

Le concept de multivers – sujet 5

L'espace-temps existe t-il vraiment ?

David Viennot – Maître de Conférences

Institut UTINAM (CNRS) / Observatoire de Besançon / UFC



Le concept classique d'espace-temps



L'espace et le temps : des définitions philosophiques

L'espace est la somme des lieux occupés par des corps matériels.
Aristote

« *Le temps est le mouvement du soleil, mesure de sa course.* »
Platon

« *L'espace est (...) comme un réceptacle, comme contenant vide, homogène, doté de trois dimensions (...), il s'étend de manière uniforme et équivalente en toutes ses directions.* »
Martin Heidegger

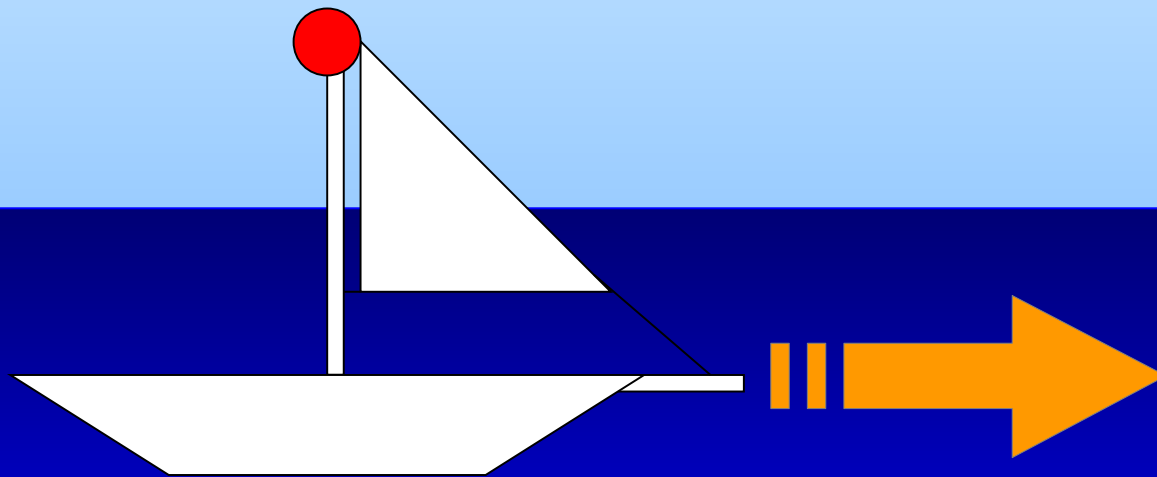
Le temps est le nombre du mouvement selon l'antérieur et le postérieur.
Aristote

L'espace et le temps forme un cadre, comme des formes sensibles de notre intuition posés à priori.
Immanuel Kant

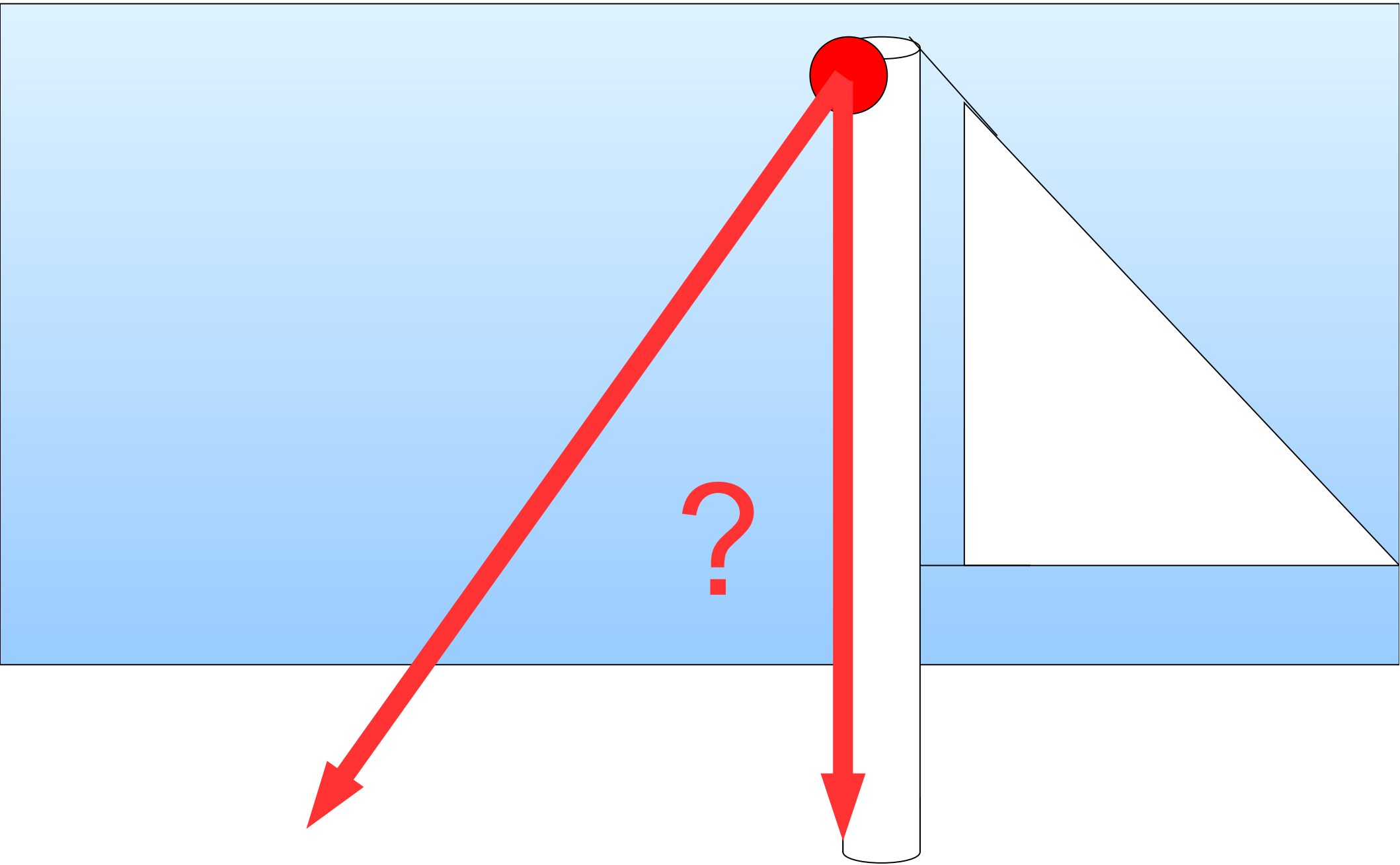
Du point du physicien : l'espace et le temps sont les cadres de description du mouvement.
On *parcourt* l'espace, on observe *l'écoulement* du temps.



