

CINÉMATIQUE RELATIVISTE ET POINT DE VUE DIDACTIQUE

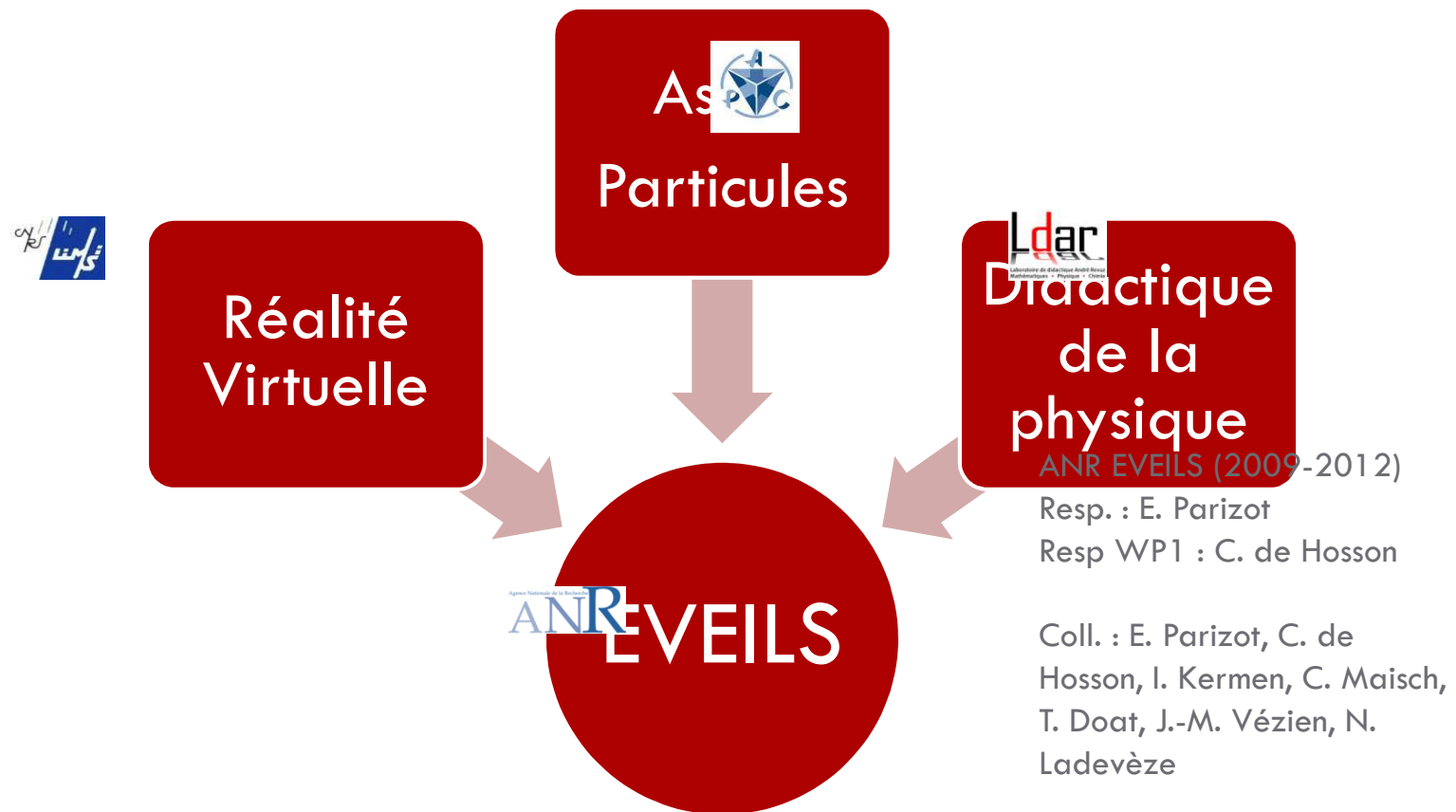
UdPPC

C. de Hosson, LDAR, Université Paris Diderot

Contexte :

