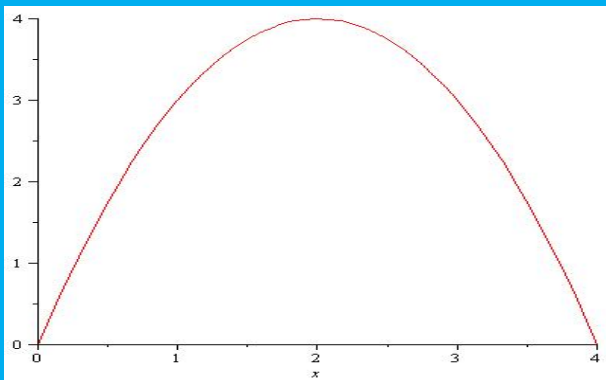


TRAJECTOIRE



REPRÉSENTATION MATHÉMATIQUE



$$y = 4 - (x - 2)^2; \quad (1)$$

DESCRIPTION COMPLÈTE

DESCRIPTION COMPLÈTE



VITESSE

VITESSE



VITESSE



$$Vitesse\ moyenne = \frac{deplacement}{duree} \quad (2)$$

VITESSE



$$\text{Vitesse moyenne} = \frac{\text{deplacement}}{\text{duree}} \quad (2)$$

$$\text{Vitesse instantanee} = \frac{\text{petit deplacement}}{\text{petite duree}} = \left. \frac{dx}{dt} \right\} \quad (3)$$

VITESSE

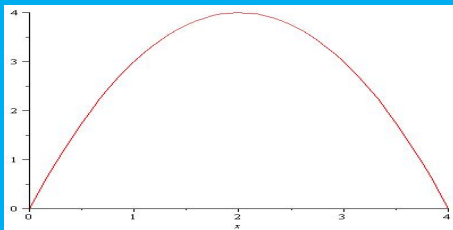


$$\text{Vitesse moyenne} = \frac{\text{deplacement}}{\text{duree}} \quad (2)$$

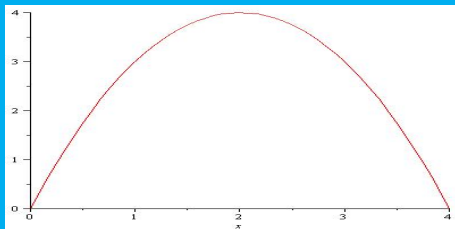
$$\text{Vitesse instantanee} = \frac{\text{petit deplacement}}{\text{petite duree}} = \left. \frac{dx}{dt} \right\} \quad (3)$$

LA VITESSE EST LA DÉRIVÉE DE LA POSITION !!

REPRÉSENTATION TEMPORELLE

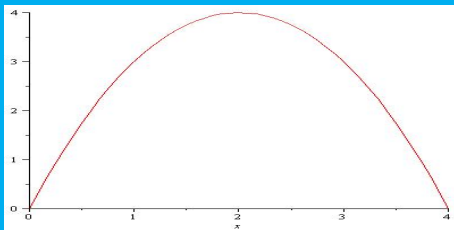


REPRÉSENTATION TEMPORELLE



$$\begin{aligned}x(t) &= 2t \\y(t) &= 4 - 4(t - 1)^2\end{aligned}\tag{4}$$

REPRÉSENTATION TEMPORELLE

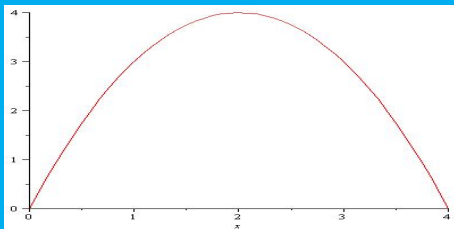


$$\begin{aligned}x(t) &= 2t \\y(t) &= 4 - 4(t - 1)^2\end{aligned}\quad (4)$$

Vitesses dans les deux directions :

$$\begin{aligned}v_x(t) &= \frac{x(t + dt) - x(t)}{dt} = 2 \\v_y(t) &= \frac{y(t + dt) - y(t)}{dt} = 8(t - 1)\end{aligned}\quad (5)$$

REPRÉSENTATION TEMPORELLE



$$\begin{aligned}x(t) &= 2t \\y(t) &= 4 - 4(t - 1)^2\end{aligned}\quad (4)$$

Vitesses dans les deux directions :