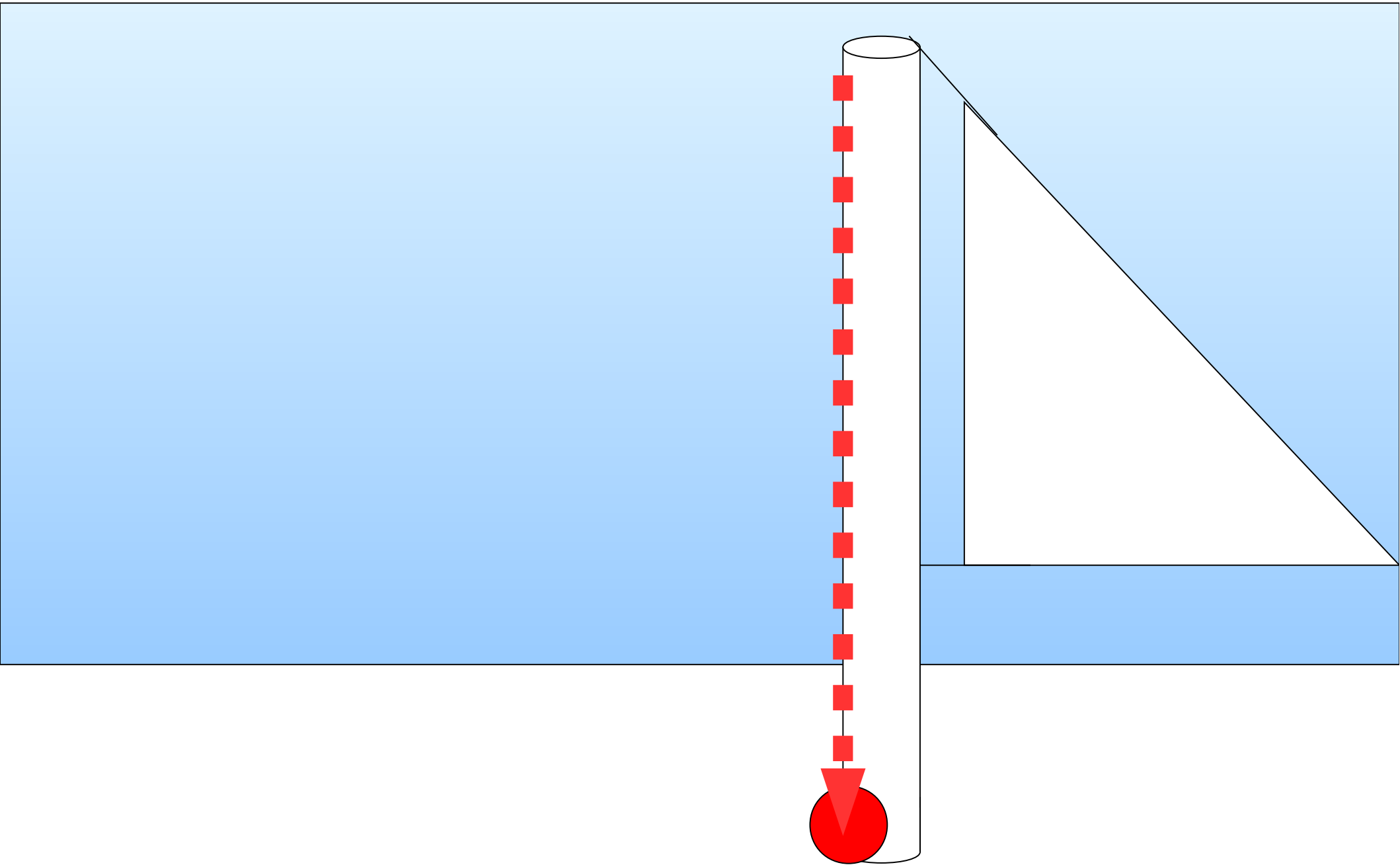
Le relativité galiléenne



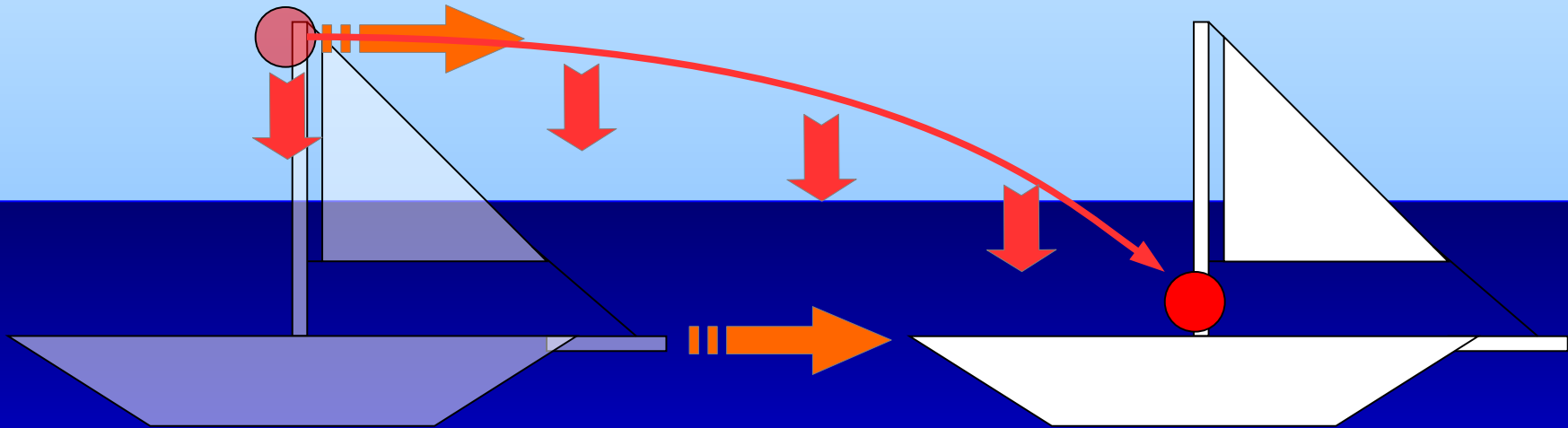
Le relativité galiléenne



Le relativité galiléenne



Le relativité galiléenne



On ne peut pas par une expérience de mécanique distinguer le mouvement rectiligne uniforme du repos.

