



La mécanique, physique du mouvement

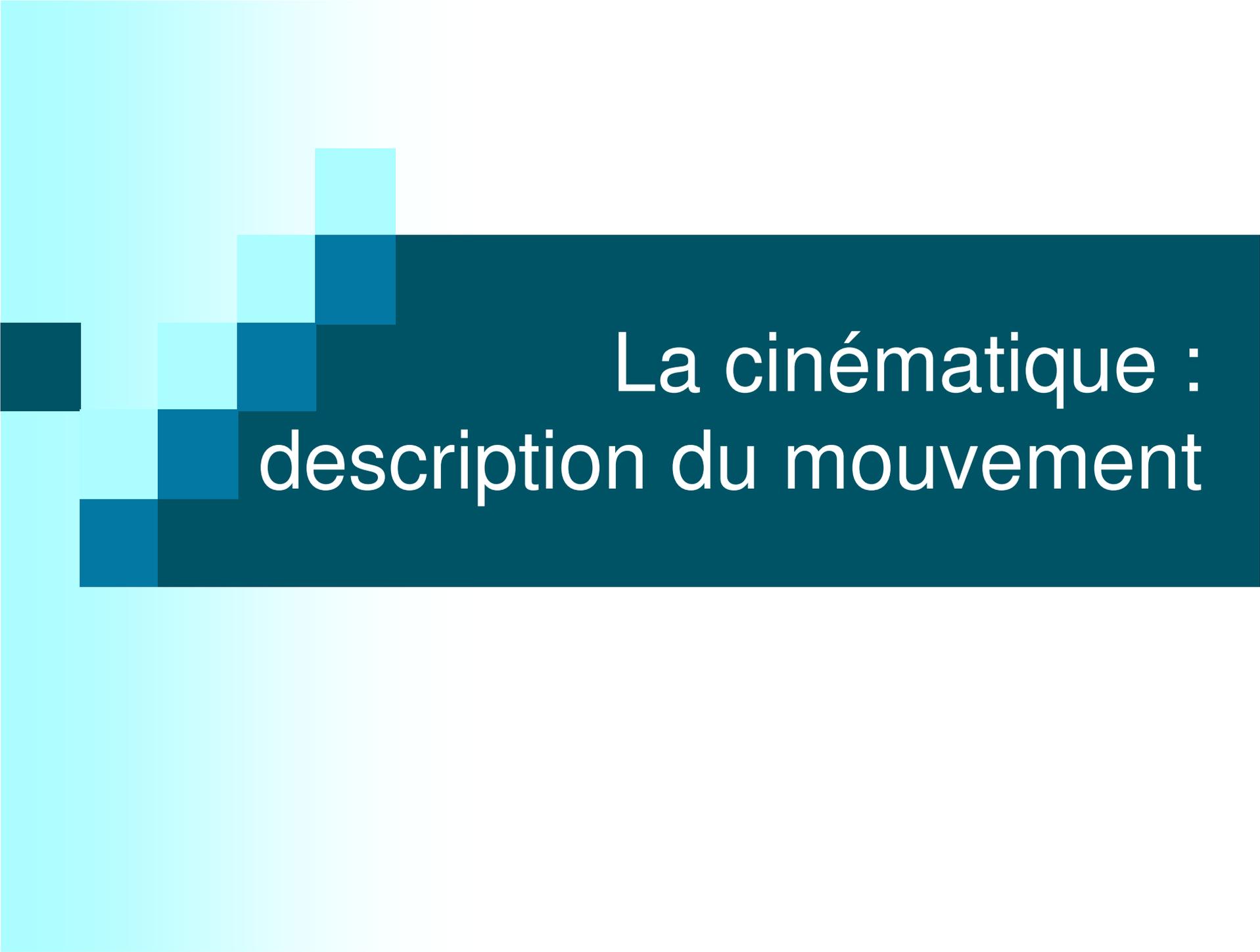
Journée philosophique 2013

David LASNE



Plan de l'exposé

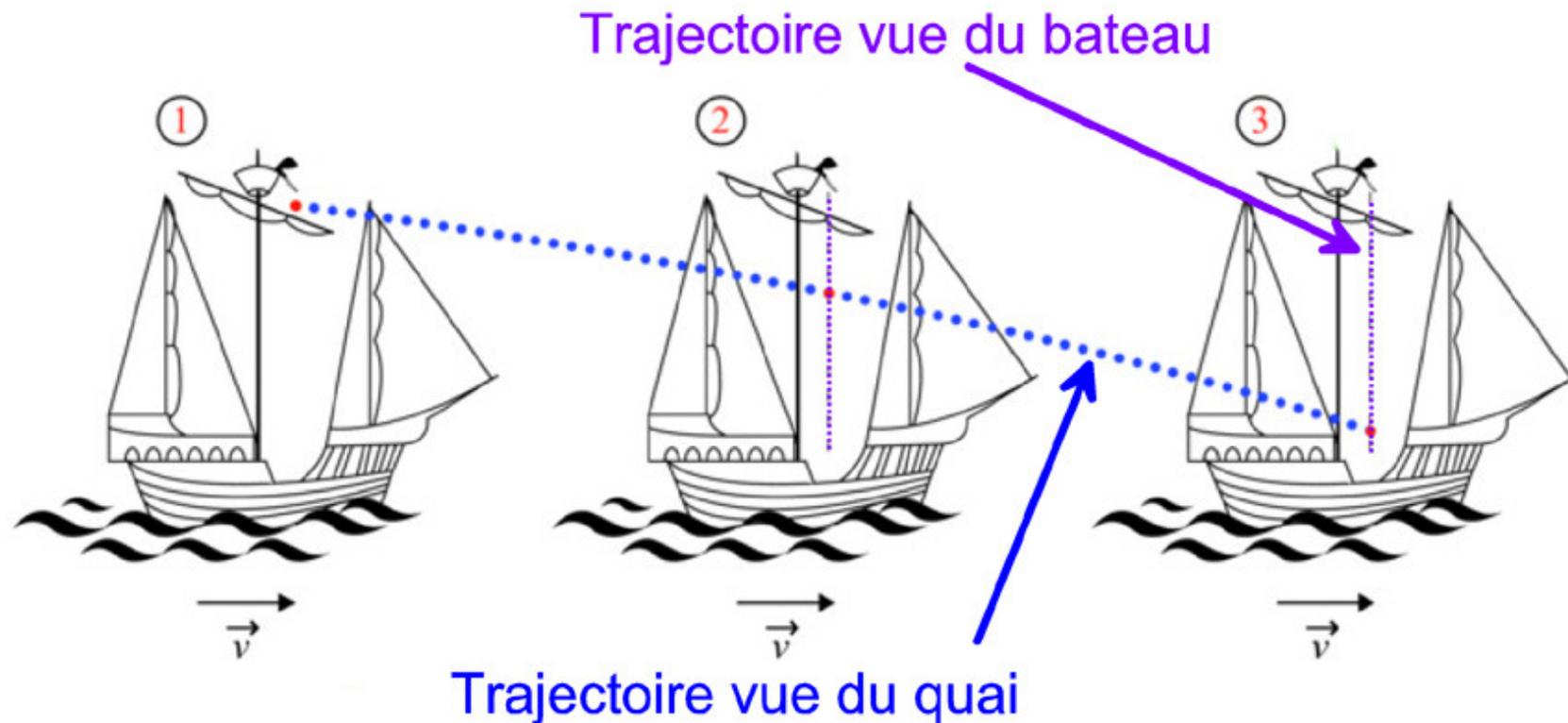
- I. La cinématique : description du mouvement
- II. La dynamique : étude des causes du mouvement
- III. La relativité... Quelle relativité ?
- IV. Vers l'infiniment petit : du mouvement brownien à la mécanique quantique