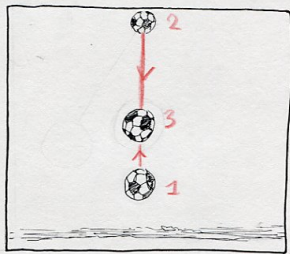
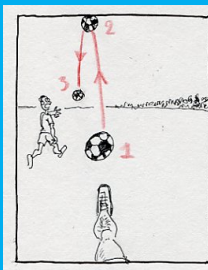
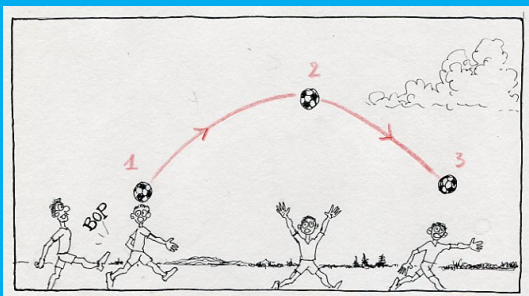
$$\begin{aligned}v_x(t) &= \frac{x(t + dt) - x(t)}{dt} = 2 \\v_y(t) &= \frac{y(t + dt) - y(t)}{dt} = 8(t - 1)\end{aligned}\quad (5)$$

ON PEUT DÉFINIR LE VECTEUR VITESSE (v_x, v_y, v_z)

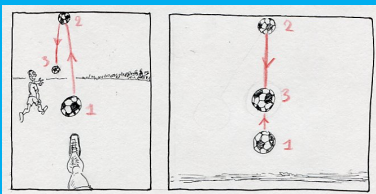
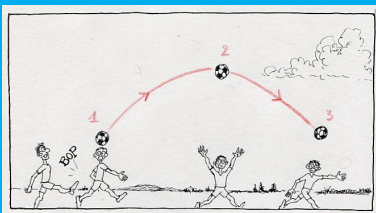
TRAJECTOIRE SANS AMBIGUITÉ ?



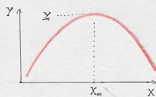
POUR LES AUTRES OBSERVATEURS



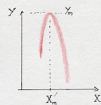
UNE TRAJECTOIRE POUR CHAQUE OBSERVATEUR



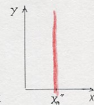
Trajectoires :



$$Y = X_m - (X - X_m)^2 \cdot A$$



$$Y = X_m - (X - X_m)^2 \cdot B$$



$$X = X_m''$$

TRAJECTOIRE LIÉE À UN OBSERVATEUR

VITESSE LIÉE À UN OBSERVATEUR

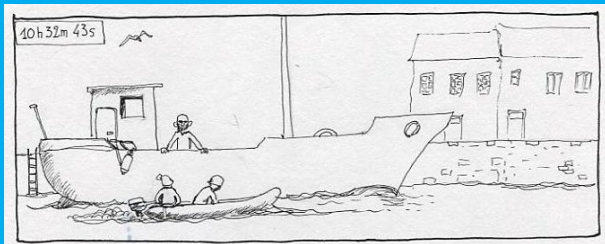
TRAJECTOIRE LIÉE À UN OBSERVATEUR

VITESSE LIÉE À UN OBSERVATEUR

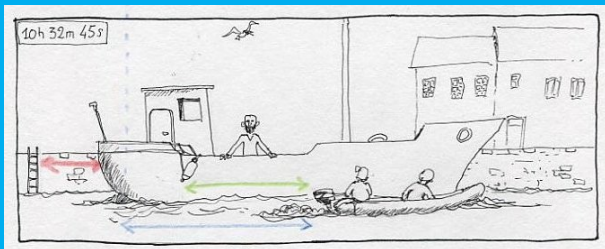
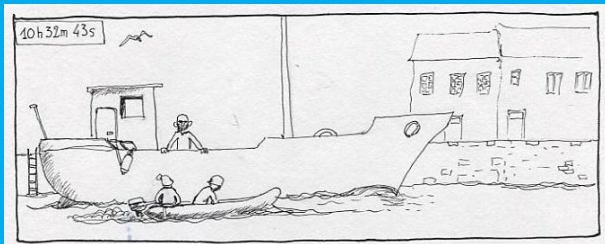
$$V_x(\text{ballon/observ.}) = \frac{\text{deplacement direction } x(\text{ballon/observ.})}{\text{duree } dt} \quad (6)$$