L'expérience de Michelson-Morley



Vitesse de la lumière
vue depuis la Terre :

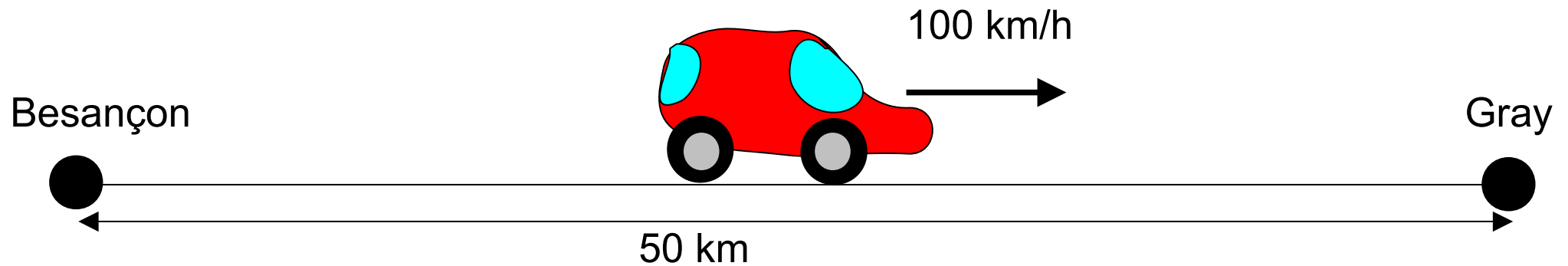
c'



c''

Attendu : $c' < c''$

Résultat des mesures expérimentales :
 $c' = c'' = c = 300\,000 \text{ km/s}$



trajet = 50 km ou 30 min

Mais pour une voiture plus lente (50 km/h), on a 50 km = 1 h.