La cinématique : description du mouvement

Quelques exemples (1)

- Galilée et les chutes de pierres (1632) :

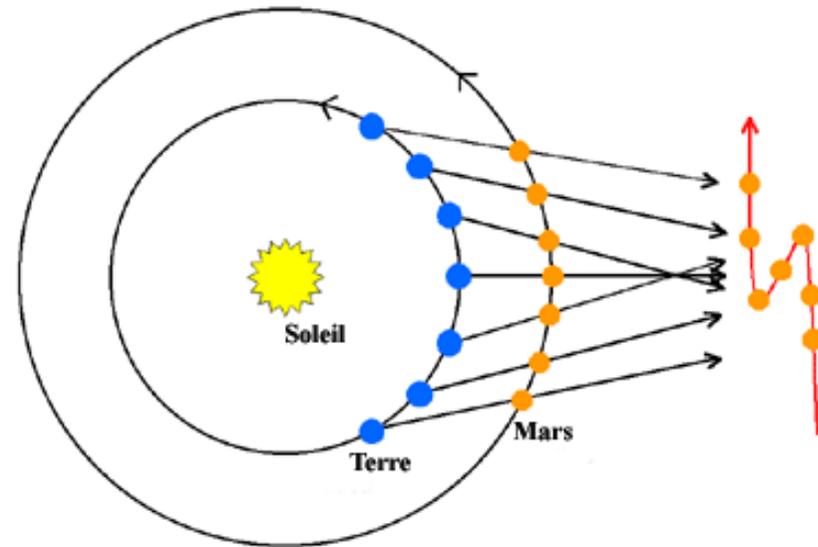


Quelques exemples (2)

■ Mouvement rétrograde de Mars :



Photographies superposées de la position de Mars dans le ciel à 5 jours d'intervalle



Interprétation : le mouvement de Mars est circulaire par rapport au Soleil, mais plus complexe par rapport à la Terre