Apprendre en environnement immersif 3D

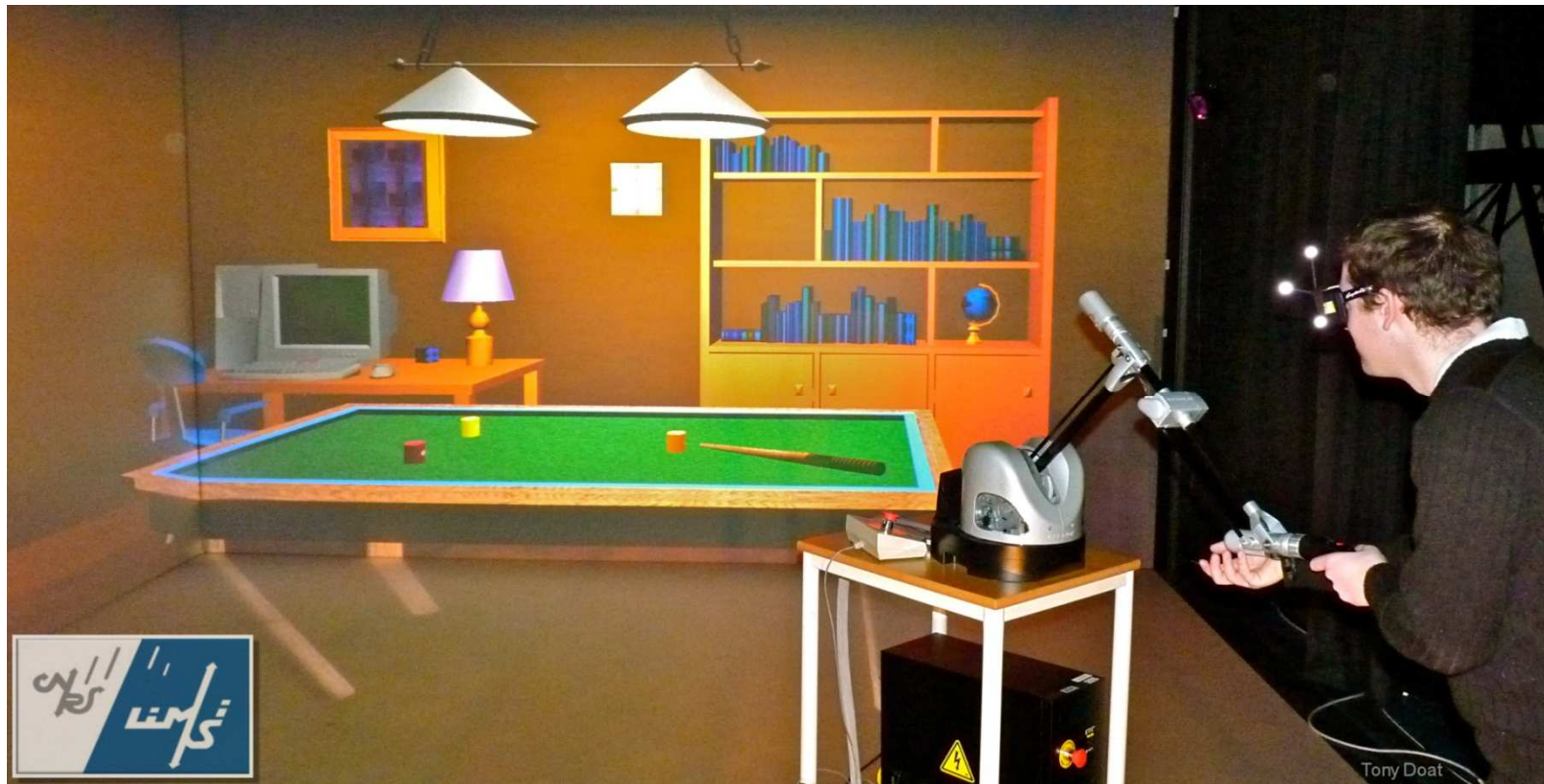
2



C. de Hosson - UdPPC 2013

Contexte : Apprendre en environnement immersif 3D

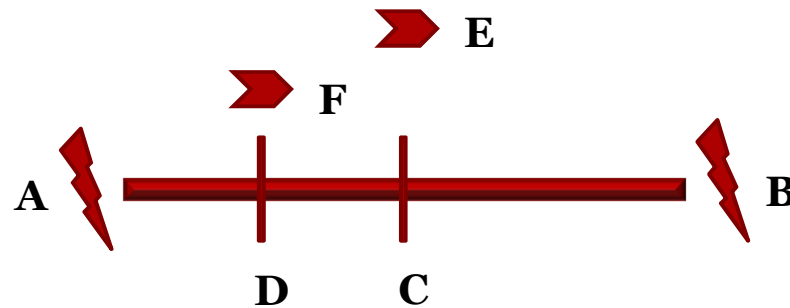
3



Enquête didactique (de Hosson & Kermen, BUP, 2012)

4

- La situation du “scooter cosmique”. Les questions portent sur :
 - Les instants auxquels C, D, E et F perçoivent les signaux émis par A et B (même instant d’émission dans le référentiel du pont)
 - Les instants auxquels les signaux émis par A et B ont été émis pour C, D, E et F

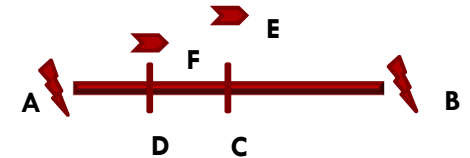


C. de Hosson - UdPPC 2013

Le scooter cosmique « avec les mains »

5

- C immobile au milieu du pont
 - Reçoit les signaux émis par A et B en même temps
 - Les signaux sont émis simultanément dans le ref. du pont (donnée de l'énoncé)
- D immobile entre A et C
 - Reçoit le signal émis par A avant le signal émis par B
 - Les signaux sont émis simultanément dans le référentiel du pont (D et C appartiennent au même **référentiel**)
- E en mouvement par rapport au pont, considéré à (x_C, t_C)
 - Reçoit les signaux émis par A et B en même temps ($x_C = x_E$ et $t_C = t_E$)
 - Le signal de B est émis avant le signal de A dans le référentiel lié aux scooters (les signaux sont partis alors que E était plus proche de A, or c invariant donc $t'_B < t'_A$)
- F en mouvement par rapport au pont, considéré à (x_D, t_D)
 - Reçoit le signal émis par A avant le signal émis par B ($x_D = x_F$ et $t_D = t_F$)
 - Le signal de B est émis avant le signal de A dans le référentiel lié au scooter (E et F appartiennent au même **référentiel**)



Utilisation de la transformée de Lorentz

6

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

On oriente le schéma dans le sens positif de A vers B

alors : $\delta x = x_B - x_A > 0$ et $v > 0$

Comme $\delta t = 0$ alors $\delta t' < 0$, $t'_B < t'_A$

Le flash a d'abord été émis par Bernard dans le référentiel du scooter

Synthèse des raisonnements fréquents

- Les étudiants continuent à mobiliser leurs connaissances en cinématique classique pour résoudre des problèmes qui engagent le cadre relativiste (même après avoir suivi un enseignement de TRR).
- Les étudiants associent l'instant auquel un événement se produit à l'instant auquel le signal émis à partir de cet événement est perçu par un observateur donné > deux événements repérés par les mêmes coordonnées temporelles dans un référentiel donné peuvent être considérés comme se produisant à deux instants différents par deux observateurs immobiles dans ce référentiel (ceci dépend de leur proximité avec le lieu de production de l'évènement).
- La vitesse d'un observateur en mouvement dans un référentiel donné apparaît comme un obstacle lorsqu'il est nécessaire de considérer cet observateur à un instant donné en un lieu donné (la mention d'une vitesse relative semble contaminer le raisonnement des étudiants) .
- La notion de référentiel n'est pas spontanément mobilisée.