RETROUVER UNE UNITÉ MATHÉMATIQUE DANS LES
DESCRIPTIONS D'UN MÊME ÉVÈNEMENT :
LOI D'ADDITION DES VITESSES

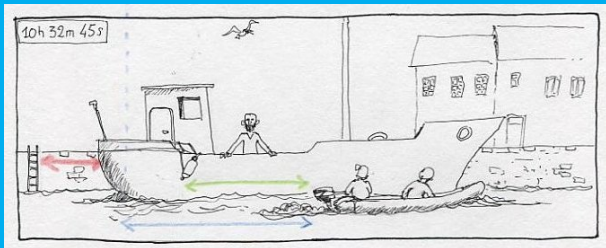
RETROUVER UNE UNITÉ MATHÉMATIQUE DANS LES
DESCRIPTIONS D'UN MÊME ÉVÈNEMENT :
LOI D'ADDITION DES VITESSES



RETROUVER UNE UNITÉ MATHÉMATIQUE DANS LES
DESCRIPTIONS D'UN MÊME ÉVÈNEMENT :
LOI D'ADDITION DES VITESSES



RETROUVER UNE UNITÉ MATHÉMATIQUE DANS LES
DESCRIPTIONS D'UN MÊME ÉVÈNEMENT :
LOI D'ADDITION DES VITESSES



$$\begin{aligned} \vec{v}(\text{chalutier/port}) &= \frac{2\text{m}}{2\text{s}} = 1\text{m/s} \\ \vec{v}(\text{hors bord/chalutier}) &= \frac{4\text{m}}{2\text{s}} = 2\text{m/s} \\ \vec{v}(\text{hors bord/port}) &= \frac{4\text{m} + 2\text{m}}{2\text{s}} = 3\text{m/s} \end{aligned}$$

LOI D'ADDITION DES VITESSES EN PHYSIQUE CLASSIQUE (GALILÉE)

$$v_x(\text{objet}/\text{obs } B) = v_x(\text{objet}/\text{obs } A) + v_x(\text{obs } A/\text{obs } B) \quad (7)$$

LOI D'ADDITION DES VITESSES EN PHYSIQUE CLASSIQUE (GALILÉE)

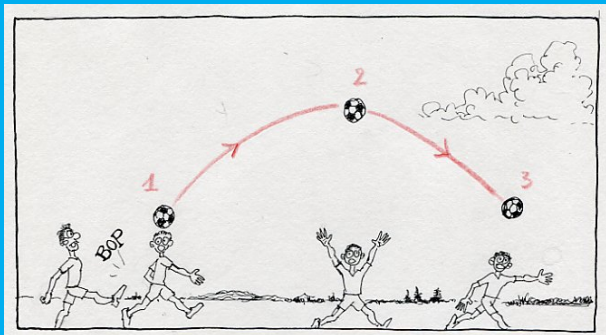
$$v_x(\text{objet}/\text{obs } B) = v_x(\text{objet}/\text{obs } A) + v_x(\text{obs } A/\text{obs } B) \quad (7)$$

$$\vec{v}(\text{objet}/\text{obs } B) = \vec{v}(\text{objet}/\text{obs } A) + \vec{v}(\text{obs } A/\text{obs } B) \quad (8)$$

LOI D'ADDITION DES VITESSES EN PHYSIQUE CLASSIQUE (GALILÉE)

$$v_x(\text{objet}/\text{obs B}) = v_x(\text{objet}/\text{obs A}) + v_x(\text{obs A}/\text{obs B}) \quad (7)$$

$$\vec{v}(\text{objet}/\text{obs B}) = \vec{v}(\text{objet}/\text{obs A}) + \vec{v}(\text{obs A}/\text{obs B}) \quad (8)$$



EST-CE QUE CE QU'ON VOIT SE PRODUIT AU MOMENT OÙ ON
LE VOIT ?

EST-CE QUE CE QU'ON VOIT SE PRODUIT AU MOMENT OÙ ON
LE VOIT ?



EST-CE QUE CE QU'ON VOIT SE PRODUIT AU MOMENT OÙ ON
LE VOIT ?



VITESSE DU SON= 340M/S

EST-CE QUE CE QU'ON VOIT SE PRODUIT AU MOMENT OÙ ON
LE VOIT ?