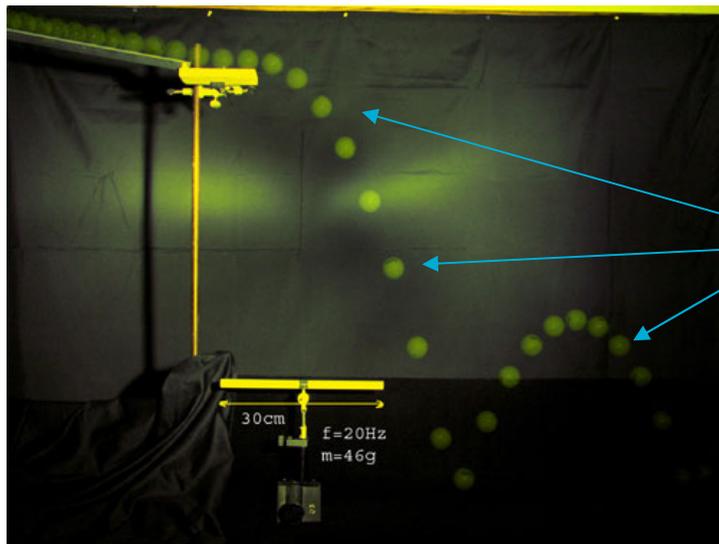


Notion de référentiel

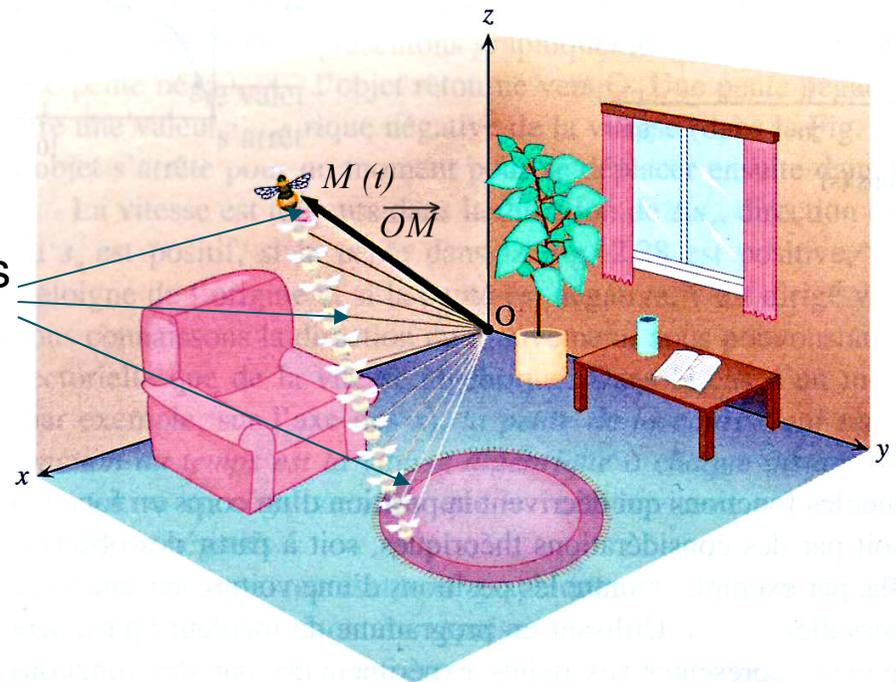
- *Dfn* : On appelle **référentiel** un ensemble de **points fixes** par rapport à un observateur (repères spatiaux), muni d'une **horloge** (repère temporel).
- *Exemples* :
 - *Référentiels du bateau / du quai*
 - *Référentiel héliocentrique / géocentrique*

Repérage d'un point dans l'espace et le temps, dans un référentiel donné

- Description du mouvement : donnée de la position d'un point M à un instant donné t



Positions
successives
à différents
instants

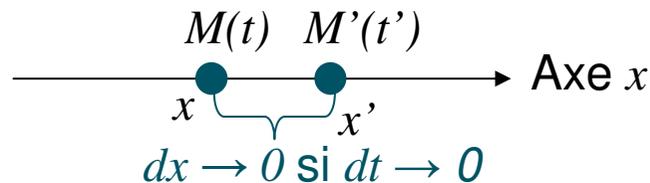


L'apport mathématique de Newton et Leibnitz : les « infinitésimaux »

- Le temps et l'espace sont continus : on peut réduire « à l'infini » l'écart entre deux points ou deux instants :

$$t' = t + \underbrace{dt}, \quad x' = x + \underbrace{dx}, \dots \quad \overrightarrow{OM'} = \overrightarrow{OM} + \underbrace{d\overrightarrow{OM}}$$

variations « infiniment petites »

