

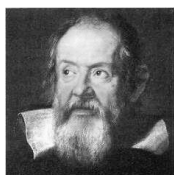


Chapitre C5. Temps et relativité restreinte

Activité 1 : 1905, pourquoi il fallait changer les lois de la Physique...

Galilée et Maxwell sont deux physiciens qui, à trois siècles d'intervalle, ont posé les bases de deux branches de la physique : respectivement la mécanique dite « classique » et l'électromagnétisme. Nous allons voir comment la confrontation de ces deux théories a conduit les physiciens du XX^{ème} siècle à rénover leurs théories et modèles.

La mécanique de Galilée (1564 – 1642) :



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 dits "galiléens". Si une expérience de mécanique est conduite et étudiée dans un référentiel galiléen, l'observation est indépendante de la vitesse de ce référentiel.

Ce principe sert de fondement à la mécanique de Newton.

L'électromagnétisme de Maxwell (1831 – 1879) :



La lumière est une onde électromagnétique.

La théorie des ondes électromagnétiques de Maxwell permet de prévoir théoriquement sa célérité indépendamment du référentiel d'étude. Cela induit donc que quel que soit le référentiel d'étude et quelle que soit la vitesse de la source :

$$c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Activité 1 - partie 1 : Fin du XIX^{ème} siècle : deux théories se contredisent

L'objectif de cette partie est de comprendre pourquoi l'électromagnétisme de Maxwell est incompatible avec la relativité galiléenne...

► Une conséquence du principe de relativité galiléenne : la composition des vitesses

- On considère un TGV qui avance à une vitesse $v = 300 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 83,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ par rapport aux rails. Le passager est assis sur un siège. Dans quel référentiel le passager est-il immobile ?
- Le passager, pour se rendre à la voiture bar, marche vers l'avant du train à une vitesse de $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Quelle est sa vitesse par rapport aux rails ?
 - Même question, lorsque le passager quitte la voiture bar pour retourner à sa place

► Galilée et la vitesse de la lumière

Le passager précédent, toujours dans le TGV, est à nouveau assis, il regarde dans le sens contraire au sens de la marche du TGV. Il allume une lampe de poche pour éclairer un document placé devant lui.

- Prévision d'après la relativité galiléenne** : si on étend le principe de relativité galiléenne à la lumière, à quelle vitesse la lumière émise par la lampe se propage-t-elle par rapport au TGV ? Par rapport aux rails ?
- Cette réponse est-elle compatible avec la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell ?

Activité 1 - partie 2 : L'hypothèse de l' « éther »

L'analyse précédente suggère qu'il existe un référentiel « absolu », le seul dans lequel les lois de l'électromagnétisme sont valables, ce qui serait en contradiction avec le principe de Galilée ! Pour rendre compatibles les lois de Maxwell et le principe de Galilée et sortir ainsi de cette impasse, les physiciens avaient trois solutions :

- solution ❶** : conserver le principe de Galilée, donc devoir corriger la théorie des ondes électromagnétiques ;
- solution ❷** : conserver la théorie des ondes électromagnétiques de Maxwell, donc corriger le principe de Galilée ;
- solution ❸** : conserver les deux théories et admettre que la mécanique satisfait le principe de Galilée mais pas l'électromagnétisme. Les lois de la mécanique sont valides dans tout référentiel galiléen mais pas celles de l'électromagnétisme. Conséquence : la vitesse d'un objet serait définie par rapport à un référentiel, mais la vitesse de la lumière ne serait définie que dans un référentiel **absolu** dans lequel seraient valides les lois de l'électromagnétisme (ce référentiel est lié à un milieu appelé **éther**).

Le principe de Galilée était à l'origine de la mécanique de Newton, grâce à laquelle tous les mouvements terrestres et astronomiques connus avaient pu être correctement interprétés.

