

Vitesse de la lumière dans le vide

Relativité restreinte

Comprendre

En mécanique classique, la loi de composition des vitesses s'applique aux objets et aux ondes sonores dont les vitesses sont nettement inférieures à celle de la lumière. **Cette loi s'applique-t-elle aux ondes lumineuses ?**

Document n°1 : loi de composition des vitesses en mécanique classique

Une personne immobile sur le quai d'une gare regarde passer un train à la vitesse $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Elle aperçoit un passager P se déplaçant dans la direction du train à la vitesse $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

On note :

R un référentiel lié à la gare et R' un référentiel lié au train

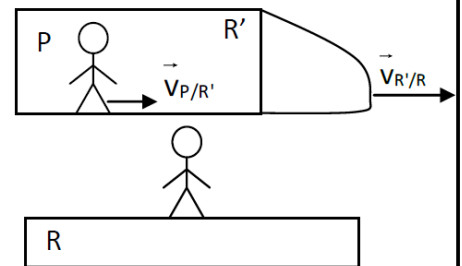
$\vec{v}_{R'/R}$ la vitesse du train par rapport à la gare

$\vec{v}_{P/R'}$ la vitesse de P par rapport au train

$\vec{v}_{P/R}$ la vitesse de P par rapport à la gare.

En mécanique classique, la loi de composition des vitesses indique que :

$$\vec{v}_{P/R} = \vec{v}_{P/R'} + \vec{v}_{R'/R}$$



Document n°2 : Relativité galiléenne

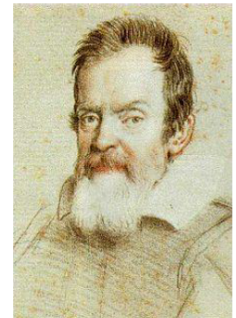
C'est à Galilée (1564 – 1642) que l'on doit la première expression de relativité.

Galilée observe que, enfermé dans la cabine d'un navire sans vue sur l'extérieur, aucune expérience de mécanique ne permet de distinguer si le navire est immobile dans le port ou en mouvement rectiligne et uniforme par rapport au port.

Par ailleurs, sans référence à un objet extérieur, il n'y a aucun moyen de savoir si le navire se déplace ou non.

Selon le principe de relativité galiléenne :

- la vitesse d'un système ne peut être définie que relativement à un référentiel ;
- il n'existe pas de « référentiel absolu » : les lois de la physique sont les mêmes dans tous les référentiels galiléens.



Document n°3 : L'électromagnétisme de Maxwell

La lumière est une onde électromagnétique.

La théorie des ondes électromagnétiques de Maxwell (1831 – 1879) permet de prévoir théoriquement la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide indépendamment du référentiel d'étude. Cela induit que quel que soit le référentiel d'étude et quelle que soit la vitesse de la source, la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide vaut $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

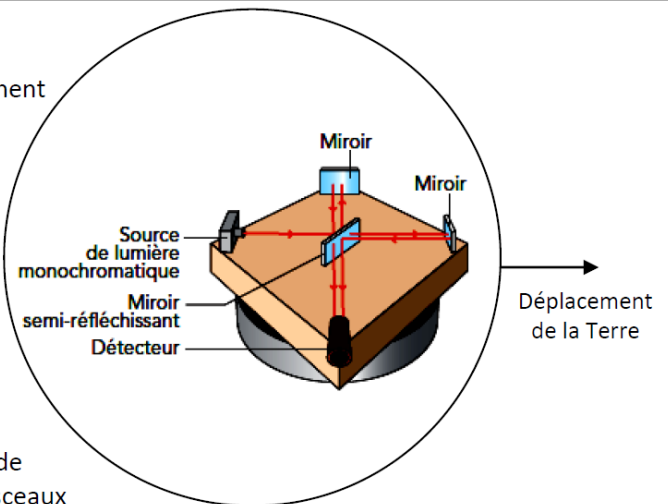


1. Si le passager P est assis dans le train, peut-on dire qu'il est immobile ? Expliquer.
2. Lorsque le passager se déplace respectivement vers l'avant du train puis vers l'arrière du train, quelle est sa vitesse par rapport au quai de la gare dans les deux cas ?
3. Le passager P allume une lampe de poche pour éclairer un document placé devant lui. Selon le principe de relativité galiléenne qu'elle est la vitesse de la lumière émise par la lampe par rapport au train ? Par rapport au quai de la gare ?
4. Expliquer pourquoi la réponse précédente n'est pas compatible avec la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell.

Document n°4 : L'expérience de Michelson et Morley

À la fin du XIX^{ème} siècle, deux physiciens américains, A. Michelson (1852-1931) et E. Morley (1838-1923) cherchent à mettre en évidence les possibles variations de la vitesse de lumière selon qu'elle se propage dans la direction du mouvement de la Terre ou dans la direction perpendiculaire. Ils conçoivent un appareil, appelé interféromètre, qui permet de séparer une onde lumineuse monochromatique en deux faisceaux qui se propagent dans deux directions perpendiculaires. Les deux faisceaux parcourent des longueurs légèrement différentes entre le moment où ils sont séparés et le moment où ils se superposent à nouveau, après avoir été réfléchis par des miroirs. Cette différence de longueur et donc de temps de parcours entre les deux faisceaux génère des franges d'interférences alternativement sombres et claires.

La sensibilité de l'appareil est telle que de la figure d'interférences doit être modifiée selon l'orientation de l'interféromètre par rapport au sens de déplacement de la Terre. Bien que l'expérience ait été répétée à de nombreuses fois et améliorée, aucune variation significative de la figure d'interférences ne fut jamais détectée.



Document n°5 : Les postulats d'Einstein

Albert Einstein (1870 – 1952) trouvait incohérent que la mécanique puisse obéir à certaines lois et l'électromagnétisme à d'autres. En 1905, Einstein va étendre le principe de relativité de Galilée à toutes les lois physiques. Il publie la théorie de la relativité restreinte qui repose sur deux postulats :

« Les lois de la physique sont les mêmes dans tous les référentiels galiléens ».

« La vitesse de la lumière dans le vide est indépendante du référentiel d'étude et vaut $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$ par rapport à tout référentiel galiléen ».

Les postulats d'Einstein sont aujourd'hui toujours admis : aucune expérience n'est jamais venue les remettre en cause.



5. Quelle conclusion sur la vitesse de la lumière peut-on tirer de l'expérience de Michelson et Morley ?
6. Quelle loi n'est plus valide pour les ondes lumineuses ?
7. Que peut-on dire de la vitesse de la lumière dans le vide ?