On a équivalence temps-espace seulement par une vitesse de référence commune et universelle, la vitesse de la lumière dans le vide c .

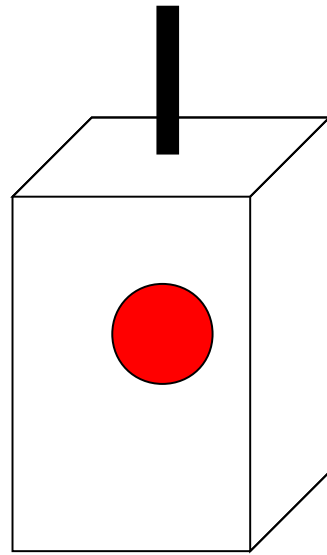
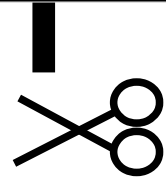
On a équivalence par la relation $d=ct$ ($c = 300\,000$ km/s)

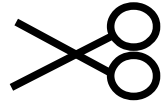
On ne peut pas par une expérience de physique distinguer le mouvement rectiligne uniforme du repos.



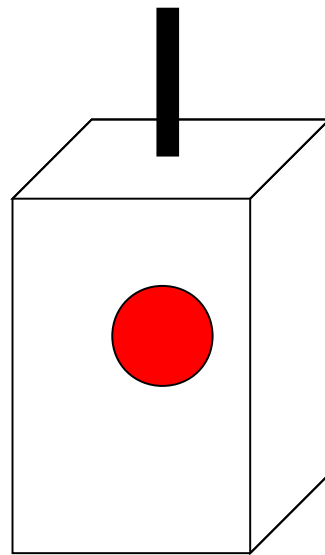
La relativité générale

Relativité générale : l'expérience de l'ascenseur

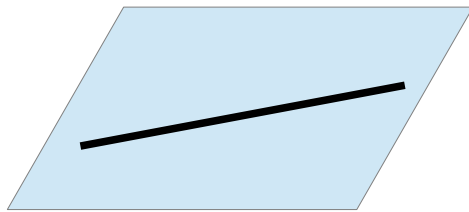




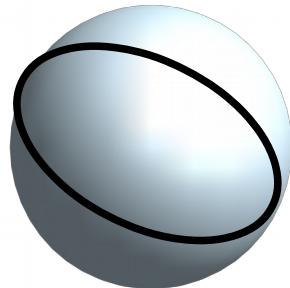
→ La force gravitationnelle peut être effacée dans les référentiels en chute libre.



- La gravité est une force fictive.
- Les trajectoires de chute libre sont donc des trajectoires sans force extérieure.
- Les trajectoires de chute libre minimisent donc « l'action » de la Nature (principe de moindre action).
- Les trajectoires du chute libre sont donc minimisantes, or elles sont courbes (coniques) donc la géométrie est courbe.

