

Le temps...



Avertissement

Ce que je vais vous raconter peut pourra peut-être vous paraître incroyable mais, si vous ne me croyez pas, demain votre GPS ne fonctionnera plus



Quelle est la vraie nature du
temps ?

Quelle est la vraie nature du temps ?

Le temps est-il immanent ou au contraire émane-t-il de notions plus fondamentales ?

Quelle est la vraie nature du temps ?

Le temps c'est ce qui passe quand rien ne se passe

(Giono)

Plan

1 - Les 2 « maintenant »

2 - Relativité restreinte

- Transformation de Lorentz
- L'univers bloc de Brian Greene
 - Un petit astronome vert fait du vélo
 - Le petit astronome vert vient me rendre visite
 - Exemple numérique
 - Le passé existe encore et le futur existe déjà
 - Peut-on voyager dans le temps
 - Les jumeaux de Langevin

3 - Relativité générale

- L'écoulement du temps a bord d'un satellite géostationnaire
- L'écoulement du temps aux abords d'un trou noir
- Influence de l'altitude
- Quelques exemples

4 – Conclusion

- Qu'est ce qui fait que le temps passe ?
- Mécanique quantique et algèbre non commutative

Première partie

Maintenant ?

Plan

1 - Les 2 « maintenant »

2 - Relativité restreinte

- Transformation de Lorentz
- L'univers bloc de Brian Greene
 - Un petit astronome vert fait du vélo
 - Le petit astronome vert vient me rendre visite
 - Exemple numérique
 - Le passé existe encore et le futur existe déjà
 - Peut-on voyager dans le temps
 - Les jumeaux de Langevin

3 - Relativité générale

- L'écoulement du temps a bord d'un satellite géostationnaire
- L'écoulement du temps aux abords d'un trou noir
- Influence de l'altitude
- Quelques exemples

4 – Conclusion

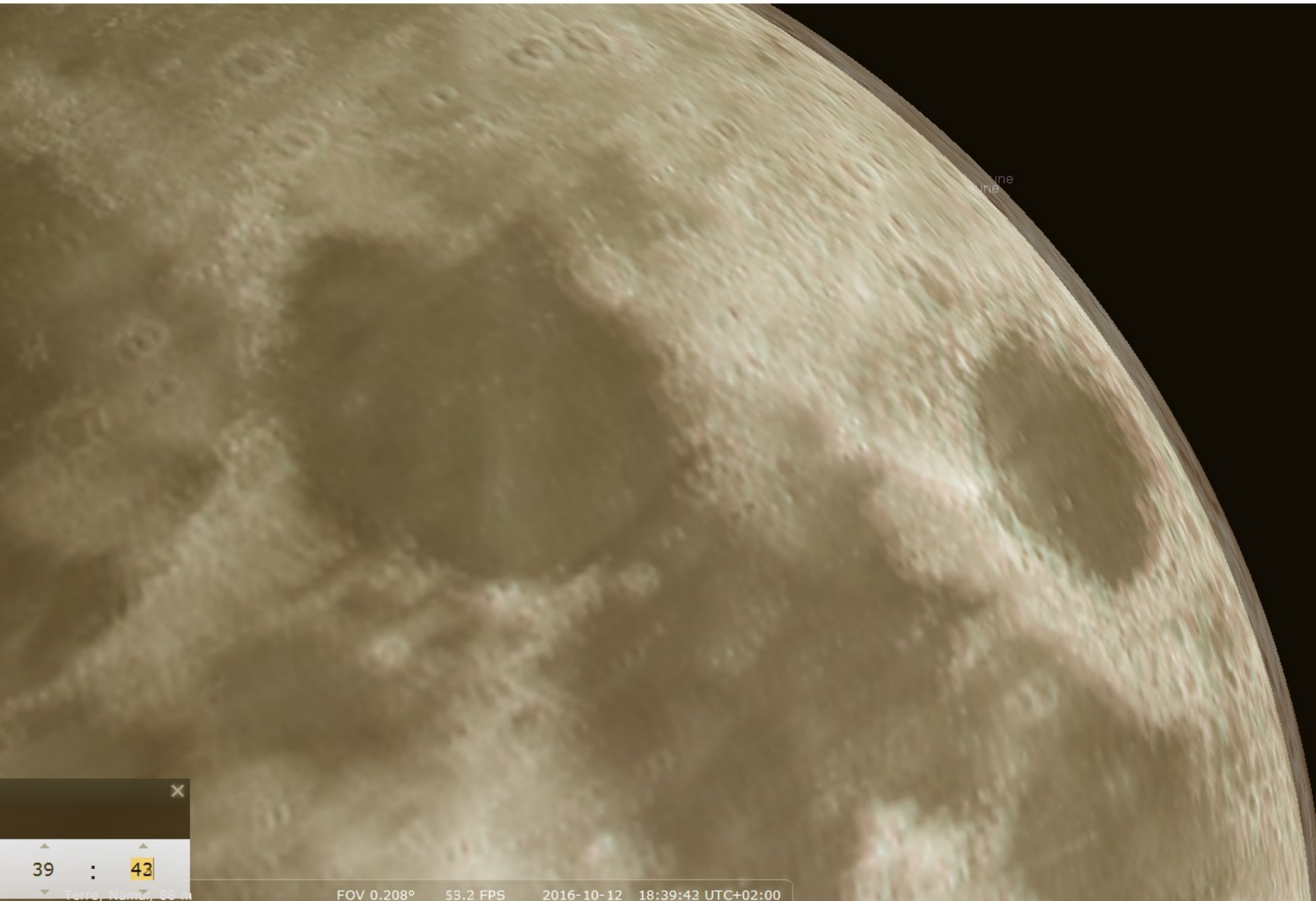
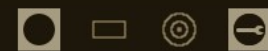
- Qu'est ce qui fait que le temps passe ?
- Mécanique quantique et algèbre non commutative

Pour le commun des mortels, MAINTENANT,
c'est ce que l'on voit à l'instant présent.

Mais que voyons nous à l'instant présent ?

La Lune : comme elle était il y a 1,3 secondes



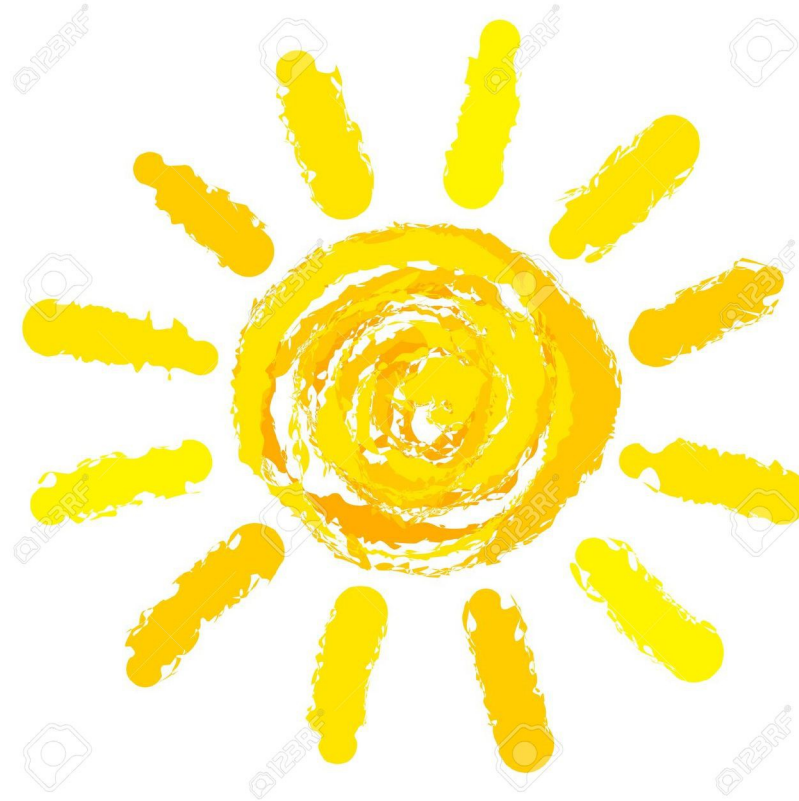


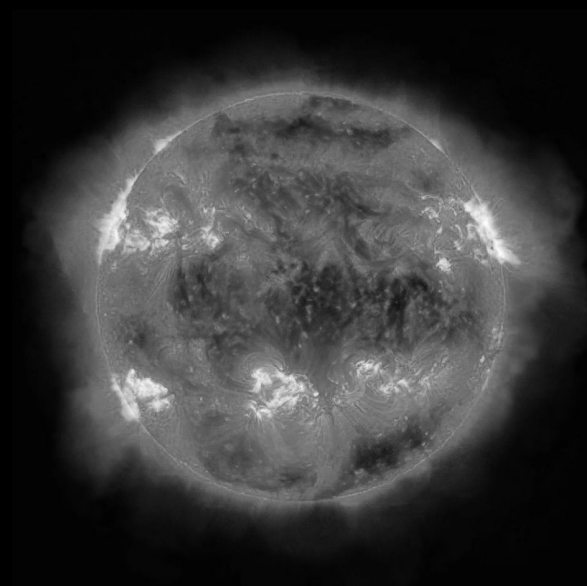
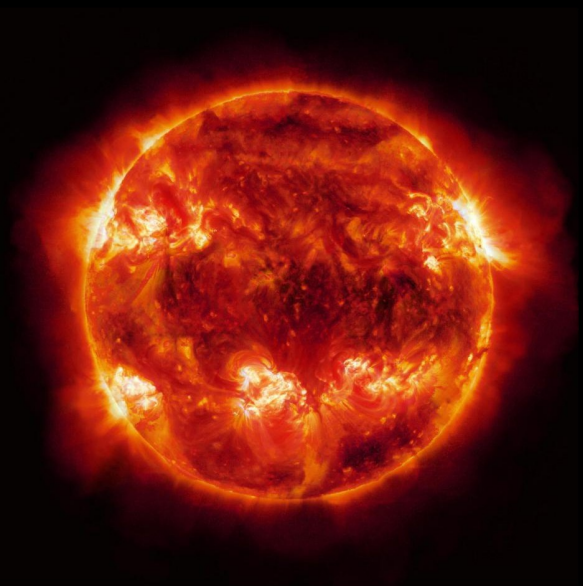
×

39 : 43

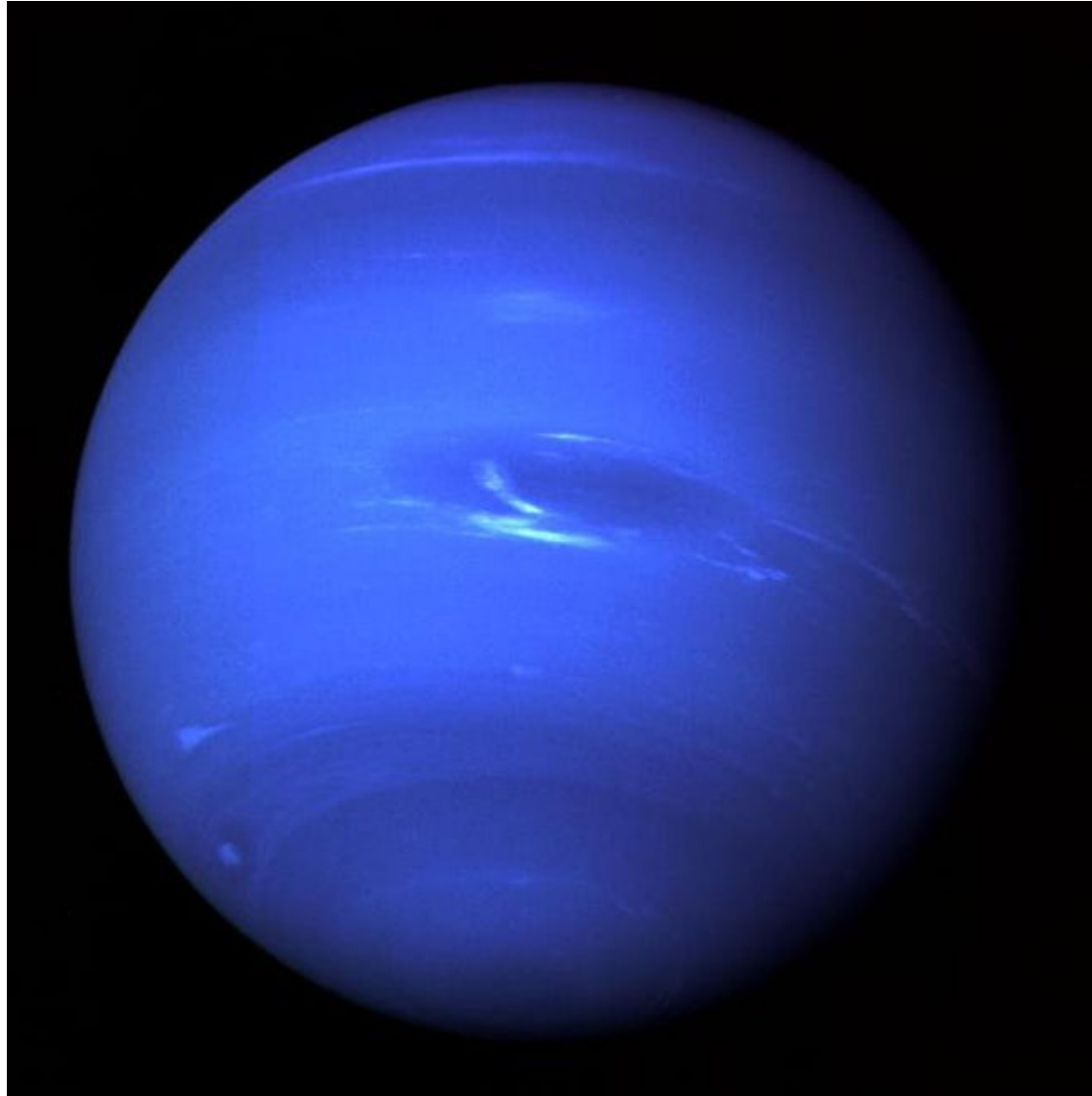
Terre, Namur, 55 m

Le Soleil : comme il était il y a 8 minutes

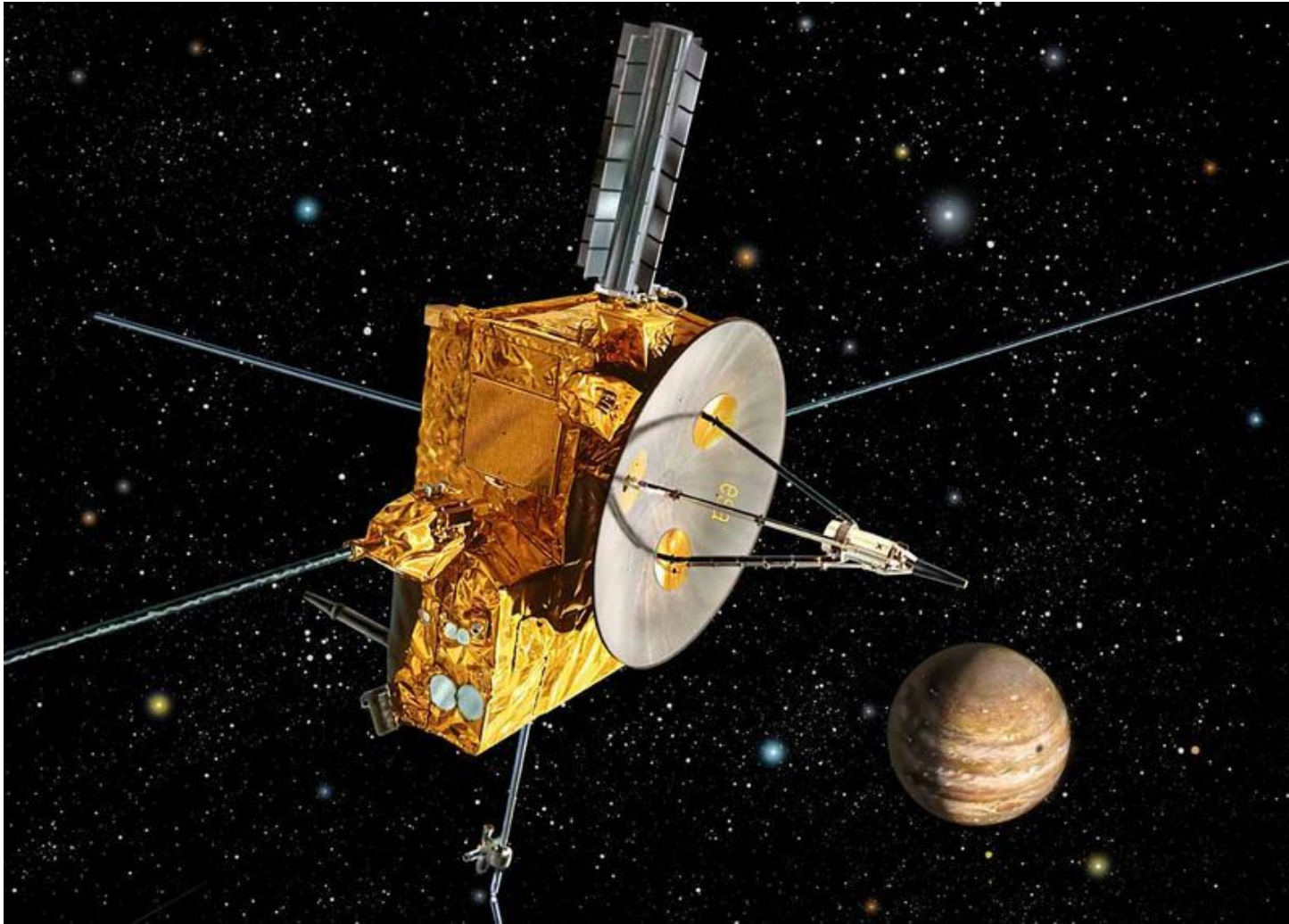




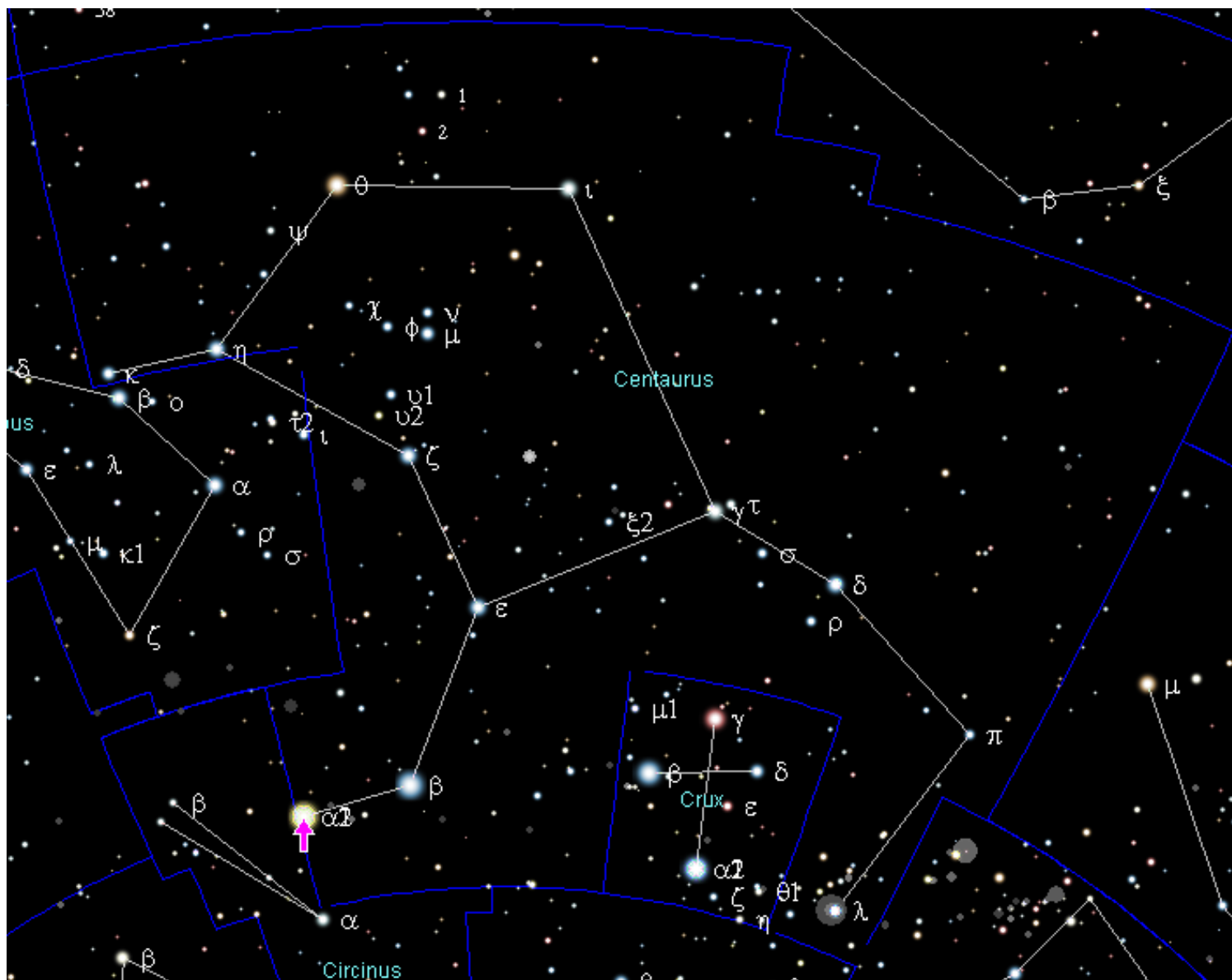
Neptune : comme il était il y a 4 heures



