

Diapo 1.

**Investigation sur la vraie nature du temps**

Exemple de la chute d'un corps :

Sans connaître les lois de la physique, nous savons ce qui va se passer lorsque nous lâchons un objet. Nous nous projetons dans le futur. Et cela grâce à notre connaissance de situations semblables qui se sont produites dans le passé. Donc ce simple geste met en jeu les notions de présent, futur et passé, ainsi que la notion de durée, la durée de la chute, par exemple.

Diapo 2.

**Temps ≠ Espace**

Le temps, comme l'espace, tout le monde peut l'expérimenter. Mais pourquoi est-il plus difficile de (se) représenter le temps que l'espace ?

L'espace, nous le voyons, nous pouvons toucher un objet qui a une étendue dans l'espace ; l'espace que nous percevons est à peu près le même que celui de la physique (du moins la physique classique) et celui des mathématiques (géométrie dans l'espace).

En revanche, aucun sens ne nous permet de percevoir directement le temps ou un intervalle de temps. Ce que nous percevons, ce sont des événements qui peuvent être ordonnés par la relation temporelle : avant – pendant – après ; passé – présent – futur ; et des durées.

Diapo 3.

Pour aborder un objet du point de vue scientifique, il convient de le définir, de l'observer, de le mesurer.

- **Définition**

Contrairement à la démarche habituelle, la définition est précisément le but de cette étude.

- **Observation**

Par la conscience, nous avons une idée du temps ; dans le sommeil profond, nous n'en avons pas.

De plus, l'observateur ne peut pas prendre du recul par rapport à l'objet observé. Nous ne pouvons pas « sortir » du temps comme, par exemple, on s'élèverait au-dessus d'une région pour la cartographier. Nous observons le temps comme l'arpenteur cartographie un terrain.

- **Mesure**

Mesurer une grandeur physique consiste à attribuer une valeur numérique à cette grandeur (le rapport de la grandeur à celle d'une unité de même type). De plus, il faut que deux mesures de la même grandeur donnent la même valeur.

Or, pour le temps,

1) il est impossible de faire deux mesures successives de la même grandeur.

2) il est impossible de mesurer une durée en une seule opération : deux mesures sont nécessaires, séparées par le dit intervalle de temps.

En fait, on ne mesure jamais directement le temps, mais des événements successifs.

#### Diapo 4.

##### **Une caractéristique : la flèche du temps**

Nous n'avons pu résoudre aucune des questions fondamentales qui s'appliquent à un objet scientifique.

Comme nous n'avons pas directement accès au temps, nous allons examiner ses caractéristiques, en particulier la *flèche du temps* (expression d'Arthur Eddington) : le temps ne peut pas être immobilisé et montre une « préférence » sensible pour une direction et un sens.

#### Diapo 5.

##### **Ses manifestations**

La flèche du temps se manifeste dans différents domaines, que nous allons examiner successivement :

1. **Dans notre expérience quotidienne**
2. **En biologie et physiologie**
3. **En physique**

#### Diapo 6.

##### **1. Dans notre expérience quotidienne**

- **Conscience et mémoire**

Nous sommes conscients du temps vécu, du temps qui passe, du présent ; nous pouvons accéder à notre passé grâce à la mémoire ; nous pouvons organiser nos souvenirs de manière chronologique ; nous pouvons faire des projets parce que nous pensons (l'expérience passée nous montre) qu'après l'instant présent il y a un futur.

Mais nous n'avons pas besoin de dérouler toute la mémoire pour accéder à un événement passé, ni d'anticiper instant après instant pour nous projeter dans un futur plus ou moins lointain, et cela même si nous faisons l'hypothèse que le temps est continu.

- **Observation : causalité, irréversibilité**

La cause précède l'effet, et on ne peut pas « revenir en arrière » (exemple : passage d'un film à l'envers).

#### Diapo 7.

##### **2. En biologie et physiologie**

- **Développement, croissance et vieillissement**

(respiration, alimentation, digestion, reproduction, etc. sont des opérations irréversibles)

- **Acquisition de comportements en situation**

Par exemple, apprentissage de la marche, réactions face à des situations ou agressions (réaction aux virus, par exemple)

- **Acquisition de connaissances, apprentissage**

L'acquisition de connaissances se traduit par la création de nouvelles connexions entre neurones, « traces mnésiques » (un peu comme des pas dans la neige), donc l'état du cerveau avant d'avoir appris une chose est différent de son état après.

