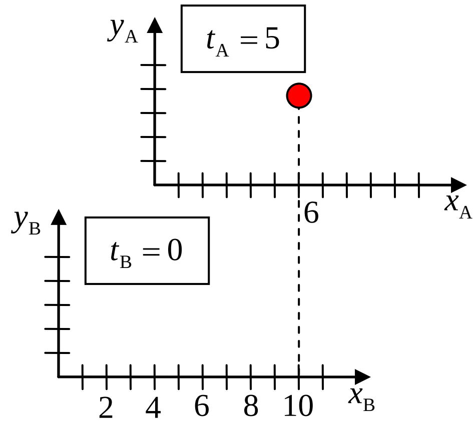
Chapitre 4.1a – La relativité de Galilée

Référentiel

Un **référentiel** est un **point de repère** (**système d'axe**) par rapport au quel on peut prendre une **mesure** de **position** et de **temps**. Il est préférable d'utiliser une graduation commune pour tous les référentiels utilisés dans une situation.



Position d'une balle rouge exprimée dans un référentiel **A** et **B**.

<u>Exemple :</u>

Évaluer la position horizontale d'une balle rouge dans le référentiels **A** et dans le référentiel **B.**

Selon le référentiel **A** :

$$x_A = 6 \quad \text{à} \quad t_A = 5$$

Selon le référentiel **B** :

$$x_B = 10 \quad \text{à} \quad t_B = 0$$

Les deux référentiels ont des valeurs de x et de t différentes, mais ils <u>s'accordent</u> sur le fait qu'ils positionnent le <u>même objet</u> au <u>même instant</u>.

Événement

Un **événement** est une observation d'un phénomène à une **position** x donnée et à un **temps** t donné. La description de l'événement et la valeur de ses mesures **dépendent** du choix du référentiel.

https://www.flickr.com/photos/sleepyjeanie/5738474150/
Un événement correspond à un lieu et un moment.

<u>Exemple :</u>

- Albert est en bas de la tour (x) à 2h a.m. (t). (1 évé.)
- Albert monte la tour de 100 m (Δx) en 15 minutes (Δt). (2 évé.)

La durée

La **durée** est une **variation de temps** entre **deux événements** mesurée à partir d'un même référentiel :

$$T = \Delta t = t_2 - t_1$$

où T : Durée entre les deux événements dans un référentiel commun (s)
t_2 : Temps associé à l'événement 2 par rapport au référentiel (s)
t_1 : Temps associé à l'événement 1 par rapport au référentiel (s)

La longueur

La **longueur** est une **variation de position** entre **deux événements mesurés simultanément** mesurée à partir d'un même référentiel :

$$L = \Delta x = x_2 - x_1 \quad \text{lorsque} \quad \Delta t = 0$$

où L : Longueur entre les deux événements par rapport à un référentiel (m)
x_2 : Position de l'événement 2 par rapport au référentiel (m)
x_1 : Position de l'événement 1 par rapport au référentiel (m)

La distance

La **distance** est une **variation de position** entre **deux événements non simultanés** mesurée à partir d'un même référentiel :

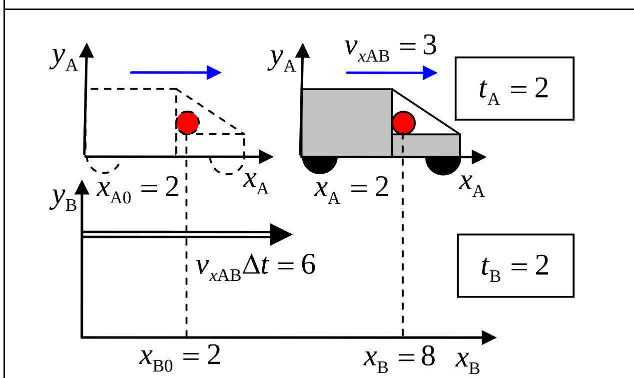
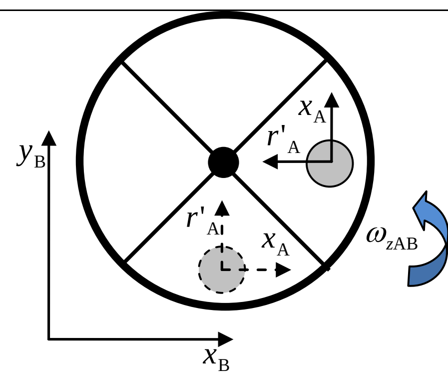
$$D = \Delta x(t) = x_2(t_2) - x_1(t_1) \quad \text{lorsque} \quad \Delta t \neq 0$$