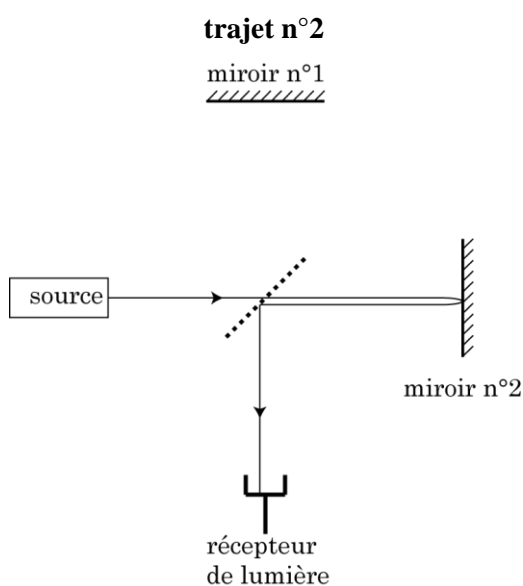
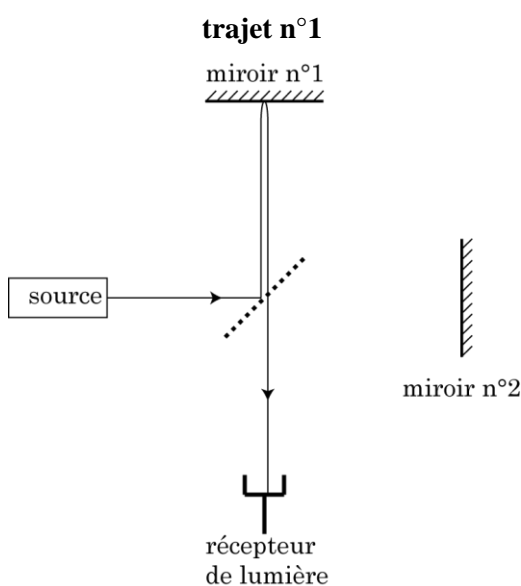
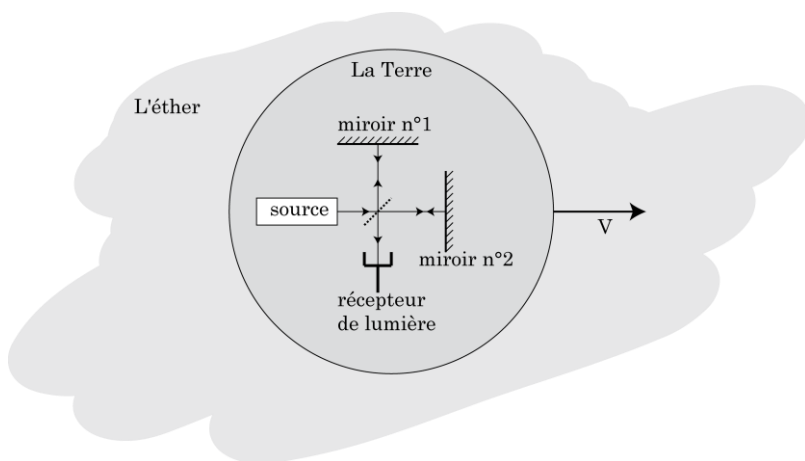
La théorie de Maxwell avait permis d'expliquer de nombreux phénomènes électriques, magnétiques et lumineux !

C'est donc la solution ❸ qui fut d'abord choisie. Les physiciens qui ont fait ce choix sont contraints de formuler l'hypothèse de l'éther comme le référentiel absolu : la théorie des ondes électromagnétiques n'est valable que par rapport à l'éther, donc la célérité de la lumière vaut $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ seulement par rapport à l'éther. Dans un référentiel en mouvement par rapport à l'éther, la célérité de la lumière se calcule selon la loi de composition des vitesses de Galilée.

**L'expérience de Michelson et Morley :**

Michelson et Morley ont alors entrepris de mesurer la vitesse de la Terre par rapport à l'éther. Ils ont pour cela conçu le système schématisé ci-dessous, appelé « interféromètre », composé d'une source de lumière, de deux miroirs et d'une lame semi-réfléchissante, le tout posé horizontalement sur le sol terrestre. Ils étaient partisans de l'idée selon laquelle la Terre était en mouvement à la vitesse V dans l'éther, fluide immobile (schéma ci-contre). Ce schéma ne respecte aucune échelle mais l'orientation du dispositif par rapport à la vitesse de la Terre est respectée.

Dans l'interféromètre la lumière était divisée en deux faisceaux qui suivaient l'un ou l'autre de ces trajets :



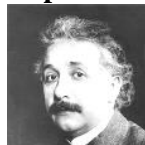
Les deux miroirs étaient à égale distance de la lame semi-réfléchissante. L'interféromètre permettait, grâce au phénomène d'interférences lumineuses, de mesurer l'écart de temps τ entre le parcours 1 et le parcours 2 de la lumière.