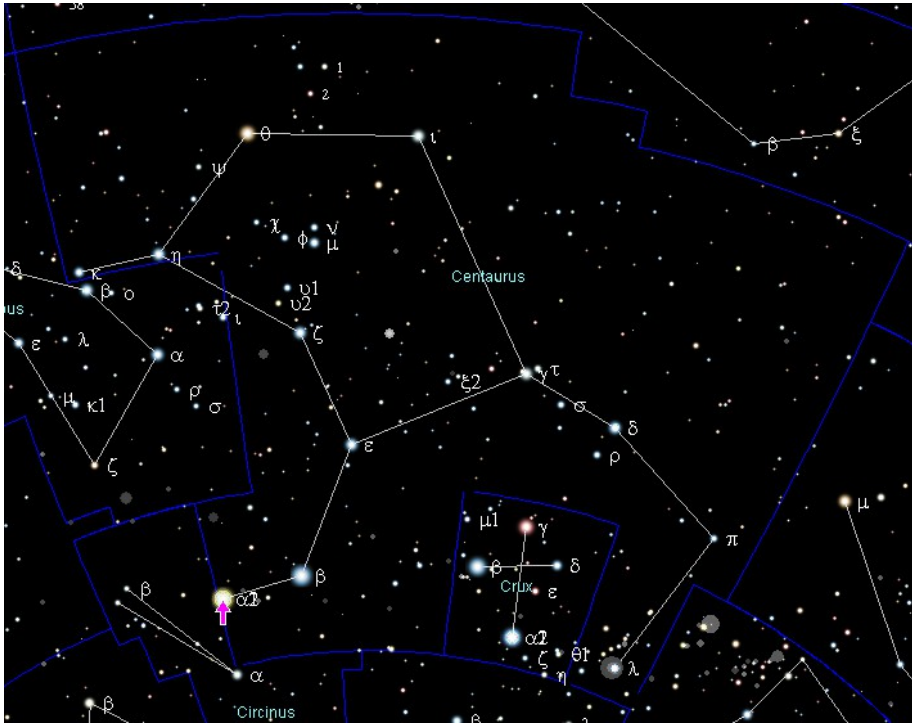
Voyager I : comme il était il y a 19 heures



α Centaure : comme il était il y a 4 ans

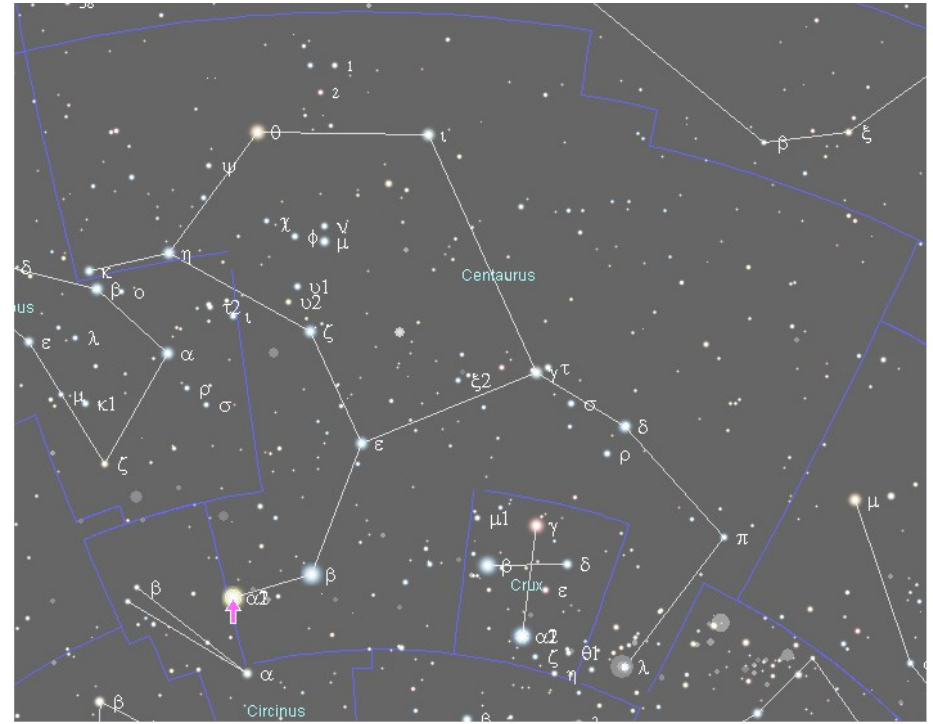


α Centaure : comme elle était il y a 4 ans



2014

Ce que vous voyez aujourd'hui



2018

Là où elle est maintenant

Andromède : comme elle était il y a 2,5 M années

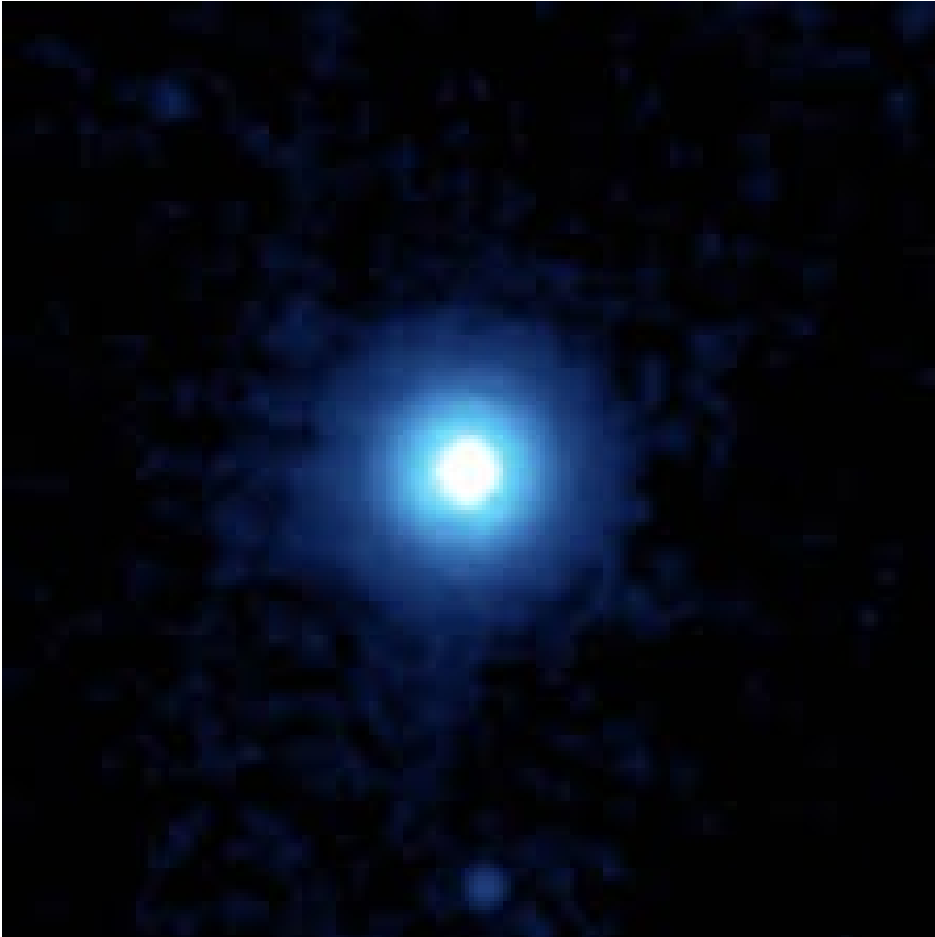


Dans la glace vous vous voyez plus jeune de quelques 10 cycles CPU*

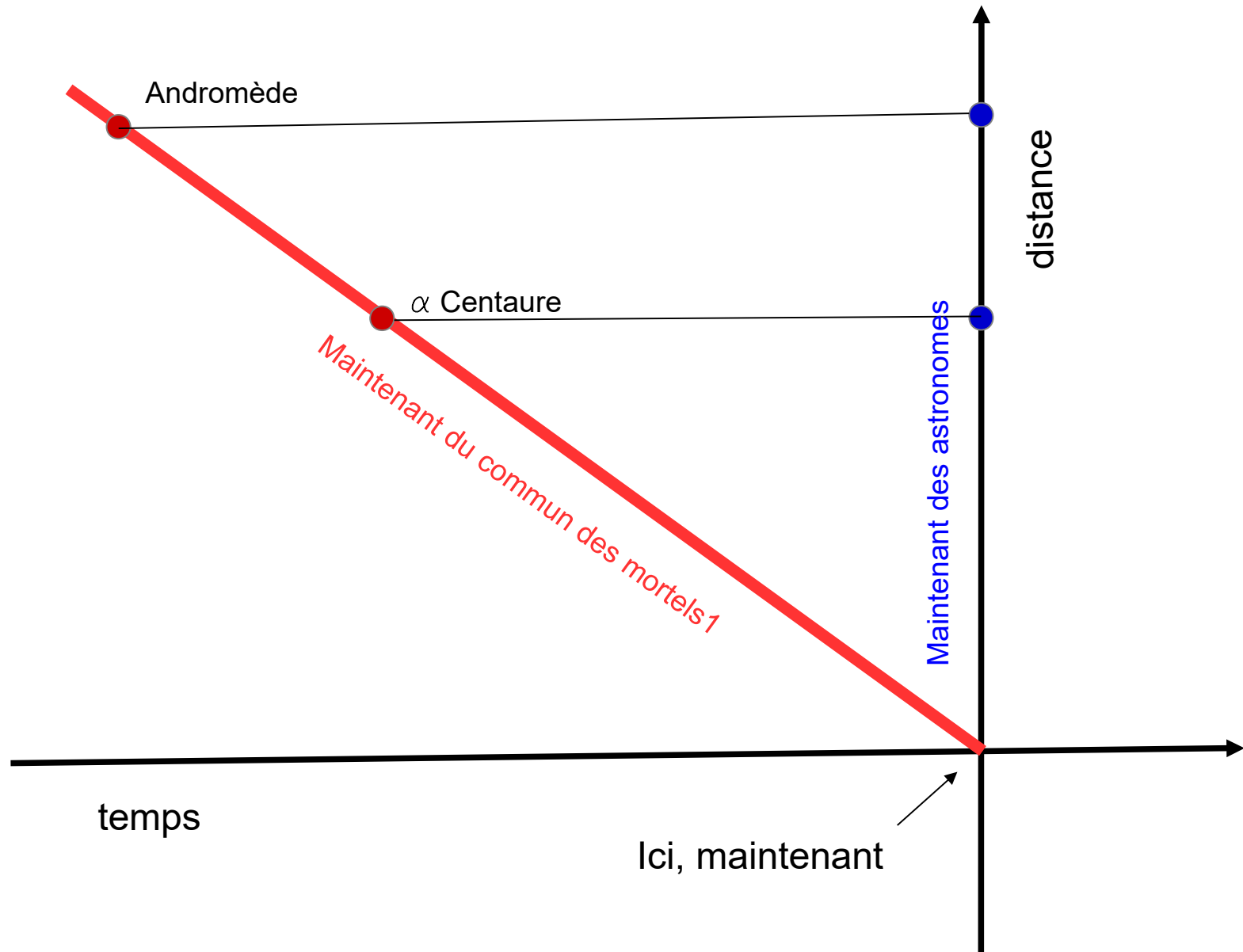


* cycle d'horloge d'un ordinateur tournant à 3 GHz

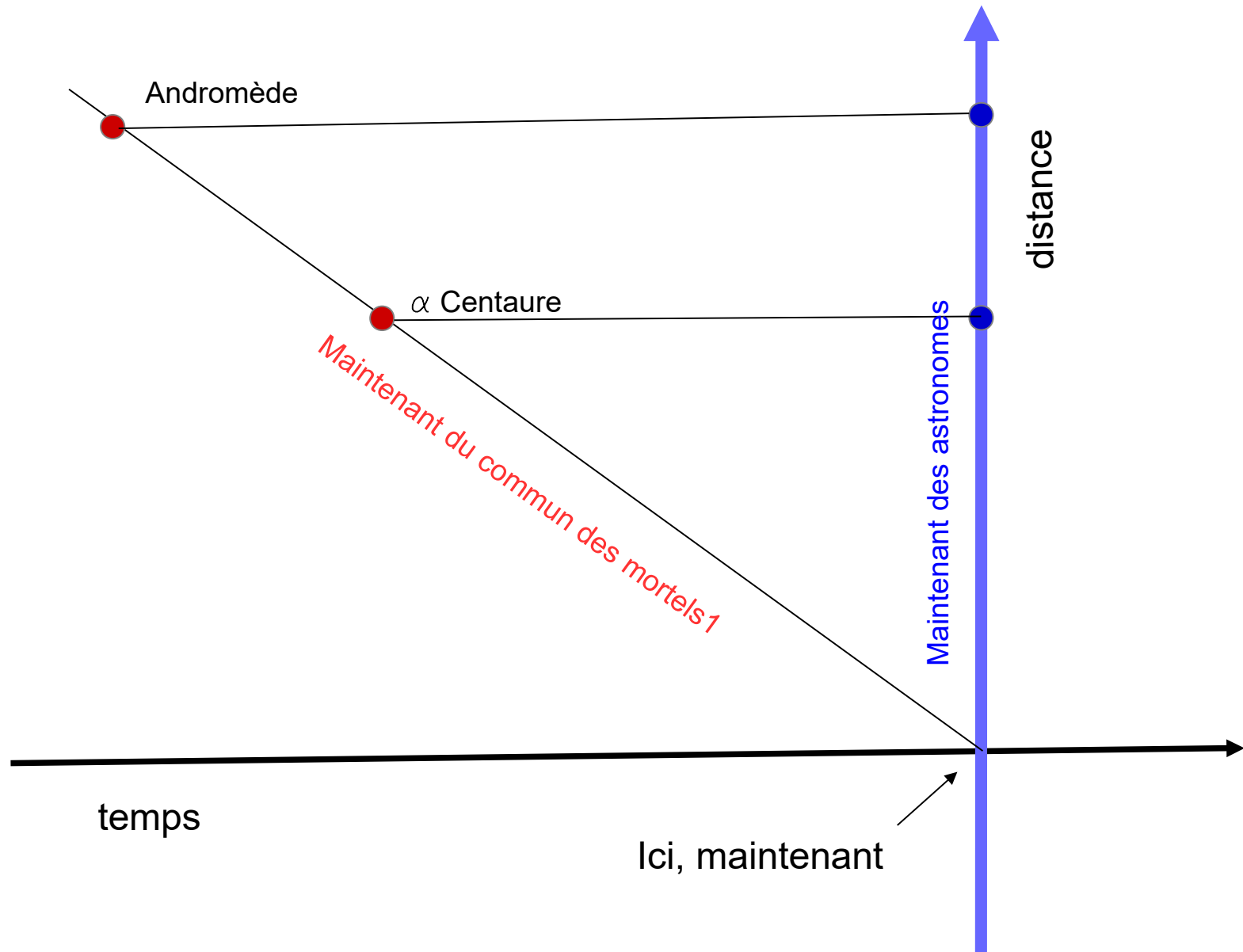
Cette étoile que vous voyez a peut-être explosé



Maintenant ?



Maintenant ?



Le commun des mortels imagine que les choses sont où l'on les voit **Maintenant.**

Les astronomes savent que les objets que l'on voit ont bougé et vieilli et se trouvent **Maintenant** ailleurs

3 Questions

Question 1

Croyez-vous qu'en ce moment, à cette heure, tous les objets de l'univers sont, non pas où nous les voyons, mais quelque part, en un endroit bien défini que nous pouvons éventuellement calculer ?

Question 2

Tous les astronomes de l'univers ont-ils le droit de raisonner comme nous ?

Question 2

Tous les astronomes de l'univers ont-ils le droit de raisonner comme nous ?

Question 3

En cet instant, ce « quelque part » est-il le même pour tous les astronomes de l'univers?

Vous avez probablement répondu « oui »
aux deux premières questions

En ce qui concerne la troisième question

- Si vous avez répondu « oui », vous avez opté pour le TEMPS UNIVERSEL de Newton. Le même partout, le même pour tous
- Si vous avez répondu « non » vous êtes partisan d'Albert Einstein et de la relativité

Deuxième partie

Relativité restreinte

Plan

1 - Les 2 « maintenant »

2 - Relativité restreinte

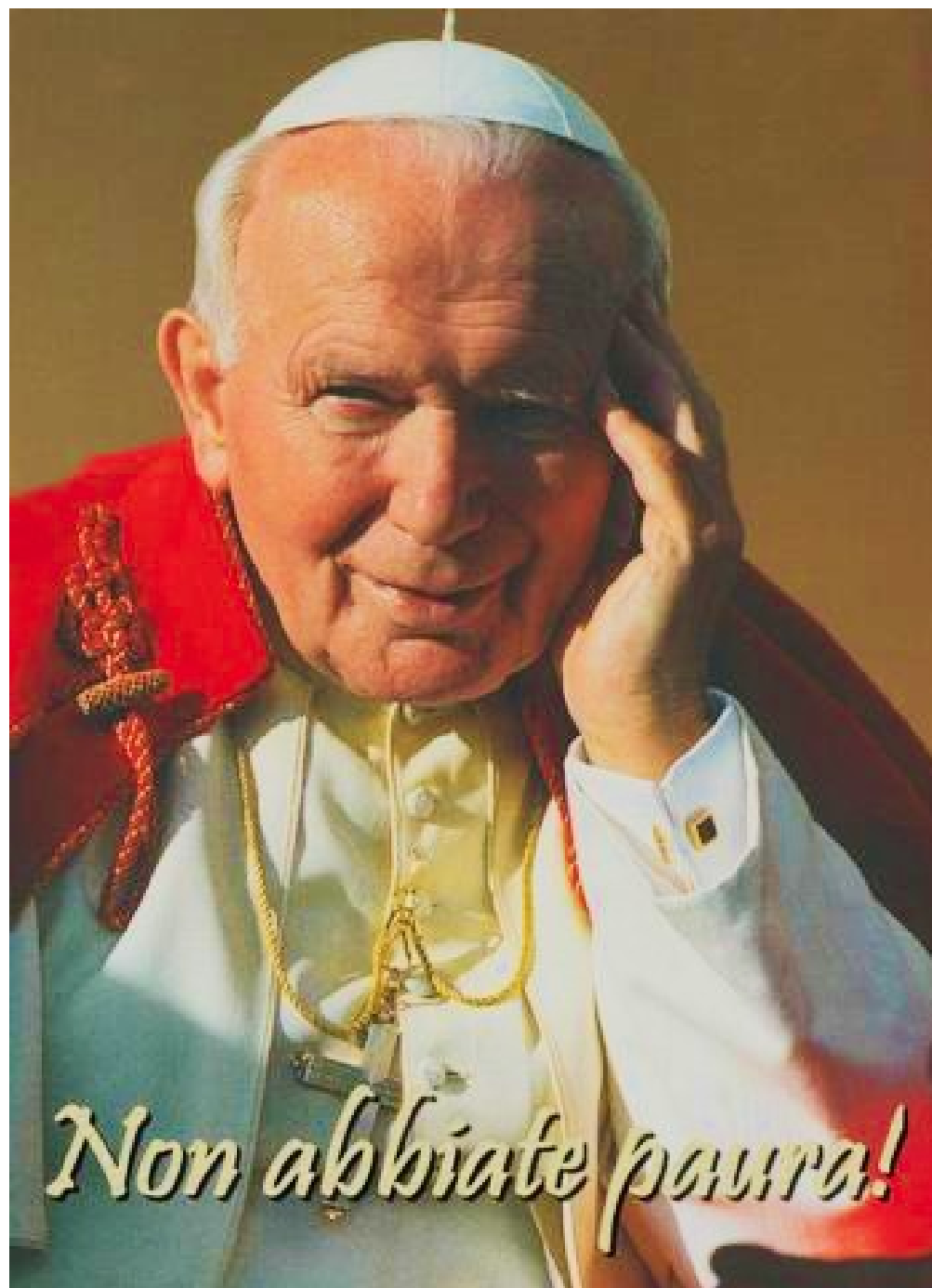
- Transformation de Lorentz
- L'univers bloc de Brian Greene
 - Un petit astronome vert fait du vélo
 - Le petit astronome vert vient me rendre visite
 - Exemple numérique
 - Le passé existe encore et le futur existe déjà
 - Peut-on voyager dans le temps
 - Les jumeaux de Langevin

3 - Relativité générale

- L'écoulement du temps a bord d'un satellite géostationnaire
- L'écoulement du temps aux abords d'un trou noir
- Influence de l'altitude
- Quelques exemples

4 – Conclusion

- Qu'est ce qui fait que le temps passe ?
- Mécanique quantique et algèbre non commutative



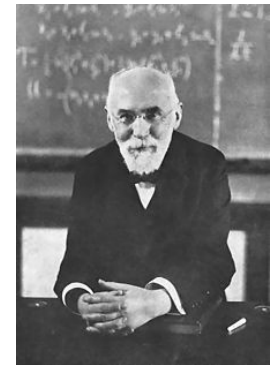
Relativité restreinte

Pour assurer la constance de la vitesse de la lumière, Hendrik Lorentz a établi la relation qui existe de mon point de vue entre la vitesse d'écoulement de mon temps et la vitesse d'écoulement du temps d'un observateur qui se déplace à vitesse constante par rapport à moi

Transformation de Lorentz

$$t - t' \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{v \cdot x}{c^2}$$

- t l'heure que je lis sur ma montre
- t' l'heure que je lis sur sa montre
- v vitesse de déplacement
- x distance qui les sépare
- c vitesse de la lumière



$$t - t' \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{v \cdot x}{c^2}$$

- t l'heure que je lis sur ma montre
- t' l'heure que je lis sur sa montre
- v vitesse de déplacement
- x distance qui les sépare
- c vitesse de la lumière

Simplifions !