où D : Distance entre les deux événements par rapport à un référentiel (m)
$x_2(t_2)$: Position de l'événement 2 par rapport au référentiel (m)
$x_1(t_1)$: Position de l'événement 1 par rapport au référentiel (m)

Référentiel inertiel et non inertiel

Un **référentiel inertiel** est un référentiel où la **1ière loi de Newton** est **applicable** ($\sum \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{v}$ est constant). Ce référentiel est **immobile** ou se **déplace** à **vitesse constante** par rapport à un autre référentiel inertiel.

Un **référentiel non inertiel** est un **référentiel** où la 1ière loi de Newton est en violation. Ce type de référentiel subit alors une **accélération** par rapport à un autre référentiel inertiel.

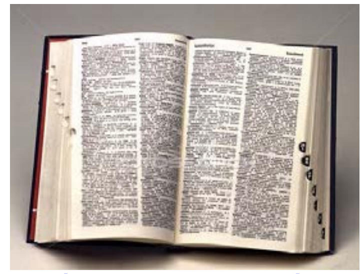
Référentiel inertiel	Référentiel non inertiel
Une voiture (**A**) se déplace à une vitesse constante $v_{xAB} = 3$ par rapport au sol (**B**).	Un tourniquet (**A**) tourne à une vitesse angulaire constante ω_{zAB} par rapport au sol (**B**).
	

Une transformation entre deux référentiels

Une **transformation** entre **deux référentiels** est une **équation mathématique** permettant de faire **correspondre** une **mesure** effectuée dans un **référentiel A** **<u>avec</u>** une **mesure** effectuée dans un **référentiel B**. Cette transformation relie mathématiquement un événement mesuré dans deux contextes différents.

Une transformation s'utilise de la façon suivante :

> *Si l'on mesure un événement dans le référentiel **A** et que l'on connaît la transformation pour passer à un référentiel **B**, on peut calculer la mesure de l'événement dans le référentiel de **B**.*



http://www.euroconte.org/de-de/anthropologiedelacommunicationorale/lalitt%C3%A9ratureorale/dictionnairedelalitt%C3%A9ratureorale.aspx
Une transformation est une « traduction » d'une mesure d'un référentiel à un autre.

La transformation de Galilée

La **transformation** de **Galilée** permet de **convertir** des **mesures** (x, v_x, t) **d'un référentiel inertiel A** vers un **référentiel inertiel B** qui ont les caractéristiques suivantes :

1) Le référentiel **A** se déplace à une vitesse relative $v_{x\text{AB}}$ par rapport au référentiel **B**.
2) L'origine du référentiel **A** coïncide avec l'origine du référentiel **B** à $t_\text{A} = t_\text{B} = 0$.

Transformation de **A** vers **B**	Transformation de **B** vers **A**
• $x_\text{B} = x_\text{A} + v_{x\text{AB}} t_\text{A}$	• $x_\text{A} = x_\text{B} - v_{x\text{AB}} t_\text{B}$
• $v_{x\text{B}} = v_{x\text{A}} + v_{x\text{AB}}$	• $v_{x\text{A}} = v_{x\text{B}} - v_{x\text{AB}}$
• $y_\text{B} = y_\text{A}$	• $y_\text{A} = y_\text{B}$
• $t_\text{B} = t_\text{A}$	• $t_\text{A} = t_\text{B}$

où
x_A : Position horizontale d'un événement selon le référentiel **A** (m).
x_B : Position horizontale d'un événement selon le référentiel **B** (m).
$v_{x\text{A}}$: Vitesse d'un événement selon le référentiel **A** (s).
$v_{x\text{B}}$: Vitesse d'un événement selon le référentiel **B** (s).
y_A : Position verticale d'un événement selon le référentiel **A** (m).
y_B : Position verticale d'un événement selon le référentiel **B** (m).
t_A : Moment (temps) d'un événement selon le référentiel **A** (s).
t_B : Moment (temps) d'un événement selon le référentiel **A** (s).
$v_{x\text{AB}}$: Vitesse du référentiel A par rapport au référentiel **B** (m/s).

