MÉCANIQUE

chapitre 5

Les référentiels

La description d'un mouvement est fortement dépendante de la situation de l'observateur. Un exemple historique est celui du mouvement des planètes. Ainsi Mars se déplace selon une orbite quasi-circulaire autour du Soleil ; un observateur sur le Soleil la verrait donc décrire un cercle autour de lui. En revanche, pour un observateur sur la Terre, qui est elle-même en rotation autour du Soleil, le mouvement de Mars présente des boucles qui donnent l'impression d'un retour en arrière. Cet exemple montre l'importance du *référentiel* d'observation du mouvement.

Les choses sont encore compliquées si on travaille aux grandes vitesses, ou si on désire une précision très importante (dans les problèmes de repérage satellitaire par exemple). Il faut alors tenir compte du fait que le temps dépend lui-même de la position de l'observateur ; on est alors dans le cadre de la théorie de la relativité restreinte.

Plan du chapitre.

1 Référentiels en mécanique classique.

1.1 Définition d'un référentiel.

Un référentiel est l'association :

- d'un solide indéformable, sur lequel on peut définir un repère de l'espace, constitué d'une origine et de trois vecteurs indépendants $(\mathrm{O}, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$,
- et d'un repère du temps, c'est-à-dire une horloge.

Dans un référentiel donné, on peut définir la position d'un point M à la date t. Le point M est donc repéré par trois coordonnées spatiales (x, y, z) et une coordonnée temporelle t.

1.2 Hypothèses de la mécanique classique.

Considérons deux observateurs dans deux référentiels différents :

$$(\mathrm{R}) \begin{cases} (\mathrm{O}, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z) \\ t \end{cases} \qquad (\mathrm{R}') \begin{cases} (\mathrm{O}', \vec{u'}_x, \vec{u'}_y, \vec{u'}_z) \\ t' \end{cases} \tag{1}$$

La première hypothèse de la mécanique classique est que les deux observateurs voient un même événement à la même date t. Ceci implique que la transmission de l'information de l'événément à l'observateur est instantanée. Dans cette première hypothèse, le temps est *absolu*, c'est-à-dire indépendant des paramètres d'espace : $t = t'$.

En réalité, la transmission de l'information est limitée par la vitesse de la lumière. Sur des grandes distances, cette hypothèse est manifestement fausse. Par exemple, la lumière solaire parvient à la Terre en 8 minutes, à l'étoile la plus proche en environ 3 ans, et à la Galaxie d'Andromède en quelques 2 millions d'années. Trois observateurs positionnés dans ces trois systèmes ne voient donc pas les éruptions solaires à la même date.

La seconde hypothèse consiste à considérer que les deux observateurs voient le même événement au même point de l'espace.

En réalité, ceci est faux si les référentiels liés aux deux observateurs sont en mouvement l'un par rapport à l'autre.

Tant que les distances et les vitesses mises en jeu dans le problème sont petites, ces deux hypothèses sont totalement valables. Ainsi, des événements se produisant sur Terre, voire dans le système solaire, et ayant lieu à des vitesses très inférieures à celle de la lumière, peuvent être traités par la mécanique classique. Les coordonnées d'espace et de temps sont alors indépendantes.

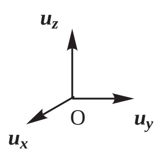
En revanche, dès que les distances mises en jeu sont grandes (phénomènes à l'échelle galactique ou extra-galactique), que les vitesses des systèmes sont proches de celle de la lumière (accélérateurs de particules), ou que la précision requise est très grande (repérage par satellite comme le GPS), on doit impérativement raisonner dans le cadre de la théorie de la relativité restreinte. Les coordonnées spatiales et temporelle sont alors interdépendantes.

2 Changement de référentiel.

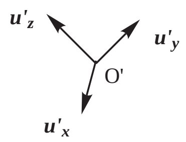
2.1 Position du problème.

Considérons deux observateurs.

Le premier est lié à un référentiel (R) supposé *fixe*.



Le second est lié à un référentiel (R′) *mobile* par rapport à (R).