BOEN n°8 du 13 oct. 2011

8

<p>Temps et relativité restreinte Invariance de la vitesse de la lumière et caractère relatif du temps.</p> <p>Postulat d'Einstein. Tests expérimentaux de l'invariance de la vitesse de la lumière.</p> <p>Notion d'événement. Temps propre. Dilatation des durées. Preuves expérimentales.</p>	<p>Savoir que la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens.</p> <p>Définir la notion de temps propre. Exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée. Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.</p>
---	--

Enjeux didactiques :

- L'invariance de c par changement de référentiel implique le « caractère relatif du temps »
- Ce caractère « relatif » du temps n'est pas réductible à UN observateur singulier mais à une classe d'observateurs immobiles les uns par rapport aux autres (importance de la notion de référentiel / référentiel inertiel)
- Un « événement » est repéré par une coordonnée spatio-temporelle

L'usage des graphiques (x,t)

Les supports d'informations proposés aux élèves seront multiples et diversifiés : textes de vulgarisation et textes scientifiques en français et éventuellement en langue étrangère, tableaux de données, constructions graphiques, vidéos, signaux délivrés par des capteurs, spectres, modèles moléculaires, expériences réalisées ou simulées, etc. L'exploitation sera conduite en passant par l'étape d'identification des grandeurs physiques ou chimiques pertinentes et par celle de modélisation. Cette formalisation pourra conduire à l'établissement des équations du modèle puis à leur traitement mathématique, numérique ou graphique.

L'élève est ainsi amené à raisonner avec méthode et à mettre en œuvre avec rigueur l'ensemble des étapes qui lui permettent de trouver la ou les solution(s) au problème posé. Le professeur aura cependant à l'esprit que le recours à des outils mathématiques n'est pas le but premier de la formation de l'élève en physique-chimie, même si cela peut être parfois nécessaire pour conduire une étude à son terme. Dans certains cas, le professeur utilisera des méthodes de résolutions graphique ou numérique, pratiques de plus en plus fréquentes en raison de la complexité des systèmes étudiés. Ce sera aussi l'occasion de souligner que les travaux de recherche sont souvent conduits par des équipes pluridisciplinaires.

Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011, p.1.

10

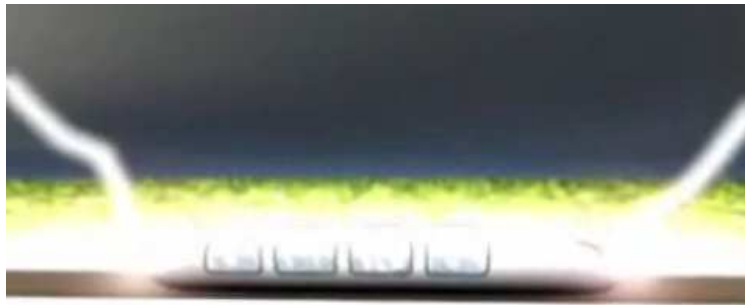
Support Vidéo

<http://www.youtube.com/watch?v=wteiuxyqtoM>

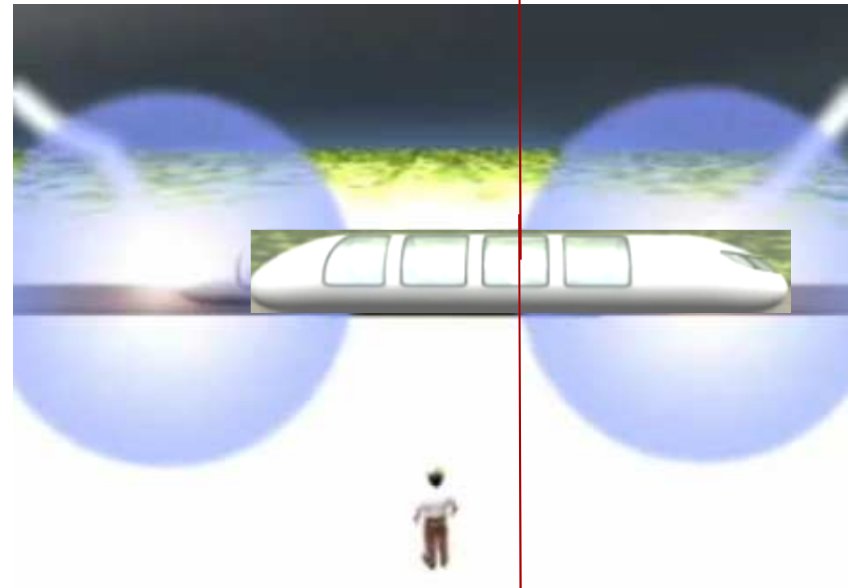
Relativité et simultanéité

11

Situation du train



Les éclairs frappent l'avant et l'arrière du train simultanément dans le référentiel du quai