La vitesse de déplacement des corps massifs dans l'univers est toujours BEAUCOUP plus petite que celle de la lumière

$$t - t' \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{v \cdot x}{c^2}$$

$(v/c)^2$ est donc très petit et le terme sous le radical vaut donc quasiment 1 et comme

$$\sqrt{1} = 1$$

$$t - t' = \frac{v \cdot x}{c^2}$$

Les heures indiquées par nos montres sont différentes.

De mon point de vue, ne sommes plus contemporains.

L'écart entre nos deux temps mesuré par nos montres respectives augmente avec la vitesse et la distance qui nous sépare.

$$t - t' = \frac{v \cdot x}{c^2}$$

De MON point de vue, l'écart entre nos deux temps augmente avec la vitesse et la distance qui nous sépare

$$t - t' = \frac{v \cdot x}{c^2}$$

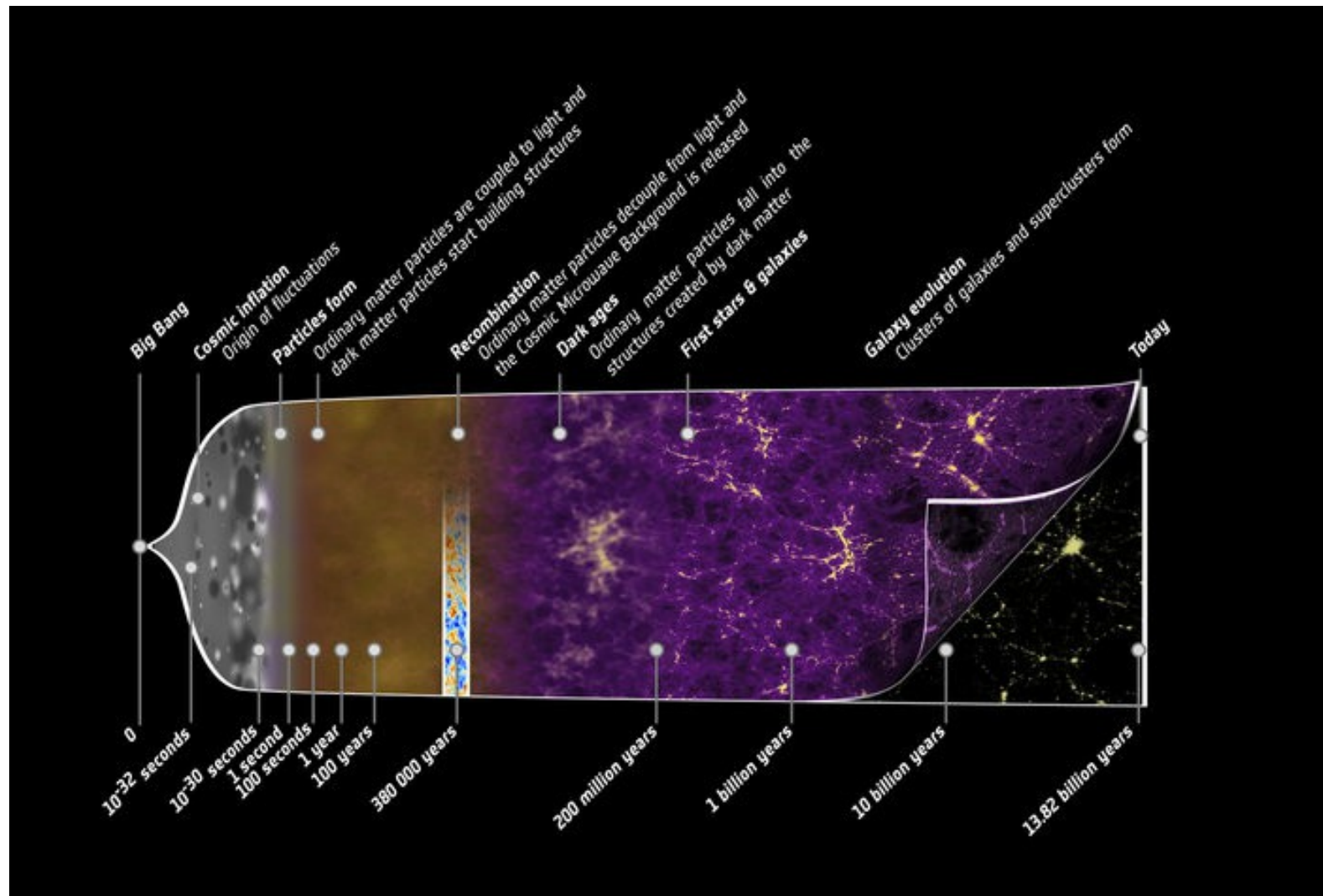
Cette deuxième partie de l'exposé m'a été suggérée par le livre de Bryan Greene « La magie du cosmos ». (*)

(*) Un film a été tiré de ce livre, il est disponible sur YouTube. Ce film dure plus de 3 heures, mais la séquence sur laquelle cet exposé est basé commence à 20:20 et ne dure qu'un peu plus de 8 minutes

Je vous présente le petit astronome vert et son papa Brian Greene.
Il habite une galaxie distante de 10 milliards d'années lumière.



Brian Greene compare l'univers à un cake





L'univers y est représenté par un cake dont la longueur est le temps et la largeur est la dimension.

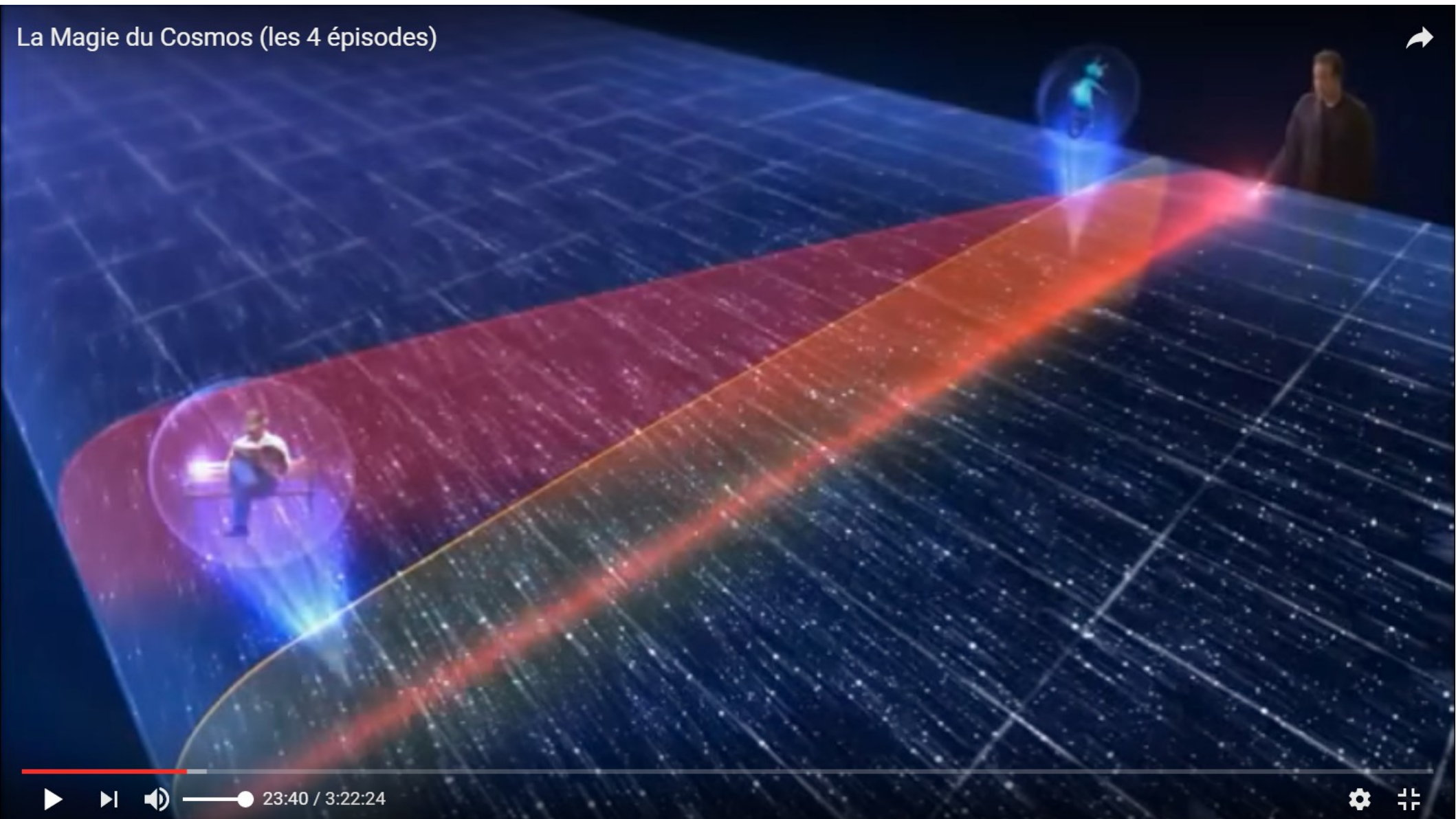
Une tranche de cake représente donc une partie de l'histoire de l'univers.

L'endroit où l'on tranche le cake est un instant de l'univers, un « maintenant »

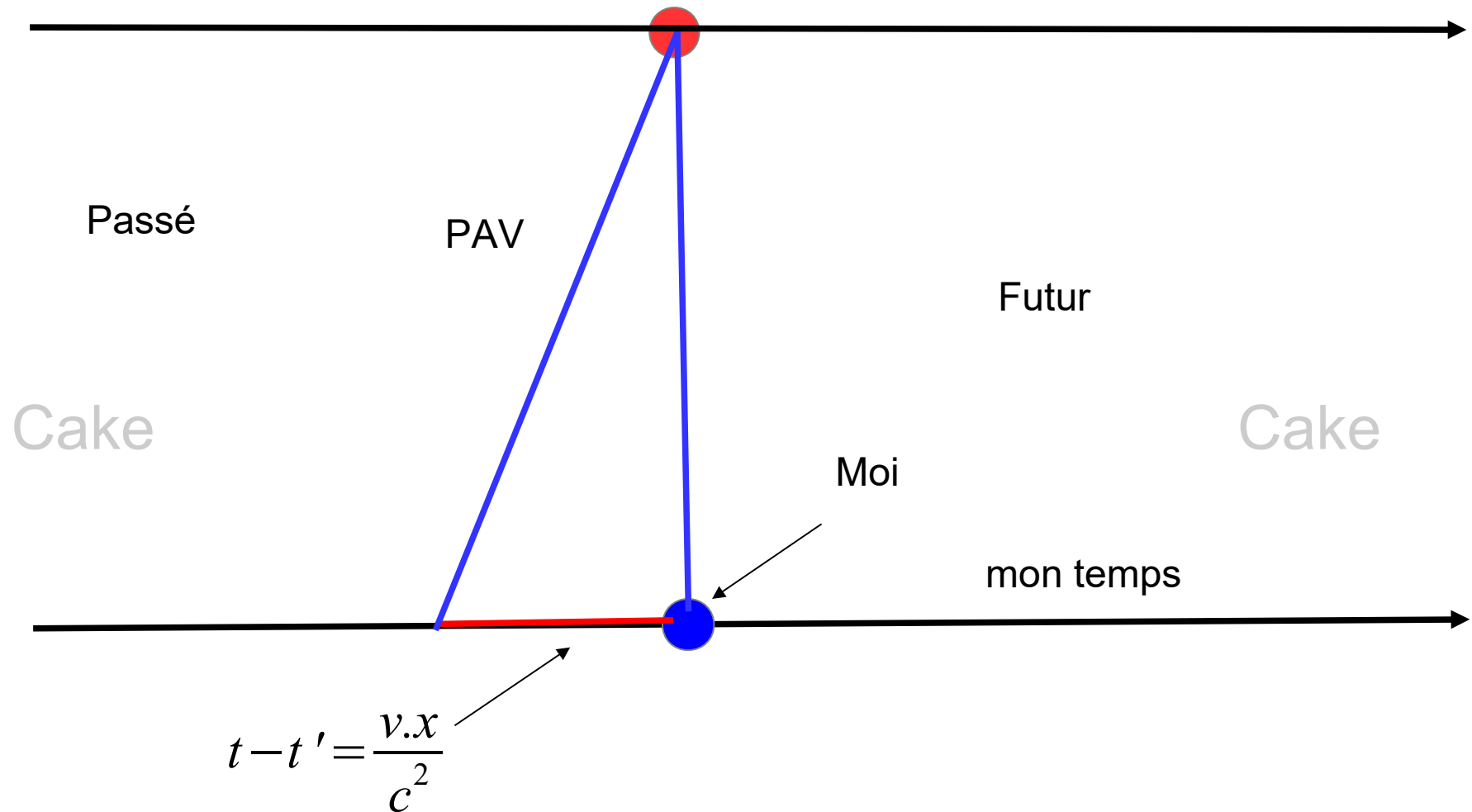
Que se passe-t-il si notre astronome prend son vélo et
s'éloigne de moi ?



Le cake est coupé en biais et il plonge dans mon passé !



Le cake est coupé en biais et il me semble qu'il plonge dans mon passé !



En effet,

$$v > 0$$

$$t - t' = \frac{v \cdot x}{c^2} > 0$$

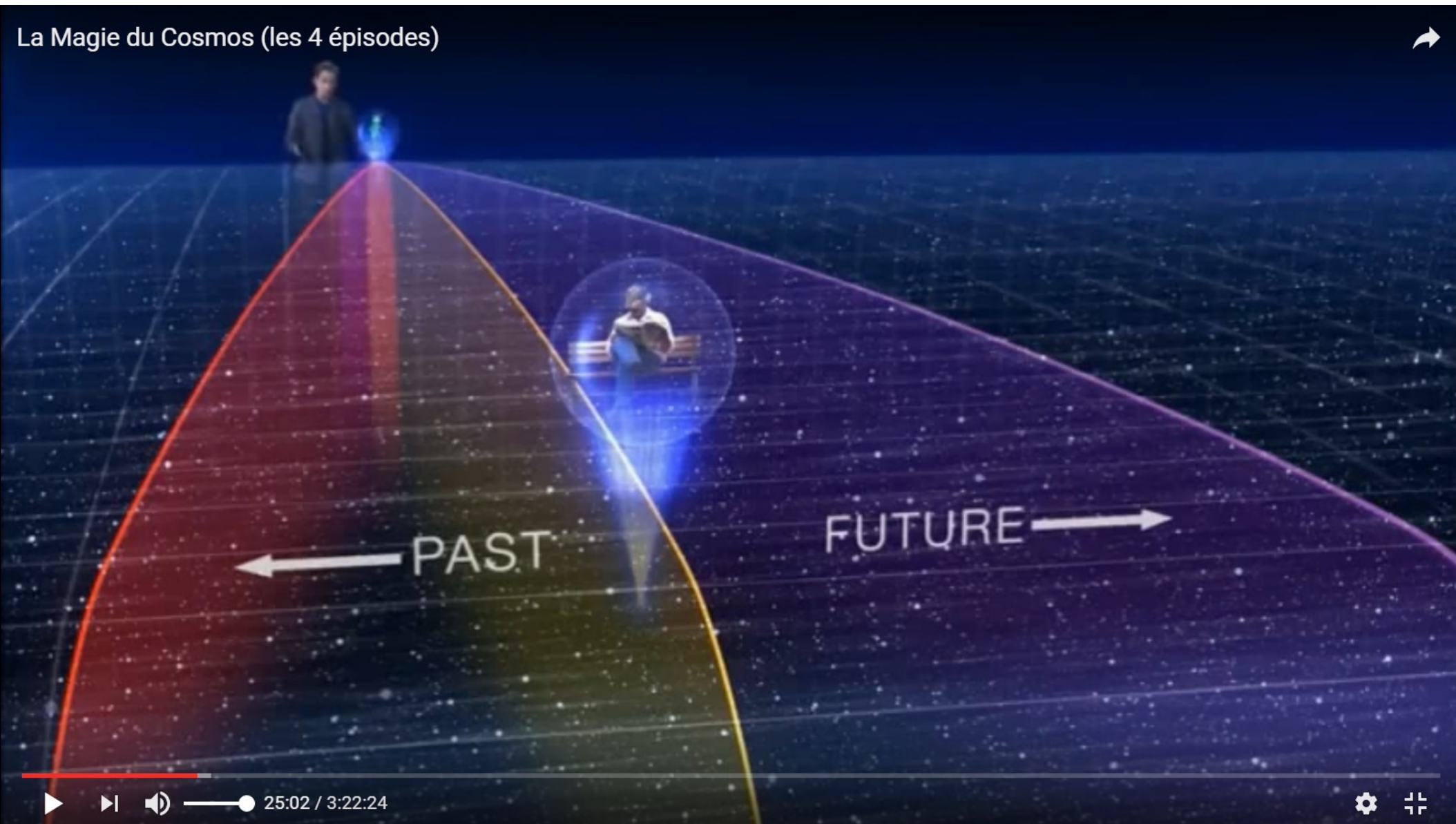
$$t - t' > 0$$

$$t > t'$$

Il fait demi tour...



