamentalisme réductionniste-déterministe est toujours aux aguets même sur la toile
- Mais procédons avec ordre...



dans le cas d'une fonction avec dérivé...



$$\tan(\alpha) = f'(x) = 0$$



... et donc

$$\begin{aligned}\mathcal{L} &= \bar{\psi}(i\hbar c\gamma^\mu D_\mu - mc^2)\psi = \\ &= \bar{\psi}^\dagger \gamma^0 (i\hbar c\gamma^\mu D_\mu - mc^2)\psi = \\ &= \bar{\psi}^\dagger \gamma^0 (i\hbar c\gamma^0 (\partial_0 + \frac{i}{\hbar} eA_0) + ic\gamma^i (\partial_i + \frac{i}{\hbar} eA_i) - mc^2)\psi = \\ &= \bar{\psi}^\dagger (i\hbar c\partial_0 + i\hbar c\gamma^0 \gamma^i \partial_i - \gamma^0 mc^2 - ceA_0 - ce\gamma^0 \gamma^i A_i)\psi = \\ &= \bar{\psi}^\dagger (i\hbar \frac{\partial}{\partial t} + c\alpha^i p_i - \beta mc^2 - ceA_0 - ce\alpha^i A_i)\psi = \\ &= -\bar{\psi}^\dagger (-i\hbar \frac{\partial}{\partial t} + c\alpha^i (-p_i + eA_i) + \beta mc^2 + ceA_0)\psi = \\ &= -\bar{\psi}^\dagger (-i\hbar \frac{\partial}{\partial t} + c\boldsymbol{\alpha} \cdot (\mathbf{p} - e\mathbf{A}) + \beta mc^2 + V)\psi\end{aligned}$$

- Si nous arrivons à écrire notre fatras d'équations sous la forme

$$l(x) = 0$$

(ce qui est toujours possible)

- Et nous définissons $l(x)$ comme la dérivée de $L(x)$, (ce qui encore est toujours possible) nous pouvons dire que la Nature et l'Être suprême sont ainsi faits qu'ils minimisent $L(x)$
- Cela paraît plaider en faveur de la cause des réductionnistes et de leur « artifice mathématique »



Question pour un champion



- Est-ce que ceci veut dire que nous pouvons transformer chaque cause matérielle en une cause formelle par simple intégration?
- C'est donc pour ça que les opérations inverses sont si difficiles, car elles vont du particulier au général?
- Franchement je m'y perd un peu...

... mais néanmoins



- Regardons donc notre « artifice mathématique », c'est à dire L
- Si nous trouvons une transformation qui ne change pas son comportement quant à la définition des lois du mouvement, nous pouvons dire que:
 - Il y a une symétrie
 - Le monde physique est « invariant » pour cette transformation
- Si, de plus et par hasard, nous pouvons décrire cette transformation comme une différentiation, nous pouvons dire qu'à cette symétrie correspond une « conservation », c'est-à-dire une quantité qui ne varie pas avec la transformation car sa dérivée est nulle



Au bonheur des dames



- Pendant plusieurs années les physiciens se sont évertués à trouver des « transformations » qui rendaient apparentes les « symétries » pour découvrir les « recondite harmonie » des systèmes
- Le mot de la fin a été dit par Mme Emmy Noether avec sa fameuse équation que je vous présente pour pur goût esthétique...

$$\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \dot{q} - L \right) T_r - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} Q_r = 0$$