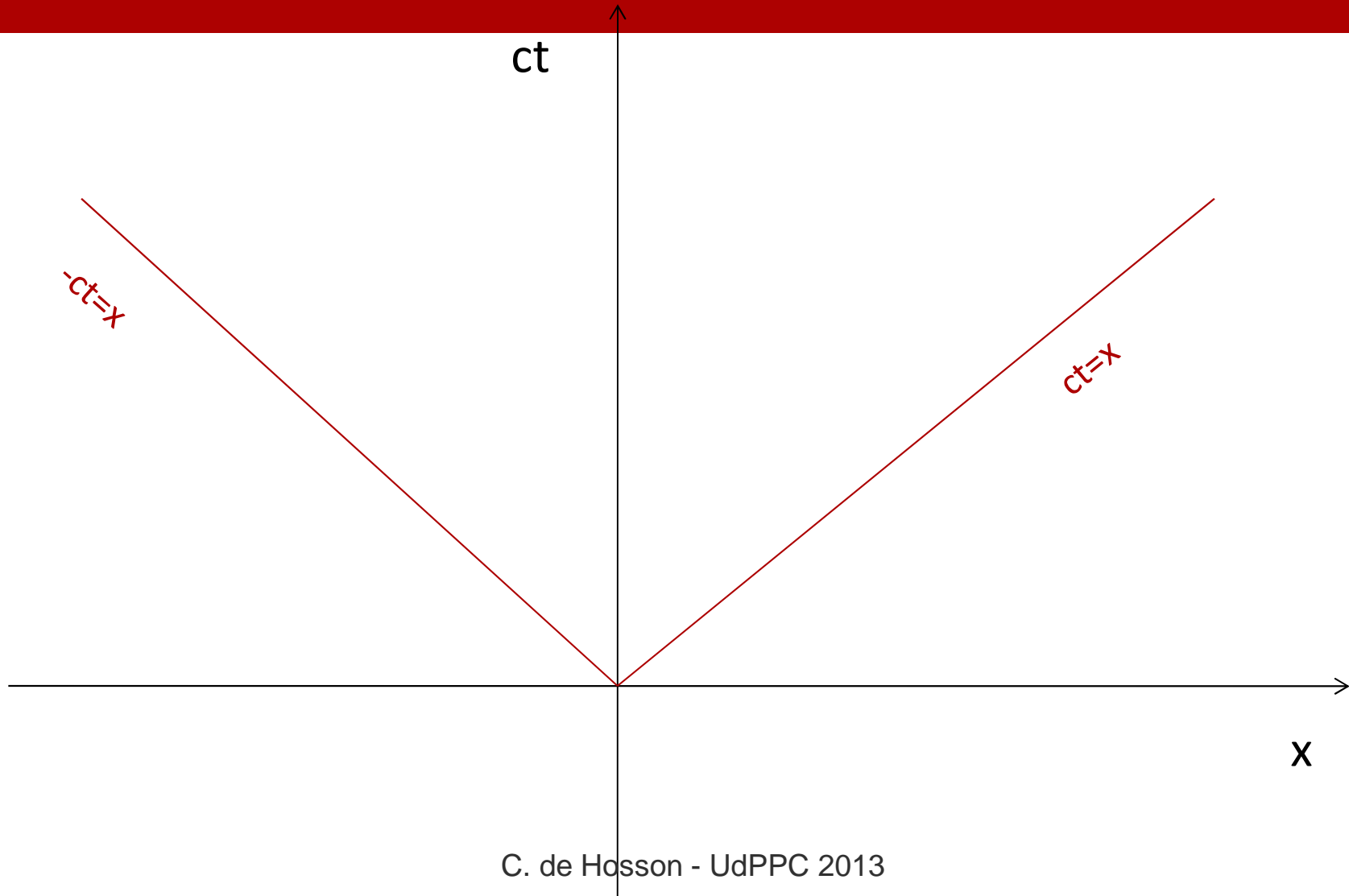


La passagère du train reçoit l'information « l'avant du train est frappé par un éclair » avant l'information « l'arrière du train est frappé par un éclair »

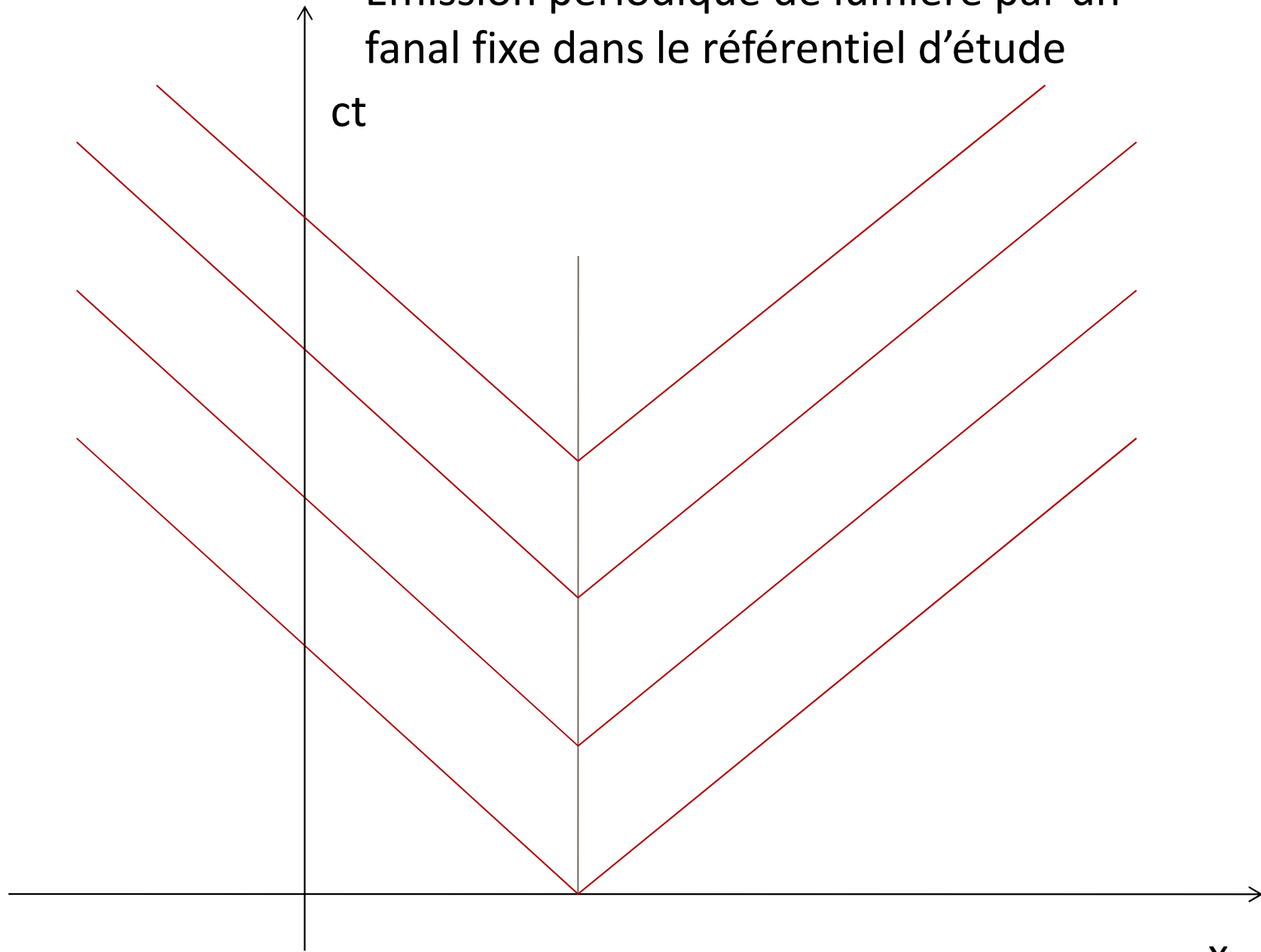
<http://www.youtube.com/watch?v=wteiuxyqtoM>