Et plonge dans mon futur



Extrait du film « La magie du cosmos » de Brian Greene (YouTube)

En effet,

$$v < 0$$

$$t - t' = \frac{v \cdot x}{c^2} < 0$$

$$t - t' < 0$$

$$t < t'$$

C'est comme si le PAV coupait le cake en biais



Exemple numérique

La Magie du Cosmos (les 4 épisodes)



▶ ▶| 🔊 —● 22:51 / 3:22:24



Calcul de l'écart de temps vx/c^2

- Le petit astronome vert se trouve à 10 milliards AL
- Il ne bouge pas : nous sommes contemporains
- Il prend son vélo et s'éloigne de moi à 20 km/h

il me semble qu'il plonge dans mon passé

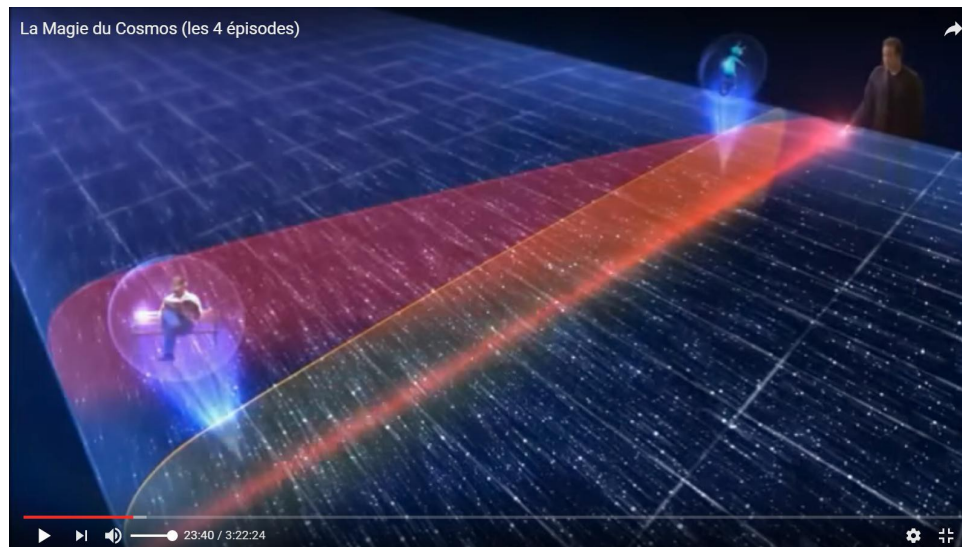
- Il fait demi-tour

et il me semble qu'il plonge dans mon futur



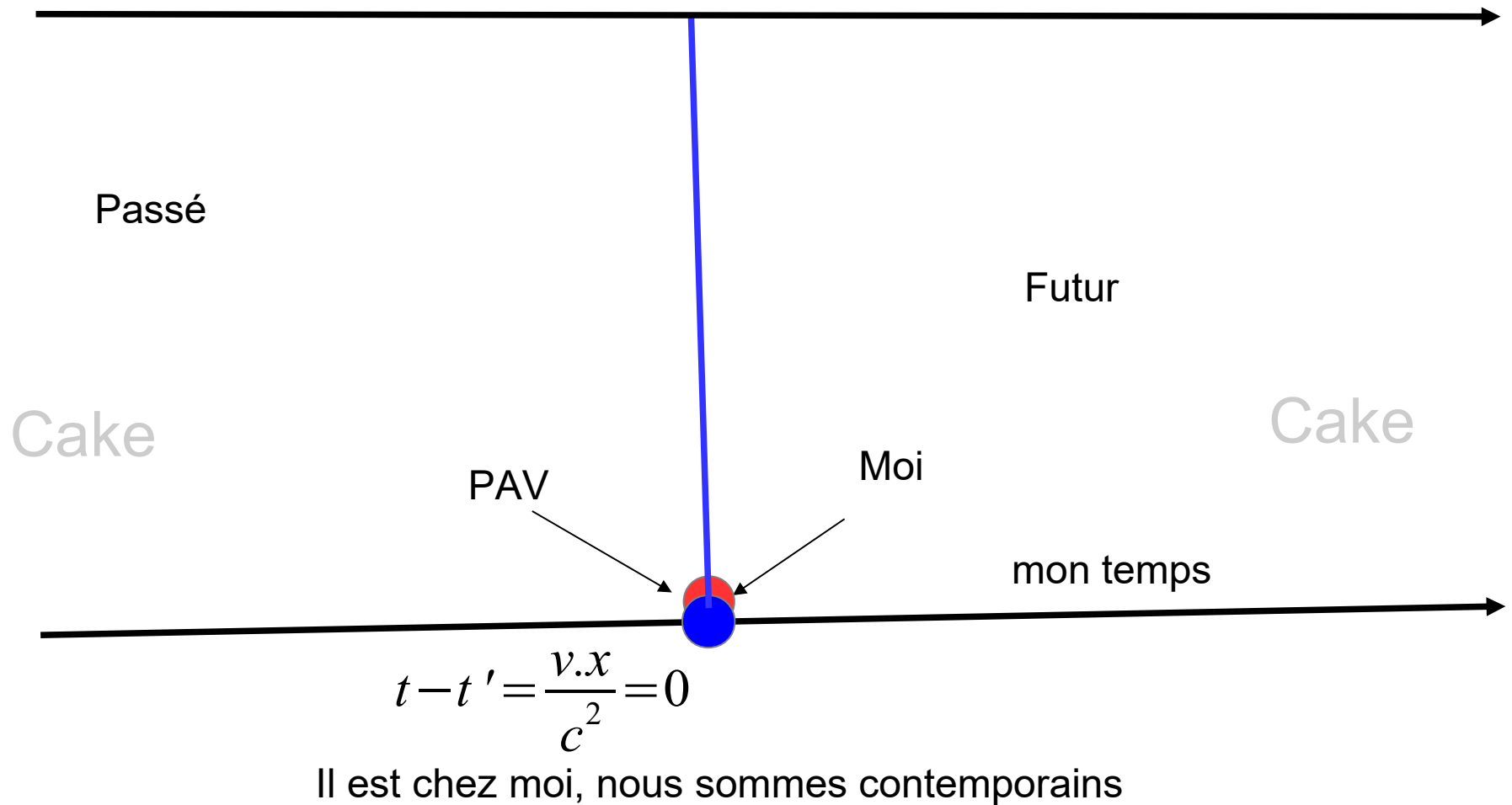
Calculs

- $x = 10 \text{ milliards AL} = 94600000000000000000000000 \text{ km}$
- $v = 20 \text{ km/h} = 175000 \text{ km/an}$
- $c = 300000 \text{ km/s} = 9460000000000 \text{ km/an}$
- Différence de temps = $vx/c^2 = 180 \text{ ans}$

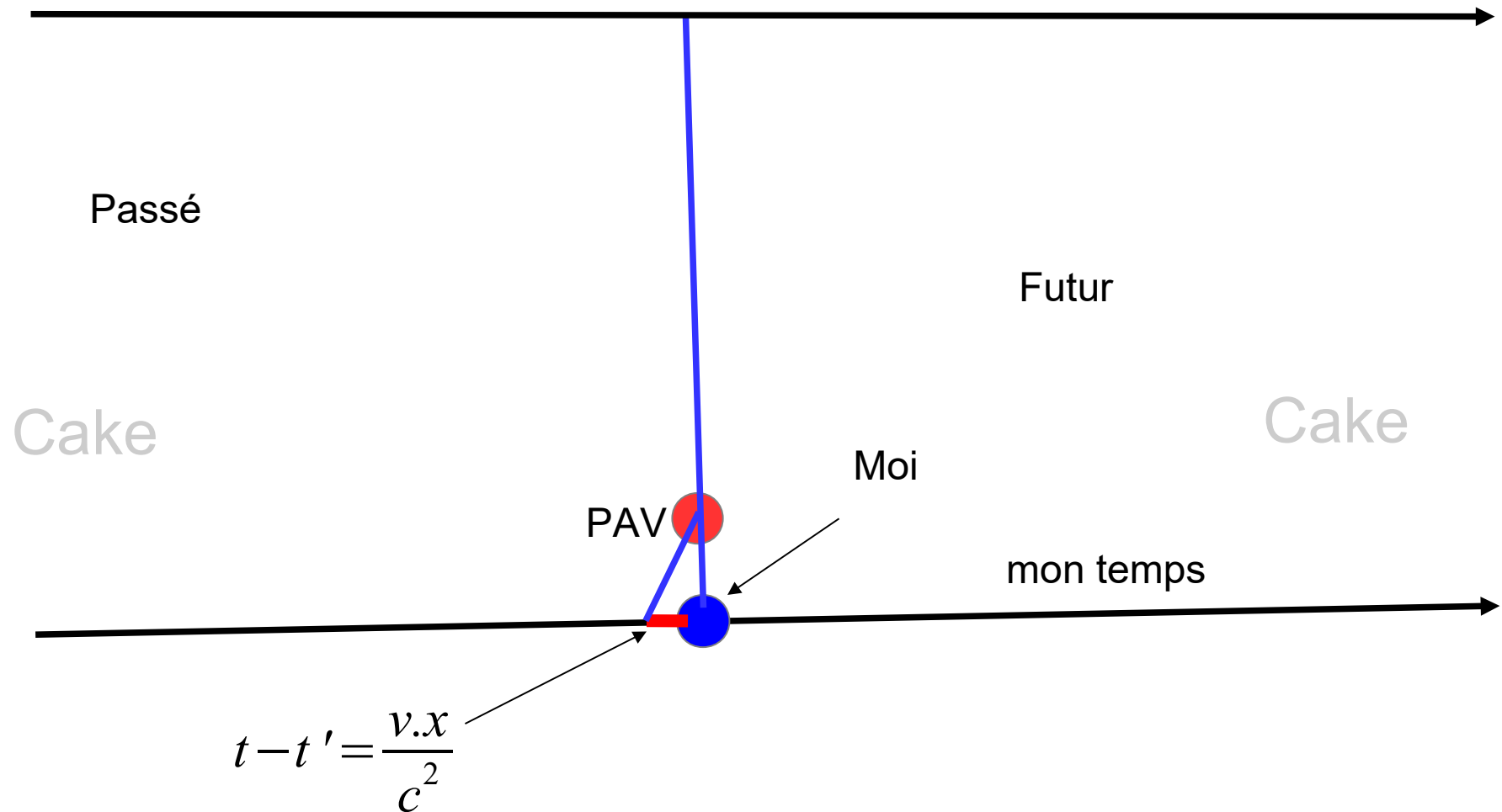


**Le petit astronome vert (PAV) est
venu me rendre visite**

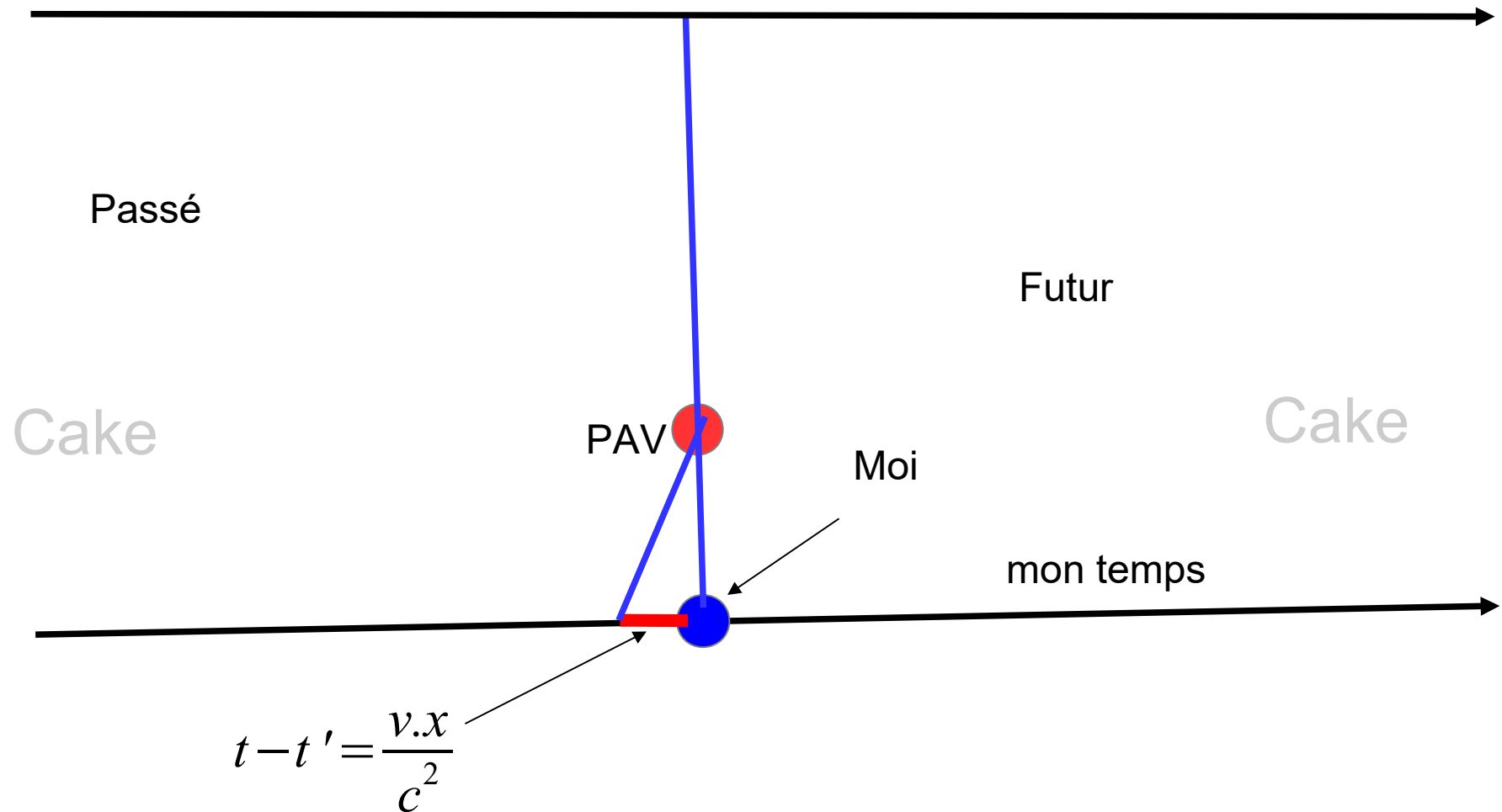
Le PAV est venu me rendre visite



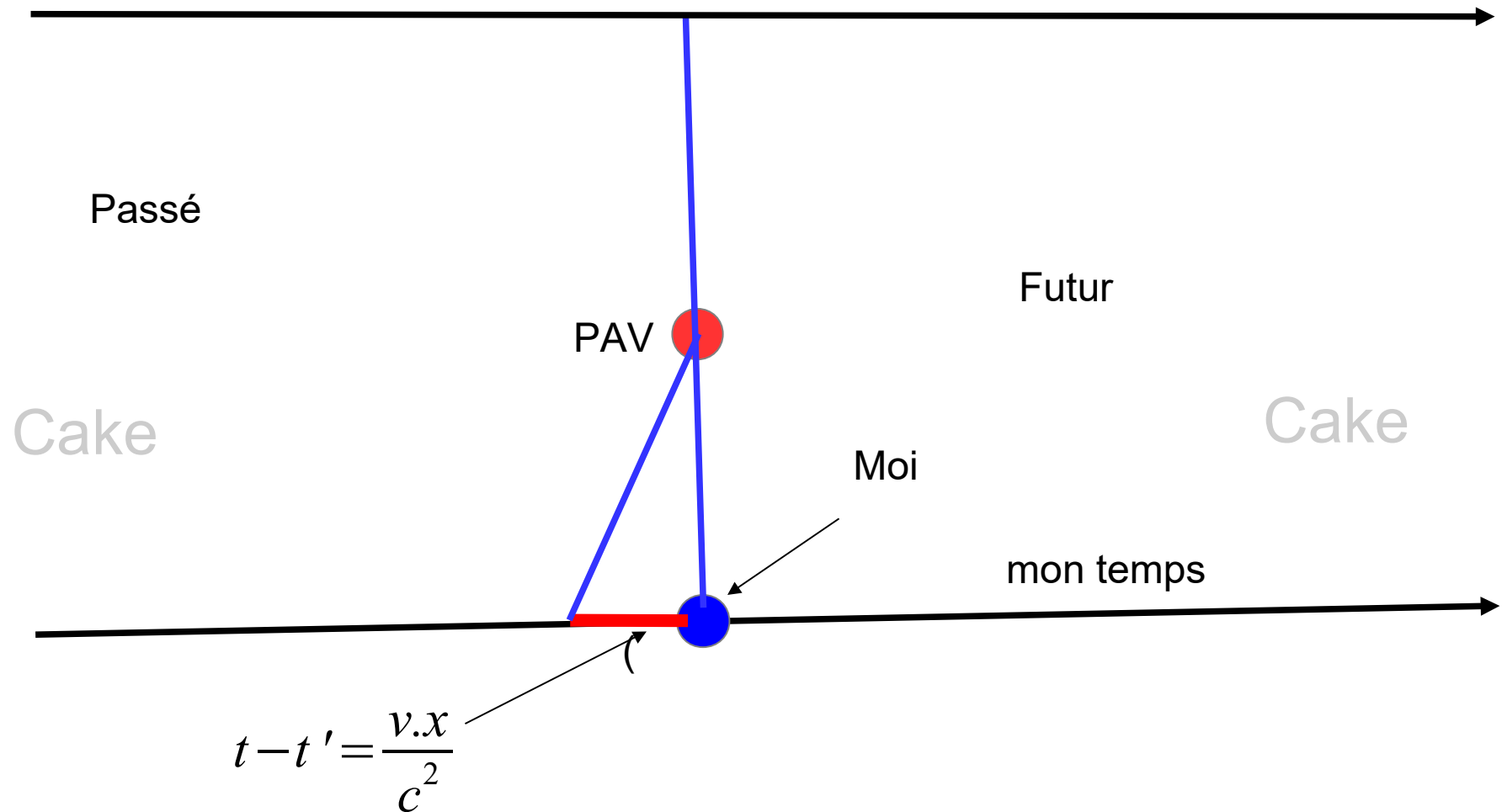
S'il s'éloigne de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son retard augmente



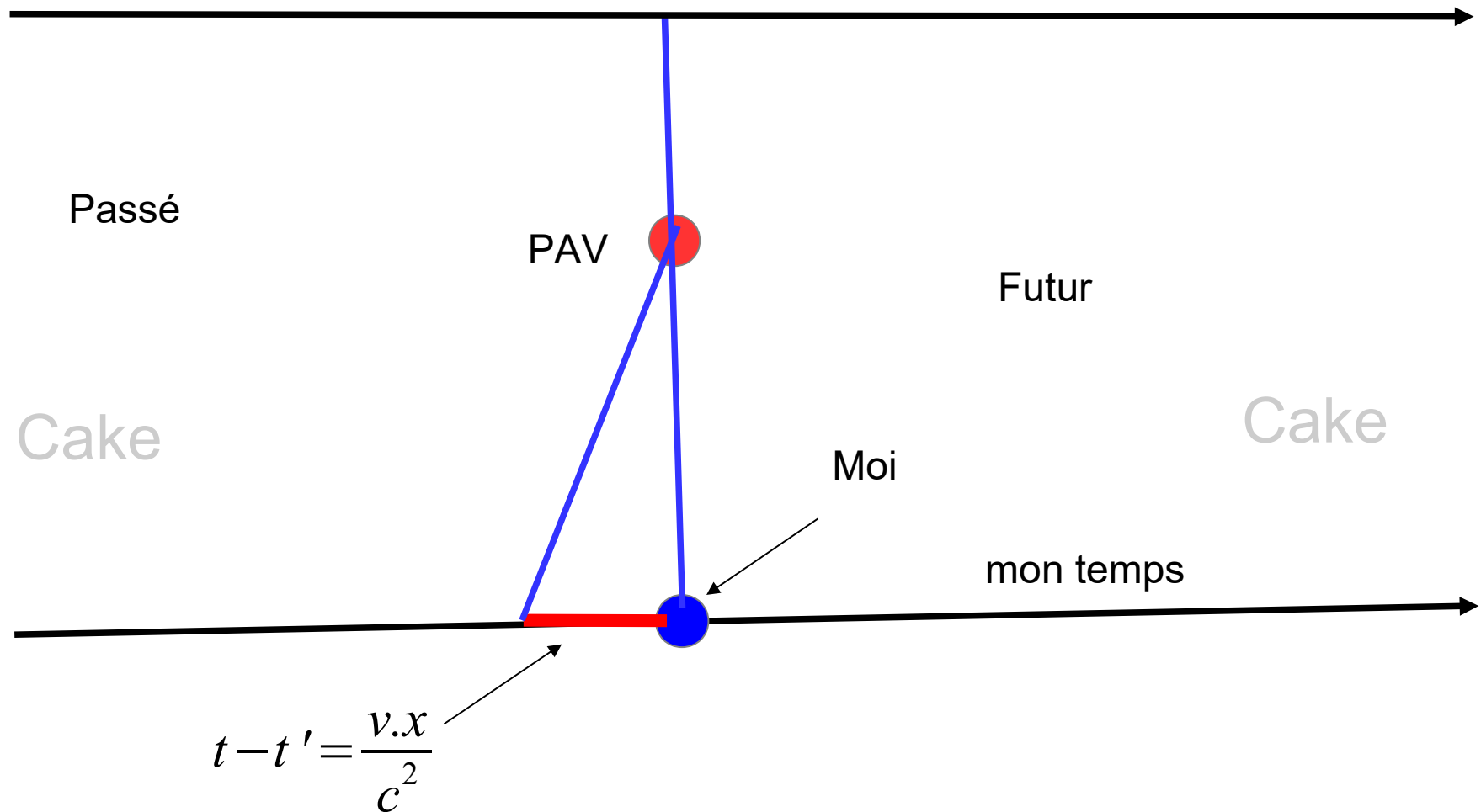
S'il s'éloigne de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son retard augmente