5. Selon l'hypothèse de l'éther, la lumière a-t-elle une célérité de valeur c par rapport à la terre ?
6. Expliquer pourquoi Michelson et Morley s'attendaient à mesurer un écart de temps entre les 2 parcours possibles de la lumière.

Activité 1 - partie 3 : 1905, la fin de l'hypothèse de l' « éther » et la relativité d'Einstein

Résultat de l'expérience de Michelson et Morley : l'écart de temps mesuré est toujours rigoureusement nul.

Pour Albert Einstein, la notion de référentiel absolu n'avait aucun sens : il semblait incohérent que la mécanique puisse obéir à certaines lois et l'électromagnétisme à d'autres lois. C'est essentiellement pour cette raison, semble-t-il, qu'il énonça en 1905 un postulat qui allait bouleverser la physique :

Le postulat d'Einstein (1879 – 1955) :

Les lois de la physique sont les mêmes dans tout référentiel galiléen. La vitesse de la lumière dans le vide est indépendante du référentiel d'étude et vaut :
 $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ **par rapport à tout référentiel galiléen.**

7. Le concept d' « éther » est-il pertinent selon Einstein ?
8. Le postulat d'Einstein est aujourd'hui toujours admis : aucune expérience n'est jamais venue le réfuter. Ce postulat, à partir de 1905, a conduit les physiciens à corriger certaines théories admises jusqu'alors. Est-ce l'électromagnétisme de Maxwell ou la mécanique de Galilée qu'il a fallu modifier pour certaines situations ?

**Activité 2 : Une conséquence surprenante : la relativité du temps**

Objectif : comprendre pourquoi l'invariance de la célérité de la lumière implique la relativité du temps (dépendance par rapport au référentiel).

Voici comment, en quelques lignes, Newton traitait la question de la mesure des durées :

« Sans relation à rien d'extérieur, le temps absolu, vrai, mathématique, s'écoule uniformément. »

Un véhicule non identifié avance à la vitesse v par rapport au sol. Dans ce véhicule, un expérimentateur nommé « Mobile » fait rebondir une balle au plafond puis la récupère. On suppose que la balle parcourt la distance h à l'aller et la même distance au retour.

1. Représenter approximativement l'allure de la trajectoire de la balle vue par un observateur extérieur appelé « Fixe », placé sur le sol.
2. On note Δt la durée pendant laquelle la balle est hors de la main (l'aller-retour). Exprimer la vitesse moyenne dans le référentiel de « Mobile » puis comparer, pour chacun des deux référentiels, la distance parcourue et la vitesse moyenne (indiquer pour chaque ligne *plus grande, plus petite, ou identique*).

La durée vaut Δt	La durée vaut Δt
La distance parcourue vaut $2h$	La distance parcourue est
La vitesse moyenne vaut : $v =$	La vitesse moyenne est

Einstein imaginait souvent des « expériences de pensée » pour illustrer ses propos : situations imaginaires, irréalisables, mais qui aident à penser et dont il est possible de prévoir le résultat. On envisage l'expérience de pensée qui consiste à réaliser la même expérience que précédemment en remplaçant la balle par la lumière frappant maintenant sur un miroir.

3. Compléter comme précédemment, toujours en raisonnant qualitativement, le tableau ci-dessous (sans forcément respecter l'ordre des lignes !).

La durée vaut Δt	La durée est
La distance parcourue vaut $2 \times h$	La distance parcourue est
La vitesse vaut	La vitesse est

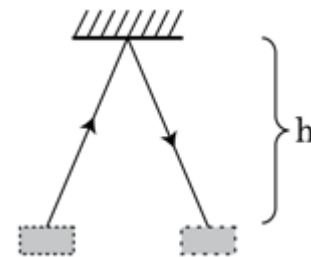
4. Expliquer pourquoi cette expérience met en défaut le point de vue de Newton énoncé au début de l'activité.

Lire alors le § 1 du modèle.

**Activité 2 – suite**

On note $\Delta t'$ la durée obtenue par « Fixe ». On cherche ici à relier entre elles les durées mesurées par chacun des deux observateurs. Δt est la durée pour « Mobile ».