Diagramme d'espace-temps : graphique à une dimension spatiale

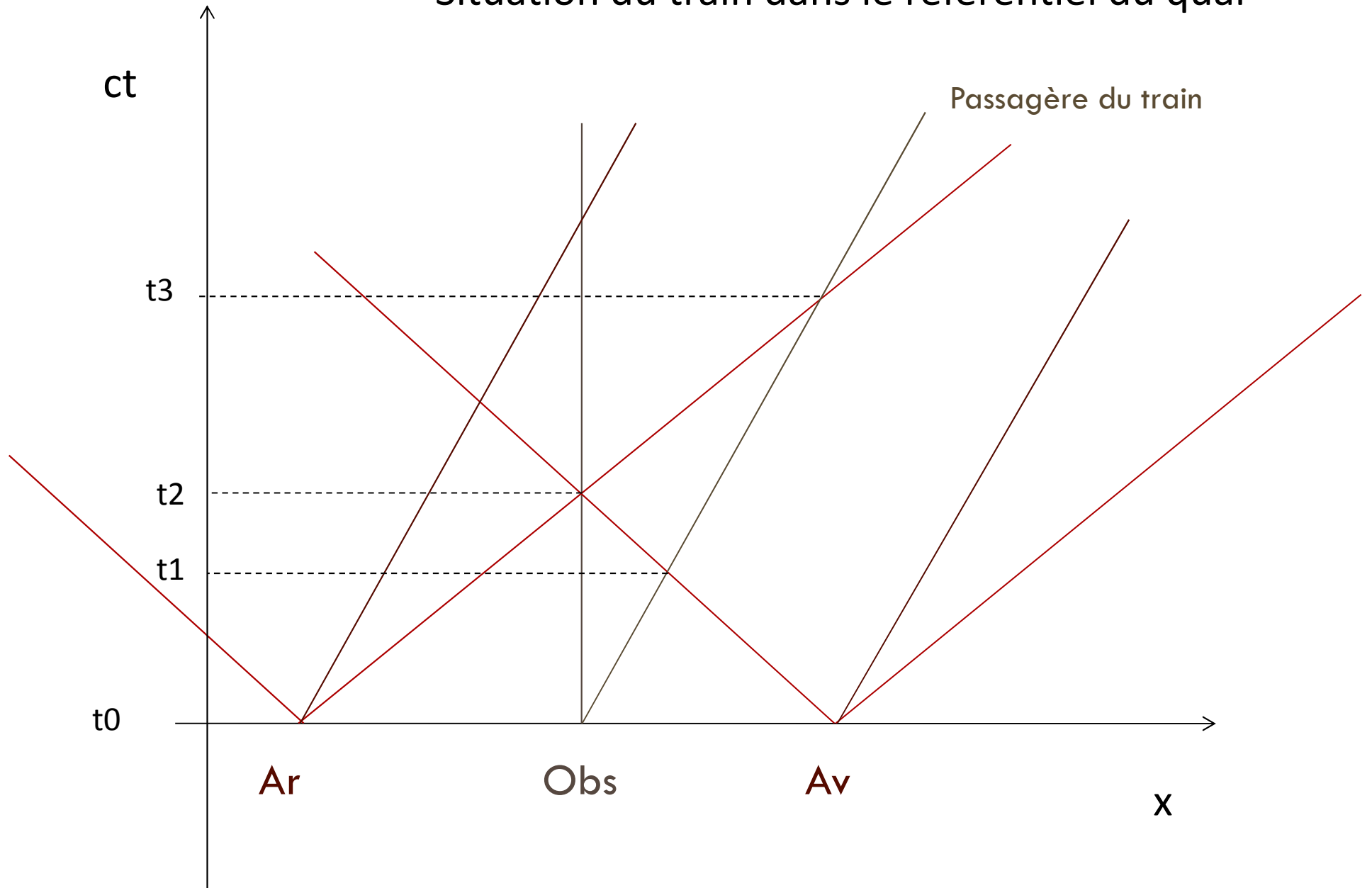
12



Émission périodique de lumière par un fanal fixe dans le référentiel d'étude



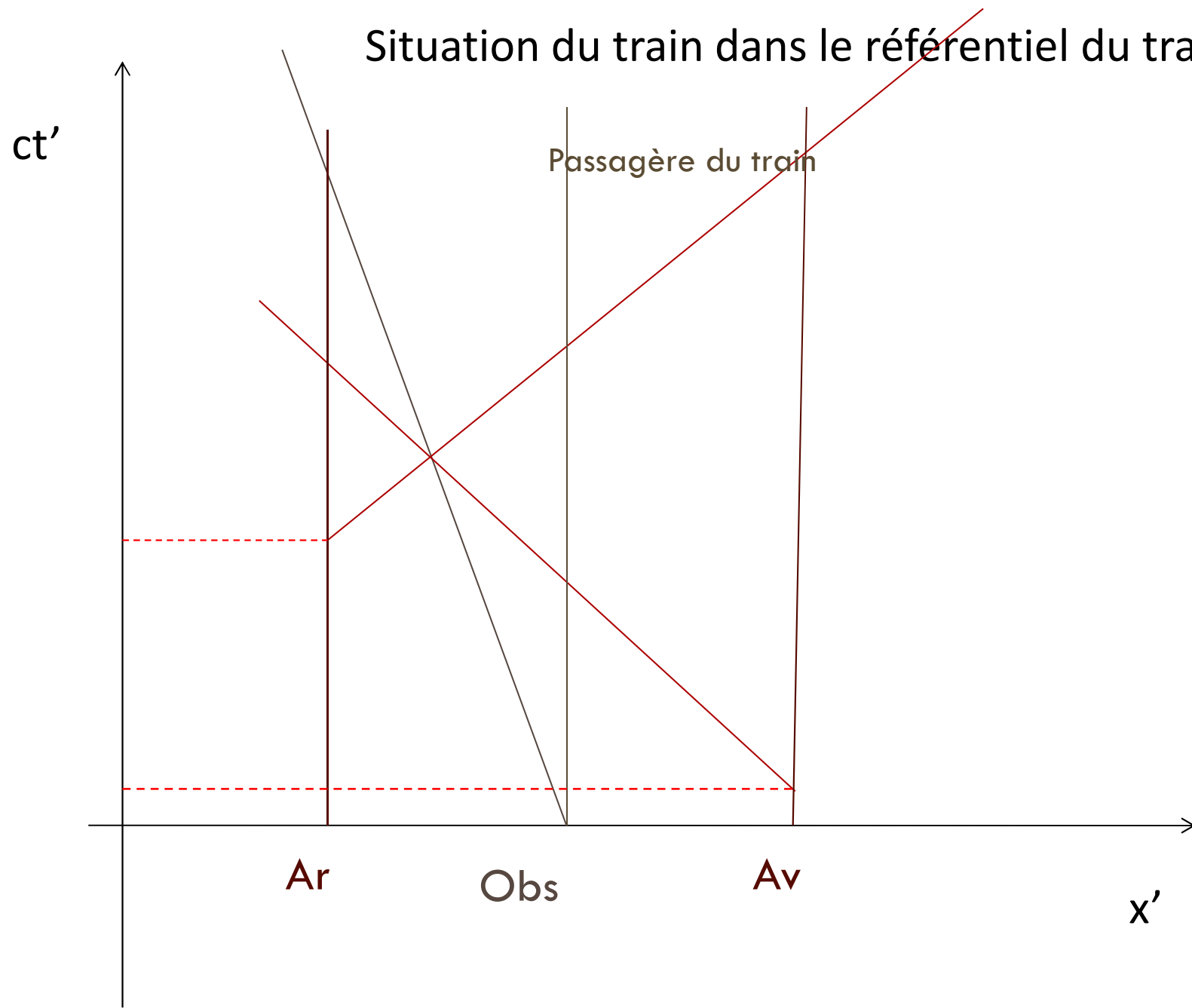
Situation du train dans le référentiel du quai