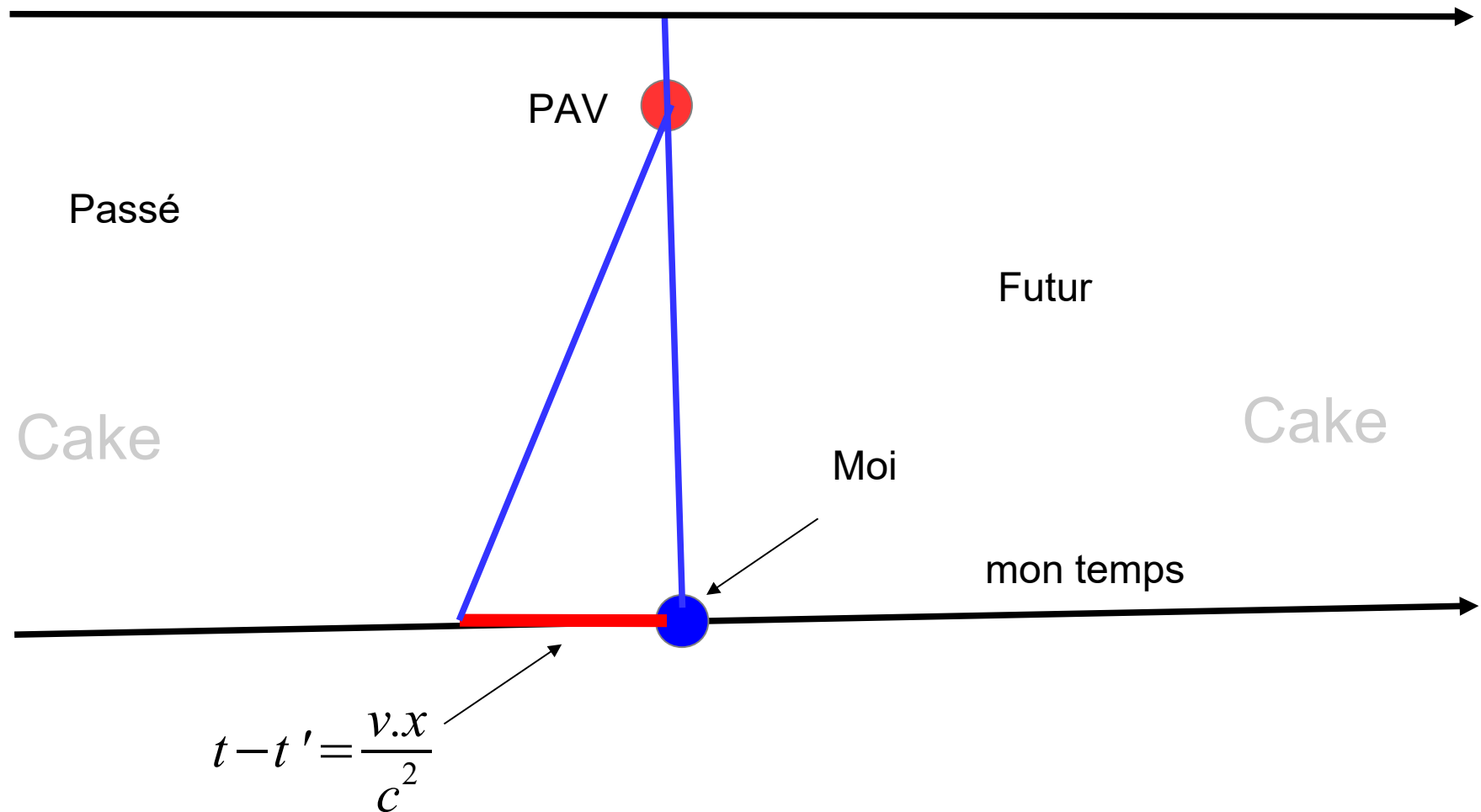
S'il s'éloigne de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son retard augmente



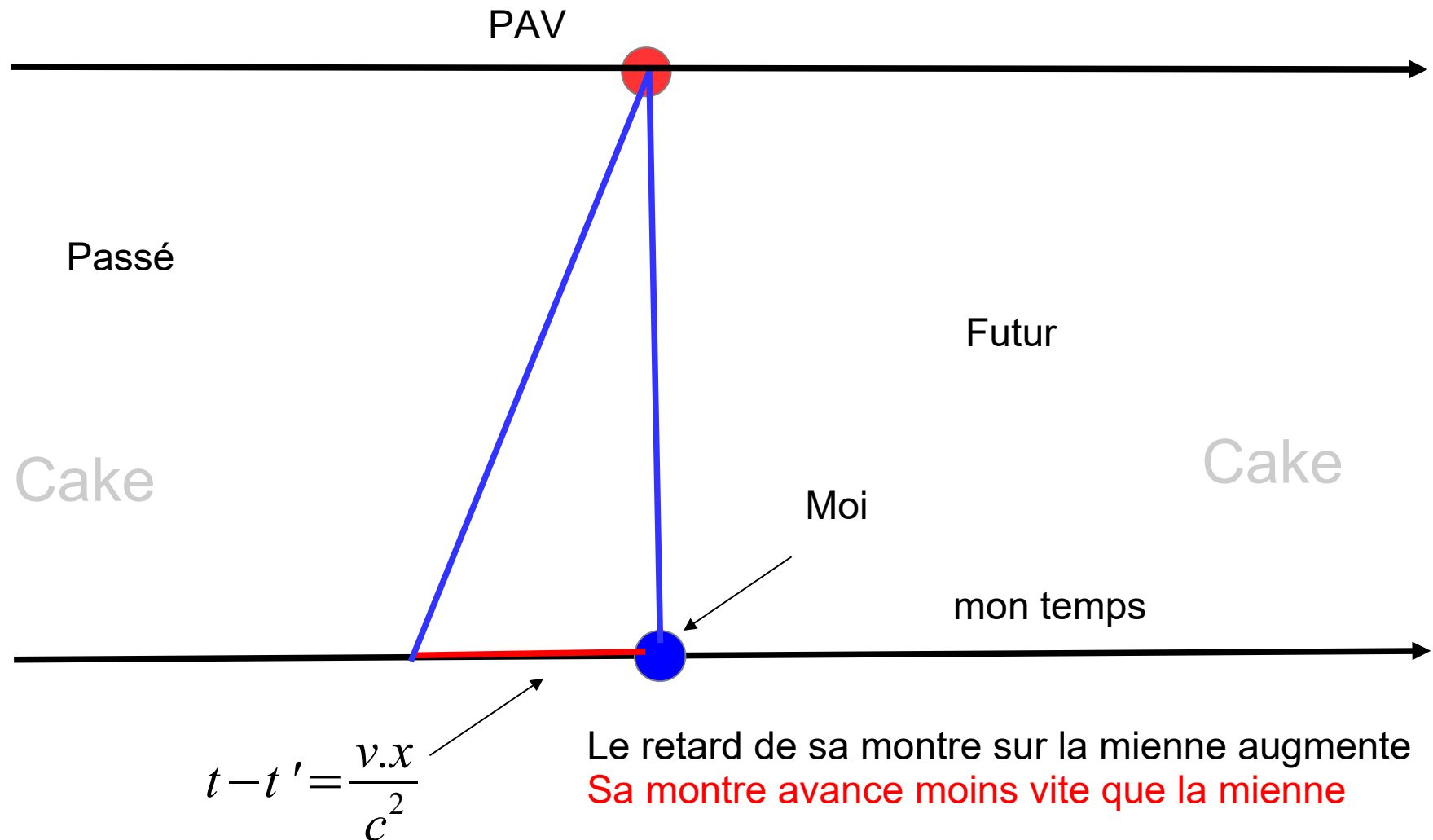
S'il s'éloigne de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue
ralentie car son retard augmente



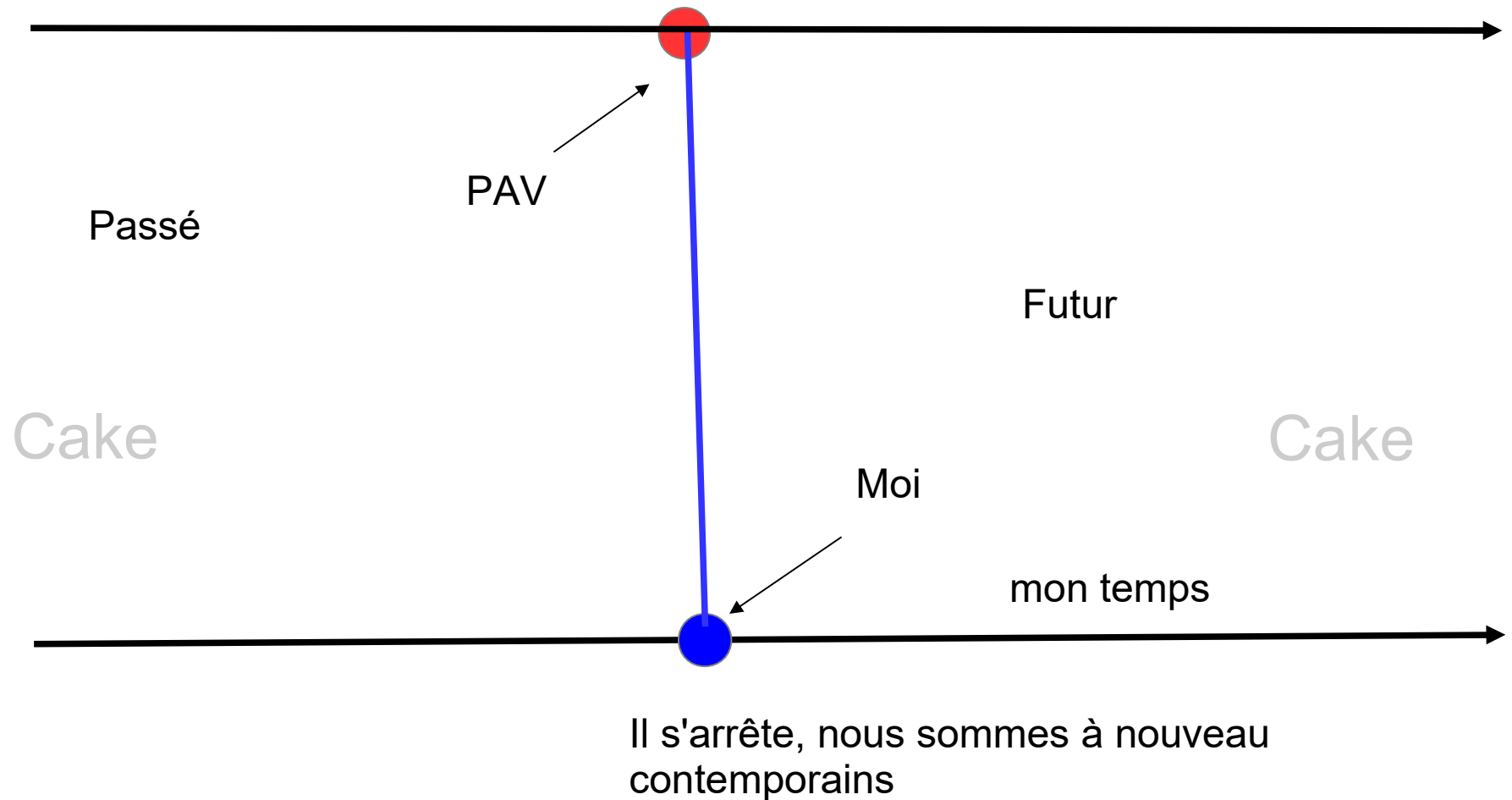
S'il s'éloigne de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son retard augmente



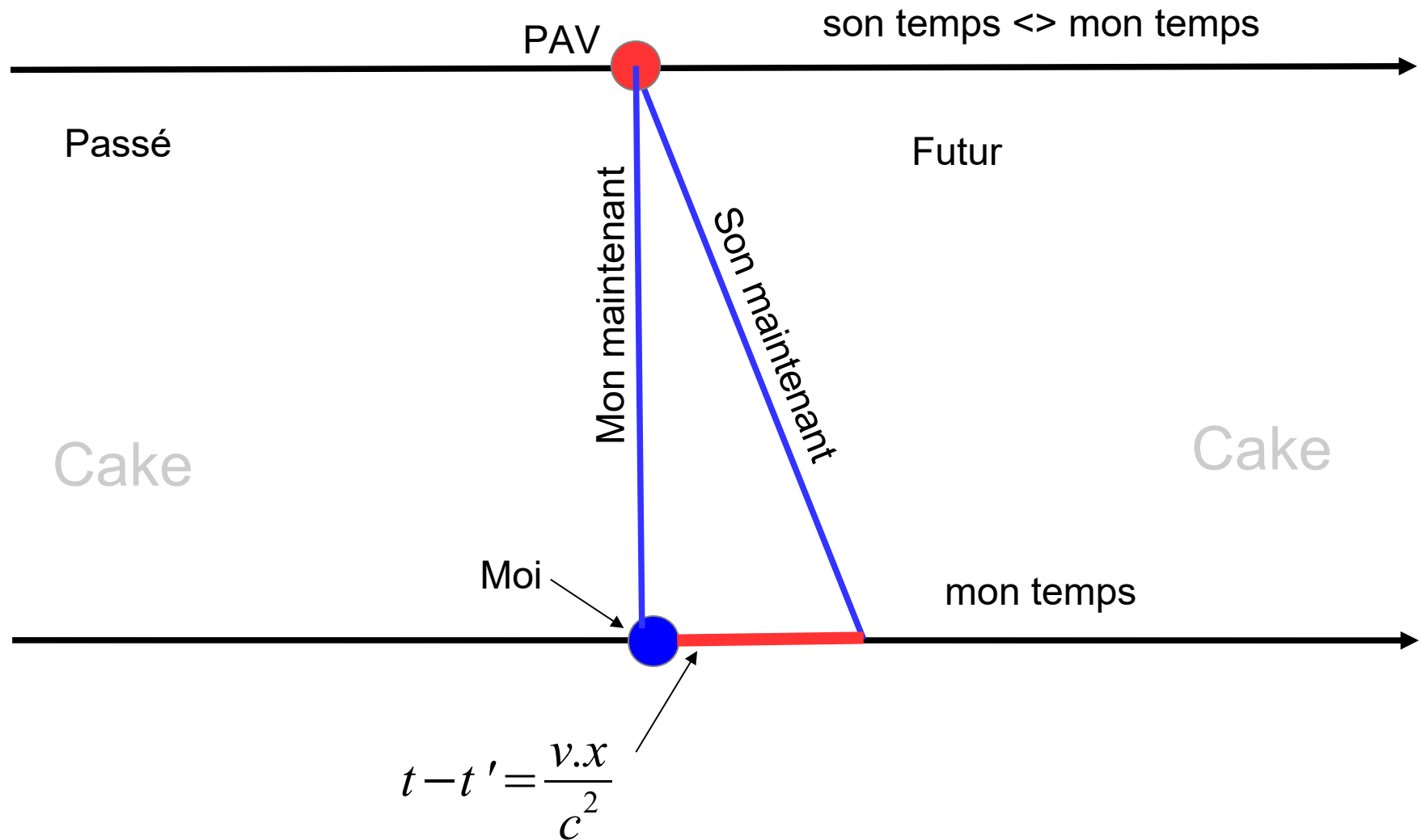
S'il s'éloigne de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son retard augmente



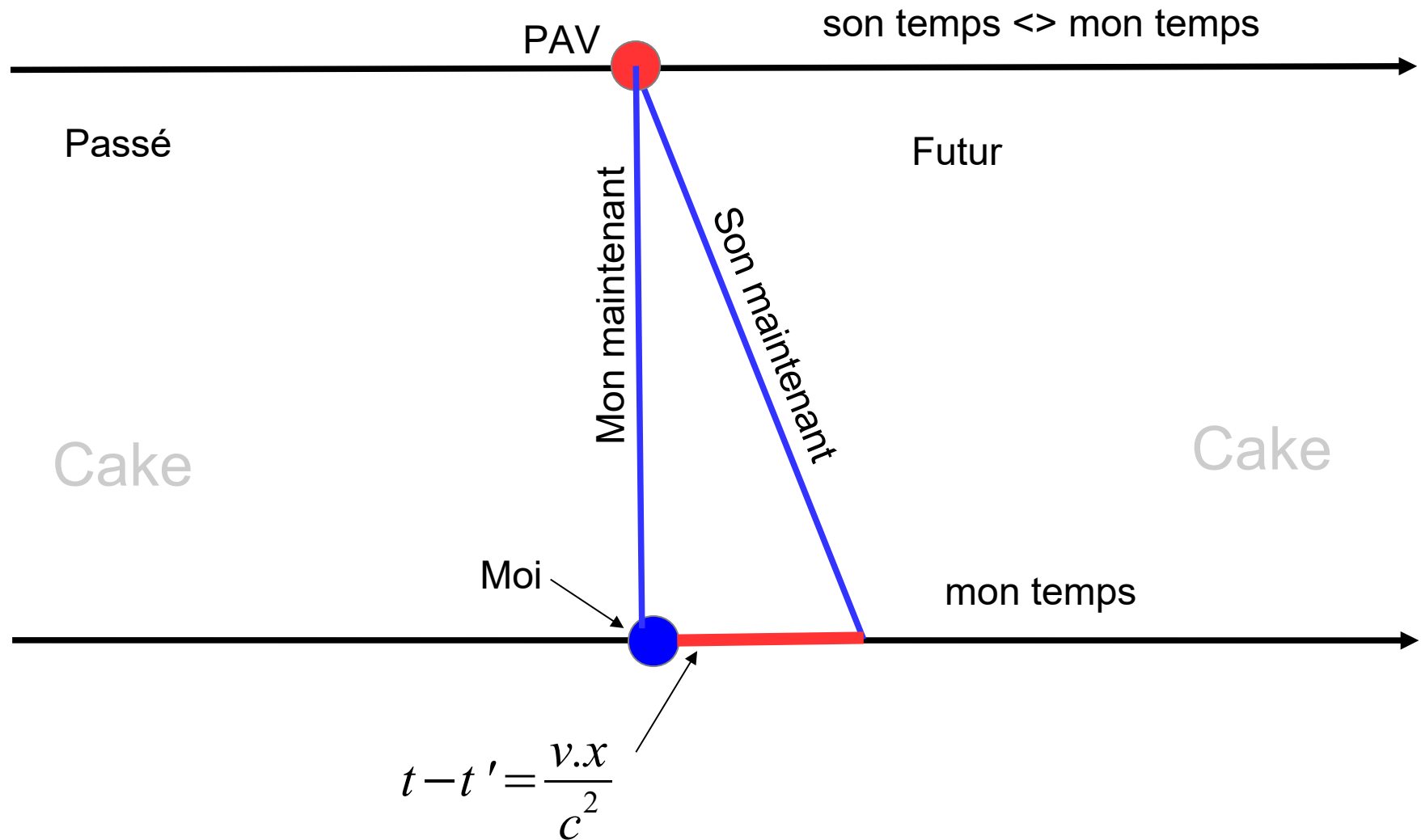
Il arrive chez lui et s'arrête, nous sommes contemporains.
C'est alors qu'il se rend compte qu'il a oublié ses clefs chez moi, il
fait donc demi-tour.