P.S. Le **signe** associé de la **vitesse** $v_{x\text{AB}}$ est **<u>très important</u>**, car il précise le **sens** de la **vitesse**.

❖ Référentiel **A** se déplace dans le **sens positif** de **l'axe *x*** par rapport à **B**, alors $v_{x\text{AB}} > 0$.
❖ Référentiel **A** se déplace dans le **sens négatif** de **l'axe *x*** par rapport à **B**, alors $v_{x\text{AB}} < 0$.

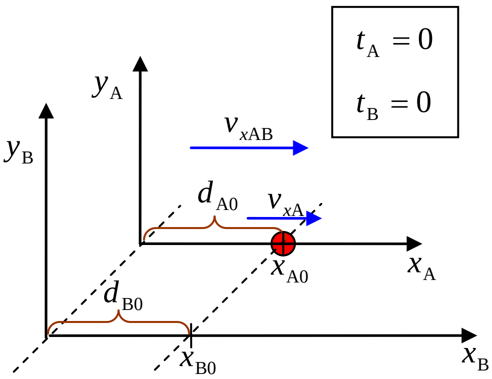
Preuve :

Considérons un objet situé initialement à la coordonnée x_{A0} et se déplaçant à vitesse constante v_{xA} selon un référentiel inertiel **A** étant lui-même en mouvement à vitesse constante v_{xAB} par rapport à un référentiel **B** inertiel. Évaluons la transformation de la position du référentiel **A** vers **B** sachant que les deux référentiels sont identiques à $t_A = t_B = 0$ et qu'il s'est écouler un temps t dans le référentiel **A** et **B** :

À $t = 0$:

Selon **A** : $x_A = x_{A0}$ et $t_A = 0$

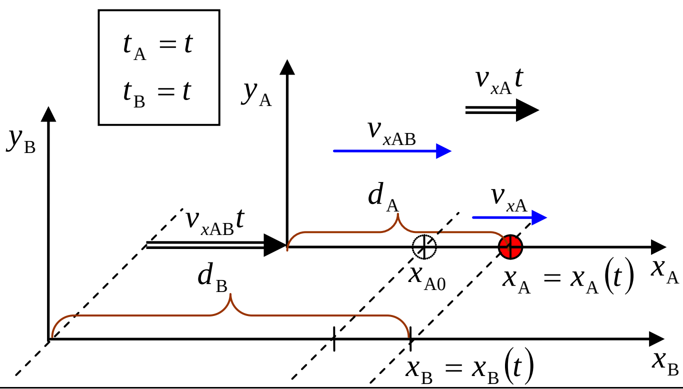
Selon **B** : $x_B = x_{B0}$ et $t_B = 0$



À $t = quelconque$:

Selon **A** : $x_A = x_{A0} + v_{xA} t$ et $t_A = t$

Selon **B** : $x_B = x_B(t)$ et $t_B = t$



Par un simple ajout de translation $v_{xAB} t$ du référentiel **A** par rapport à **B**, nous obtenons la transformation de Galilée de la position :

$$x_B = x_A + v_{xAB} t \quad \blacksquare \ (1)$$

Évaluons la vitesse de l'objet dans le référentiel **B** à partir de la transformation de Galilée de la position :

$$x_B = x_A + v_{xAB} t \quad \Rightarrow \quad x_B = (x_{A0} + v_{xA} t) + v_{xAB} t \qquad (\text{MUA : } x_A = x_{A0} + v_{xA} t,\ a_{xA} = 0)$$

$$\Rightarrow \quad x_B = x_{A0} + (v_{xA} + v_{xAB}) t \qquad (\text{Factoriser } t)$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(x_B) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(x_{A0} + (v_{xA} + v_{xAB}) t\right) \qquad (\text{Dériver par rapport au temps } t)$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\mathrm{d}x_B}{\mathrm{d}t} = (v_{xA} + v_{xAB}) \frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}t} \qquad (v_{xA},\ v_{xAB} \text{ et } x_{A0} \text{ sont des constantes})$$

$$\Rightarrow \quad v_{xB} = v_{xA} + v_{xAB} \quad \blacksquare \ (2) \qquad \left(\frac{\mathrm{d}x_B}{\mathrm{d}t} = v_{xB} \text{ et } \frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}t} = 1\right)$$