Les deux éclairs touchent les extrémités du train simultanément à t_0 .

On se place maintenant dans le référentiel du train...

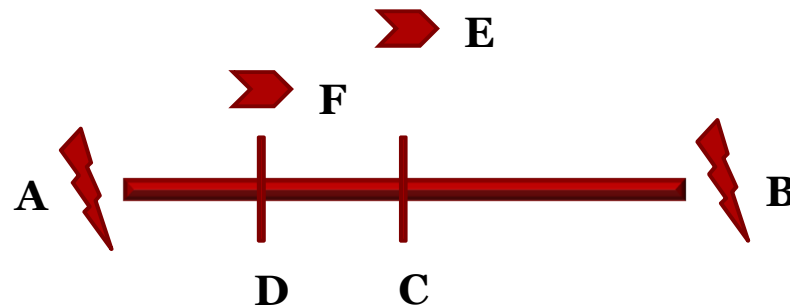
Situation du train dans le référentiel du train

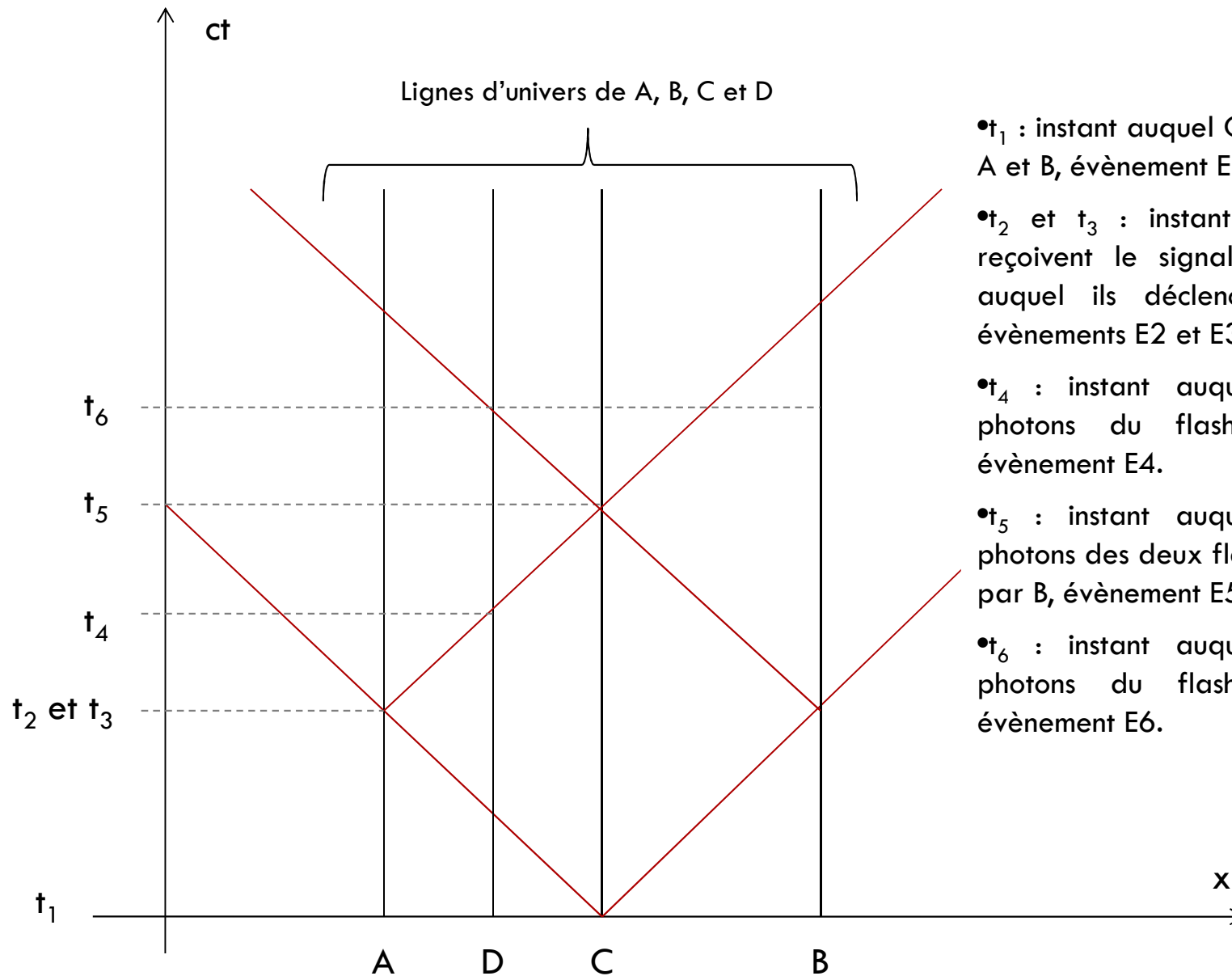


Retour sur la situation des scooters

17

- La situation du “scooter cosmique”. Les questions portent sur :
 - Les instants auxquels C, D, E et F perçoivent les signaux émis par A et B (même instant d'émission dans le référentiel du pont)
 - Les instants auxquels les signaux émis par A et B ont été émis pour C, D, E et F