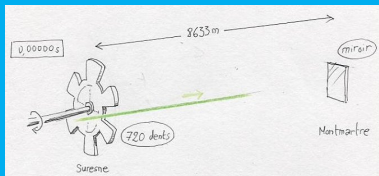


VITESSE DU SON= 340M/S

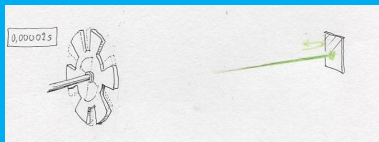
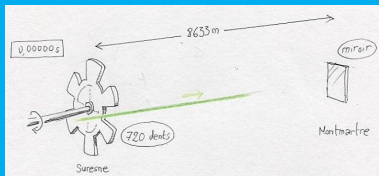
VITESSE DE LA LUMIÈRE= 300000000M/S

COMMENT ON MESURE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE ?

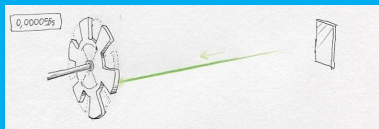
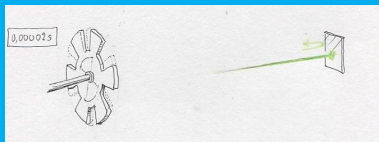
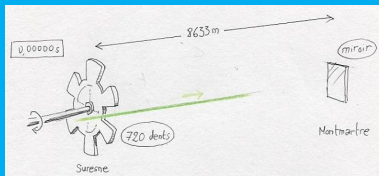
COMMENT ON MESURE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE ?



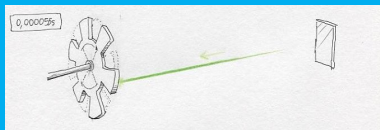
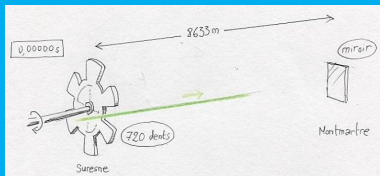
COMMENT ON MESURE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE ?



COMMENT ON MESURE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE ?



COMMENT ON MESURE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE ?

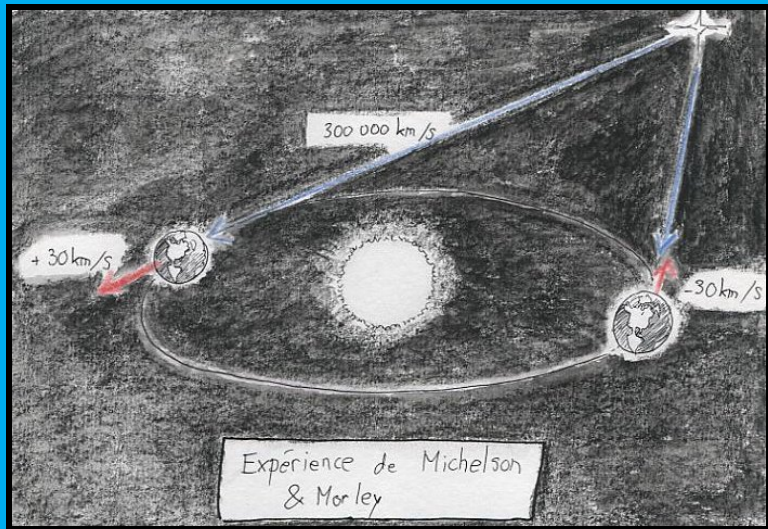


EXPÉRIENCE DE FIZEAU

$$\text{VITESSE DE LA LUMIÈRE} = \frac{8633\text{M}}{0,00005476\text{s}} \approx 315300000\text{M/S}$$

ADDITION DES VITESSES AVEC LA LUMIÈRE

ADDITION DES VITESSES AVEC LA LUMIÈRE



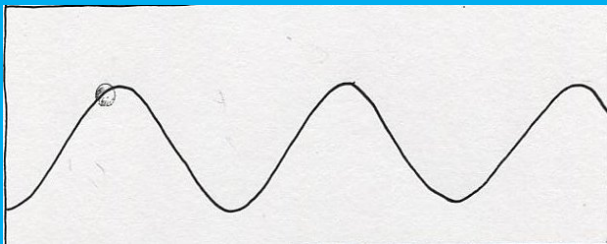
MESURE PLUS PRÉCISE DE LA VITESSE

MESURE PLUS PRÉCISE DE LA VITESSE

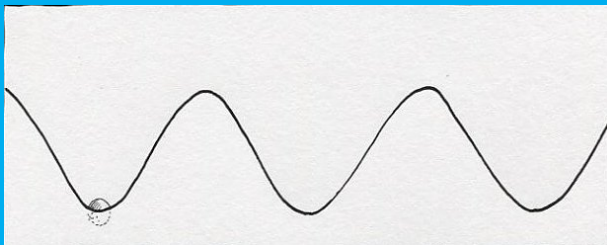
UTILISER LA NATURE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE

QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?