- On note d' la distance que la lumière a parcourue, vue par *Fixe*, en $\Delta t'$. Exprimer d' en fonction c et $\Delta t'$.
- En utilisant le théorème de Pythagore, exprimer d' en fonction de h , v et $\Delta t'$ puis, en utilisant la relation $2h = c\Delta t$, exprimer d' en fonction de c , v , Δt et $\Delta t'$.



- En déduire la relation :
$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Pour aller plus loin : montrer que cette relation est en accord avec la comparaison faite à la question 3.

Lire et compléter le § 2 du modèle.

Activité 2 – suite - dilatation des durées

On considère l'expérience de pensée suivante.

Un marin est sur un bateau qui se déplace le long d'une plage, à une vitesse v constante dans le référentiel terrestre. Le marin est en train de prendre son repas. Un vacancier situé sur la plage le regarde. Chaque personnage (le marin et le vacancier) a mis en marche son chronomètre pour mesurer la durée du repas.

- Entre le marin et le vacancier, lequel va mesurer la durée du repas la plus grande ?
- Compléter le tableau ci-dessous.

Vitesse du bateau par rapport au sol	Durée propre du repas = durée mesurée par dans le référentiel	Durée impropre du repas = durée mesurée par dans le référentiel
30 km/s	1h	1h 0 min 0,000 018 s
30 000 km/s	1h	1h 0 min 18,12 s
100 000 km/s	1h	1h 3 min 39 s
200 000 km/s	1h
260 000 km/s	1h

Activité 4 : Comment les muons peuvent-ils traverser l'atmosphère ?

Objectif : Réinvestir les notions de relativité restreinte afin d'interpréter des faits expérimentaux qui ne pourraient pas être expliqués à l'aide de la physique classique

Le muon est une particule qui porte la même charge électrique que l'électron, mais avec une masse 207 fois plus grande, c'est pourquoi on l'appelle aussi *électron lourd*. Les muons sont produits par l'interaction entre les rayons cosmiques émis par le Soleil et la haute atmosphère de la Terre, à une altitude d'environ 10 km. Un muon au repos se désintègre en moyenne au bout d'une durée de valeur $\tau = 2,2 \mu\text{s}$. Les muons émis dans la haute atmosphère le sont avec une vitesse égale à 99,8 % de la célérité de la lumière dans le vide. On peut considérer cette vitesse comme constante.

On considère souvent que le fait de pouvoir détecter des muons à la surface de la Terre est une preuve expérimentale de la dilatation des durées. Cette partie propose de comprendre cette affirmation.

- Calculer la distance parcourue par un muon pendant $2,2 \mu\text{s}$.
- Pourquoi le fait que des muons parviennent à la surface de la Terre est-il une preuve expérimentale de la dilatation des durées ?
- En tenant compte de la dilatation des durées, calculer la distance que parcourt, en moyenne, un muon avant de se désintégrer. On prendra bien soin de définir les événements considérés, la durée propre et la durée mesurée depuis la Terre. Ce calcul permet-il d'interpréter la détection de muons à la surface de la Terre ?

Voir l'animation « Muons » sur le site www.prof-vince.fr



Activité 3 : Brûler la physique de Newton ?

Une des corrections apportées par la relativité à la physique newtonienne concerne la mesure des durées.

On étudie ici dans quelle mesure la correction apportée par la relativité modifie le résultat des prévisions par rapport à la physique de Newton.



1. Que vaut le facteur $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ (appelé facteur de Lorentz) lorsque si $v = 0$? Que signifie

cette valeur physiquement ?

2. La valeur du facteur de Lorentz permet donc d'estimer l'écart entre la durée mesurée par une horloge embarquée et celle mesurée par une horloge immobile :

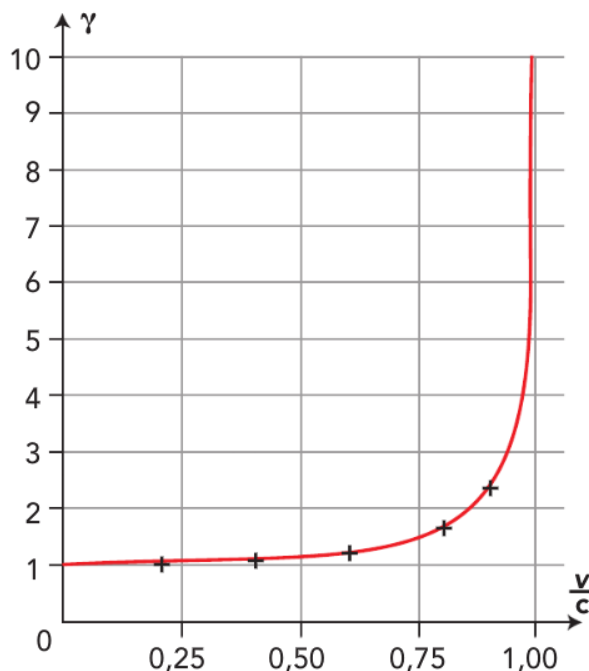
il n'y a aucun écart si $\gamma = 1$.