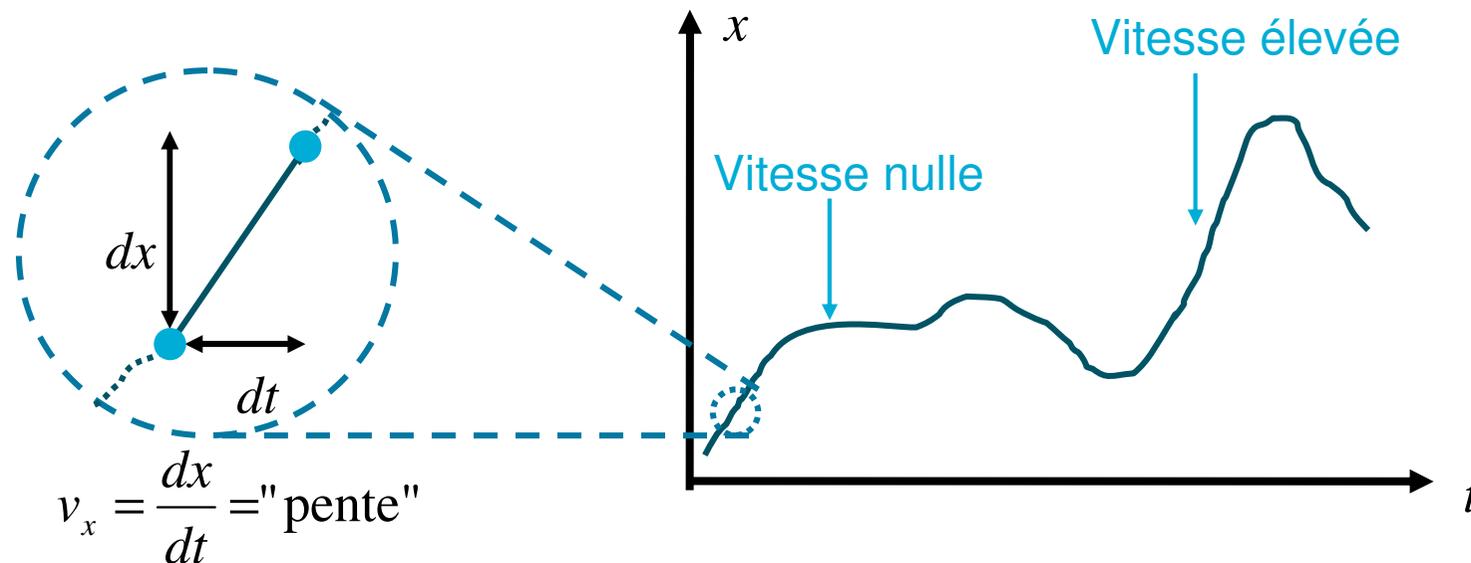


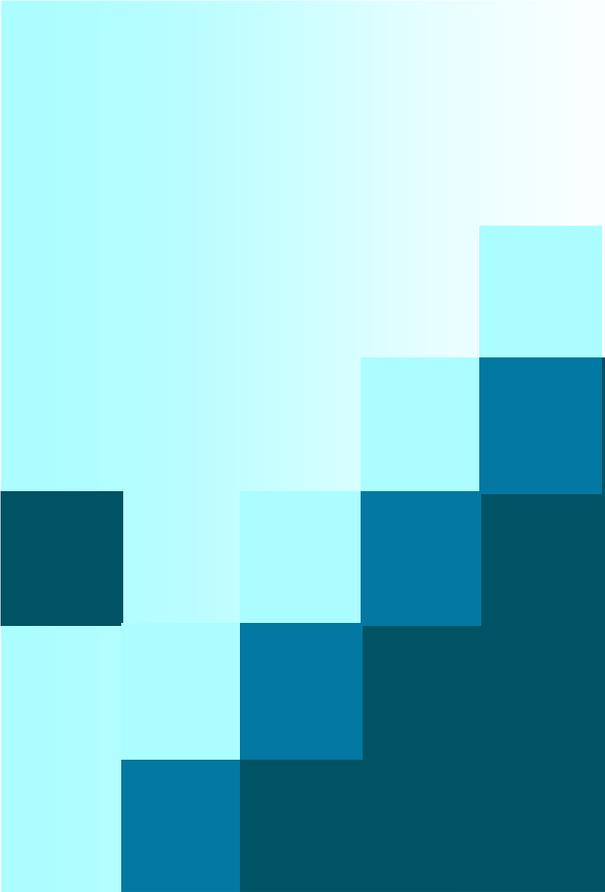
- La vitesse est le rapport du déplacement sur le temps ; la **vitesse instantanée** s'écrit donc :

$$v_x = \frac{x' - x}{t' - t} = \frac{dx}{dt}, \quad v = \frac{\overrightarrow{OM'} - \overrightarrow{OM}}{t' - t} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

Vitesse et dérivée

- La vitesse est le « taux de variation » (dérivée) de la position par rapport au temps.