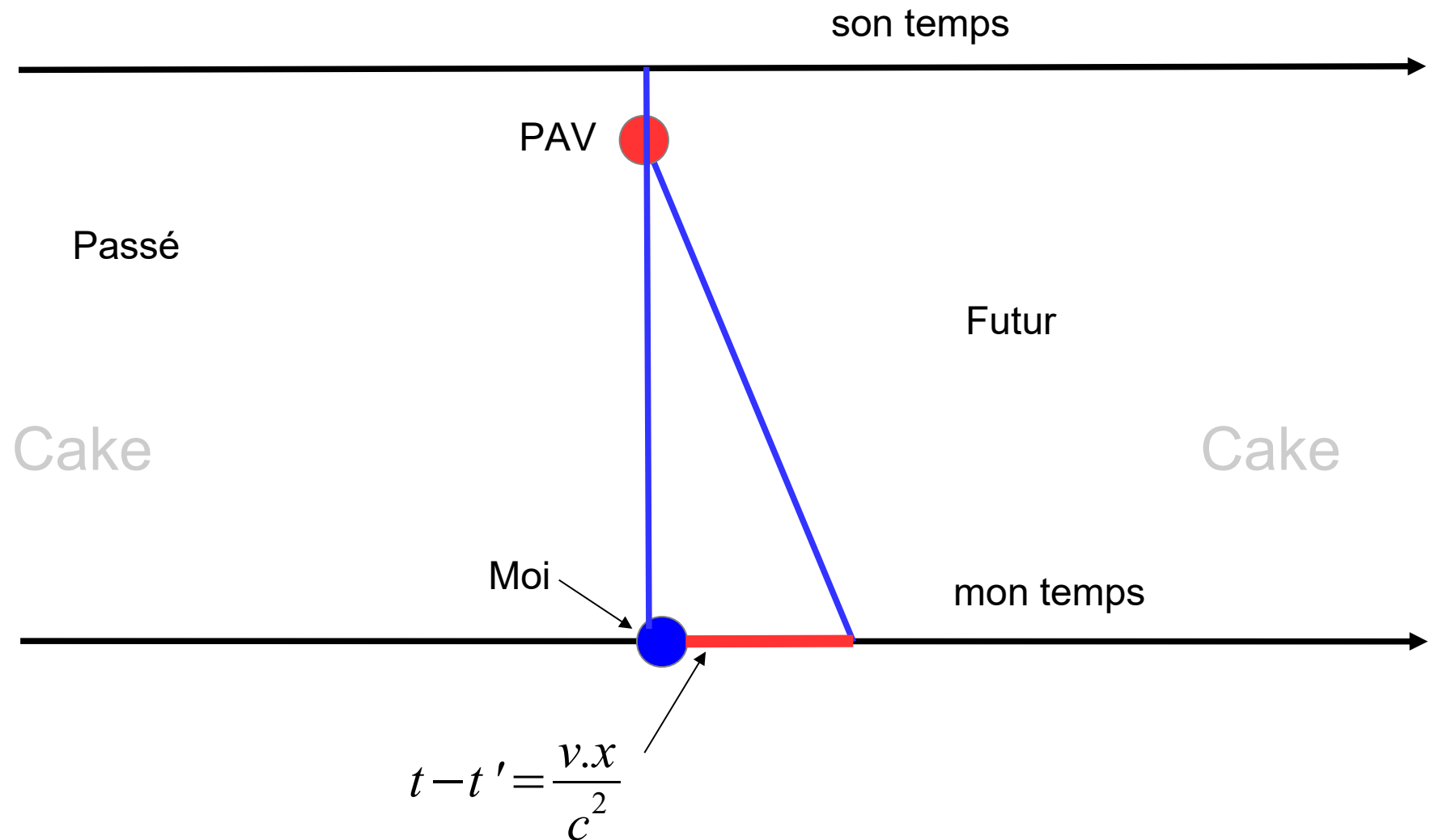
Le PAV plonge dans mon futur



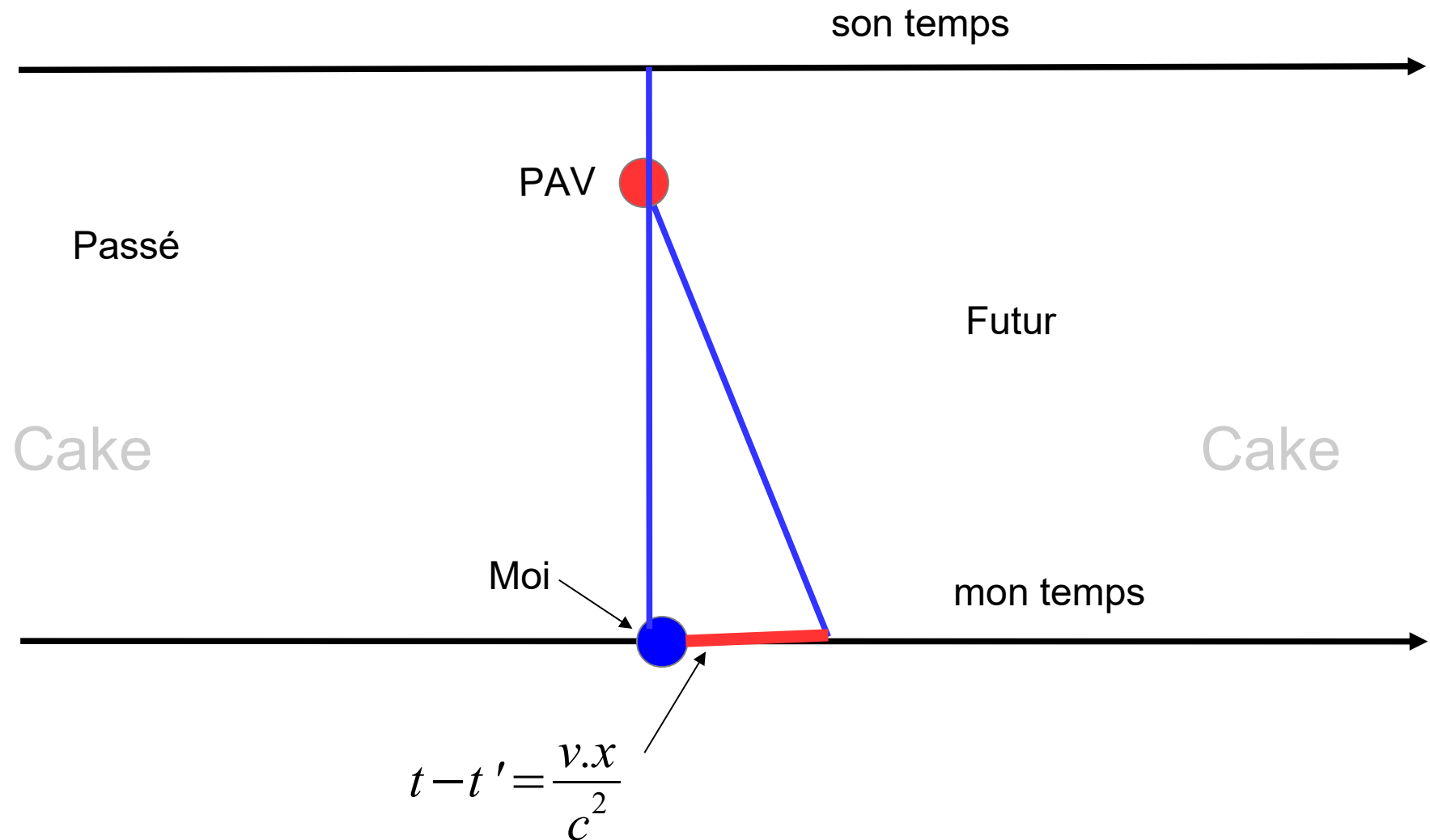
Le PAV plonge dans mon futur



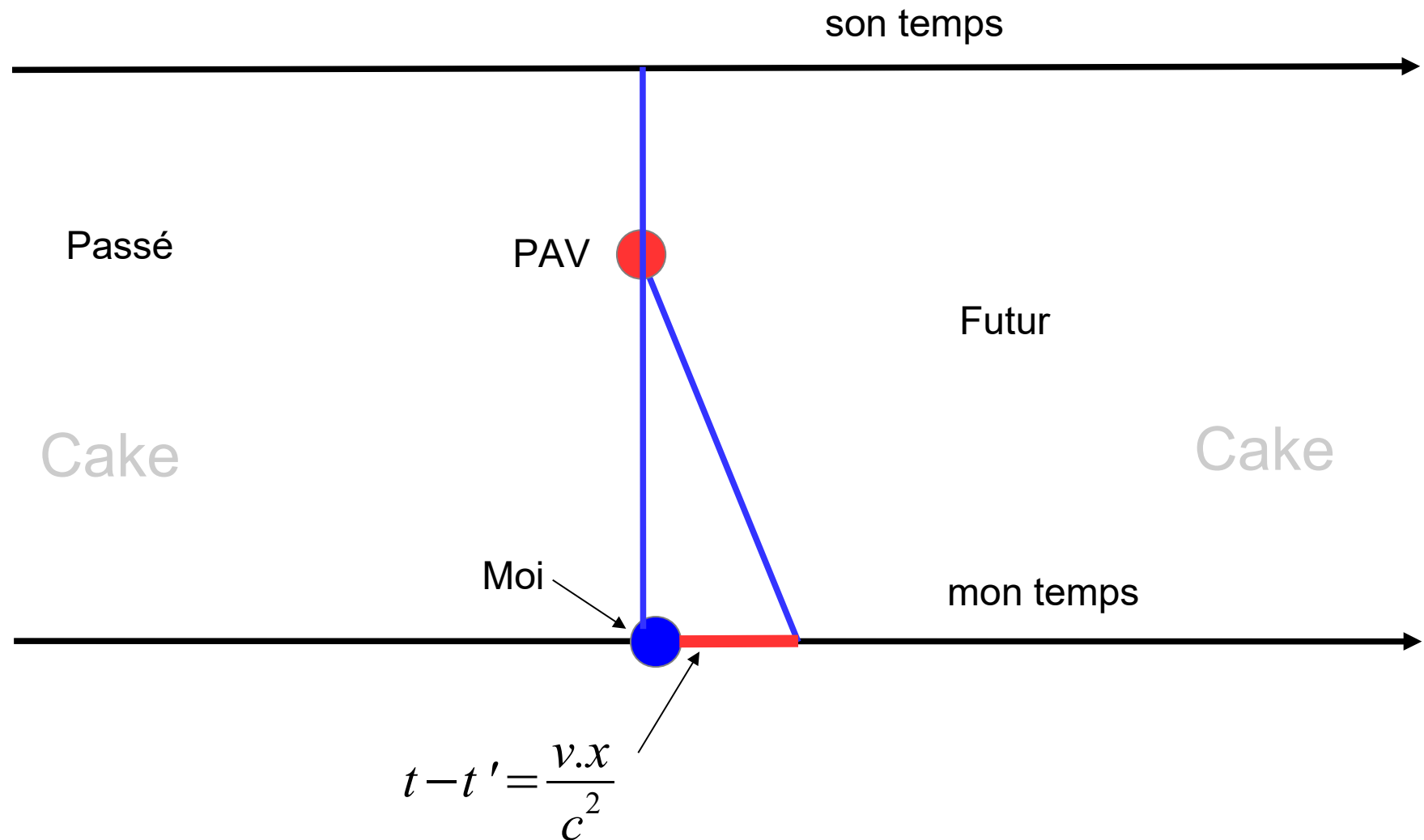
S'il se rapproche de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son avance diminue



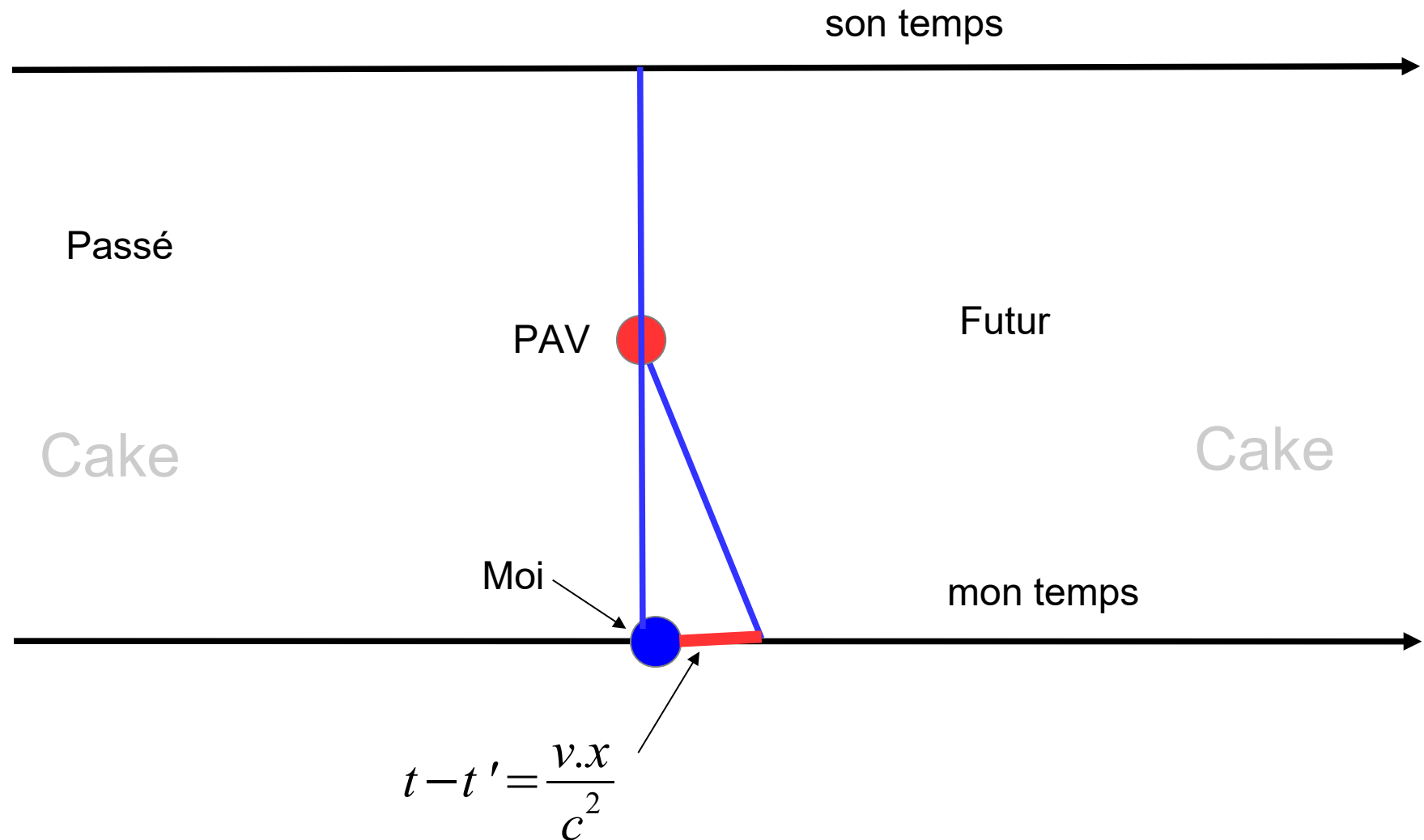
S'il se rapproche de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son avance diminue



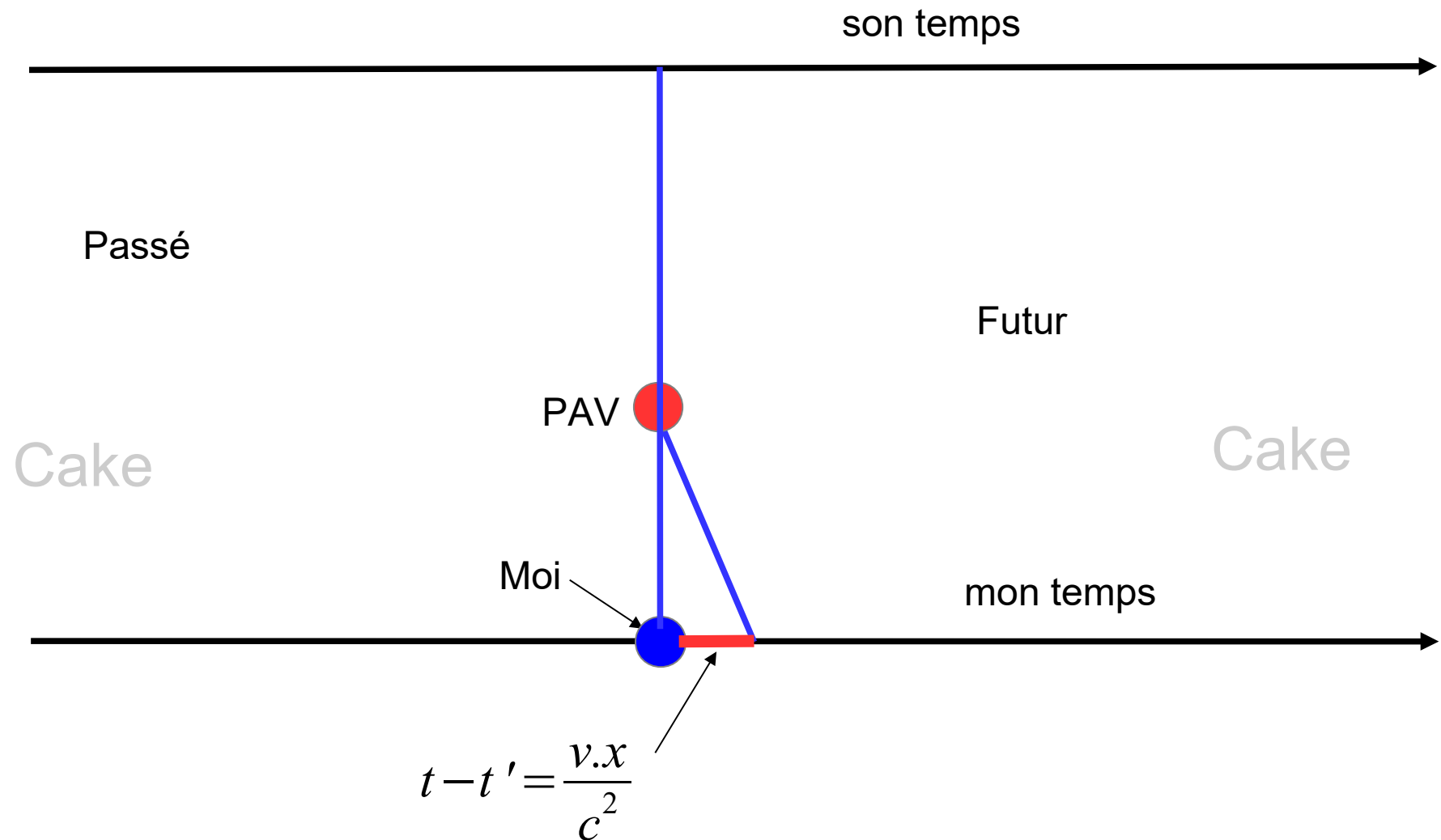
S'il se rapproche de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son avance diminue



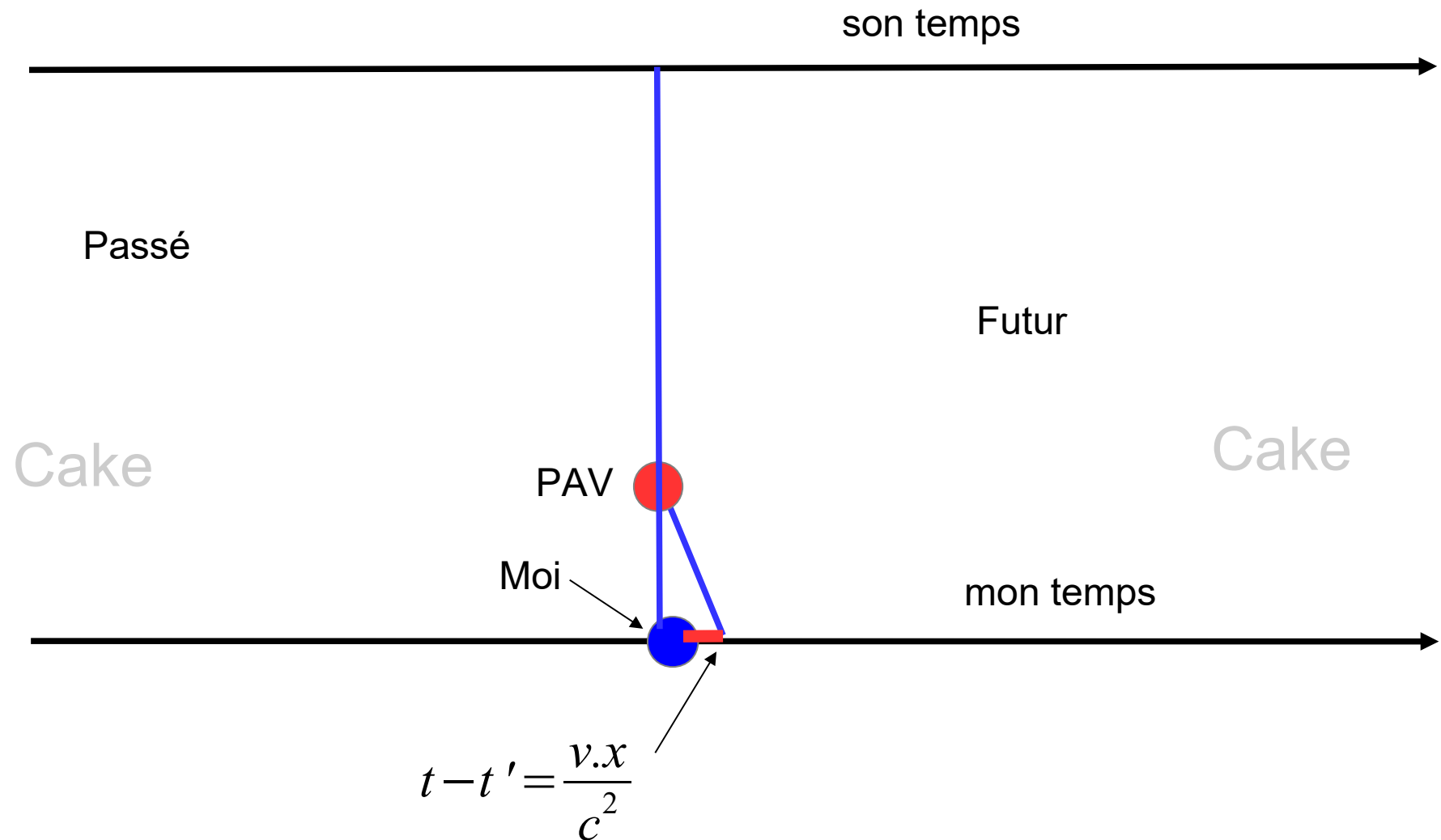
S'il se rapproche de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son avance diminue