Calculer les valeurs de γ pour des horloges liées aux systèmes suivants :

	γ
 TGV qui avance à $300 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ par rapport au sol terrestre	
 Airbus A380, à la vitesse de $900 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ par rapport au sol terrestre	
Fusée Ariane 5, à la vitesse de $8000 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ par rapport au centre de la Terre	
Apollo 11, à la vitesse de $40\,000 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ par rapport au centre de la Terre	
Proton sortant de l'accélérateur du PSI (Paul Scherrer Institut) à une vitesse égale à 79% de celle de la lumière dans le vide	
Proton sortant de l'accélérateur du LHC (Large Hadron Collider) à une vitesse égale à 99,9999991% de celle de la lumière dans le vide	

3. Exploiter les valeurs obtenues pour déterminer, parmi les situations évoquées, celle(s) qui appartient au champ de validité de la physique de Newton et celle(s) qui ne sont correctement interprétées que par la physique d'Einstein.

4. Expliquer en quoi le document ci-contre (représentant le facteur de Lorentz γ en fonction du rapport $\frac{v}{c}$ permet de comprendre que, dans de très nombreuses situations, la mécanique de Newton reste pertinente



**Activité 4 : Comment les muons peuvent-ils traverser l'atmosphère ?**

Objectif : Réinvestir les notions de relativité restreinte afin d'interpréter des faits expérimentaux qui ne pourraient pas être expliqués à l'aide de la physique classique

Le muon est une particule qui porte la même charge électrique que l'électron, mais avec une masse 207 fois plus grande, c'est pourquoi on l'appelle aussi électron lourd. Les muons sont produits par l'interaction entre les rayons cosmiques émis par le Soleil et la haute atmosphère de la Terre, à une altitude d'environ 10 km. Un muon au repos se désintègre en moyenne au bout d'une durée de valeur $\tau = 2,2 \mu\text{s}$. Les muons émis dans la haute atmosphère le sont avec une vitesse égale à 99,8 % de la célérité de la lumière dans le vide. On peut considérer cette vitesse comme constante.

On considère souvent que le fait de pouvoir détecter des muons à la surface de la Terre est une preuve expérimentale de la dilatation des durées. Cette partie propose de comprendre cette affirmation.

1. Calculer la distance parcourue par un muon pendant $2,2 \mu\text{s}$.
2. Pourquoi le fait que des muons parviennent à la surface de la Terre est-il une preuve expérimentale de la dilatation des durées ?
3. En tenant compte de la dilatation des durées, calculer la distance que parcourt, en moyenne, un muon avant de se désintégrer. On prendra bien soin de définir les événements considérés, la durée propre et la durée mesurée depuis la Terre. Ce calcul permet-il d'interpréter la détection de muons à la surface de la Terre ?

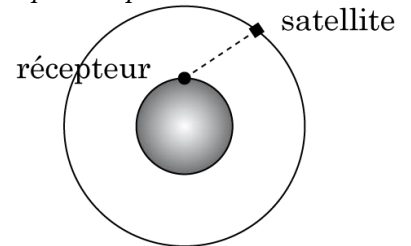
Voir l'animation « Muons » sur le site www.prof-vince.fr

Activité 5 : « Sans la relativité, pas de GPS »... mais pourquoi ?

Décalage d'horloges lors de mouvements relatifs rapides : application au GPS

Le système de positionnement GPS (global positioning system) repose sur un principe que l'on peut résumer ainsi :

Des satellites en orbite circulaire gravitent autour de la Terre à plus de vingt mille kilomètres d'altitude, à une vitesse d'environ $14 \times 10^3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Chaque satellite possède une horloge atomique embarquée et émet des signaux électromagnétiques qui contiennent des informations sur la position et la date exacte où ils ont été émis. Un récepteur GPS, au sol, doit recevoir au moins quatre signaux de quatre satellites différents pour pouvoir se localiser. Alors la comparaison de la date de réception et de la date d'émission permet au récepteur de calculer la distance qui le sépare de chaque satellite. Grâce à un calcul appelé « triangulation », il peut ainsi déterminer sa position sur le sol terrestre.