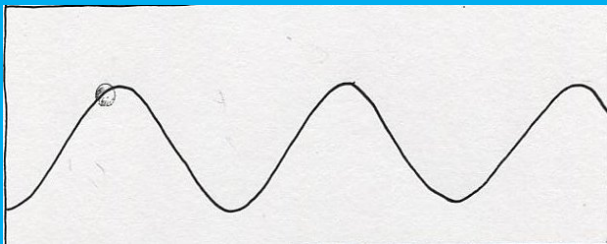
QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?



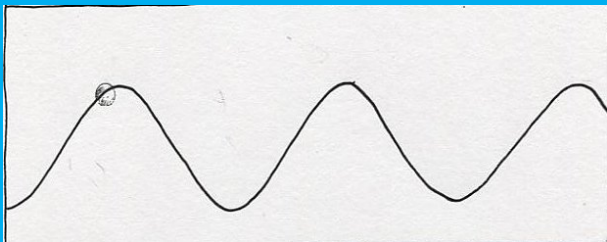
QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?



QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?



QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?



On revient à la situation de départ, le temps T qui s'est écoulé depuis lors s'appelle **période**.

QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?

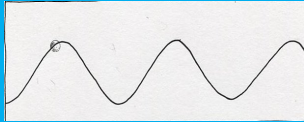


QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?

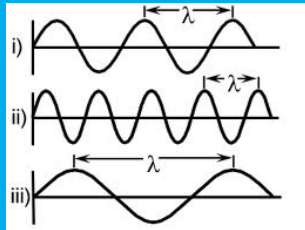


La distance entre deux maxima s'appelle **longueur d'onde**

QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?



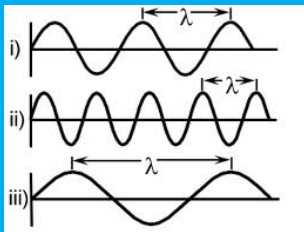
La distance entre deux maxima s'appelle **longueur d'onde**



QU'EST-CE QU'UNE ONDE ?



La distance entre deux maxima s'appelle **longueur d'onde**



l'onde s'est propagée d'une longueur λ pendant un temps T . Sa vitesse, on dit « célérité », vaut donc

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

(9)

LES ONDES INTERFÈRENT

LES ONDES INTERFÈRENT

Eau :



LES ONDES INTERFÈRENT

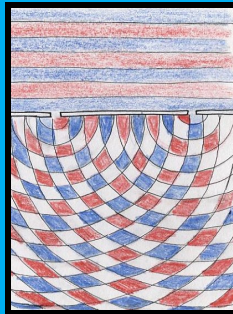
Eau :



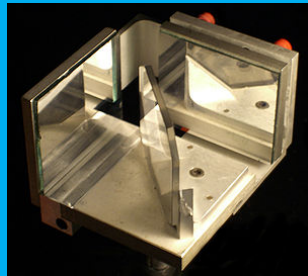
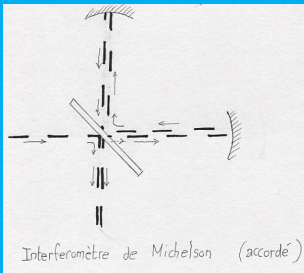
Lumière :



LES ONDES INTERFÈRENT

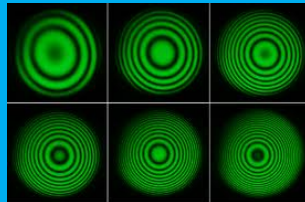
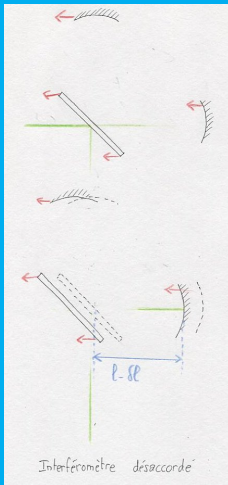