## Diapo 8.

### 3. En physique

Petit tour des différentes « branches » de la physique :

- **Mécanique classique**

Les équations de la mécanique sont invariantes lorsqu'on renverse la direction du temps, c'est-à-dire lorsqu'on change  $t$  en  $-t$  dans ces équations (pas de flèche).

- **Thermodynamique**

La thermodynamique (\*) est la science de tous les phénomènes qui dépendent de la température et de ses changements, et par extension la physique statistique : elle s'applique aux systèmes comportant un grand nombre d'éléments. Exemple : un gaz chaud et un gaz froid se mélangent ; du café noir chaud et du lait froid -> l'irréversibilité se traduit par la notion d'entropie, qui est une fonction croissante. La flèche du temps est orientée dans le sens d'une entropie croissante.

(\*) Rappels de thermodynamique :

1<sup>er</sup> principe : conservation de l'énergie ;

2<sup>e</sup> principe (principe d'évolution) : dégradation de l'énergie (passage d'un état plus ordonné à un état moins ordonné). Le désordre est exprimé par une fonction d'état : l'entropie qui croît à mesure que le désordre croît. Cette croissance est liée à l'irréversibilité d'une transformation.

(l'entropie est une grandeur statistique, qui s'exprime en fonction du nombre  $\Omega$  d'états microscopiques, ou nombre de configurations, définissant l'état d'équilibre d'un système donné au niveau macroscopique :  $S = k \ln \Omega$  ; formule de Ludwig Boltzmann).

- **Électromagnétisme**

Les ondes électromagnétiques se propagent à la vitesse de la lumière ( $c$  dans le vide). Elles sont solution des équations de Maxwell. Or ces équations ont deux types de solutions : les ondes retardées, qui se propagent à partir de la source ; et les ondes avancées qui se propagent vers la source. On n'observe que les ondes retardées. (flèche électromagnétique)

- **Relativité**

Le temps est inséparable de l'espace (pas de flèche)

- **Mécanique quantique**

C'est le domaine de la physique qui s'applique à l'échelle de l'atome et des particules. Contrairement au domaine classique, on ne peut pas mesurer simultanément la position et la vitesse (l'impulsion  $p = mv$ ) d'une particule. Il faut choisir de mesurer d'abord l'une, puis l'autre. Or, lorsqu'on mesure une grandeur en MQ (par exemple la position  $x$ ), l'autre grandeur caractéristique (l'impulsion  $p = mv$ ) n'est plus mesurable avec précision. Mesurer d'abord  $x$  puis  $p$  ne donne donc pas le même résultat que mesurer d'abord  $p$  puis  $x$ .

Cette irréversibilité est due à la 1<sup>re</sup> relation d'indétermination d'Heisenberg :  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$

La 2<sup>e</sup> relation :  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$  permet de renverser le sens du temps à condition (passer de  $t$  à  $-t$ ) de changer en même temps le signe de  $E$  (passer de  $E$  à  $-E$ ), ce qui revient à remplacer une particule par son antiparticule.

Par ailleurs, lorsqu'on inverse le temps, il faut en même temps inverser d'autres caractéristiques (la charge et la parité), ce qui revient à dire que si l'on passe de  $t$  à  $-t$ , il faut passer de la particule à son antiparticule.

- **Cosmologie**

Le modèle standard de l'univers est un univers en expansion : flèche cosmologique.

Par ailleurs, les trous noirs sont des objets stellaires qui attirent et captent tout ce qui passent à proximité, y compris les rayons lumineux qui ne peuvent donc pas s'en échapper (d'où le nom de trou « noir »). Or à proximité d'un trou noir le temps semble s'allonger

jusqu'à l'horizon du trou noir où le temps s'annihile. Au-delà de cet horizon, il y aurait inversion entre l'espace et le temps...

Nous trouvons donc au moins trois flèches physiques du temps : thermodynamique, électromagnétique, cosmologique, qui s'ajoutent aux flèches psychologique, biologique et physiologique.

Pour le biologiste Jacques Monod, flèche biologique = flèche thermodynamique  
Carlo Rovelli a démontré que le temps cosmologique est identique au temps d'origine thermodynamique, c'est-à-dire que l'expansion coïncide avec l'augmentation d'entropie de l'univers.