Situation A : *Du bowling dans le train.* Durant un voyage, Albert joue une partie de bowling dans un train se déplaçant à 30 m/s (108 km/h) par rapport au sol. À $t = 0$, la boule est située $x_A = 0$ pour Albert et à $x_B = 0$ pour le sol et elle roule à une vitesse de 1,2 m/s par rapport à Albert. On désire évaluer **(a)** la position de la boule par rapport à Albert à 5 secondes et **(b)** la position de la boule par rapport au sol à 5 secondes (avec la transformation de Galilée), **(c)** la vitesse de la boule par rapport au sol et **(d)** la position de la boule par rapport au sol à 5 secondes (avec la résolution du MUA dans le référentiel au sol).

Dans ce problème, nous avons deux référentiels :

Référentiel **A** : Le train.
Référentiel **B** : Le sol.

Utilisons les équations du MUA pour positionner la boule dans le référentiel **A** :

$$x = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad \Rightarrow \quad x_A = x_{A0} + v_{xA0}t_A + \frac{1}{2}a_{xA}t_A{}^2$$ (Appliquer l'équation dans le réf. **A**)

$$\Rightarrow \quad x_A = (0) + (1{,}2)(5) + \frac{1}{2}(0)(5)^2$$ (Remplacer valeurs numériques)

$$\Rightarrow \quad \boxed{x_A = 6 \ \text{m}}$$ **(a)**

Avec la transformation de Galilée, transposons notre mesure effectuée dans le référentiel **A** vers le référentiel **B** :

<u>Avec :</u> $x_A = 6 \ \text{m}$ à $t_A = 5 \ \text{s}$, $v_{xAB} = 30 \ \text{m/s}$

$$x_B = x_A + v_{xAB}t_A \quad \Rightarrow \quad x_B = (6) + (30)(5)$$ (Remplacer x_A , t_A et v_{xAB})

$$\Rightarrow \quad \boxed{x_B = 156 \ \text{m}}$$ **(b)**

Utilisons la transformation de Galilée des vitesses afin de transformer la vitesse de la boule mesurée par Albert (référentiel **A**) vers le référentiel du sol (référentiel **B**) :

$$v_{xB} = v_{xA} + v_{xAB} \quad \Rightarrow \quad v_{xB} = (1{,}2) + (30)$$ (Remplacer valeur num.)

$$\Rightarrow \quad \boxed{v_{xB} = 31{,}2 \ \text{m/s}}$$ **(c)**

À partir de la vitesse de la boule v_{xB} par rapport au référentiel **B**, évaluons la position de la boule par rapport au référentiel **B** :

$$x = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad \Rightarrow \quad x_B = x_{B0} + v_{xB0}t_B + \frac{1}{2}a_{xB}t_B{}^2$$ Appliquer l'équation dans le réf. **B**)

$$\Rightarrow \quad x_B = (0) + (31{,}2)(5) + \frac{1}{2}(0)(5)^2$$ (Remplacer valeurs num.)