INTERFÉROMÈTRE

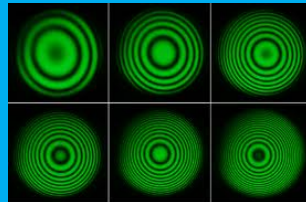
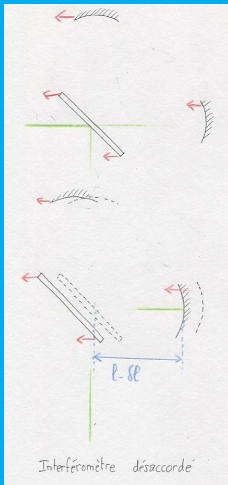


INTERFÉROMÈTRE QUI SE DÉPLACE

INTERFÉROMÈTRE QUI SE DÉPLACE

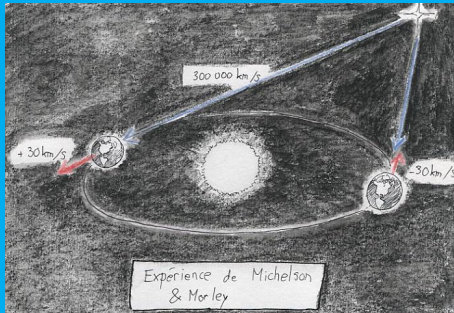


INTERFÉROMÈTRE QUI SE DÉPLACE

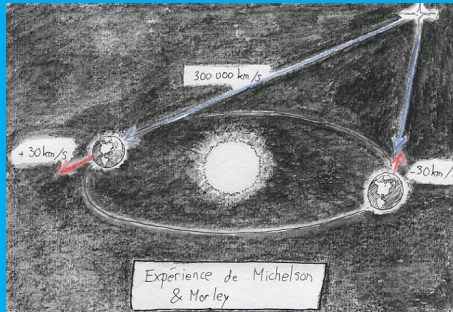


LE DÉPLACEMENT DE L'INTERFÉROMÈTRE DANS UNE DIRECTION CHANGE LA LONGUEUR APPARENTE D'UN « BRAS » ET CHANGE LA FIGURE D'INTERFÉRENCE.

RÉSULTAT EXPÉRIENCE DE MICHELSON ET MORLEY

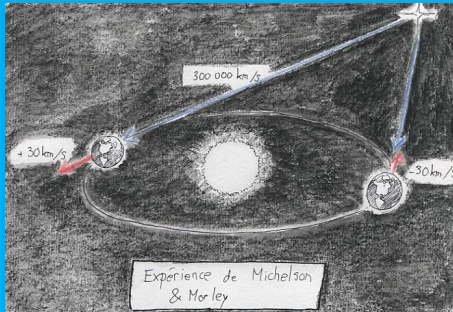


RÉSULTAT EXPÉRIENCE DE MICHELSON ET MORLEY



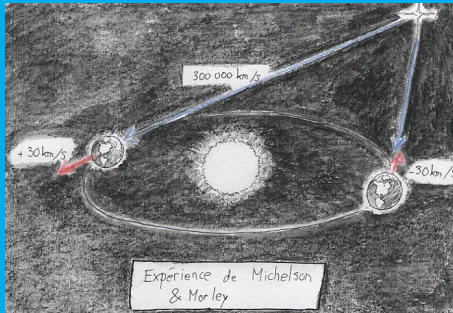
Célérité de la lumière lorsque la Terre va vers l'étoile = célérité de la lumière lorsque la Terre s'éloigne de l'étoile = c
 $\simeq 300\,000\,000\text{ m/s}$

RÉSULTAT EXPÉRIENCE DE MICHELSON ET MORLEY



Célérité de la lumière lorsque la Terre va vers l'étoile = célérité de la lumière lorsque la Terre s'éloigne de l'étoile = c
 $\simeq 300\,000\,000 \text{ m/s} \Rightarrow$ la loi classique d'addition des vitesses est fautive ...

RÉSULTAT EXPÉRIENCE DE MICHELSON ET MORLEY



Célérité de la lumière lorsque la Terre va vers l'étoile = célérité de la lumière lorsque la Terre s'éloigne de l'étoile = c
 $\simeq 300000000\text{m/s} \Rightarrow$ la loi classique d'addition des vitesses est fautive ... pour les grandes vitesses (ou célérités).

TRANSFORMATION DE LORENTZ

TRANSFORMATION DE LORENTZ

On voudrait une formule mathématique qui donne la loi classique d'addition pour les faibles vitesses, et l'invariance de la célérité de la lumière.