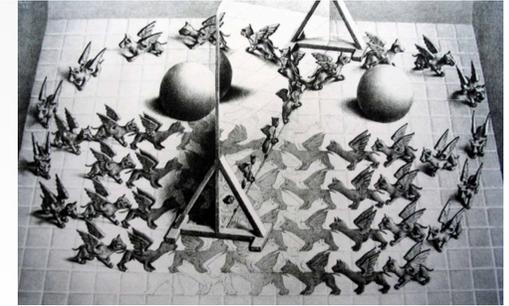
Emmy



- Emmy naît en 1882 dans une famille juive bavaroise. En 1915, elle est invitée par Hilbert et Klein à rejoindre le très renommé département de mathématiques de Göttingen. La faculté de philosophie refuse qu'une femme soit nommée professeur et l'oblige pendant quatre ans à donner des cours sous le nom de Hilbert. En 1919, elle acquiert le titre de Privatdozent. Peu après, le gouvernement nazi exclut les Juifs des universités et Noether émigre aux Etats-Unis
- Au début elle apporte des contributions significatives en théorie des invariants algébriques et des corps de nombres. Son théorème sur les invariants différentiels est « l'un des plus importants théorèmes mathématiques jamais prouvé dans l'orientation du développement de la physique moderne »
- Ensuite elle commence des travaux « qui ont changé la face de l'algèbre »
- Enfin elle publie des avancées majeures en algèbre non commutative et sur les nombres hypercomplexes, et unit la théorie des représentations de groupes avec celle des modules et des idéaux.



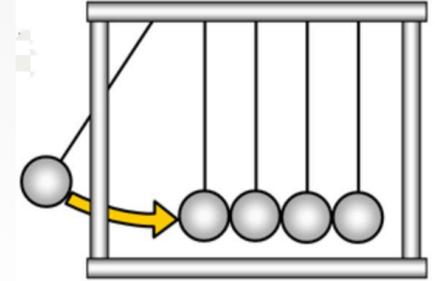
... et en passant de elle à L



- Si nous supposons que les lois de la physique ne changent pas avec le temps, L doit être invariant par translation temporelle
 - C'est à dire si vous changez toutes vos montres
- Dans un système isolé ceci est vrai, et donc voilà une symétrie et une quantité conservée
- Or cette quantité conservée est l'énergie!
- Donc l'énergie est l'invariant qui dérive de la constance des lois de la physique dans le temps



et si vous voulez le savoir...



- L'hypothèse de l'uniformité de l'univers comporte l'invariance de translation spatiale et la conservation de la quantité de mouvement
- L'hypothèse de l'isotropie de l'univers comporte l'invariance de la translation spatiale et la conservation du moment angulaire
- Pas mal pour un « artifice mathématique »

Mais il y a mieux



- La « transformation » qui exprime la constance de l'énergie devient la transformation qui « génère » l'évolution du système dans le temps
- En d'autres termes, l'opérateur qui exprime la symétrie est aussi le « générateur » de l'évolution du système dans la variable associée
- L'énergie est donc indissolublement liée au temps
- De même que le moment angulaire est lié aux rotations et la quantité de mouvement aux translations
- Et tous ensemble, espace, temps et angle sont connectés à la structure de l'univers à travers les quantités dynamiques
- Ce qui est tout sauf banal



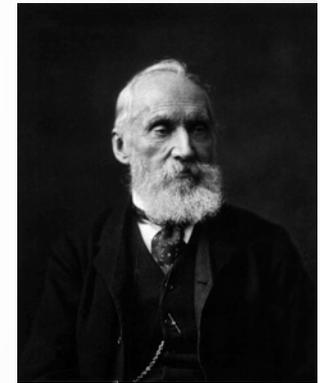
Et ma facture SIG?

- L'énergie mécanique dans ses deux composantes, cinétique et potentielle a été identifiée en premier
- Bacon et Descartes (1600) font le premier lien entre chaleur et mouvement
- Antoine Lavoisier (1700) soutient que la chaleur est un fluide élastique, le calorique, s'écoulant des corps chauds vers les corps froids
- Thomson remarque l'énergie dégagée dans le forage des canons (1798)
- La révolution industrielle force les physiciens à établir le lien entre chaleur et mouvement (1800)
- Naît la thermodynamique



Le trois principes

- « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » (Lavoisier, 1780)
- « Soit un cycle monotherme.
Il ne peut être moteur » (Lord Kelvin, 1830)
- « L'entropie d'un cristal parfait à 0 kelvin est nulle » (Nerst, 1906)
-



Naissance de l'entropie...