$$\Rightarrow \quad \boxed{x_B = 156 \ \text{m}}$$ **(d)**

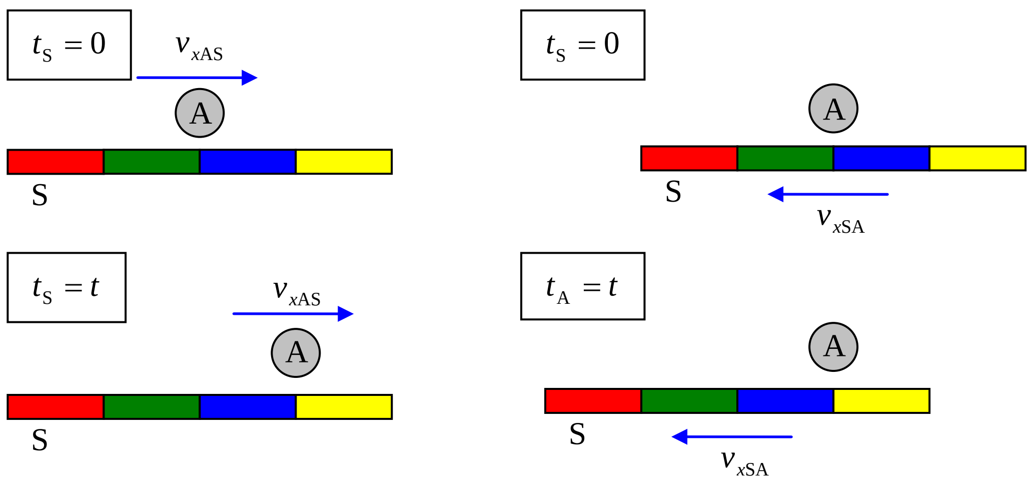
On remarque que la coordonnée x_B calculée en **(b)** par transformation de Galilée est identique la celle calculée en **(d)** par résolution de la cinématique dans le référentiel **B**.

La relativité des vitesses

La vitesse v_{xAS} d'un objet **A** par rapport à un référentiel **S** fait référence à deux référentiels (l'objet lui-même **A** et le référentiel qui observe l'objet en mouvement **S**). Si l'on mesure la vitesse v_{xAA} de l'objet **A** par rapport à son propre référentiel **A**, alors l'objet est toujours immobile ($v_{xAA} = 0$). Du point de vue du référentiel **A**, l'objet **A** est immobile et le référentiel **S** est en mouvement et vis versa. Chaque référentiel affirme que l'autre référentiel est en mouvement tel qu'illustré ci-bas :

<u>Vitesse de la balle par rapport au sol :</u> v_{xAS} : Vitesse de **A** par rapport à **S**

<u>Vitesse du sol par rapport à la balle :</u> v_{xSA} : Vitesse de **S** par rapport à **A**



La relation mathématique existant entre deux vitesses relatives v_{xAS} et v_{xSA} est la suivante :

$$v_{xAS} = -v_{xSA}$$

où v_{xAS} : Vitesse de A par rapport à S (m/s)

v_{xSA} : Vitesse de S par rapport à A (m/s)

L'addition Galiléenne des vitesses relatives

À partir de la transformation des vitesses de Galilée et de la notion de vitesse relative, nous pouvons définir la règle suivante pour additionner des vitesses relatives :

$$v_{xAR} = v_{xAB} + v_{xBR}$$

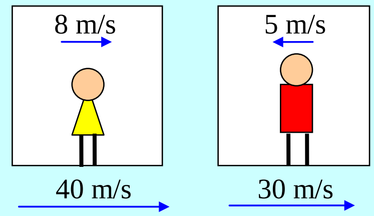
où v_{xAR} : Vitesse selon l'axe x de **A** par rapport à **R** (m/s).

v_{xAB} : Vitesse selon l'axe x de **A** par rapport à **B** (m/s).

v_{xBR} : Vitesse selon l'axe x de **B** par rapport à **R** (m/s).

http://cafresnoyathle.free.fr/actualites-11-12-p4.php
Lancer un javelot en courant permet à celui-ci d'avoir une plus grande vitesse par rapport au sol avant d'être lancé.

Situation B : ***La courte retrouvaille.*** Béatrice ne pouvant plus attendre son Albert, elle décide de prendre le prochain train allant dans la même direction qu'Albert. Le train d'Albert se déplace à 30 m/s (108 km/h) et le train de Béatrice se déplace à 40 m/s (144 km/h). Tout juste avant de croiser son regard, Béatrice court vers Albert à une vitesse de 8 m/s par rapport à son train et Albert court vers Béatrice à une vitesse de 5 m/s par rapport à son train. On désire évaluer la vitesse d'Albert par rapport à Béatrice.