TRANSFORMATION DE LORENTZ

On voudrait une formule mathématique qui donne la loi classique d'addition pour les faibles vitesses, et l'invariance de la célérité de la lumière.

$$v(A/O1) = \frac{v(A/O1) + v(O1/O2)}{1 + \frac{v(A/O1)v(O1/O2)}{c^2}} \quad (10)$$

QU'EST CE QUI EST FAUX DANS LE RAISONNEMENT CLASSIQUE ?

QU'EST CE QUI EST FAUX DANS LE RAISONNEMENT CLASSIQUE ?

La simultanéité entre deux évènements dépend de l'observateur !

QU'EST CE QUI EST FAUX DANS LE RAISONNEMENT CLASSIQUE ?

La simultanéité entre deux évènements dépend de l'observateur !



QU'EST CE QUI EST FAUX DANS LE RAISONNEMENT CLASSIQUE ?

La simultanéité entre deux évènements dépend de l'observateur !



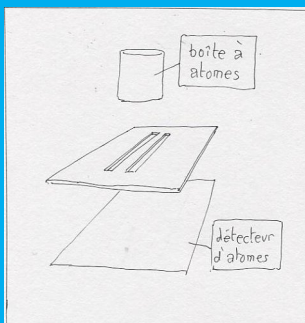
DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

Quelle est la trajectoire d'un atome libre ? Une expérience de Fentes d'Young avec des atomes permet de répondre...

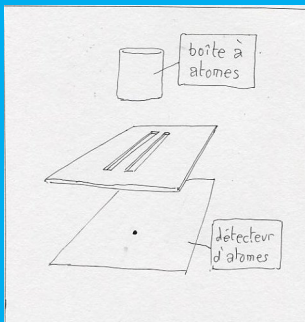
DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

Quelle est la trajectoire d'un atome libre ? Une expérience de Fentes d'Young avec des atomes permet de répondre...



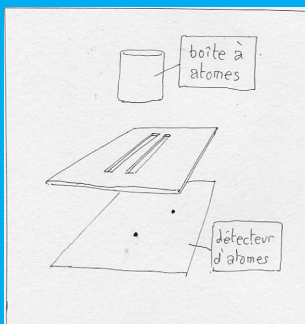
DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

Quelle est la trajectoire d'un atome libre ? Une expérience de Fentes d'Young avec des atomes permet de répondre...



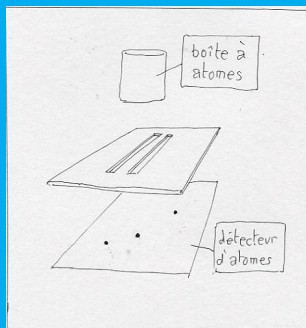
DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

Quelle est la trajectoire d'un atome libre ? Une expérience de Fentes d'Young avec des atomes permet de répondre...



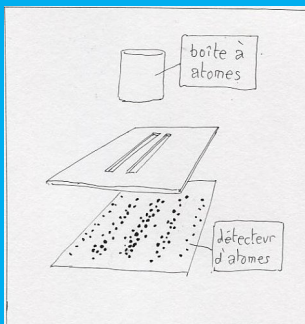
DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

Quelle est la trajectoire d'un atome libre ? Une expérience de Fentes d'Young avec des atomes permet de répondre...



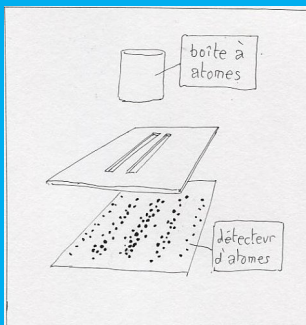
DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

Quelle est la trajectoire d'un atome libre ? Une expérience de Fentes d'Young avec des atomes permet de répondre...



DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

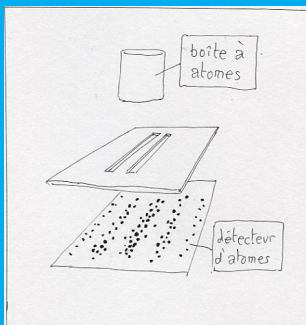
Quelle est la trajectoire d'un atome libre ? Une expérience de Fentes d'Young avec des atomes permet de répondre...



Les atomes sont détectés un par un, ce qui révèle leur nature de « corpuscules », ou « grains de matière ».