Le premier observateur voit le référentiel (R′) se déplacer. Pour lui :

- O est un point fixe,
- $\vec{u}_x$, $\vec{u}_y$ et $\vec{u}_z$ sont des vecteurs constants,
- O′ est un point mobile,
- $\vec{u'}_x$, $\vec{u'}_y$ et $\vec{u'}_z$ sont des vecteurs variables.

Le second observateur est immobile dans le référentiel (R′). Pour lui :

- O′ est un point fixe,
- $\vec{u'}_x$, $\vec{u'}_y$ et $\vec{u'}_z$ sont des vecteurs constants.

Le premier observateur, lié au référentiel fixe (R), observe un **mouvement** dit **absolu**.

Le second observateur, lié au référentiel mobile (R′), observe un **mouvement** dit **relatif**.

L'exemple typique est celui de la vache regardant passer un train. Celle-ci joue le rôle du premier observateur, associé au référentiel fixe lié à la Terre. Un-e passager-ère dans le train joue le rôle du second observateur, associé-e au référentiel mobile lié au train. Ces deux observateurs observent un même événement. Le problème est de relier les mouvements observés par les deux observateurs, en restant dans le cadre de la mécanique classique (l'événement a lieu au même point de l'espace et à la même date pour les deux observateurs).

2.2 Composition des vitesses.

Soit un point M mobile. Les deux observateurs analysent son mouvement.

2.2.1 Point de vue du second observateur : mouvement relatif.

Le deuxième observateur mesure la position de M par rapport au référentiel mobile (R′). Pour lui, la position de M s'écrit :

$$\overrightarrow{\mathrm{O'M}} = x'\,\vec{u'}_x + y'\,\vec{u'}_y + z'\,\vec{u'}_z \tag{2}$$

Les vecteurs $\vec{u'}_x$, $\vec{u'}_y$ et $\vec{u'}_z$ étant des vecteurs fixes pour le second observateur, il mesure une vitesse :

$$\vec{v}_{\mathrm{M}\,(\mathrm{R'})} = \vec{v}_{r\,\mathrm{M}} = \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{O'M}}}{\mathrm{d}t}\right)_{(\mathrm{R'})} = \dot{x}'\,\vec{u'}_x + \dot{y}'\,\vec{u'}_y + \dot{z}'\,\vec{u'}_z \tag{3}$$

Cette vitesse est mesurée dans un référentiel mobile ; c'est la **vitesse relative** du point M.

2.2.2 Point de vue du premier observateur : mouvement absolu.

Le premier observateur, lui, mesure tout par rapport au référentiel fixe (R). Il a deux possibilités : soit il utilise le repère lié à (R), soit il utilise le repère lié à (R′) en tenant compte du mouvement de celui-ci par rapport à (R).

Dans le cas où il utilise le repère lié à (R) fixe, la position de M est :

$$\overrightarrow{\mathrm{OM}} = x\,\vec{u}_x + y\,\vec{u}_y + z\,\vec{u}_z \tag{4}$$

La vitesse qu'il mesure par rapport au référentiel (R) fixe est la **vitesse absolue** de M :

$$\vec{v}_{\mathrm{M\,(R)}} = \vec{v}_{a\,\mathrm{M}} = \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OM}}}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{(R)}} = \dot{x}\,\vec{u}_x + \dot{y}\,\vec{u}_y + \dot{z}\,\vec{u}_z \tag{5}$$

S'il utilise le repère lié à (R′), il écrit :

$$\overrightarrow{\mathrm{OM}} = \overrightarrow{\mathrm{OO'}} + \overrightarrow{\mathrm{O'M}} = \overrightarrow{\mathrm{OO'}} + x'\,\vec{u'}_x + y'\,\vec{u'}_y + z'\,\vec{u'}_z \tag{6}$$