- Le deuxième principe semble bien innocent
- Il faut du chaud et du froid pour faire marcher une locomotive...

MAIS

- Chaque mouvement mécanique provoque un frottement et donc de la chaleur qui ne peut pas être entièrement reconvertie en mouvement, car le frottement l'empêche
- La mesure de cette « perte » s'appelle entropie
- Pour chaque système l'entropie ne peut qu'augmenter, en diminuant progressivement l'énergie utilisable



... et mort du monde



- Tout phénomène physique microscopique est réversible
 - Ou presque... (mesure quantique, violation de CP...)
- L'entropie est le seul concept physique où la flèche du temps a une direction bien précise
- Et c'est dans le sens d'une fin du monde « douce », sans catastrophes, simplement dans un désordre sans vie
- L'énergie et la matière sont toujours là, mais simplement sans plus aucune capacité de générer du mouvement



Boltzmann le désordonné

- Boltzmann interprète l'entropie comme une simple question de probabilité microscopique
- Rien n'empêche au parfum qui est sorti d'un flacon d'y rentrer spontanément
 - Mais ça n'arrivera jamais
- Notre destin se joue aux dés, nous pourrions rester jeunes et beaux, c'est simplement très très improbable
- C'est le désordre qui amène le temps et pousse le monde à sa perte
- Le monde de la physique refuse cette idée
- Boltzmann se suicide à Duino en 1906

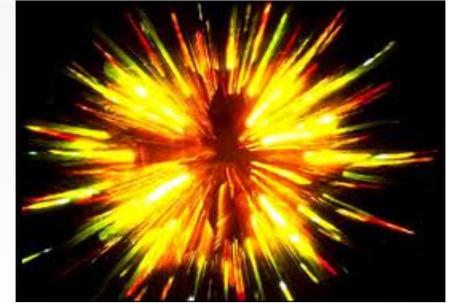


Shannon l'informaticien



- Plus un système est désordonné, plus c'est difficile à décrire en détail
- Shannon suppose que l'entropie puisse mesurer aussi la quantité d'information nécessaire à décrire un système
- Il crée un lien fondamental entre théorie de l'information et thermodynamique
- Ceci aussi sera pour la prochaine fois... 😊

Energie et matière



- En 1905 Einstein publie un papier intitulé « Est-ce que l'inertie d'un objet dépend de sa teneur en énergie » qui propose la fameuse formule

$$E=mc^2$$

- L'énergie donc n'est plus une constante d'intégration ou une symétrie du système, elle devient l'équivalente de la matière
- D'une quantité utile elle devient l'essence de la réalité
- Le cosmos devient donc de l'énergie en puissance et de l'énergie en acte qui interagit avec ma matière



Le principe de Mach *lucean le stelle*



- La masse inertielle c'est la propriété d'un objet de s'opposer au mouvement
- La masse gravitationnelle c'est sa capacité d'attirer d'autres objets
- Galileo découvrit que les deux sont proportionnels
- Einstein en fait un postulat pour la relativité générale
- En partant de ses travaux sur la perception avec Breuer, Ernst Mach élabore un principe selon lequel la masse inertielle d'un objet dépend de l'attraction de toutes les masses de l'univers
 - Donc sa justifierait le postulat d'Einstein
- C'est beau et élégant et il a fasciné Einstein, mais personne n'a pu faire quelque chose



Connections



- Du point de vue psychologique groupal c'est presque une évidence
- « *Nous sommes ce que nous faisons de ce que les autres on voulu faire de nous* » (Sartre)
- Je pense que notre psyché est définie à chaque instant par l'existence même de toutes les autres
- « Statiquement » par ce qui existe dans le subconscient collectif
- « Dynamiquement » par l'interaction avec les groupes multiples auxquels nous appartenons
 - Jusqu'aux confins de l'univers
- **Pouvons nous**
 - Appeler ça « énergie cosmique »
 - Lui attribuer un pouvoir de guérison de l'âme?