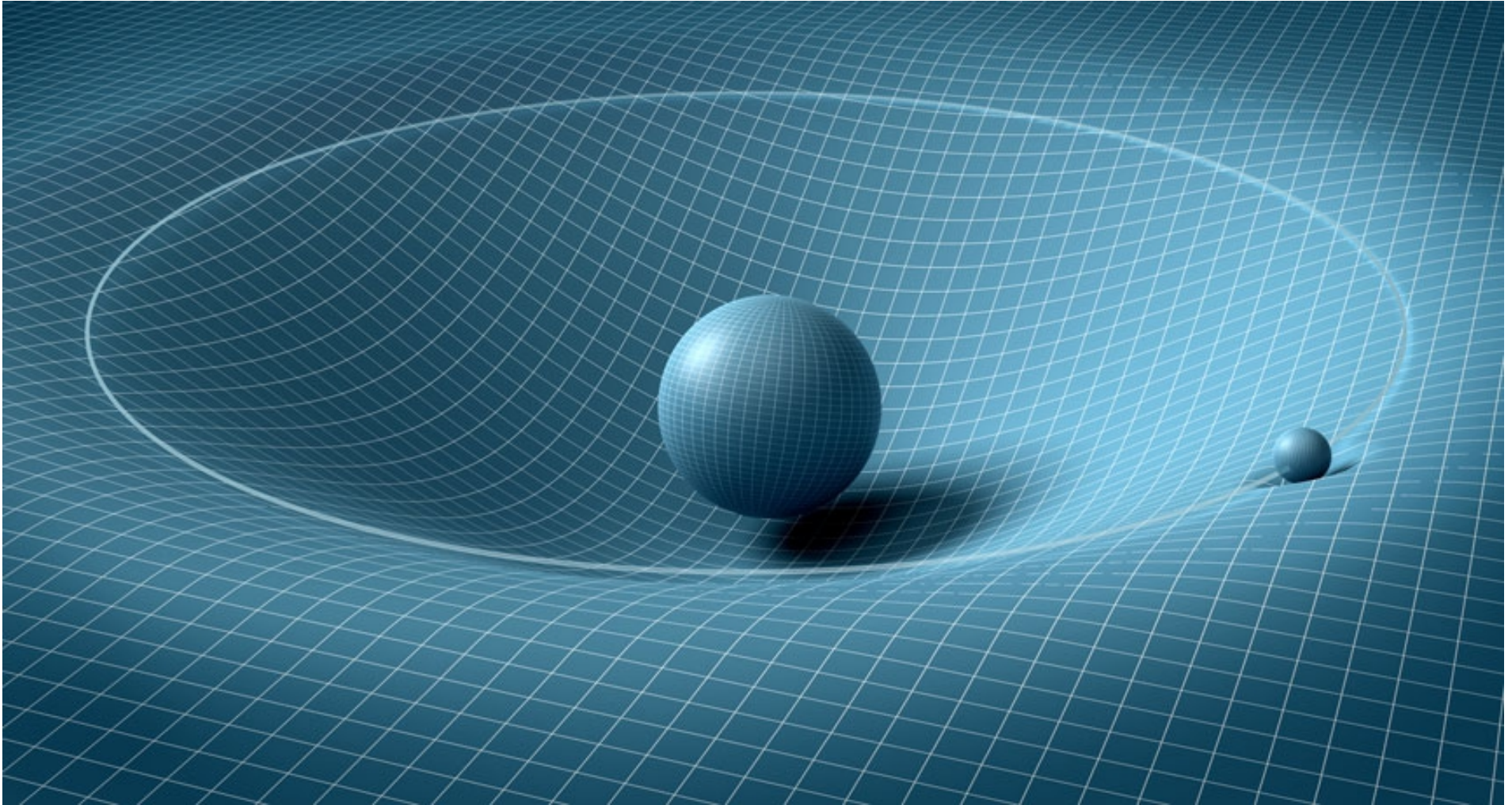


chemin minimisant
sur un plan (droite)



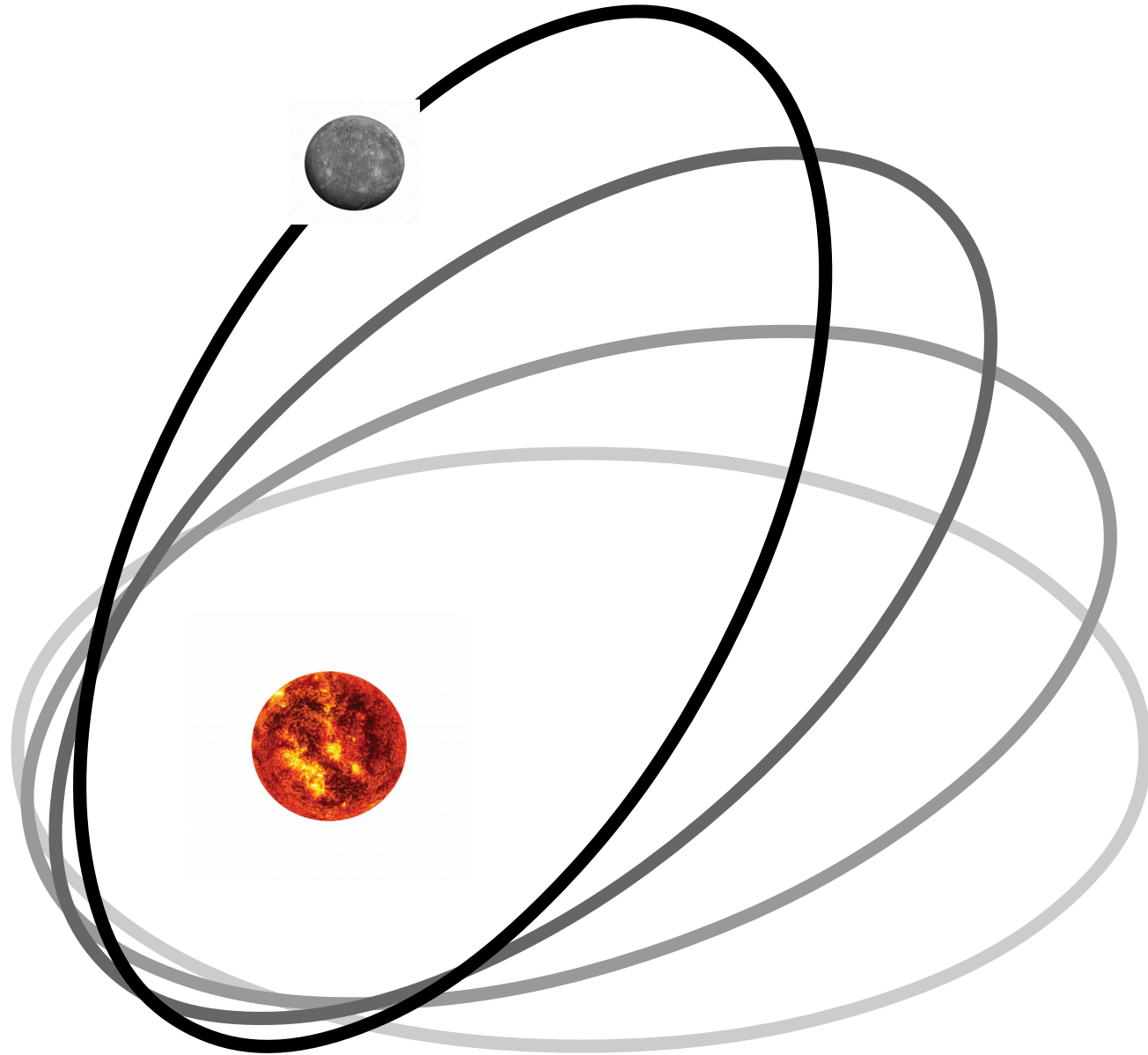
chemin minimisant
sur une sphère
(grand cercle)