Dans ce problème, nous pouvons utiliser 5 référentiels différents :

Référentiel 1	Béatrice
Référentiel 2	Le train de Béatrice
Référentiel 3	Le sol
Référentiel 4	Le train d'Albert
Référentiel 5	Albert

Dans le problème, nous avons les informations suivantes :

1) Vitesse de Albert par rapport à son train : $v_{x54} = -5 \text{ m/s}$

2) Vitesse du train de Albert par rapport au sol : $v_{x43} = 30 \text{ m/s}$

3) Vitesse du train de Béatrice par rapport au sol : $v_{x23} = 40 \text{ m/s}$

4) Vitesse de Béatrice par rapport à son train : $v_{x12} = 8 \text{ m/s}$

Pour évaluer la vitesse de Albert (5) par rapport à Béatrice (1), il faut évaluer la vitesse relative v_{x51}. Voici une série de transformations nous permettant d'évaluer la vitesse relative v_{x51} :

1) $v_{x53} = v_{x54} + v_{x43}$ 2) $v_{x52} = v_{x53} + v_{x32}$ 3) $v_{x51} = v_{x52} + v_{x21}$

En combinant ces trois transformations, nous obtenons l'expression simplifiée suivante :

$v_{x51} = v_{x54} + v_{x43} + v_{x32} + v_{x21} \Rightarrow v_{x51} = (-5) + (30) + v_{x32} + v_{x21}$ (Remplacer valeurs connues)

$\Rightarrow v_{x51} = 25 + (-v_{x23}) + (-v_{x12})$ (Utiliser $v_{xAS} = -v_{xSA}$)

$\Rightarrow v_{x51} = 25 - (40) - (8)$ (Remplacer autres valeurs)

$\Rightarrow \boxed{v_{x51} = -23 \text{ m/s}}$

Les invariants de Galilée

Un invariant est une mesure dont la valeur numérique est identique pour deux référentiels. Cela signifie que si l'on mesure deux événements dans un référentiel inertiel **A** et que l'on applique la **transformation** de **Galilée** pour transformer les mesures des deux événements vers un autre référentiel **B**, calculer l'expression de l'invariant donnera la même valeur numérique pour le référentiel **A** et **B**.

Voici quelques invariants selon la transformation de Galilée :

Le module de la vitesse relative entre les référentielles **A** et **B**	$\lvert v_{x\mathrm{AB}} \rvert = \lvert v_{x\mathrm{BA}} \rvert$
La durée	$T_{\mathrm{B}} = T_{\mathrm{A}}$
La longueur	$L_{\mathrm{B}} = L_{\mathrm{A}}$
La composante selon l'axe *x* d'une force	$F_{x\mathrm{B}} = F_{x\mathrm{A}}$

Preuve :

- $v_{x\mathrm{AB}} = -v_{x\mathrm{BA}}$ $\Rightarrow$ $\lvert v_{x\mathrm{AB}} \rvert = \lvert -v_{x\mathrm{BA}} \rvert$ (Mettre valeur absolue)

  $\Rightarrow$ $\lvert v_{x\mathrm{AB}} \rvert = \lvert v_{x\mathrm{BA}} \rvert$ ■ (Simplifier)

- $T_{\mathrm{B}} = t_{\mathrm{B2}} - t_{\mathrm{B1}}$ $\Rightarrow$ $T_{\mathrm{B}} = (t_{\mathrm{A2}}) - (t_{\mathrm{A1}})$ (Utiliser $t_{\mathrm{B}} = t_{\mathrm{A}}$)

  $\Rightarrow$ $T_{\mathrm{B}} = T_{\mathrm{A}}$ ■ (Remplacer T_{A})

- $L_{\mathrm{B}} = x_{\mathrm{B2}} - x_{\mathrm{B1}}$ $\Rightarrow$ $L_{\mathrm{B}} = (x_{\mathrm{A2}} + v_{x\mathrm{AB}} t_{\mathrm{A2}}) - (x_{\mathrm{A1}} + v_{x\mathrm{AB}} t_{\mathrm{A1}})$ (Utiliser $x_{\mathrm{B}} = x_{\mathrm{A}} + u_{x\mathrm{AB}} t_{\mathrm{A}}$)