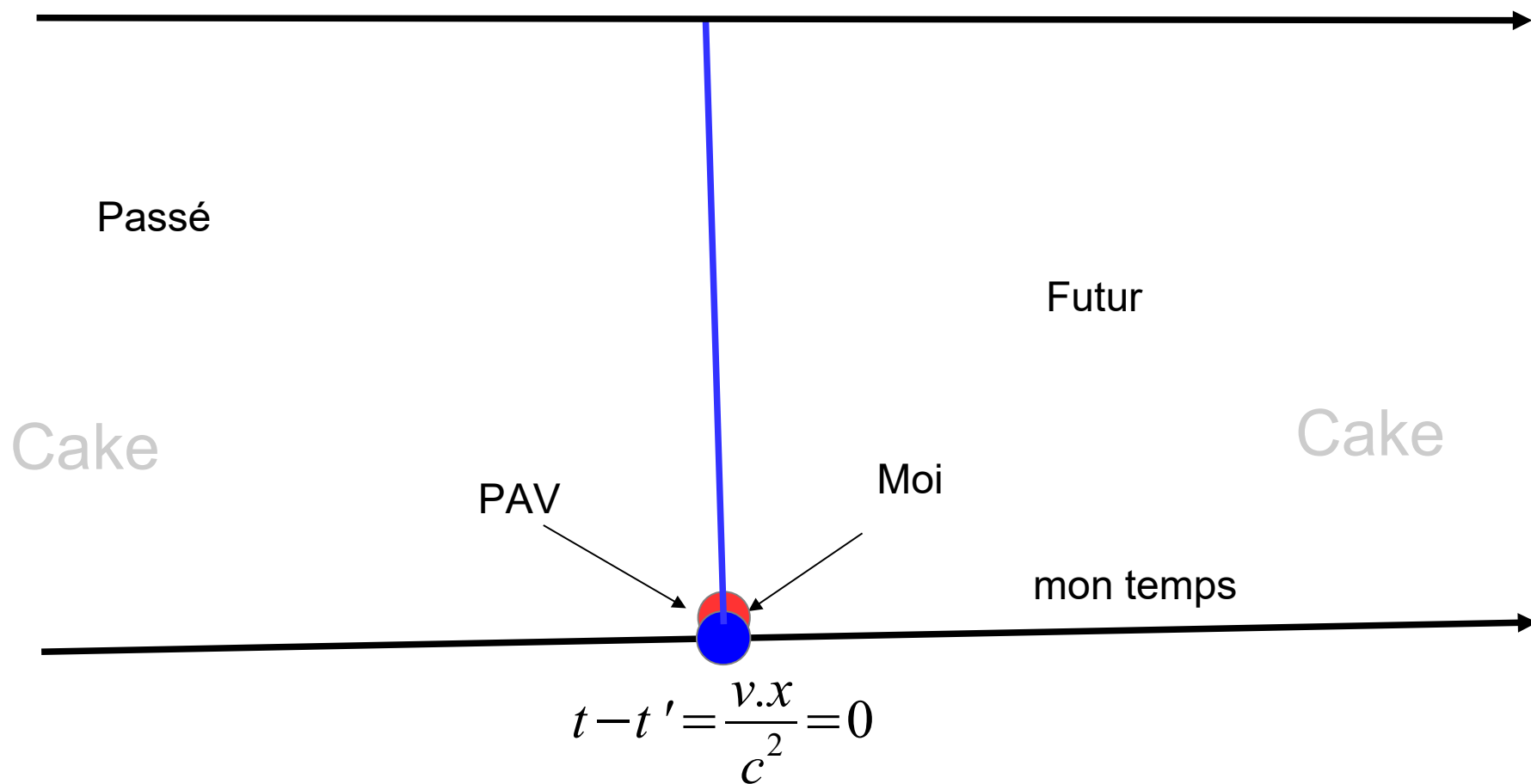
S'il se rapproche de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son avance diminue



S'il se rapproche de moi, la montre du PAV est, de mon point de vue ralentie car son avance diminue



Le PAV est arrivé, je lui rends ses clefs



Il est chez moi, nous sommes contemporains

Pour des déplacements à vitesse constante

- De mon point de vue, la montre du PAV avance moins vite que la mienne qu'il s'éloigne ou qu'il se rapproche de moi

Pour des déplacements à **vitesse constante**

- De mon point de vue, la montre du PAV avance moins vite que la mienne qu'il s'éloigne ou qu'il se rapproche de moi
- De mon point de vue, toutes les montres de tous les PAV de l'univers me semblent avancer moins vite que la mienne

Pour des déplacements à **vitesse constante**

- **De mon point de vue**, la montre du PAV avance moins vite que la mienne qu'il s'éloigne ou qu'il se rapproche de moi
- **De mon point de vue**, toutes les montres de tous les PAV de l'univers me semblent avancer moins vite que la mienne

Mais puisque je n'occupe pas une place privilégiée, les PAV peuvent tenir le même raisonnement que moi

- **De leur point de vue** ma montre leur semble avancer moins vite que la leur

Pour des déplacements à **vitesse constante**

- De mon point de vue, la montre du PAV avance moins vite que la mienne qu'il s'éloigne ou qu'il se rapproche de moi
- De mon point de vue, toutes les montres de tous les PAV de l'univers me semblent avancer moins vite que la mienne

Mais puisque je n'occupe pas une place privilégiée, les PAV peuvent tenir le même raisonnement que moi

- De leur point de vue ma montre leur semble avancer moins vite que la leur

Conclusions

Le temps absolu de Newton (le même pour tout le monde) n'existe pas

Mis à part sur terre (et encore) où elles sont immobiles l'une par rapport à l'autre, il n'y a pas, deux montres qui avancent à la même vitesse

Strictement parlant, la question « quelle heure est-il ? » n'a pas de sens

Strictement parlant, la
question « quelle heure
est-il ? » n'a pas de sens

Attention !

De mon point de vue les montres en mouvement par rapport à moi me semblent retarder par rapport à la mienne.

Cela ne signifie pas qu'elles vont moins vite.

Toutes les montres de l'univers tournent au même rythme quelque soit leur vitesse de déplacement ou leur accélération, c'est ce que l'on appelle le temps propre. Les différences n'apparaissent que lorsqu'on veut comparer les montres entre elles.

L'assertion

« La vitesse d'écoulement du temps dépend de la vitesse de l'observateur »

est FAUSSE comme le montre Etienne Klein dans son exposé intitulé « Que dirait la physique si elle pouvait parler du temps ? »

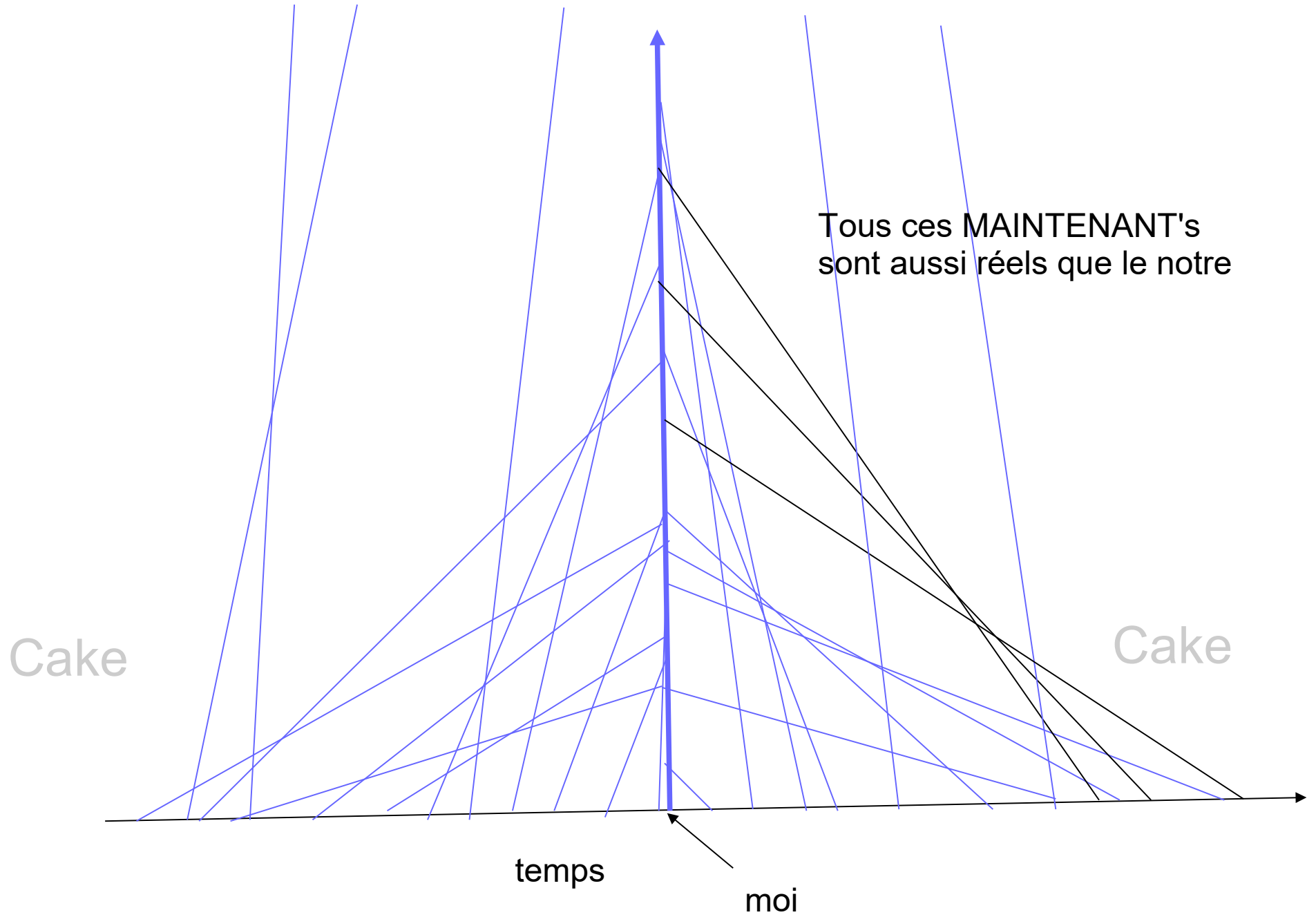
L'assertion trop souvent entendue

« La vitesse d'écoulement du temps dépend
de la vitesse de l'observateur »

est FAUSSE !

Si mon maintenant me semble bien réel, les maintenant's
de tous ceux qui se déplacent par rapport à moi le sont
tout autant !

Je n'occupe pas une place privilégiée dans l'univers



Conclusions

- Le temps absolu de Newton (le même pour tout le monde) n'existe pas
- Mis à part sur terre (et encore) où elles sont immobiles l'une par rapport à l'autre, il n'y a pas, de mon point de vue, deux montres qui avancent à la même vitesse
- Le passé existe encore et le futur existe déjà

Conclusions

- Le temps absolu de Newton (le même pour tout le monde) n'existe pas
- Mis à part sur terre (et encore) où elles sont immobiles l'une par rapport à l'autre, il n'y a pas, de mon point de vue, deux montres qui avancent à la même vitesse
- **Le passé existe encore et le futur existe déjà**

Le passé existe encore...

... le futur existe déjà

Cette vision des choses a pour nom « L'UNIVERS BLOC »

Nous sommes des voyageurs dans un train, regardant le paysage qui défile.
Le temps est figé, il ne passe pas, c'est une illusion due à notre déplacement.
Le temps est expulsé de la physique.

Le présentisme

La notion d'univers bloc n'est pas partagée par tous

Le présentisme est une idée défendue par certains théoriciens qui affirme que seul le présent est réel

L'avenir n'existe pas, il est fabriqué en permanence par le présent. Ceci permet d'échapper à l'inconfort du « futur existe déjà » (alors pourquoi se donner du mal?)

Contrairement aux partisans de l'univers bloc, ils prétendent que le temps n'est pas une illusion mais qu'il est bien réel.

Le présentisme est défendu par plusieurs chercheurs qui affirment que les objets ne deviennent réels qu'au moment où ils deviennent visibles

Le présentisme

Ceci signifie que **c'est le commun des mortels qui a raison** et que les astronomes ont tort !

La difficulté principale réside dans le fait de devoir faire cohabiter présentisme et relativité.

Nous n'en dirons pas plus car de nombreuses théories ont été proposées et dépassent le cadre de cet exposé.

Ceux que cela intéresse, liront l'ouvrage de Lee Smolin

« La renaissance du temps »

Le passé existe encore...

... le futur existe déjà

**Cela veut-il dire que nous pouvons voyager dans
le temps ?**

Voyage dans le temps

Question

Le petit astronome vert peut- il prévenir John Kennedy qu'il va se faire assassiner demain à Dallas ?

Dès qu'il assiste à l'assassinat de John Kennedy, le petit astronome vert prend son vélo, s'éloigne à son aise remonte dans le temps et, arrivé la veille, téléphone à JFK de ne pas se rendre à Dallas.

Le tour est joué !

Je vais devenir riche !

Je place mon argent à la banque des astronomes verts.

Je prends mon vélo et me dirige doucement vers le PAV, donc dans son futur

Quand j'ai atteint le lendemain des petits astronomes verts, je note que le cours du dollars est en hausse.

Je m'arrête de pédaler, revient à aujourd'hui et j'achète un gros paquet de dollars. Le lendemain, je les revends en faisant un gros bénéfice !

Le tour est joué !

Le tour est joué ?

Sauf que ... le petit astronome vert est à 10.000.000.000 AL de la terre et que JFK ne recevra le coup de fil du PHV que 10.000.000.000 ans plus tard.

Idem pour le passage des ordres de bourse!

Einstein l'a dit et répété, l'information ne **PEUT** pas se déplacer plus vite que la lumière.

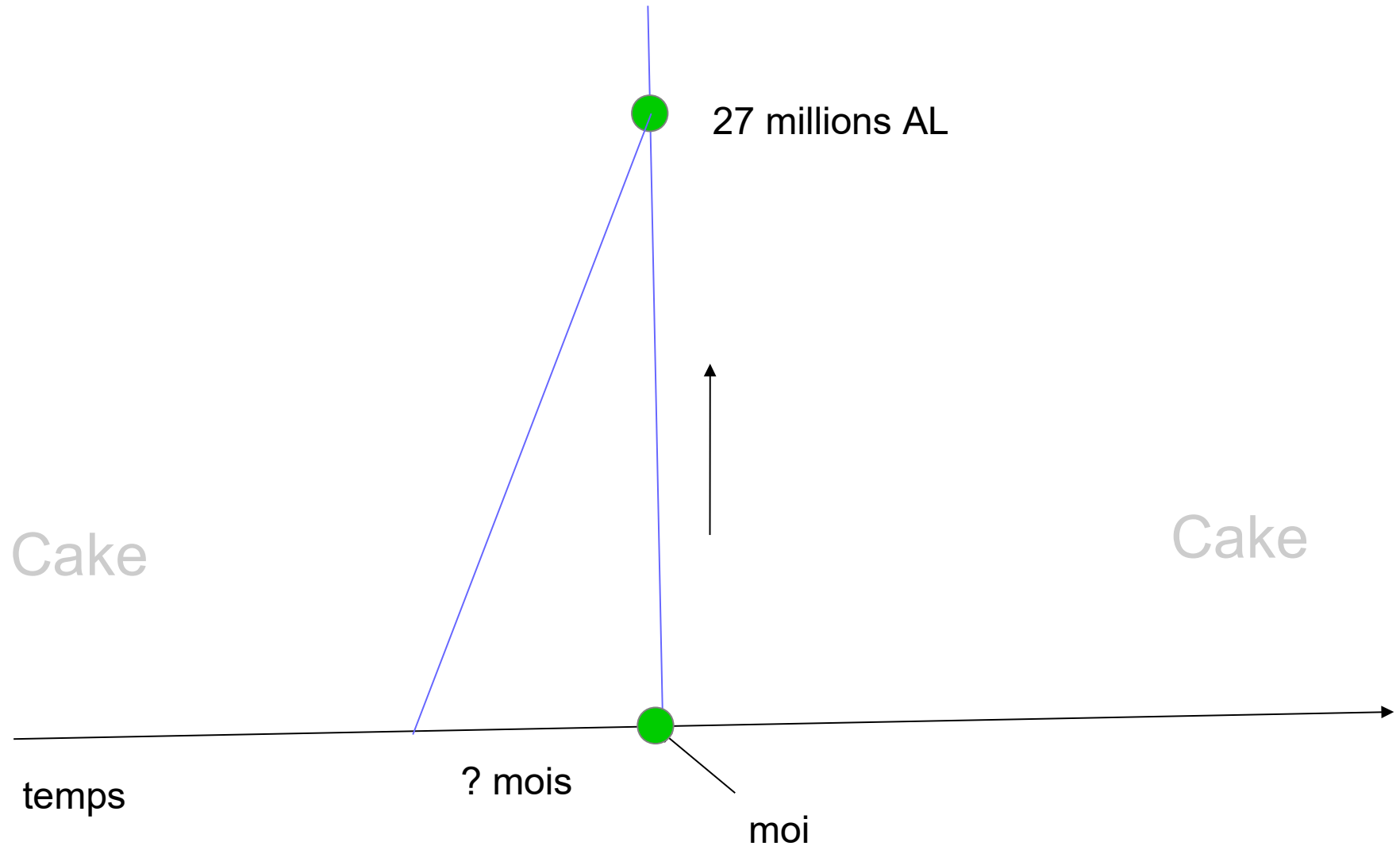
Celui qui inventera un moyen de communication instantané sera le maître du monde

Le paradoxe des jumeaux de Langevin

Pierre et Paul sont jumeaux.

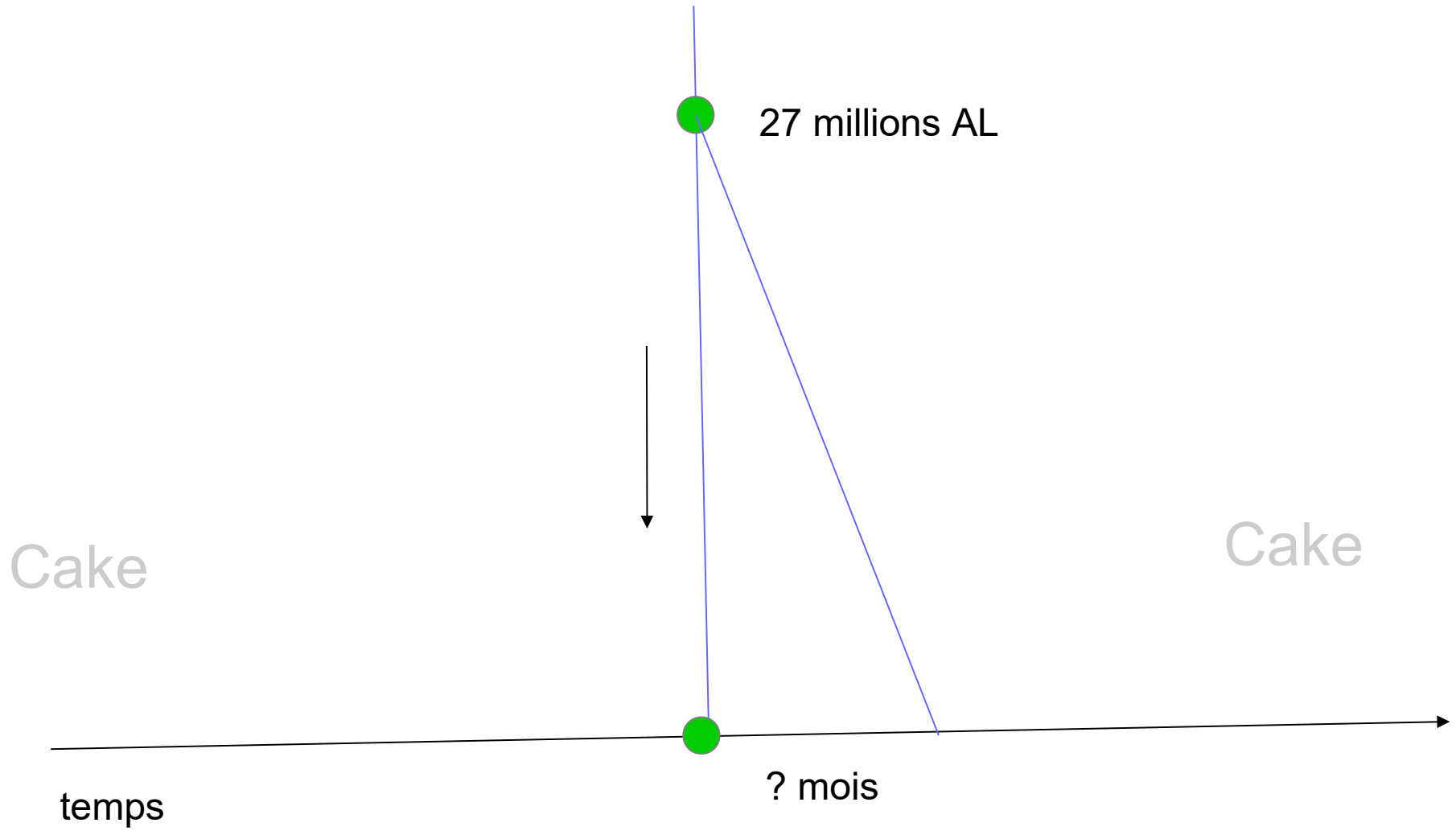
Pierre décide d'aller rendre visite, à vélo, à notre tante Gertrude qui habite à 27.000.000 années lumière

Pierre va rendre visite à tante Gertrude en vélo...
Son temps s'écoule plus lentement que celui de Paul, il perd ? mois



Pierre rentre à la maison

Pierre se déplace, donc son temps s'écoule plus lentement, il perd à nouveau ? mois sur Paul



Calculs

- $x = 27 \text{ millions AL} = 256000000000000000000000 \text{ km}$
 - $v = 20 \text{ km/h} = 175000 \text{ km/an}$
 - $c = 300000 \text{ km/s} = 9460000000000 \text{ km/an}$
 - Différence de temps = $vx/c^2 = 0,5 \text{ an}$
- Aller – Retour $2 \times 0,5 = 1 \text{ an}$



Le paradoxe des jumeaux de Langevin

Pierre et Paul sont jumeaux.