Et notre chère mécanique quantique?

- Dans la mécanique quantique le système est représenté par une fonction d'onde continue et étendue dans l'espace
- Formellement l'évolution temporelle de cette fonction d'onde est gouvernée par l'opérateur énergie

*H s'appelle
hamiltonien*

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H} \Psi$$

- Ici aussi l'énergie et le temps sont intimement liés

Une liaison incertaine et inégale

- L'énergie est liée à l'évolution du système dans le temps
- Mais il n'y a pas d'opérateur temps qui « génère » les translations en énergie, car l'énergie a bien une valeur minimum quelque soit le temps
- La « conjugaison » du temps et de l'énergie rend formellement impossible mesurer les deux au même temps

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

- Principe d'incertitude de Heisenberg
-



Voyager dans le temps, créer la matière



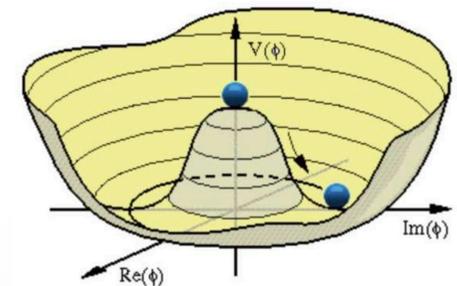
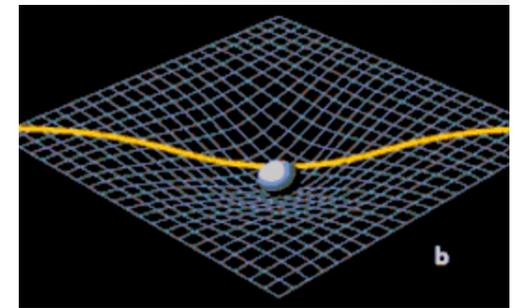
- Le principe d'indétermination nous dit que nous pouvons voyager dans le temps, si nous utilisons très peu d'énergie
- Et que nous pouvons violer la conservation de l'énergie pour un temps très court
- Grâce à ce principe le vide quantique bouillonne de particules qui existent un court instant et disparaissent... à moins que
- Quelqu'un leur donne l'énergie pour exister pour de bon



L'élégance et la nécessité



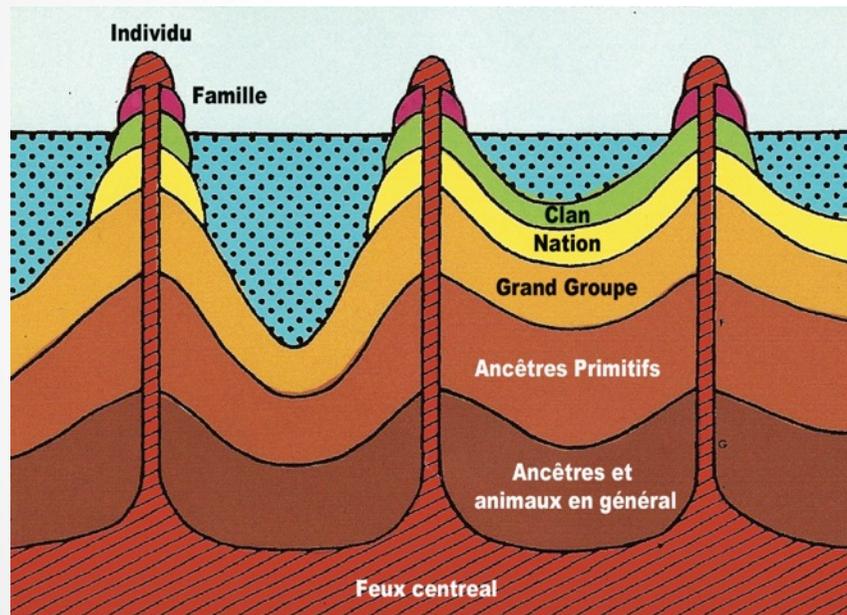
- La relativité est indépendant du décor
 - La matière détermine la géométrie de l'univers et la géométrie détermine la dynamique
 - Temps et espace naissent de la matière
 - L'univers vide est plat
- La mécanique quantique suppose la forme du décor « vide »
 - Les champs façonnent la réalité indépendamment de la matière
 - La matière est créée et détruite dans les champs
 - Espace et temps préexistent à la matière
 - L'univers vide contient en puissance toute la réalité