## Diapo 9.

### Représentations mathématiques du temps

- **Géométrie**

Le temps est assimilé à un axe orienté du passé vers le futur

Cet axe est largement utilisé pour représenter les fonctions et équations en physique :

Vitesse :  $v = x/t = dx/dt$  (dérivée par rapport au temps)

Accélération :  $\gamma = d^2x/dt^2$  (dérivée seconde par rapport au temps)

Fréquence :  $f = 1/T$  (T : période)

La théorie de la relativité d'Einstein (relativité restreinte) introduit une relation entre le temps et l'espace : on parle d'espace-temps à 4 dimensions (espace de Minkowski), la dimension temps étant particulière :

Ce qu'on appelle intervalle d'espace  $\Delta l$  en physique classique est défini par :

$$\Delta l^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 \text{ (application du théorème de Pythagore)}$$

Cet intervalle est remplacé par l'intervalle d'univers :

$$\Delta s^2 = c^2\Delta t^2 - \Delta l^2 = c^2\Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2 \quad (\text{p.217})$$

Le carré de la « dimension temps » ressemble aux dimensions d'espace au signe près. Pour qu'elle se présente de la même façon que les autres coordonnées, il faudrait faire précéder t de ic (i = nombre imaginaire).

Aucune de ces représentations géométriques ne tient compte de la flèche du temps.

- **Non-commutativité :  $A*B \neq B*A$**

\* désigne une opération entre deux grandeurs A et B. Par exemple, l'addition ou la multiplication de nombres réels sont des opérations commutatives.

La non-commutativité implique que, si l'on permute les termes, le résultat est différent.

Par exemple :

- un mot ou une phrase et son anagramme (Etienne Klein, physicien qui s'est beaucoup intéressé au temps a co-écrit un livre sur les anagrammes) ;
- un morceau de musique dont on joue les notes en désordre, par exemple :  
do-ré-mi-do  $\neq$  do-mi-ré-do

Nous avons vu que la non-commutativité s'applique aux mesures en mécanique quantique. Mais la non-commutativité ne donne pas encore un sens privilégié. Elle implique seulement que les deux sens ne sont pas équivalents.

- **Relation d'ordre :  $A < B$**

La relation d'ordre s'applique aux nombres réels. Elle permet, par exemple, de rendre compte du fait que « La cause précède l'effet » en posant que  $<$  désigne « précède ». Mais tous les événements ne peuvent pas être ordonnés (on parle d'« ordre partiel »).

## Diapo 10.

### Invention des physiciens ou nouveau paradigme ?

Le temps est une hypothèse commode. Mais il a des propriétés étranges et contradictoires, comme d'autres notions introduites puis supprimées, par exemple l'éther luminifère jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, ou le phlogistique introduit à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle.

- l'*éther luminifère* : milieu qui remplit l'espace, servant de support aux ondes électromagnétiques (lumière)

Mais ce fluide avait des propriétés étranges : il aurait dû être d'une rigidité quasi infinie pour nous transmettre la lumière d'étoiles situées à plusieurs années-lumière, tout en étant élastique pour pouvoir vibrer et offrir une résistance nulle au déplacement des objets matériels (puisque la Terre tourne autour du Soleil sans être ralentie par ce milieu).

L'expérience de Michelson-Morley (1887) devait montrer que la Terre se déplace par rapport à l'éther, donc que la vitesse de la lumière par rapport à l'éther varie avec la direction du faisceau lumineux. Or le résultat de cette expérience était négatif, la vitesse de la lumière est la même dans toutes les directions, donc elle ne peut pas dépendre d'un milieu particulier.

- le *phlogistique* : substance fixée dans la matière et qui est libérée par la combustion, la perte de masse résultant de la combustion est attribuée au *phlogistique*. Mais les mesures donnent pour certains matériaux (métaux) une masse négative.

Le temps est une hypothèse commode, une fiction utile, un peu comme la monnaie dans les échanges commerciaux.

Pour en savoir plus, « Les vieux habits du temps. Investigation sur la vraie nature du temps », éditions Elzévir (actuellement indisponible chez l'éditeur – [www.editions-elzevir.fr](http://www.editions-elzevir.fr))