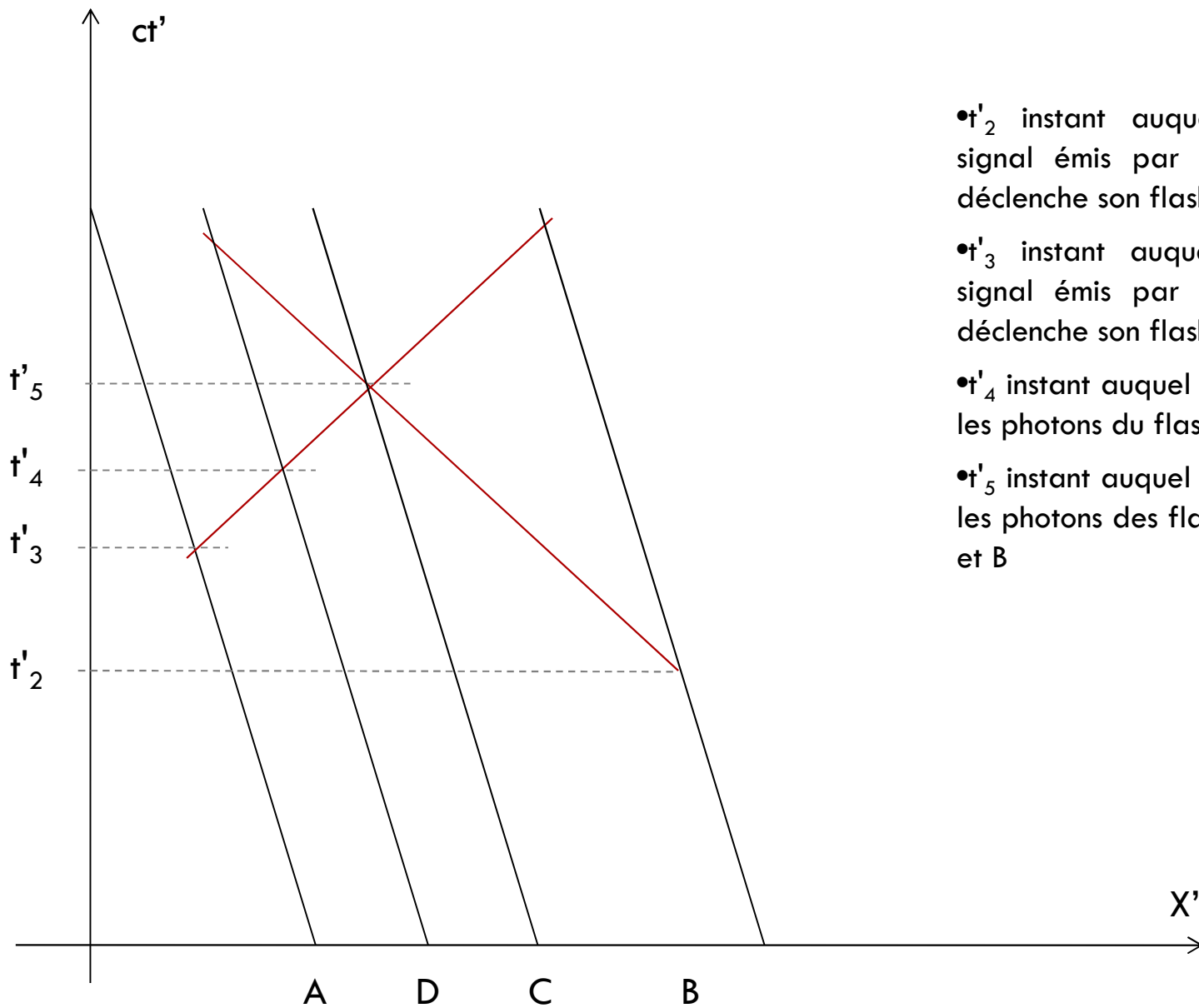
- t_1 : instant auquel C émet un signal à A et B, évènement E1.

- t_2 et t_3 : instant auquel A et B reçoivent le signal émis par C et auquel ils déclenchent leur flash, évènements E2 et E3.

- t_4 : instant auquel D reçoit les photons du flash émis par A, évènement E4.

- t_5 : instant auquel C reçoit les photons des deux flashes émis par A et par B, évènement E5 ?

- t_6 : instant auquel D reçoit les photons du flash émis par B, évènement E6.



- t'_2 instant auquel B reçoit le signal émis par C et auquel il déclenche son flash
- t'_3 instant auquel A reçoit le signal émis par C et auquel il déclenche son flash
- t'_4 instant auquel D et F reçoivent les photons du flash émis par A
- t'_5 instant auquel C et E reçoivent les photons des flashes émis par A et B

Mise en garde...