J'ai été forcé à écrire ce qui suit
par Giuliana.
Lasciate ogni speranza o voi
ch'entrate



H et nous

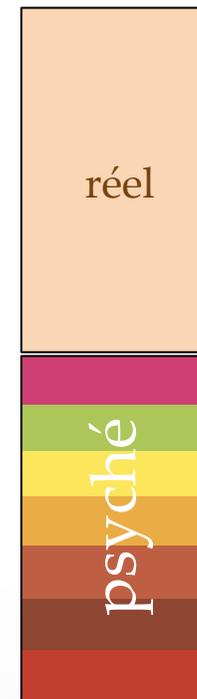


- Supposons que nous puissions décrire la réalité psychique par des systèmes quantique « faibles »
- Très probablement dans une échelle de « faiblesse » du plus primitif au plus structuré
 - Pour terminer avec la psyché individuelle

L'unus mundus



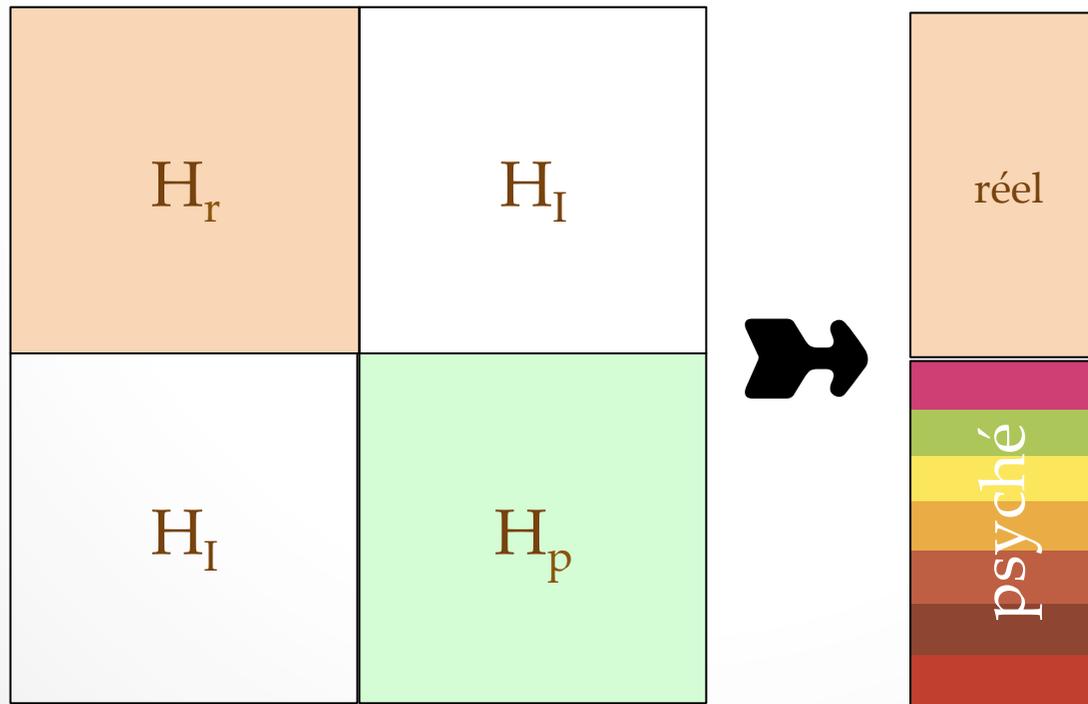
- Supposons en outre qu'il y ait un système générale qui inclut le monde psychique et le monde réel
 - Dans lequel nous aurions une mécanique quantique « forte » ou classique