DE L'AUTRE CÔTÉ : VERS L'INFINIMENT PETIT

Quelle est la trajectoire d'un atome libre ? Une expérience de Fentes d'Young avec des atomes permet de répondre...



Les atomes sont détectés un par un, ce qui révèle leur nature de « corpuscules », ou « grains de matière ».

En revanche, ils sont détectés seulement dans des régions particulières qui forment des franges d'interférence, comme si c'était une onde qui déterminait leur point d'impact.

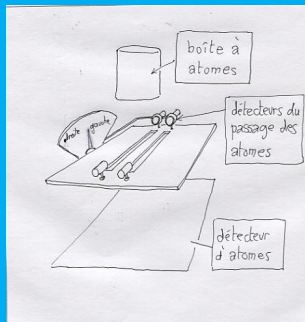
ET SI ON RAJOUTE UN « OBSERVATEUR »

ET SI ON RAJOUTE UN « OBSERVATEUR »

Un détecteur permet de savoir par quel trou l'atome est passé...

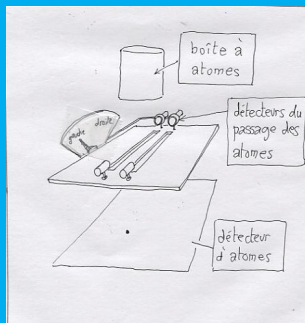
ET SI ON RAJOUTE UN « OBSERVATEUR »

Un détecteur permet de savoir par quel trou l'atome est passé...



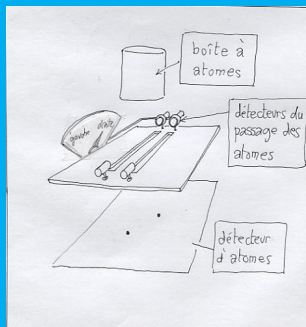
ET SI ON RAJOUTE UN « OBSERVATEUR »

un atome passe à gauche :



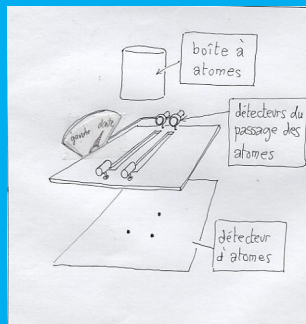
ET SI ON RAJOUTE UN « OBSERVATEUR »

... le suivant à droite :



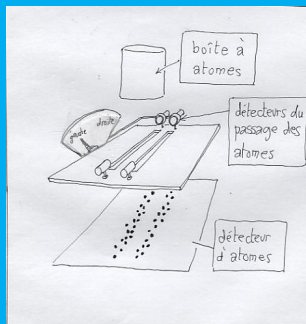
ET SI ON RAJOUTE UN « OBSERVATEUR »

etc...

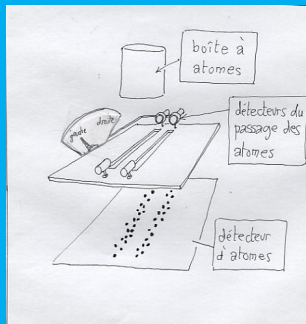


ET SI ON RAJOUTE UN « OBSERVATEUR »

etc...



ET SI ON RAJOUTE UN « OBSERVATEUR »



Cette fois les atomes se comportent comme des corpuscules classiques, leur caractère ondulatoire a été annulé par la présence du détecteur.

MODÈLE MATHÉMATIQUE ?

MODÈLE MATHÉMATIQUE ?

Extraordinairement, on peut encore décrire cette situation mathématiquement :

MODÈLE MATHÉMATIQUE ?

Extraordinairement, on peut encore décrire cette situation mathématiquement :

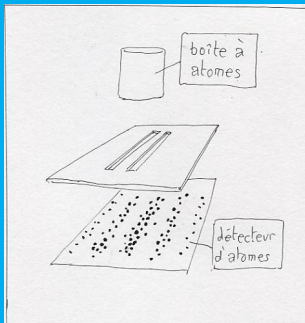
une fonction $\psi(x)$ appelée fonction d'onde, qui se comporte comme une onde

MODÈLE MATHÉMATIQUE ?

Extraordinairement, on peut encore décrire cette situation mathématiquement :

une fonction $\psi(x)$ appelée fonction d'onde, qui se comporte comme une onde

elle décrit la probabilité de détection d'un atome : $p(x) = |\psi(x)|^2$,
ce qui explique la figure



La densité de probabilité se comporte comme une onde : elle