La dynamique : étude des causes du mouvement

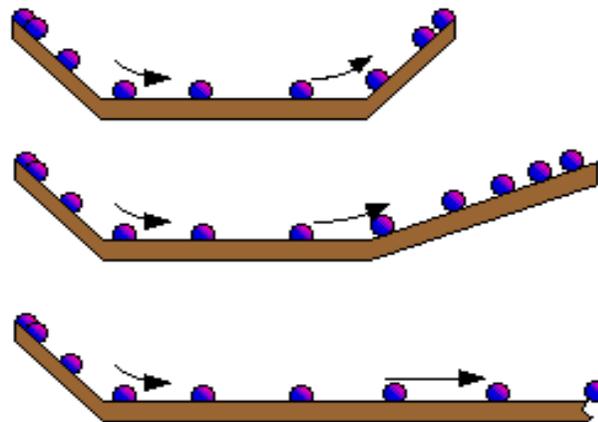


Action mécanique ou force

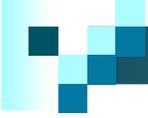
- *Dfn* : Une **action mécanique** (ou **force** pour simplifier) est le résultat d'une interaction entre un système et son environnement qui perturbe son mouvement.
- *Exemples* :
 - *Actions à distance : gravitation (poids), électromagnétisme...*
 - *Actions de contact : pression, frottement...*

Principe d'inertie (1)

- Avant Galilée (*Aristote....*), l'état « naturel » (sans interaction) est le repos (immobilité).
- *Galilée* : expérience des plans inclinés :



Si rien ne s'oppose à son mouvement, la bille roulera indéfiniment !



Principe d'inertie (2)

- Première « loi » de Newton, ou principe d'inertie :
« Un corps isolé (sur lequel aucune force n'agit) ou pseudo-isolé (forces qui se compensent) reste au repos ou garde la même vitesse rectiligne uniforme. »
- Exemples : sonde lancée dans l'espace, palet sur la glace...

Et s'il y a des forces ?

- Les forces tendent à faire **varier la vitesse** : elles provoquent une **accélération**.
- Deuxième « loi » de **Newton**, ou Principe Fondamental de la Dynamique :

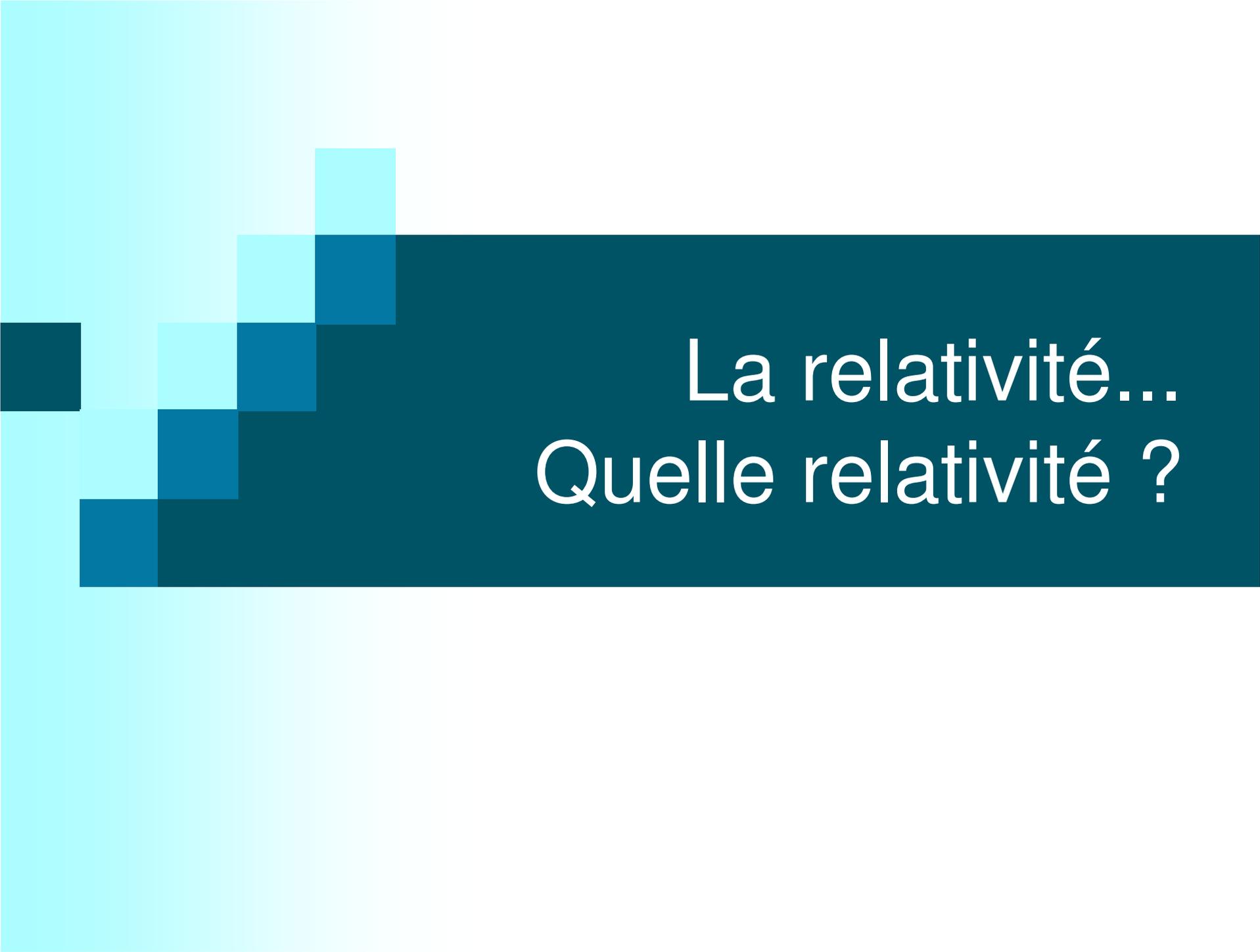
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Accélération
(variation de la vitesse)