1. Le mouvement du satellite n'étant pas rectiligne, on admettra que le référentiel propre est le satellite. Expliquer qualitativement pourquoi la relativité prévoit que l'horloge atomique embarquée à bord du GPS retarde par rapport à la même horloge restée au sol.
2. Calculer le retard τ accumulé en une journée terrestre par l'horloge embarquée à cause de l'effet relativiste évoqué à la question précédente.
3. Calculer l'erreur Δd faite par le récepteur GPS s'il calcule la distance qui le sépare du satellite sans tenir compte du retard pris par son horloge au bout d'une journée. À votre avis, peut-on considérer Δd comme « négligeable » (on pourra en particulier comparer à une estimation de la précision avec laquelle un GPS courant vous localise) ?

Pour aller plus loin... La suite de l'histoire...

Einstein a publié, en 1915, la relativité générale. Cette théorie, comme son nom l'indique, généralise la relativité restreinte à toutes les situations. En particulier cette théorie montre que le champ de pesanteur terrestre est lui aussi responsable d'un décalage entre l'horloge embarquée et celle restée au sol. Ce décalage est contraire à celui dû à la vitesse du satellite (calculé en (c)). On montre que le champ de pesanteur terrestre est responsable chaque jour d'une avance de $45 \mu\text{s}$ de l'horloge embarquée par rapport à celle restée au sol.

En tenant compte des deux effets relativistes, calculer le décalage temporel total T entre les deux horloges accumulé en une journée. En déduire l'erreur Δd_{tot} commise par le récepteur GPS s'il ne tient pas compte des effets relativistes. Montrer que ce calcul justifie la nécessité de prendre en compte la relativité pour concevoir un récepteur GPS.

**Pour se divertir... Une situation imaginaire pour mieux comprendre**

George Gamow (1904-1969) est l'un des physiciens les plus influents du XX^{ème} siècle : on lui doit notamment la théorie du « big bang », aujourd'hui admise pour décrire la naissance de l'Univers. Gamow s'est aussi illustré par son talent de vulgarisateur : il s'est en effet appliqué à faire comprendre au grand public les théories de la physique moderne. Cette activité propose un extrait du Nouveau monde de M. Tompkins, ouvrage dans lequel Gamow raconte les rêveries d'un employé de bureau. Au début de cet extrait, M. Tompkins rêve d'un monde où la célérité de la lumière est beaucoup plus faible que dans la réalité : ainsi les effets de la relativité sont beaucoup plus marqués dans les situations quotidiennes...

Les aiguilles de la grande horloge au-dessus du porche de l'université indiquaient cinq heures. La rue était quasiment déserte, à l'exception d'un cycliste isolé qui s'approchait lentement de lui. (...) L'horloge sonna cinq coups et le cycliste (de toute évidence en retard) appuya plus fort sur les pédales. M. Tompkins n'eut pas l'impression qu'il accélérât réellement (...)

« La vitesse limite de la nature doit être beaucoup plus basse ici, conclut-il. J'estime qu'elle ne doit pas dépasser 30 kilomètres à l'heure. Ils n'ont pas besoin de radar dans cette ville. »

De fait, l'ambulance qui passait à vive allure à cet instant n'allait guère plus vite que le cycliste. Malgré ses gyrophares et la sirène hurlante, elle se traînait. M. Tompkins voulut rattraper le cycliste (...) mais comment le rejoindre? Il remarqua alors une bicyclette appuyée contre le mur de l'université. M. Tompkins se dit qu'elle appartenait sans doute à un étudiant en cours et qu'il pouvait sans problème l'emprunter quelques instants. Vérifiant que personne ne le regardait, il sauta en selle et se lança dans la rue à la poursuite de l'autre cycliste. (...)

M. Tompkins était bon cycliste et il faisait de son mieux pour rattraper le jeune homme. Mais il n'était pas du tout facile de prendre de la vitesse avec cette bicyclette. Il avait beau appuyer aussi fort que possible sur les pédales, il n'accélérait pas. Ses jambes devenaient douloureuses, pourtant, en passant devant le lampadaire du coin de la rue, il n'allait guère plus vite qu'au départ. Apparemment, ses efforts ne menaient à rien. Il commençait à comprendre pourquoi l'ambulance ne faisait pas mieux que le cycliste. (...) Le cycliste qui filait devant lui sembla se rapprocher et il finit par le rejoindre.