H



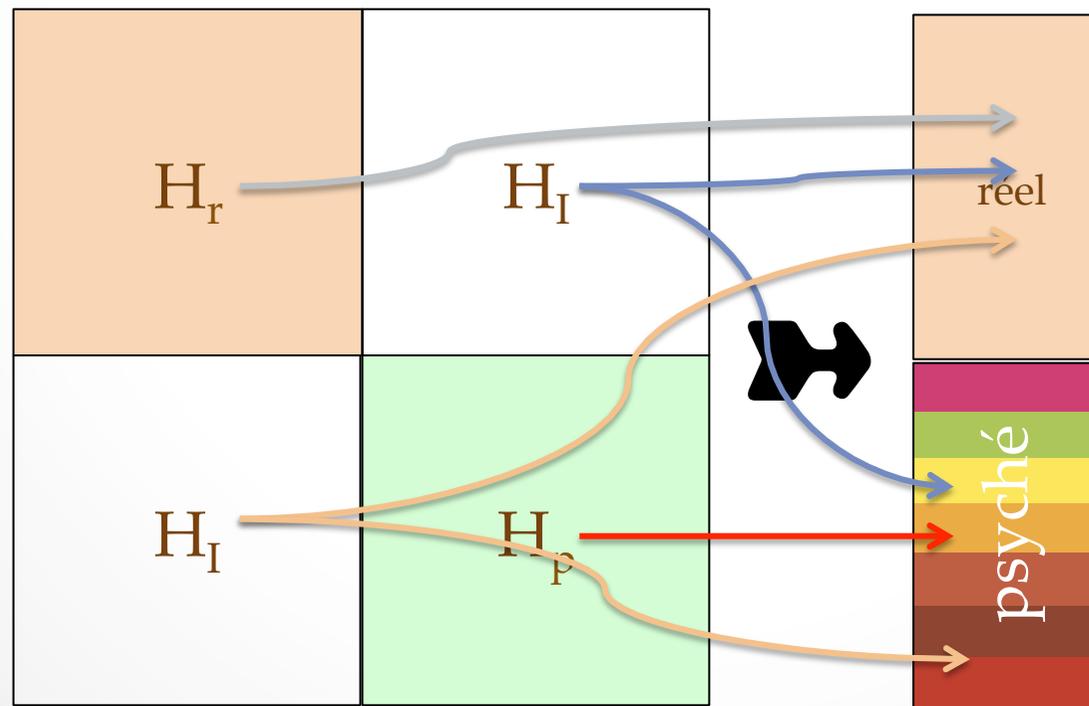
- Supposons encore qu'il y ait un hamiltonien pour faire évoluer tout ça dans le temps



Evolution



- H_r s'occupe de faire évoluer la réalité et H_p la psyché
- H_I par contre les ferait interagir



Interactions et synchronicité



- Esprit et matière interagissent tout le temps
 - Introjection des observations du monde réel
 - Décision d'agir sur le monde
- Il y a des interactions qui créent un état intriqué et d'autres qui ne le créent pas
- Si il y a intrication, nous aurions une relation en dehors de l'espace et du temps et violant les lois de la causalité
 - Comme ça se passe entre esprit et matière, il y a un élément de subjectivité
- Ce que nous appelons un phénomène de synchronicité





Trop de notes

- Mettre tout ça en musique ça prendra du temps
- Et quelque calcul...