La gravité n'est pas une force mais une manifestation de la courbure de l'espace-temps.

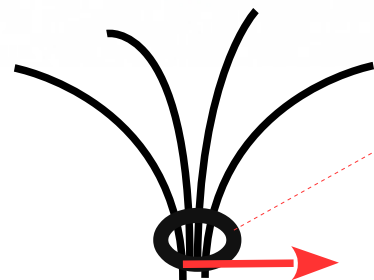
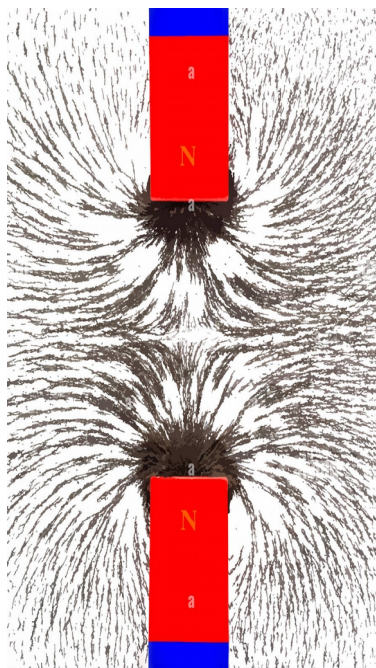
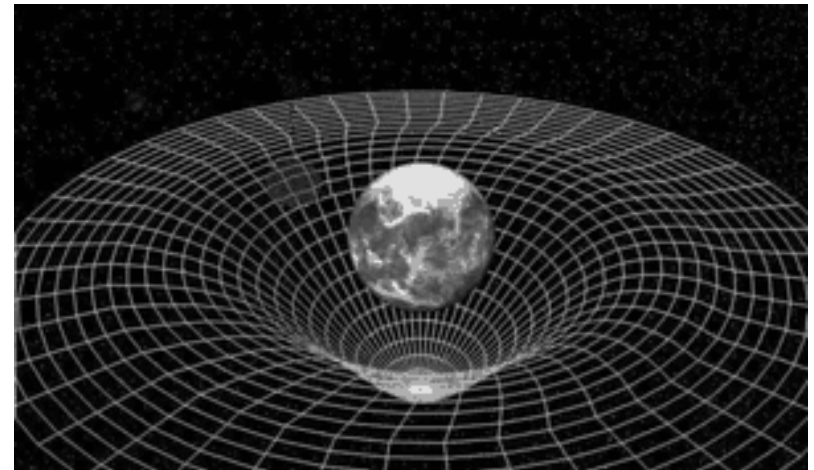
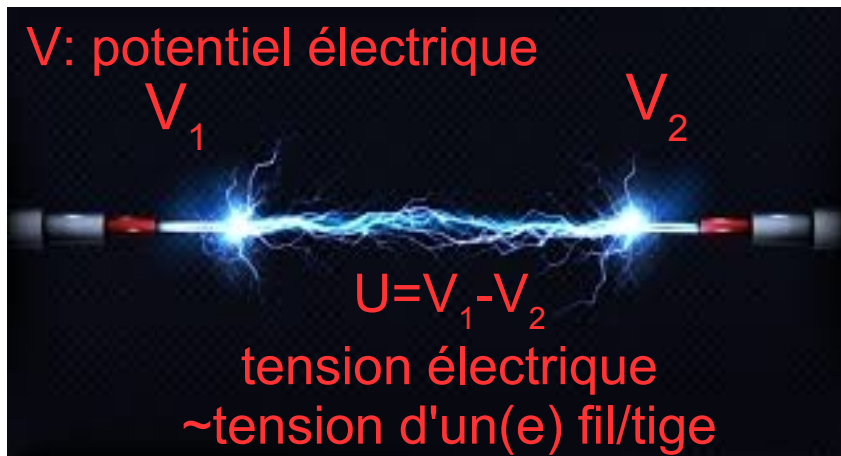


Attention, la géométrie observée est relative à l'observateur !