« Excusez-moi, demanda-t-il. Cela ne vous gêne pas de vivre dans une ville avec une limitation de vitesse aussi faible?

– Une limitation de vitesse? répondit l'autre tout surpris. Il n'y a pas de limitation de vitesse ici. Je peux aller n'importe où aussi vite que je veux. Ou, plus exactement, je le pourrais si j'avais une moto au lieu de ce vieux vélo !

– Mais vous alliez très lentement quand vous êtes passé devant moi il y a quelques instants, dit M. Tompkins.

– Je n'appellerais pas cela aller lentement, rétorqua le jeune homme. (...) D'ailleurs nous y voilà », dit le jeune homme en freinant et en descendant de bicyclette.

M. Tompkins s'arrêta lui aussi. Il regarda l'horloge de la poste, qui indiquait cinq heures et demie.

« Ah! Ah! s'exclama-t-il d'un ton triomphal. C'est bien ce que je vous disais. En vérité, vous rouliez lentement et vous avez mis une bonne demi-heure pour passer ces dix pâtés de maisons. Il était cinq heures quand vous êtes passé devant moi à la hauteur de l'université ; il est maintenant cinq heures et demie !

– Avez-vous eu l'impression qu'une demi-heure était passée? lui demanda son compagnon. Vous a-t-elle vraiment paru durer une demi-heure ? »

M. Tompkins dut admettre que cela ne lui avait pas paru si long, quelques minutes tout au plus. D'ailleurs, en regardant la montre à son poignet, il vit qu'elle ne marquait que cinq heures cinq.

« Oh! murmura-t-il, vous voulez dire que l'horloge de la poste avance?

– Vous pouvez le dire comme cela, répondit le jeune homme. À moins, bien sûr, que ce soit votre montre qui retarde. Elle s'est déplacée par rapport à ces horloges, n'est-ce pas ? À quoi donc vous attendiez-vous ? »

(...) Et le jeune homme disparut dans le bureau de poste.

M. Tompkins (...) remit sa montre à l'heure sur l'horloge de la poste et, pour s'assurer que tout fonctionnait normalement, il attendit dix minutes. Elle indiquait toujours la même heure que l'horloge : tout était en ordre.

En continuant à descendre la rue, il arriva à la gare. Il décida alors de comparer sa montre à l'horloge de la gare et constata, à son grand dépit, qu'elle retardait un peu.

« Oh mon Dieu, encore la relativité, conclut M. Tompkins. Cela doit arriver chaque fois que je me déplace. Que c'est ennuyeux! Devoir remettre sa montre à l'heure après chaque déplacement ! »

Au même instant, un homme élégamment vêtu sortit de la gare. Il paraissait avoir une quarantaine d'années. Regardant autour de lui, il reconnut une vieille dame qui attendait sur le bord du trottoir et il se dirigea vers elle pour la saluer. À la grande surprise de M. Tompkins, la vieille dame accueillit le nouvel arrivant en l'appelant « cher grand-père ! » Comment cela était-il possible ?

Comment cet homme-là pouvait-il être le grand-père de la vieille dame? Débordant de curiosité, M. Tompkins se dirigea vers le couple et demanda timidement :

« Je vous prie de m'excuser, mais vous ai-je bien entendu ? Êtes-vous vraiment son grand-père ? »

*Le nouveau monde de M. Tompkins
par George Gamow et Russel Stannard*

1. Dans le monde dont rêve M. Tompkins, que vaut la célérité de la lumière dans le vide ? Justifier à l'aide du texte.
2. Les retards que constate M. Tompkins peuvent-ils résulter d'un défaut de sa montre ? Justifier à l'aide du texte.
3. Sans calcul, montrer que la relativité permet d'interpréter le décalage que constate M. Tompkins entre l'heure indiquée par sa montre et celle indiquée par la pendule de la poste. En particulier, définir soigneusement les événements considérés et utiliser la notion de durée propre entre ces événements.
4. Imaginer une réponse possible de l'homme qui sort de la gare à la question que lui pose M. Tompkins à la fin de l'extrait.