  $\Rightarrow$ $L_{\mathrm{B}} = (x_{\mathrm{A2}} - x_{\mathrm{A1}}) + v_{x\mathrm{AB}} (t_{\mathrm{A2}} - t_{\mathrm{A1}})$ (Factoriser $u_{x\mathrm{AB}}$)

  $\Rightarrow$ $L_{\mathrm{B}} = D_{\mathrm{A}} + v_{x\mathrm{AB}} T_{\mathrm{A}}$ (Remplacer D_{A} et T_{A})

  $\Rightarrow$ $L_{\mathrm{B}} = (L_{\mathrm{A}}) + v_{x\mathrm{AB}}(0)$ ($T_{\mathrm{A}} = T_{\mathrm{B}} = 0$, car longueur)

  $\Rightarrow$ $L_{\mathrm{B}} = L_{\mathrm{A}}$ ■ (Simplifier)

- $F_{x\mathrm{B}} = m a_{x\mathrm{B}}$ $\Rightarrow$ $F_{x\mathrm{B}} = m \dfrac{\mathrm{d} v_{x\mathrm{B}}}{\mathrm{d} t_{\mathrm{B}}}$ (Remplacer $a_{x\mathrm{B}} = \mathrm{d}v_{x\mathrm{B}} / \mathrm{d}t_{\mathrm{B}}$)

  $\Rightarrow$ $F_{x\mathrm{B}} = m \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d} t_{\mathrm{A}}} (v_{x\mathrm{A}} + v_{x\mathrm{AB}})$ (Remplacer $v_{x\mathrm{B}}$ et $t_{\mathrm{B}} = t_{\mathrm{A}}$)

  $\Rightarrow$ $F_{x\mathrm{B}} = m \left(\dfrac{\mathrm{d} v_{x\mathrm{A}}}{\mathrm{d} t_{\mathrm{A}}} + \dfrac{\mathrm{d} v_{x\mathrm{AB}}}{\mathrm{d} t_{\mathrm{A}}} \right)$ (Distribuer la dérivée

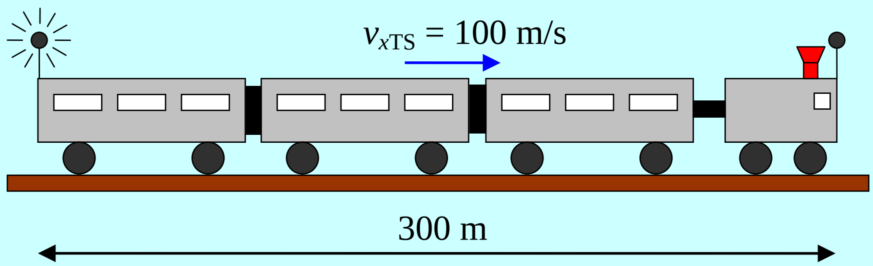
  $\Rightarrow$ $F_{x\mathrm{B}} = m a_{x\mathrm{A}}$ ($v_{x\mathrm{AB}}$ est constant)

  $\Rightarrow$ $F_{x\mathrm{B}} = F_{x\mathrm{A}}$ ■ ($2^{\text{ième}}$ loi de Newton)

La causalité et la transformation de Galilée

La transformation de Galilée permet une propagation de la causalité à des vitesses qui dépendent du choix du référentiel. Selon la transformation de Galilée, les longueurs et les durées sont mesurées avec des valeurs identiques dans tous les référentiels (invariantes sous une transformation de Galilée). Ainsi, la vitesse d'un signal dépend du choix de l'observateur.

Situation C : *Le signal radio*. Un train super rapide (référentiel **T**) de 300 m de longueur se déplaçant à 100 m/s par rapport au sol (référentiel **S**) possède deux antennes radio à ses deux extrémités. L'antenne arrière émet le signal radio à 3×10^{8} m/s (par rapport à l'antenne) et l'antenne avant reçoit le signal. On désire évaluer la vitesse du signal radio par rapport au sol sans utiliser la transformation des vitesses de Galilée.