Force (totale)

Masse (inertielle)
du système

- Exemple : projectile soumis au poids



La relativité...
Quelle relativité ?

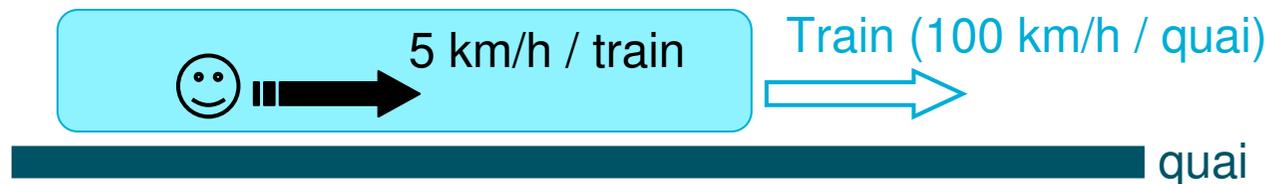


Principe de relativité

- Selon différents observateurs, un même phénomène est **décrit** différemment :
 Il est relatif à l'observateur.
- Mais les lois physiques **restent les mêmes**.
- Le passage d'une description à une autre suit des lois mathématiques que l'on peut déterminer.

Composition « classique » des mouvements

- On additionne les vitesses.
- Exemple simple : une personne marche à 5 km/h vers l'avant d'un train qui se déplace à 100 km/h par rapport au quai. Quelle est sa vitesse par rapport au quai ?



=> 105 km/h



Un référentiel « absolu » ?

- Peut-on décrire un mouvement de manière absolue pour un système ? Si oui, par rapport à quel référentiel est-il décrit ?
- Pour Newton, Galilée, ce référentiel absolu existe...
- Pb : où est-il ? le référentiel terrestre ne l'est pas : pendule de Foucault, déviation vers l'est...
- Poincaré (1905) rejette cette hypothèse jugée inutile.



Einstein et la relativité

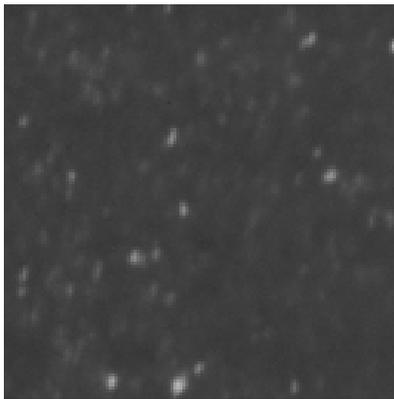
- Référentiel absolu pour la lumière ?
 - Hypothèse (fin 19^e) : la lumière se déplace dans un référentiel « absolu » (l'« éther ») à la vitesse c
 - Si la Terre se déplace par rapport à l'éther, la vitesse de la lumière sur Terre serait différente
 - Expérience de Michelson et Morley (1887) : pas d'effet visible
 - Ccl : hypothèse fausse
- **Einstein** : théorie de la relativité : la vitesse de la lumière est c dans **tous** les référentiels (pas de référentiel privilégié)
- Conséquence : **nouvelles lois** de changement de référentiel (le temps n'est plus invariant)
- Relativité générale : pas de référentiel privilégié pour le mouvement (**principe d'équivalence**)



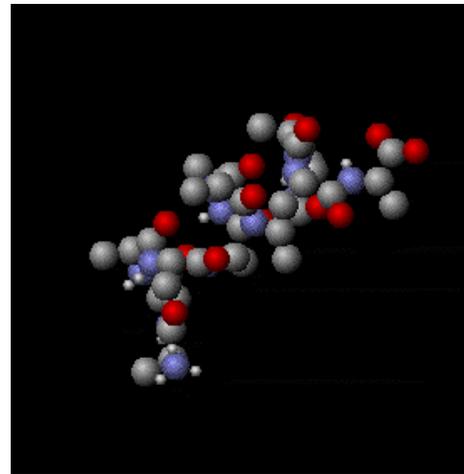
Vers l'infiniment petit...
Du mouvement brownien à la
mécanique quantique

Mouvement brownien et agitation thermique

- A l'échelle **microscopique**, tout n'est que mouvement :



Mouvement brownien (aléatoire)
de particules de latex fluorescentes
de 20 nm (20/1000 de micron) dans de l'eau



Simulation du mouvement
thermique d'un segment
de molécule d'une protéine.

