La philosophie de la nature

La théorie de la relativité générale et le statut ontologique de l'espace-temps (ch. 6)

Michael Esfeld
Université de Lausanne
Michael-Andreas.Esfeld@unil.ch

La théorie de la relativité générale (1916)

- Newton : gravitation comme action à distance
- Maxwell : action locale, vitesse maximale de propagation des effets

→ Einstein (1905) : théorie de la relativité restreinte

- Einstein (1916) : théorie de la relativité générale ; ajoute une théorie de la gravitation
- relativité restreinte : référentiels d'inertie équivalents

→ foliations de l'espace-temps en hypersurfaces spatiales qui sont ordonnées dans le temps équivalentes

- champ de la gravitation = champ métrique qui définit la géométrie de l'espace-temps

La théorie de la relativité générale (1916)

- **gravitation interaction locale entre le champ métrique et la matière :**

  la matière (la masse) influence la géométrie de l'espace-temps

  la géométrie de l'espace-temps influence la trajectoire des particules dans l'espace-temps

→ **espace-temps courbé**

→ **espace-temps pas d'arrière-plan passif, entité dynamique**

La théorie de la relativité générale (1916)

- **pas de distinction claire entre l'espace-temps et la matière : le champ métrique, fait-il partie de l'espace-temps ou de la matière ?**
- **espace-temps :**

  sans ce champ, il n'y aurait pas de cônes de lumière et pas de distinction entre des intervalles spatio-temporels du genre temps, du genre espace et du genre lumière
- **matière :**

  le champ métrique inclut l'énergie gravitationnelle ; gravitation : interaction matérielle

L'espace-temps substantiel

- l'espace-temps dans son ensemble comme une substance
- les points de l'espace-temps comme des substances dont l'identité est indépendante des grandeurs physiques qui existent en ces points

L'espace-temps substantiel

1) L'espace-temps sans le champ métrique est une substance qui peut exister à elle seule. Les points de l'espace-temps, sans propriétés métriques, sont des substances qui peuvent exister à eux seuls. Ces points possèdent chacun une essence intrinsèque qui constitue leur identité.
2) C'est l'espace-temps avec le champ métrique (= la structure géométrique) qui définit l'espace-temps absolu. Les points de l'espace-temps sont des substances uniquement avec leurs propriétés métriques.

L'argument des champs

- Les champs sont définis sur l'ensemble de l'espace-temps.
- Les propriétés des champs existent en des points de l'espace-temps.

→ substances en guise de points de l'espace-temps comme porteurs des propriétés des champs

- compatible avec les deux versions du substantialisme

L'argument des solutions vides

- champ métrique peut exister sans matière
- s'applique uniquement à la version (2) du substantialisme

→ Le champ métrique ne dépend pas de l'existence de particules possédant une masse qui en constitueraient la source.

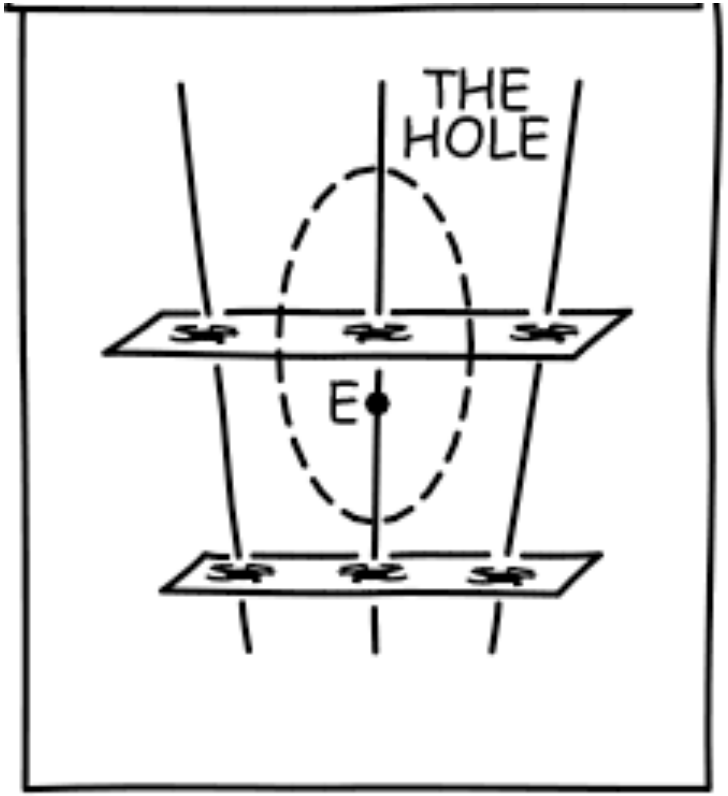
→ La théorie de la relativité générale donne un sens concret physique à l'idée d'un espace-temps vide avec le champ métrique, mais sans matière.