Évaluons le temps de voyage du signal radio selon le référentiel du train **T** :

$$\Delta x_{\mathrm{T}} = v\Delta t_{\mathrm{T}} \quad\Rightarrow\quad (300) = (3\times10^{8})\Delta t_{\mathrm{T}} \quad\Rightarrow\quad \boxed{\Delta t_{\mathrm{T}} = 1\ \mu\mathrm{s}}$$

Évaluons la position où sera capté le signal radio par rapport au sol **S** à partir de la transformation de Galilée de la position :

$$x_{\mathrm{S}} = x_{\mathrm{T}} + v_{x\mathrm{TS}}t_{\mathrm{T}} \quad\Rightarrow\quad x_{\mathrm{S}} = (300) + (100)(1\times10^{-6}) \quad\Rightarrow\quad \boxed{x_{\mathrm{S}} = 300{,}0001\ \mathrm{m}}$$

Évaluons la vitesse du signal radio par rapport au sol **S**. Il est important de rappeler que le temps de voyage du signal radio est le même dans les deux référentiels ($\Delta t_{\mathrm{S}} = \Delta t_{\mathrm{T}}$) selon la transformée de Galilée du temps :

$$\Delta x_{\mathrm{S}} = v\Delta t_{\mathrm{S}} \quad\Rightarrow\quad (x_{\mathrm{S}}) = v(\Delta t_{\mathrm{T}}) \qquad \text{(Remplacer } \Delta x_{\mathrm{S}} = x_{\mathrm{S}}\text{, } \Delta t_{\mathrm{S}} = \Delta t_{\mathrm{T}}\text{)}$$

$$\Rightarrow\quad (300{,}0001) = v(1\times10^{-6}) \qquad \text{(Remplacer valeurs numériques)}$$

$$\Rightarrow\quad \boxed{v = 300\,000\,100\ \mathrm{m/s}} \qquad \text{(Évaluer la vitesse du signal radio)}$$

- ❖ La vitesse du signal radio par rapport au sol **S** respect la transformation des vitesses de Galilée ($v_{x\mathrm{S}} = v_{x\mathrm{T}} + v_{x\mathrm{TS}}$ tel que $v_{x\mathrm{T}} = 300\,000$ m/s et $v_{x\mathrm{TS}} = 100$ m/s).
- ❖ Nous réaliserons dans le **chapitre 4** que le **raisonnement** précédent basé sur les transformations de Galilée **<u>ne s'applique pas</u>** aux objets se déplaçant à **grande vitesse** comme la lumière. Ainsi, la transformation de Galilée n'est valide qu'à basse vitesse (approximation non-relativiste).

La relativité de Galilée

La relativité de Galilée peut être résumée par les affirmations suivantes :

Vitesse relative $v_{x\text{AB}}$ du référentiel **A** par rapport au référentiel **B**	
Transformation de la position/déplacement selon l'axe *x*	$x_\text{B} = x_\text{A} + v_{x\text{AB}} t_\text{A}$ $\Delta x_\text{B} = \Delta x_\text{A} + v_{x\text{AB}} \Delta t_\text{A}$
Transformation de la position/déplacement selon l'axe *y*	$y_\text{B} = y_\text{A}$ $\Delta y_\text{B} = \Delta y_\text{A}$
Transformation du temps/durée	$t_\text{B} = t_\text{A}$ $\Delta t_\text{B} = \Delta t_\text{A}$
Transformation de la vitesse selon l'axe *x*	$v_{x\text{B}} = v_{x\text{A}} + v_{x\text{AB}}$
Transformation de la vitesse selon l'axe *y*	$v_{y\text{B}} = v_{y\text{A}}$
Les invariants entre le référentiel **A** et **B**	
Le module de la vitesse relative entre les référentielles **A** et **B**	$\lvert v_{x\text{AB}} \rvert = \lvert v_{x\text{BA}} \rvert$
La longueur	$L_\text{B} = L_\text{A}$
La composante selon l'axe *x* d'une force	$F_{x\text{B}} = F_{x\text{A}}$
La composante selon l'axe *y* d'une force	$F_{y\text{B}} = F_{y\text{A}}$