- Nécessité d'une **approche statistique**
- La **température absolue** est définie comme une mesure du mouvement microscopique ; au « zéro absolu », plus de mouvement ($\theta = -273^\circ\text{C}$ soit $T=0\text{ K}$)

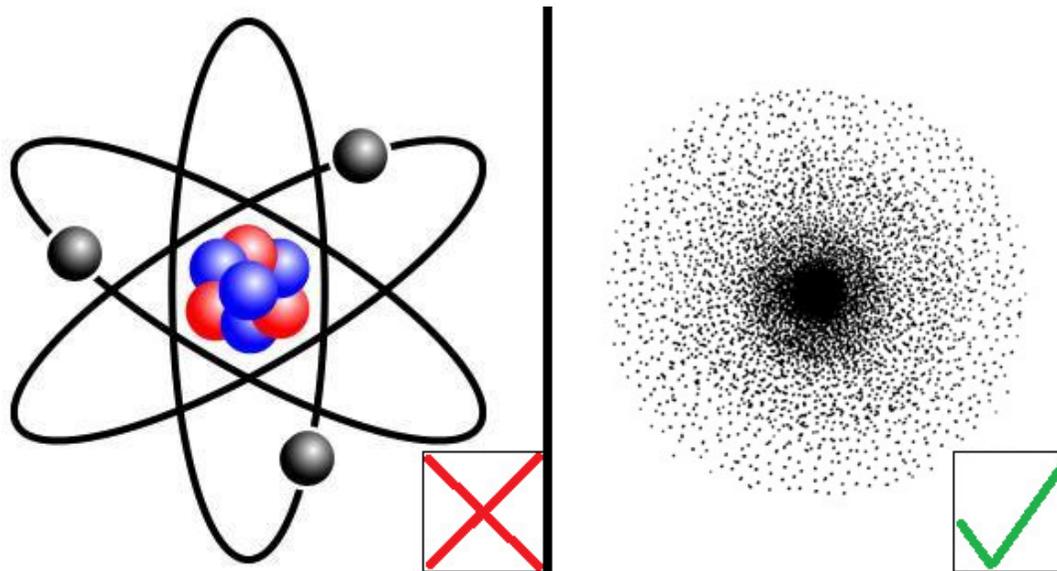


Principe d'incertitude en physique quantique

- La physique quantique décrit essentiellement les **phénomènes atomiques et subatomiques** (millionième de micron)
- Principe d'incertitude de Heisenberg :
« Il est impossible de connaître avec une infinie précision à la fois la position et la vitesse d'une particule. »

Probabilité de présence

- Conséquence : la notion de position disparaît au profit de la notion de « probabilité de présence ».
- Exemple : modèle de l'atome, de Rutherford/Bohr (1911 – 1913) à Schrödinger (1926)