$$\Psi = \alpha|0\rangle_1|0\rangle_2 + \beta|0\rangle_1|1\rangle_2 + \gamma|1\rangle_1|0\rangle_2 + \delta|1\rangle_1|1\rangle_2$$

$$= \alpha|0\rangle_1|0\rangle_2 + k\alpha|0\rangle_1|1\rangle_2 + \gamma|1\rangle_1|0\rangle_2 + k\gamma|1\rangle_1|1\rangle_2$$

$$= \alpha|0\rangle_1(|0\rangle_2 + k|1\rangle_2) + \gamma|1\rangle_1(|0\rangle_2 + k|1\rangle_2)$$

$$= (\alpha|0\rangle_1 + \gamma|1\rangle_1)(|0\rangle_2 + k|1\rangle_2)$$

$$= (a)$$

$$\mathcal{H}_2 = \begin{pmatrix} \frac{h_{1,1}+h_{3,3}}{2} & \frac{h_{1,2}+h_{3,4}}{2} & 0 & 0 \\ \frac{h_{1,2}^*+h_{3,4}^*}{2} & \frac{h_{2,2}+h_{4,4}}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{h_{1,1}+h_{3,3}}{2} & \frac{h_{1,2}+h_{3,4}}{2} \\ 0 & 0 & \frac{h_{1,2}^*+h_{3,4}^*}{2} & \frac{h_{2,2}+h_{4,4}}{2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \rho_A & \frac{\rho_A \rho_D}{\rho_C} & \rho_C e^{i\phi} & \rho_D e^{i\phi} \\ \frac{\rho_A \rho_D}{\rho_C} & -\rho_A & \rho_D e^{i\phi} & -\rho_C e^{i\phi} \\ \rho_C e^{-i\phi} & \rho_D e^{-i\phi} & -\rho_A & -\frac{\rho_A \rho_D}{\rho_C} \\ \rho_D e^{-i\phi} & -\rho_C e^{-i\phi} & -\frac{\rho_A \rho_D}{\rho_C} & \rho_A \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{H} = \mathcal{H}_1 + \mathcal{H}_2 + \begin{pmatrix} \frac{z_{1,1}-z_{2,2}}{2} & z_{1,2} & \frac{h_{1,3}-h_{2,4}}{2} & h_{1,4} \\ z_{1,2}^* & -\frac{z_{1,1}-z_{2,2}}{2} & h_{2,3} & -\frac{h_{1,3}-h_{2,4}}{2} \\ \frac{h_{1,3}^*-h_{2,4}^*}{2} & h_{2,3}^* & -\frac{z_{1,1}-z_{2,2}}{2} & -z_{1,2} \\ h_{1,4}^* & -\frac{h_{1,3}^*-h_{2,4}^*}{2} & -z_{1,2}^* & \frac{z_{1,1}-z_{2,2}}{2} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} h_{1,1}^i & h_{1,2}^i & h_{1,3}^i & h_{1,4}^i \\ h_{1,2}^{i*} & -h_{1,1}^i & h_{2,3}^i & -h_{1,3}^i \\ h_{1,3}^{i*} & h_{2,3}^i & -h_{1,1}^i & -h_{1,2}^i \\ h_{1,4}^{i*} & -h_{1,3}^i & -h_{1,2}^i & h_{1,1}^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B & C & D \\ B^* & -A & E & -C \\ C^* & E^* & -A & -B \\ D^* & -C^* & -B^* & A \end{pmatrix} \quad (10)$$

is not entangled iff $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\gamma}{\delta} \Leftrightarrow \alpha\delta = \beta\gamma$

.. on vous tiendra au courant

Et pour finir



- Là nous pourrions parler d'énergie cosmique reliant matière et esprit dans l'Unus Mundus
- Ça serait aussi intéressant de discuter du concept de deuil et de guérison dans ce contexte
- Et évidemment considérer le rôle de l'entropie dans l'évolution du système



... à suivre et merci pour
votre attention...

...