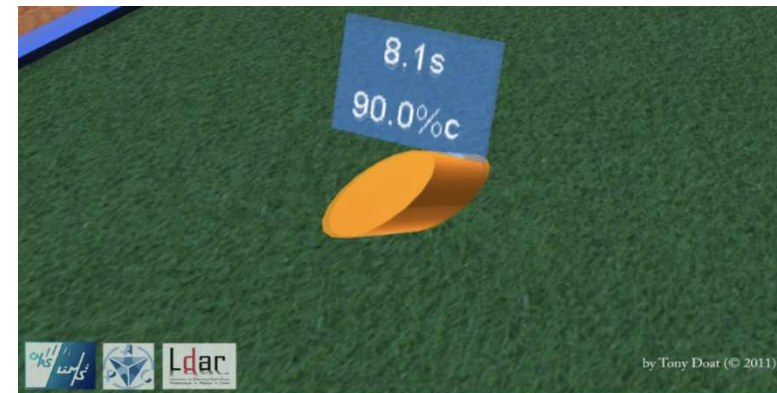
20



Le nouveau monde de M. Tompkins,
Gamov et Stannard, p. 17



by Tony Doat (2011)



Liens possibles : effet Doppler

21

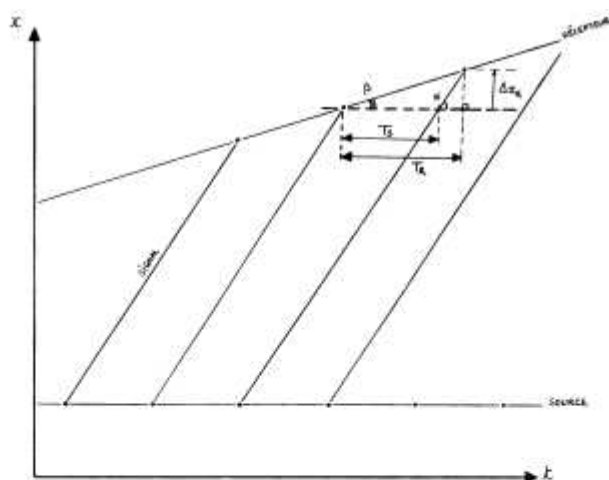


Figure 8 : Graphe horaire du déplacement de signaux émis à intervalles réguliers par une source immobile par rapport au milieu, et reçus par un observateur qui s'en éloigne à vitesse constante u par rapport au milieu : la période de réception T_r est supérieure à la période d'émission T_e . Le déplacement de l'observateur pendant la période T_r , Δx_s , s'exprime de deux façons :

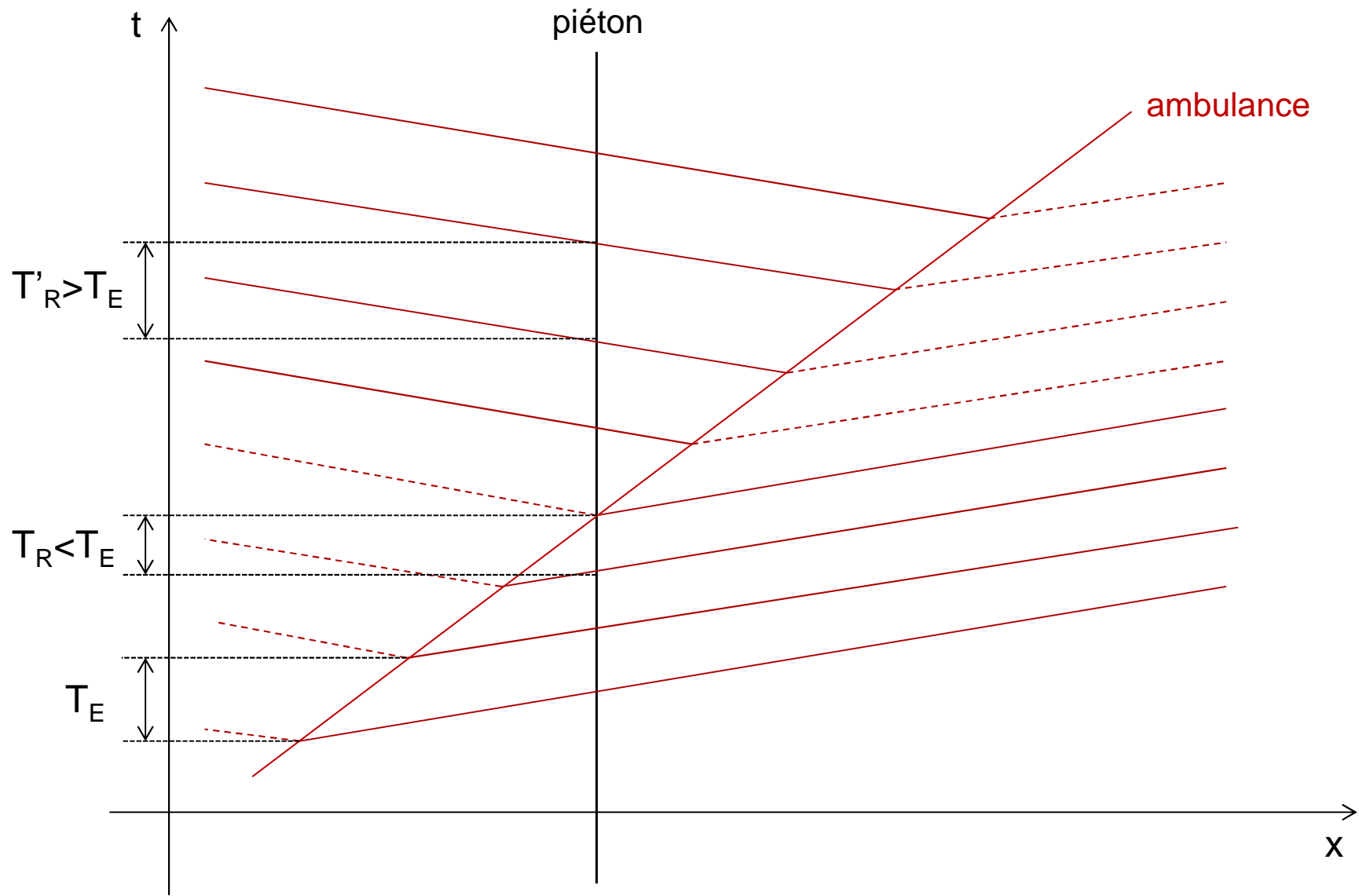
- $\Delta x_s = u T_r = c(T_r - T_e)$;
- soit $(T_r - T_e) / T_e = u/c$.

Vol. 97 - Décembre 2003

Jean-Luc LEROY-BURY et Laurence VIENNOT

□ Fiche d'activité :

« Römer et la vitesse de la lumière », in. *Les Cahiers Clairaut*, hors série n°5, oct. 1994, éd. CLEA



MERCI