L'argument du trou

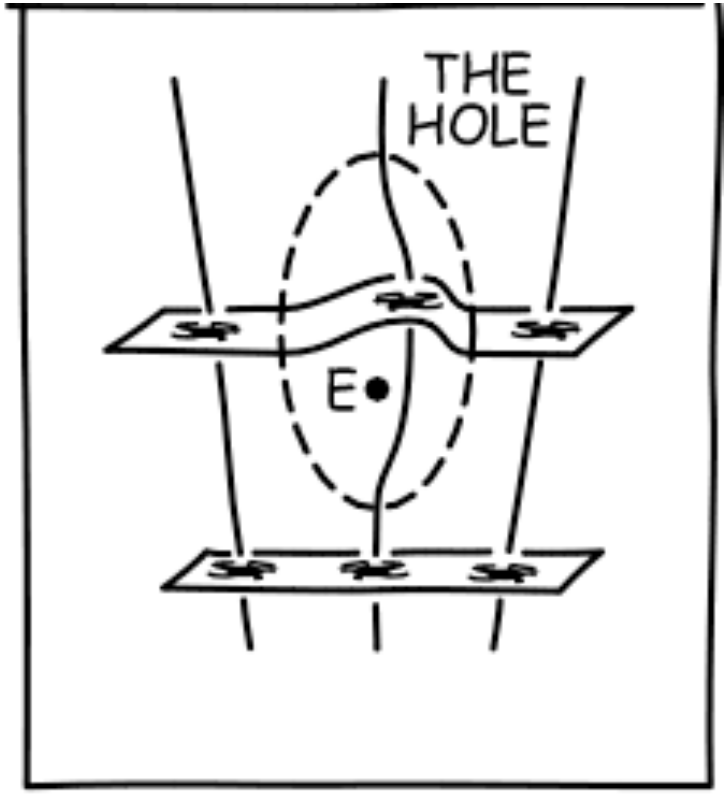
- Un espace-temps absolu, indépendant de la matière, engendrerait des états physiques distincts mais indiscernables.
- symétrie de transformation laissant inchangées les relations physiques, mais produisant une différence au niveau des points de l'espace-temps
- même situation physique, mais différents points de l'espace-temps absolu comme porteurs des valeurs physiques des champs

→ indéterminisme / théorie de la relativité générale déterministe

L’argument du trou



Fields before hole transformation



Fields after hole transformation

L' argument du trou

- touche uniquement la position selon laquelle les points de l'espace-temps sont des substances dont l'identité est indépendante des grandeurs métriques (1)
- objection concluante contre cette position
- version (2) du substantialisme (= identité des points de l'espace-temps consistant en les relations métriques) immune contre cet argument + argument des champs & argument des solutions vides

→substantialisme renforcé

Le relationnalisme

- points de l'espace-temps entités matérielles, énergie gravitationnelle
- propriétés métriques propriétés causales (effets gravitationnels)

Le relationnalisme

- **contre l'argument des champs : points matériels portent toutes les propriétés**
- **contre l'argument des solutions vides : solution *mathématiquement* possible ≠ solution *physiquement* possible**
- **Leibniz: relations spatiales entre des points matériels (des particules) présupposées comme fait primitif, arrière plan non-dynamique = ne dépendent pas des propriétés des points matériels telles que la masse**
- **principe de Mach : la distribution de la masse dans l'univers détermine la métrique de l'espace-temps = la forme que la géométrie de l'espace-temps prend, sa courbure, dépend de la distribution de la matière**

→ **permet de préciser dans quel sens les relations spatio-temporelles dépendent de propriétés de la matière telle que la masse**

mais : distribution initiale de la masse dans l'univers ne suffit pas pour déterminer métrique initiale (conséquence *physique* des solutions vides)

→ **conditions métriques initiales doivent être stipulées comme fait primitif**

Le problème

- Quel est le rapport entre les propriétés métriques et les propriétés de l'énergie-matière non gravitationnelle ?
- substantialisme (2) : deux types d'entités distinctes. Pourquoi ?
- relationnalisme : points matériels qui possèdent les deux types de propriétés. Rapport entre elles ? → structure dynamique, régissant le changement des relations spatiales entre des points matériels