Relativité générale : la précession du périhélie de Mercure



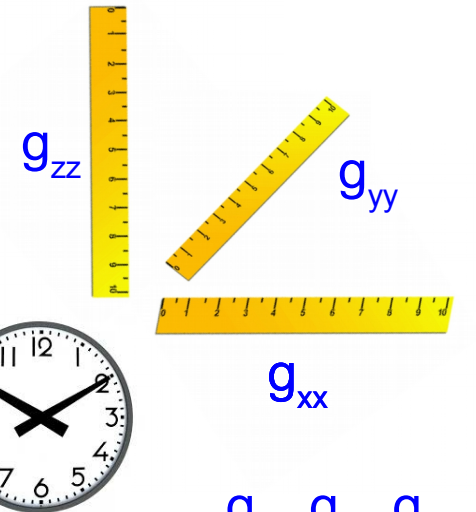
Électromagnétisme vs gravitation



tension magnétique
de serrage $\int \mathbf{A} \cdot d\boldsymbol{\ell}$

A : potentiel-vecteur
magnétique

g métrique
gravitationnelle



g_{tx} , g_{ty} , g_{tz} ,
 g_{xy} , g_{xz} , g_{yz}
(couplages)

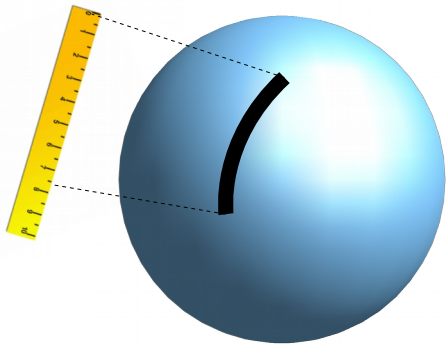
Théories de jauge (EM)

Théorie géométrique (RG)

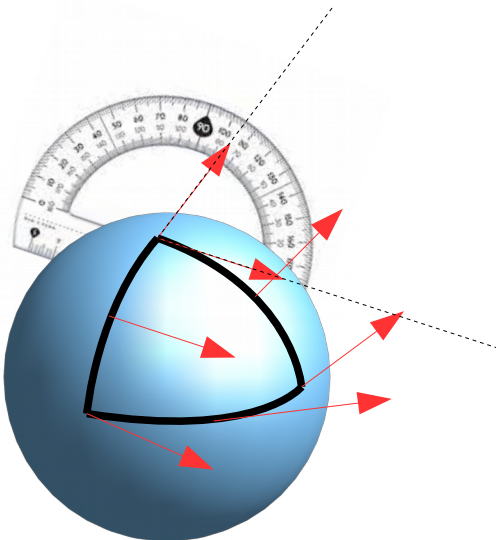
A collection of yellow drafting tools is arranged on a white background. At the top is a long ruler. Below it is a set square. In the center is a semi-circular protractor. To the right is a compass with a red handle and a silver needle. A black rectangular box with a white background is overlaid on the center of the image, containing the title text.

Le « relationnisme » en relativité générale

La géométrie courbe
(Riemann)

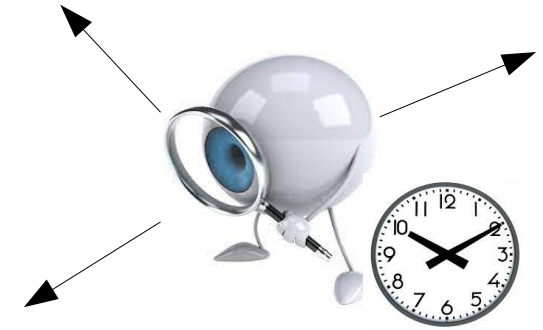


une « métrique »



*un «symbole
de Christoffel»*

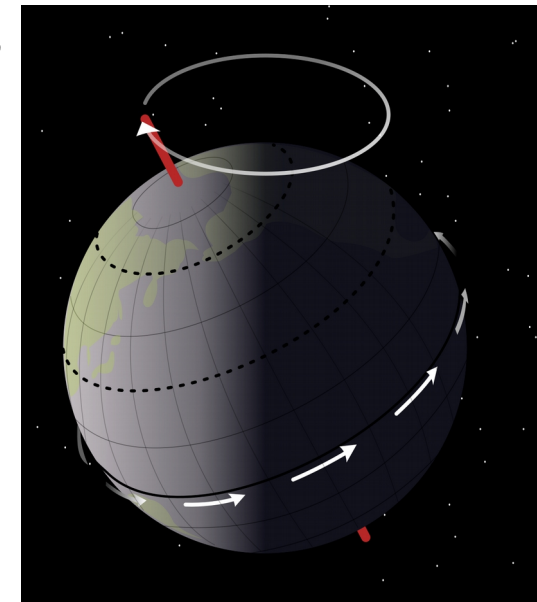
La phénoménologie dynamique
(Cartan)