Pierre décide d'aller rendre visite, à vélo, à notre tante Gertrude qui habite à 27.000.000 années lumière

Quand il rentre, nous constatons qu'il est plus jeune que Paul qui est resté sur place : Pierre a un an de moins que Paul

Le paradoxe des jumeaux de Langevin

Conclusion

Nous venons de montrer qu'à son retour, Pierre a un an de moins que Paul.

Il ne faudrait pas en conclure que ses processus biologiques ont été ralentis pendant son voyage.

Quelque soit notre mouvement, notre accélération, l'intensité du champ de la gravitation, notre montre, nos processus biologiques, avancent à un rythme constant.

Ce rythme est notre **temps propre**.

Comme le dit Étienne Klein : « Notre **temps propre** est une prison à roulettes dans laquelle nous avons été enfermés à notre naissance »

Tous les êtres, tous les objets de l'univers ont leur temps propre qui s'écoule uniformément comme le nôtre.

Ce qui varie, de mon point de vue, c'est la vitesse de leur montre par rapport à la mienne.

Étienne Klein :

« Notre **temps propre** est une prison à roulette dans laquelle nous avons été enfermés à notre naissance »

Le quel de ces 2 trains est-il en avance sur l'autre ?



Le quel de ces 2 trains est-il en avance sur l'autre ?



Conclusions

- Le temps absolu de Newton (le même pour tout le monde) n'existe pas
- Mis à part sur terre (et encore) où elles sont immobiles l'une par rapport à l'autre, il n'y a pas, de mon point de vue, deux montres qui avancent à la même vitesse
- Le passé existe encore et le futur existe déjà
- Même s'il existe le futur est inaccessible car l'information ne peut voyager plus vite que la lumière

Les Muons

Les muons sont des particules subatomiques qui résultent de la désintégration des rayons cosmiques dans la haute atmosphère à une altitude d'environ 15 km.

Ils sont très instables et se désintègrent à leur tour au bout de $2,6 \cdot 10^{-6}$ s

Même si leur vitesse est proche de celle de la lumière, en moyenne, ils ne pourraient parcourir que de +/- 500 m dans l'atmosphère avant de disparaître , or nous en détectons de très nombreux au niveau du sol.

Ceci est une conséquence directe de la relativité. Les muons se désintègrent bien après $2,6 \cdot 10^{-6}$ s **de leur temps propre**, mais compte tenu de leur vitesse, par rapport à la terre, ils vivent beaucoup plus longtemps et peuvent atteindre le sol !

Troisième partie

Relativité générale

Plan

1 - Les 2 « maintenant »

2 - Relativité restreinte

- Transformation de Lorentz
- L'univers bloc de Brian Greene
 - Un petit astronome vert fait du vélo
 - Le petit astronome vert vient me rendre visite
 - Exemple numérique
 - Le passé existe encore et le futur existe déjà
 - Peut-on voyager dans le temps
 - Les jumeaux de Langevin

3 - Relativité générale

- L'écoulement du temps au sommet de l'Everest
- L'écoulement du temps aux abords d'un trou noir
- Influence de l'altitude
- Quelques exemples

4 – Conclusion

- Qu'est ce qui fait que le temps passe ?
- Mécanique quantique et algèbre non commutative

Plan

1 - Les 2 « maintenant »

2 - Relativité restreinte

- Transformation de Lorentz
- L'univers bloc de Brian Greene
 - Un petit astronome vert fait du vélo
 - Le petit astronome vert vient me rendre visite
 - Exemple numérique
 - Le passé existe encore et le futur existe déjà
 - Peut-on voyager dans le temps
 - Les jumeaux de Langevin

3 - Relativité générale

- L'écoulement du temps a bord d'un satellite géostationnaire
- L'écoulement du temps aux abords d'un trou noir
- Influence de l'altitude
- Quelques exemples

4 – Conclusion

- Qu'est ce qui fait que le temps passe ?
- Mécanique quantique et algèbre non commutative

Je vous aurai !



Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

N'oublions pas que la relativité restreinte n'a été établie que pour **des objets se déplaçant à vitesse constante** et qui ne sont soumis à aucune accélération ni à aucune influence gravitationnelle.

Nous quittons le domaine de la relativité restreinte pour faire une brève incursion dans celui de la relativité générale.

Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

N'oublions pas que la relativité restreinte n'a été établie que pour **des objets se déplaçant à vitesse constante** et qui ne sont soumis à aucune accélération ni à aucune influence gravitationnelle.

Nous quittons le domaine de la relativité restreinte pour faire une brève incursion dans celui de la relativité générale.

Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

Nous allons d'abord tenter de répondre à la question :

A quelle vitesse le temps s'écoule-t-il

au sommet de l'Everest ?

Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

Certains parmi vous ont probablement entendu dire qu'à l'approche de l'horizon d'un trou noir le temps d'un astronaute téméraire semble s'arrêter par rapport au notre.

A l'inverse le temps « t_E » à au **sommet de l'Everest** passe plus vite que le nôtre « t_M » qui sommes restés au niveau de la mer

Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

La relativité générale nous dit que

$$t = \tau \sqrt{\left(1 - \frac{R_s}{R}\right)}$$

- t temps de la montre soumise à la gravitation (d'un trou noir)
- τ temps d'une montre isolée dans l'espace
- R distance entre la montre et le trou noir
- R_s rayon de Schwarzschild* du trou noir encore appelé horizon des événements

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

* Distance en dessous de laquelle la lumière ne peut plus s'échapper du trou noir

Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

$$R_s = 2 \frac{GM}{c^2}$$

Calcul du rayon de Schwarzschild de la terre

- $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$
- $M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$R_s = 8,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ soit un peu moins d'un cm

Il faudrait **comprimer la terre pour la réduire à la taille d'une noisette** pour la transformer en trou noir !!!!



Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

$$t = \tau \sqrt{\left(1 - \frac{R_s}{R}\right)}$$

- $R_M = 6.370$ km rayon de la terre
- $R_E = 6.370 + 8 = 6378$ km Sommet de l'Everest
- $R_s = 8,85$ mm rayon de Schwarzschild de la terre
- $t_E/t_M = 1,00000000000000871$
- Ce qui, au bout d'un million d'années, correspond à...

27 s !!!



Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

La précision des horloges atomiques actuelle est telle qu'il serait tout à fait possible de mesurer l'écart entre deux horloges dont l'altitude ne différerait que de quelques centimètres.

Les meilleures horloges actuelles ne dévient que de moins d'une seconde sur une durée correspondant à l'âge de l'univers



Influence de la gravité sur l'écoulement du temps

La gravité modifie l'écoulement du temps.

Rien ne peut distinguer la gravité d'une accélération (Einstein)

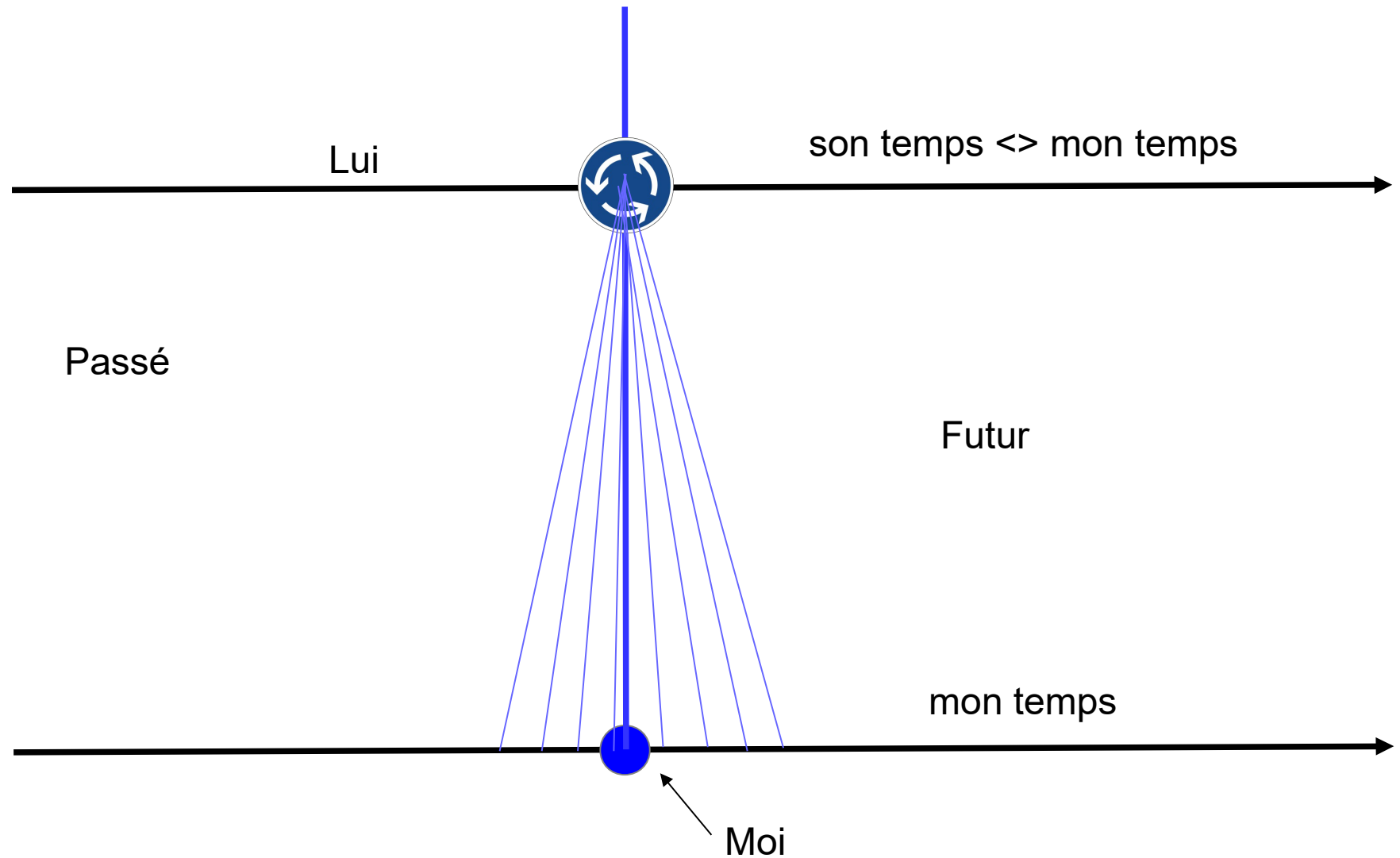
Ceci nous permet de comprendre pourquoi le retard accumulé par Pierre quand il arrive chez tante Gertrude se transforme en avance quand il prend le chemin du retour.

Car quand il arrive chez sa tante, Pierre est bien obligé de freiner, il subit donc une **décélération**, c'est ainsi qu'il redevient contemporain de Paul.

Quand il repart, il doit **accélérer** et donc plonge dans l'avenir de Paul

Quelques exemples

Si le PAV tourne autour du rond-point...



Il balaye 2 x 180 = 360 de mes années à chaque tour

Et dans la vie de tous les jours ?

J'habite à 20 km d'ici et je fais du 50 km/h de moyenne.

A mon retour, mon épouse s'apercevra-t-elle que j'ai moins vieilli qu'elle ?

Calculs

- $x = 2 \times 20 \text{ km} = 40000 \text{ m}$
- $v = 50 \text{ km/h} = 13,8 \text{ m/s}$
- $c = 300000 \text{ km/s} = 300000000 \text{ m/s}$
- Différence de temps = $vx/c^2 = 0,0000000000000631 \text{ s}$



Et dans la vie de tous les jours ?

Mon épouse se rend régulièrement en Inde

New Delhi se trouve à 6500 km de Paris

L'avion vole à 800 km/h

A son retour, elle aura vieilli un peu moins que moi.

Calculs

- $x = 2 \times 6500 \text{ km} = 13.000 \text{ km}$
- $v = 800 \text{ km/h} = 0,222 \text{ km/s}$
- $C = 300.000 \text{ km/s}$
- Différence de temps = $vx/c^2 = 32,1 \text{ ns}$



Nous touchons, avec ces exemples, une des raisons pour laquelle, Albert Einstein n'a pas été récompensé du prix Nobel pour la mise au point de la théorie de la relativité.

Pendant la première moitié du 20^{ème} siècle, cette théorie n'a pratiquement aucune application pratique et de plus elle est d'un abord difficile.

Ce n'est qu'avec les découvertes réalisées par les astronomes, étoiles à neutrons, quastars, trous noirs que cette théorie est devenue indispensable pour comprendre ces objets hors du commun.

Albert Einstein est décédé en 1955 et n'a donc pas assisté au triomphe de sa théorie qui était acceptée, mais considérée comme un gadget inutile.

Conclusion

Plan

1 - Les 2 « maintenant »

2 - Relativité restreinte

- Transformation de Lorentz
- L'univers bloc de Brian Greene
 - Un petit astronome vert fait du vélo
 - Le petit astronome vert vient me rendre visite
 - Exemple numérique
 - Le passé existe encore et le futur existe déjà
 - Peut-on voyager dans le temps
 - Les jumeaux de Langevin

3 - Relativité générale

- L'écoulement du temps a bord d'un satellite géostationnaire
- L'écoulement du temps aux abords d'un trou noir
- Influence de l'altitude
- Quelques exemples

4 – Conclusion

- Qu'est ce qui fait que le temps passe ?
- Mécanique quantique et algèbre non commutative

Maintenant ?

C'est ici et nulle part ailleurs

L'impression du temps qui PASSE, n'est peut-être qu'une impression de notre esprit.

Le problème de l'instant présent préoccupait fortement Albert Einstein, voici ce qu'il en disait :

« L'expérience que l'on fait de l'instant présent a une signification toute particulière pour l'homme, c'est quelque chose de foncièrement différent du passé ou du futur, mais cette différence n'a pas sa place en physique. »

Que cela ne puisse être saisi par la science, représentait pour lui une résignation pénible mais inévitable.

Aussi bizarre que cela puisse paraître, personne ne sait aujourd'hui ce qui fait que le temps passe

Passe-t-il vraiment ou bien est-ce une illusion ?

Étienne Klein consacre de nombreuses conférences à ce sujet (voir annexe)

Parmi les pistes qu'il évoque, il cite le problème fondamental de la physique d'aujourd'hui, l'incompatibilité qui existe entre la relativité générale et la physique quantique.

Alain Connes est un mathématicien français né en 1947.

Il a reçu la médaille Fields en 1982 pour ses travaux sur les algèbres de Von Neuman

Il a travaillé dans le domaine des géométries non commutatives dans lesquelles le résultat d'une opération dépend de l'ordre des facteurs.

Selon lui, le temps émerge de la non commutativité des opérateurs au niveau quantique.

« La variabilité n'est pas due au passage du temps, la vraie variabilité **émerge** de l'incertitude, du flou quantique »

Pour lui, le temps serait émergent

Lee Smolin dans son livre « La renaissance du temps », considère, comme les partisans du présentisme, le temps comme réel

Pour lui, le temps serait immanent

Cela a-t-il un sens de dire que le temps passe ?

S'il passe, il passe dans quoi ?

Passer cela veut dire avancer à une certaine vitesse.

Quelle est la vitesse du temps ?

La vitesse par rapport à lui même ?

Cela a-t-il un sens de dire que le temps passe ?

S'il passe, il passe dans quoi ?

Passer cela veut dire avancer à une certaine vitesse.

Quelle est la vitesse du temps ?

La vitesse par rapport à lui même ?

Cela a-t-il un sens de dire que le temps passe ?

S'il passe, il passe dans quoi ?

Passer cela veut dire avancer à une certaine vitesse.

Quelle est la vitesse du temps ?

La vitesse par rapport à lui même ?

Le temps n'est probablement pas ce que vous croyiez

Mais personne ne sait actuellement
ce qu'est la véritable nature du

Temps !

Die Fragen sind wichtiger als die
Antworten

Martin Heidegger

Les questions sont plus importantes
que les réponses

Dis, ça suffit avec tes
calculs.
J'ai faim !



D'accord, tu l'auras ton
biberon, mais avant tu
dois prendre ton bain...







Références

La magie du cosmos

Brian Greene, Robert Laffont 2005

La magie du cosmos (YouTube)

<https://www.youtube.com/watch?v=DUMU8QFM8XA>

L'illusion du temps (You Tube)

<https://www.youtube.com/watch?v=IVJd3VfdRps>

Histoire de la relativité restreinte

https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_relactivit%C3%A9_restreinte

Controverse sur la paternité de la relativité

https://fr.wikipedia.org/wiki/Controverse_sur_la_paternit%C3%A9_de_la_relactivit%C3%A9

Transformations de Lorentz

https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformations_de_Lorentz

Temps propre

https://fr.wikipedia.org/wiki/Temps_propre

Intervalle d'espace temps

https://fr.wikipedia.org/wiki/Intervalle_d%27espace-temps

Références

Et si le temps n'existait pas ?

Carlo Rovelli – Dunod

Etienne Klein

<https://www.youtube.com/watch?v=M7VK2QHw7o8&t=4520s>

Futura Science

<http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/physique-relativite-einstein-resist>

Etienne Klein – Univers bloc

https://www.youtube.com/watch?v=_wE-ReAFyWU

<https://www.youtube.com/watch?v=SE0MEV59Sxc>

Etienne Klein – La non commutativité, moteur du temps

<https://www.youtube.com/watch?v=zvtNru5Cux8>

Etienne Klein – PHYSIQUE QUANTIQUE - Le Temps est-il réel ?

https://www.youtube.com/watch?v=dNu_rrH0SDQ

Etienne Klein – Que dirait la physique si elle pouvait parler du temps ?

<https://www.youtube.com/watch?v=M7VK2QHw7o8&t=2519s>

Références (suite)

Lee Smolin

La renaissance du temps – Quai des sciences

Carlo Rovelli

L'ordre du temps – Flammarion

Martin Heidegger – Être et le temps

http://t.m.p.free.fr/textes/Heidegger_etre_et_temps.pdf

Transformations de Lorentz

https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformations_de_Lorentz

Ces transformations sont de la forme

$$(1) \quad x' = a_1 x + b_1 ct$$

$$(2) \quad ct' = a_2 x + b_2 ct$$

Pour la lumière

$$(x - ct = 0) \Rightarrow (x' - ct' = 0)$$

en soustrayant et en additionnant (1) et (2) avec

$$\lambda = a_1 - b_1$$

$$\mu = a_1 + b_1$$

$$(3) \quad x' - ct' = \lambda (x - ct)$$

$$(4) \quad x' + ct' = \mu (x + ct)$$

Transformations de Lorentz (suite)

en soustrayant et en additionnant (3) et (4) avec

$$a = \frac{\lambda + \mu}{2}$$

$$b = \frac{\lambda - \mu}{2}$$

$$(5) \quad x' = a.x + b.ct$$

$$(6) \quad ct' = a.ct - b.x$$

A l'origine du repère R', $x'=0$

$$\text{Par (5)} \quad x = \frac{b}{a} . ct$$

Transformations de Lorentz (suite)

soit v , la vitesse de R' par rapport à R

$$v = \frac{x}{t} = \beta c \quad \text{Avec} \quad \beta = \frac{b}{a}$$

A l'origine du repère R , $x=0$

Par (6) $t' = a.t$

soit v' , la vitesse de R par rapport à R'

$$v' = \frac{x'}{t'} = \frac{-b.ct}{t'} = \frac{-b.ct}{at} = \frac{-bc}{a}$$

$$\beta' = \frac{v'}{c} = -\frac{v}{c} = -\beta$$

les équations (5) et (6) deviennent

$$(7) \quad x' = a(x - \beta.ct)$$

$$(8) \quad c.t' = a(ct - \beta.x)$$

Transformations de Lorentz (suite)

En intervertissant les rôles de R et R' et en tenant compte de $\beta = -\beta'$

$$(9) \quad x = a(x' + \beta \cdot ct')$$

$$(10) \quad ct = a(ct' + \beta \cdot x')$$

En introduisant (7) et (8) dans (9), on a

$$x = a^2(x - \beta \cdot ct + \beta \cdot ct - x \cdot \beta^2)$$

$$x = a^2 x (1 - \beta^2)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Transformations de Lorentz (suite)

Et finalement les transformations de Lorentz sont

$$(7) \quad x' = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}(x - \beta \cdot ct)$$

$$(8) \quad ct' = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}(ct - \beta \cdot x)$$