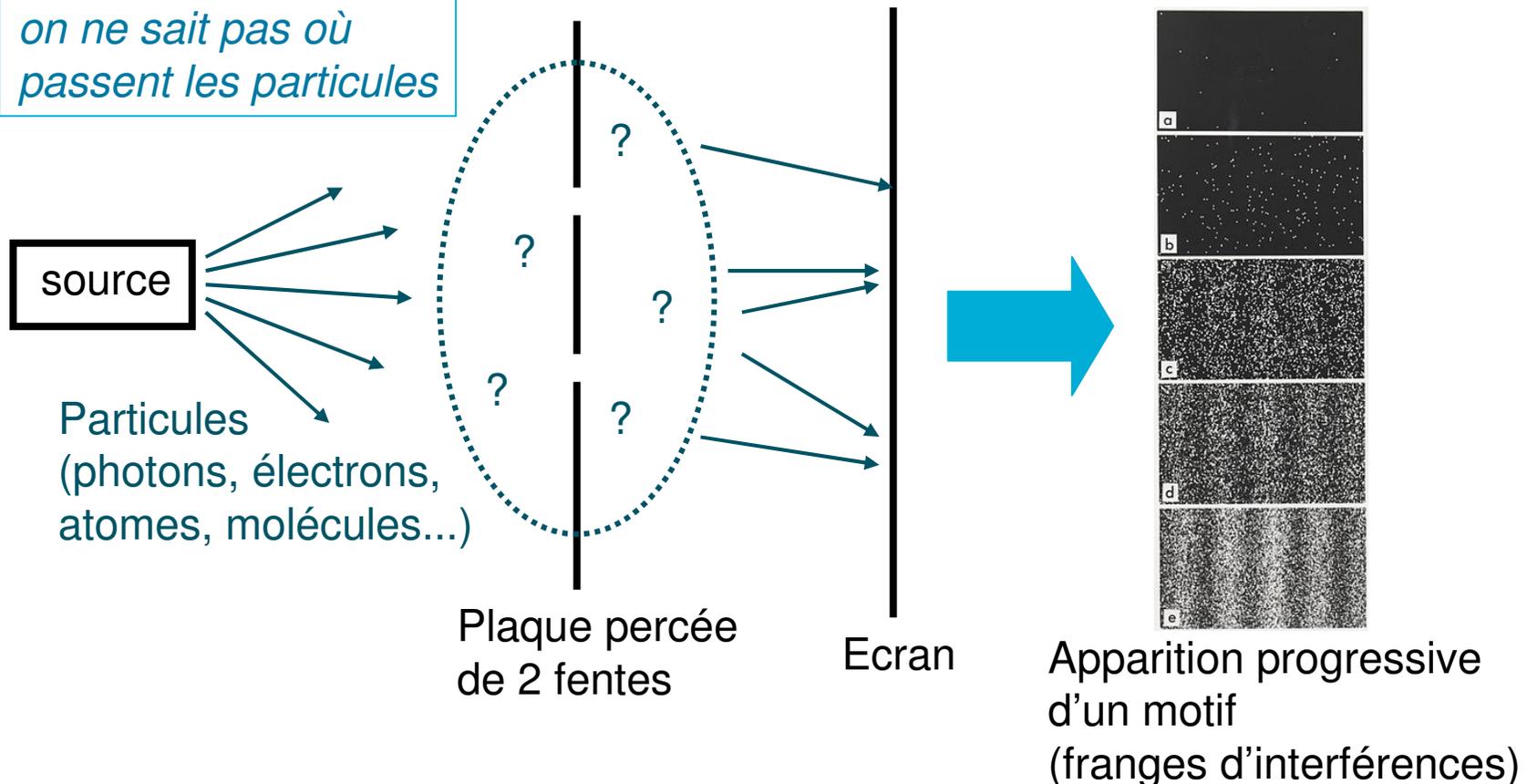
Délocalisation (quantique, pas économique...)

- Un objet quantique est « partout à la fois » (on dit qu'il est **délocalisé**), avec une probabilité de le trouver à un endroit **si on l'observe**.
- Effet négligeable à l'échelle macroscopique (ouf !)

Mouvement et effets quantiques

■ Exemple des fentes d'Young :

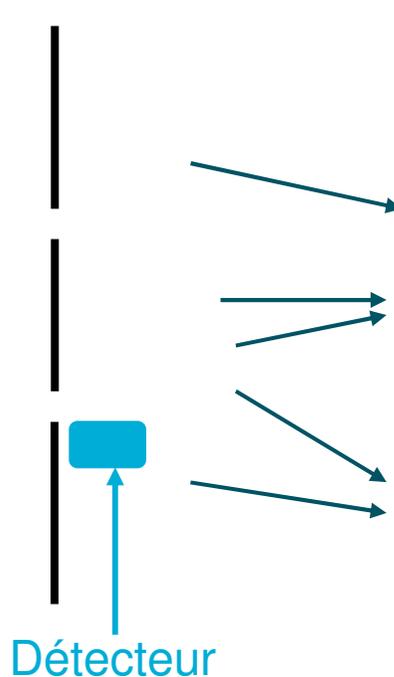
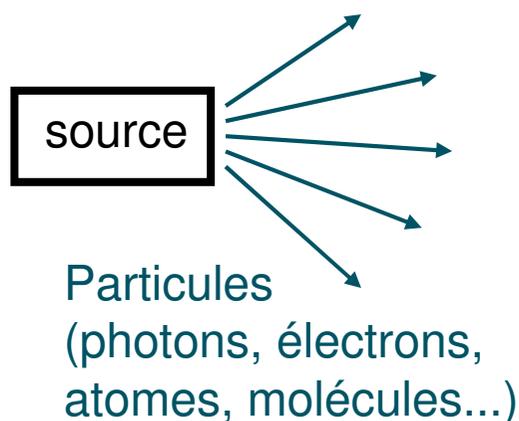
*Premier cas :
on ne sait pas où
passent les particules*



Mouvement et effets quantiques

■ Exemple des fentes d'Young :

*Second cas :
on « regarde » où
passent les particules*



**La figure disparaît
(répartition uniforme) !**

On est obligé d'admettre que, dans la première situation, chaque particule est passée par les 2 ouvertures à la fois !



Conclusion

- But du physicien : décrire, comprendre, analyser, prévoir le mouvement
- Nécessité d'outils mathématiques
- Pas de référentiel absolu
- A l'échelle microscopique : approche statistique
- Comportements quantiques difficiles à appréhender : le mouvement n'est plus descriptible (a-t-il encore un sens ?)