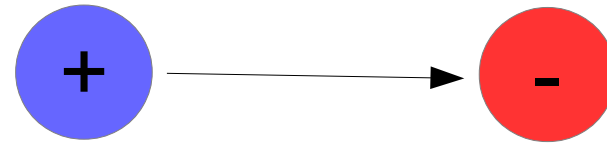
*une « tétrade »
(« vierbein »)*



*une « connexion
de Lorentz »*



élément d'une tétrade
(direction de chute libre)



champ électrique
(direction de l'attraction
électrostatique)

connexion de Lorentz
(axe de précession des
moments angulaires)



champ magnétique
(axe de précession des
moments magnétiques)

Comparaison des versions de la gravitation

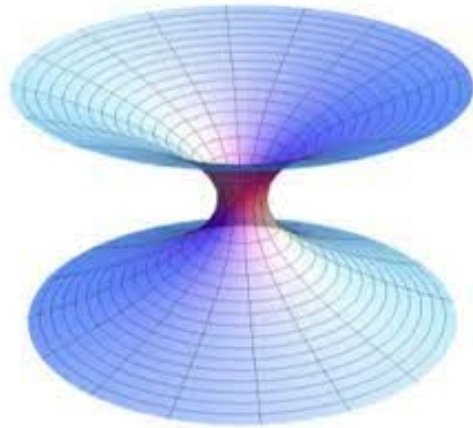
	Espace-temps	Force de gravité
Physique newtonienne	Plat Absolu (pour les vitesses)	Un champ de type « électrique ».
Relativité générale (Einstein)	Courbe Relatif	
Relativité générale (Cartan)		Deux champs de types « électrique » et « magnétique »

Substantialisme (selon Einstein) : pas de gravité, force fictive manifestation de la courbure de l'espace-temps.

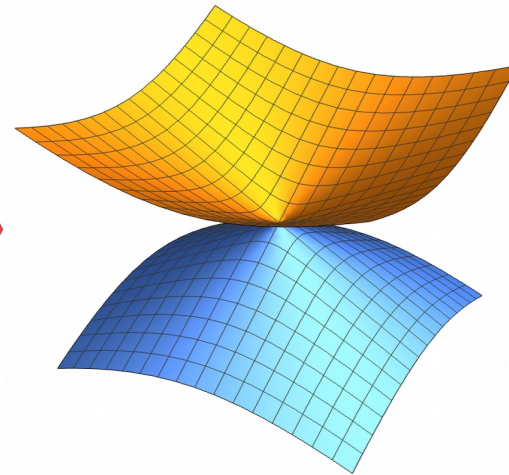
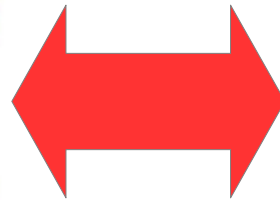
Relationnisme (selon Cartan) : deux forces gravitationnelles, pas besoin d'espace-temps (fiction ontologique, manifestation de l'interaction de la matière avec les champs de gravité).

Relationnisme (selon Penrose) : pas d'espace-temps mais une structure causale (« réseau orienté de causes et conséquences dont les champs de gravité (causes) et les attractions-précessions (conséquences) »).

L'espace-temps n'est qu'une image mentale nous permettant de nous représenter la structure causale comme des événements positionnés dans l'espace à des dates dans le temps.



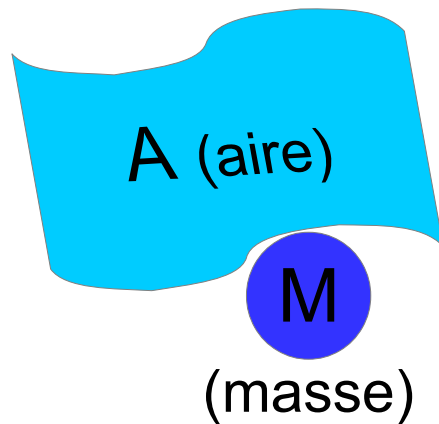
Trous de ver
(passage entre deux
feuilletés d'Univers)



Intersection conique
(connexion entre
deux branches de
réalité de la structure
causale)

*[dans l'interprétation
d'Everett étendue aux
modèles matriciels de la
gravité quantique]*

À l'origine (échelle de Planck $\ell_p = 10^{-35}$ m) : ni gravité, ni espace-temps
seulement de l'information (des qubits : bits d'information quantique)



$$A = N \ell_p^2$$
$$Mc^2 = \frac{1}{2} N k_B T$$



La gravité (l'espace-temps) émerge des effets thermodynamiques collectifs des qubits à grande échelle, comme la pression d'un gaz résulte des collisions des atomes agités par les fluctuations thermiques.

À l'échelle de Planck, ni espace-temps ni force gravitationnelle, mais seulement la structure causale des « calculs » entre qubits.