Pour le premier observateur, x', y' et z' varient, les vecteurs $\vec{u'}_x$, $\vec{u'}_y$ et $\vec{u'}_z$ sont variables, et le point O′ donc le vecteur $\overrightarrow{\mathrm{OO'}}$ sont variables. La vitesse du point M est alors :

$$\vec{v}_{\mathrm{M\,(R)}} = \vec{v}_{a\,\mathrm{M}} = \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OO'}}}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{(R)}} + \left(\frac{\mathrm{d}(x'\,\vec{u'}_x + y'\,\vec{u'}_y + z'\,\vec{u'}_z)}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{(R)}} \tag{7}$$

soit :

$$\vec{v}_{\mathrm{M\,(R)}} = \vec{v}_{a\,\mathrm{M}} = \underbrace{\left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OO'}}}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{(R)}} + \left(x'\,\frac{\mathrm{d}\vec{u'}_x}{\mathrm{d}t} + y'\,\frac{\mathrm{d}\vec{u'}_y}{\mathrm{d}t} + z'\,\frac{\mathrm{d}\vec{u'}_z}{\mathrm{d}t}\right)_{\mathrm{(R)}}}_{\vec{v}_{e\,\mathrm{M}}} + \underbrace{(\dot{x'}\,\vec{u'}_x + \dot{y'}\,\vec{u'}_y + \dot{z'}\,\vec{u'}_z)}_{\vec{v}_{r\,\mathrm{M}}} \tag{8}$$

Le premier terme, noté $\vec{v}_{e\,\mathrm{M}}$ ne dépend que du mouvement de (R′) par rapport à (R). C'est la **vitesse d'entrainement** de M, liée au mouvement de (R′).

Le deuxième terme ne dépend que du mouvement de M dans (R′), autrement dit, c'est la vitesse telle que le second observateur la perçoit. C'est la **vitesse relative** du point M.

2.2.3 Conclusion.

La relation entre la vitesse absolue du point M, mesurée par le premier observateur dans le référentiel fixe, et la vitesse relative du point M, mesurée par le second observateur dans le référentiel mobile, appelée la relation de **composition des vitesses**, s'écrit :

$$\boxed{\vec{v}_{a\,\mathrm{M}} = \vec{v}_{e\,\mathrm{M}} + \vec{v}_{r\,\mathrm{M}}} \tag{9}$$

- $\vec{v}_{a\,\mathrm{M}}$ est le mouvement de M dans (R) fixe ;
- $\vec{v}_{e\,\mathrm{M}}$ correspond au mouvement de (R′) par rapport à (R) et se calcule en supposant M fixe dans un repère mobile ;
- $\vec{v}_{r\,\mathrm{M}}$ est le mouvement de M dans un repère mobile, et se calcule en supposant M mobile dans (R′) fixe (point de vue du deuxième observateur).

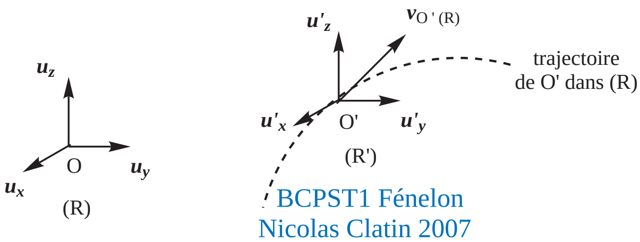
2.3 Cas particulier des référentiels en translation.

2.3.1 Cas général de la translation.

Un référentiel (R′) est **en translation** par rapport à (R) si les vecteurs $\vec{u'}_x$, $\vec{u'}_y$ et $\vec{u'}_z$ du repère associé à (R′) sont **invariants** dans (R). En pratique, il est commode de prendre alors :

$$\begin{cases} \vec{u'}_x = \vec{u}_x \\ \vec{u'}_y = \vec{u}_y \\ \vec{u'}_z = \vec{u}_z \end{cases} \tag{10}$$

Pour passer de $(\mathrm{O}, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ à $(\mathrm{O'}, \vec{u'}_x, \vec{u'}_y, \vec{u'}_z)$, il suffit alors de faire une translation $\overrightarrow{\mathrm{OO'}}$. Attention ! le mouvement du point O′ n'est pas nécessairement rectiligne.



En conséquence, dans le cas de référentiels en translation, on a dans le référentiel (R) fixe :

$$\frac{\mathrm{d}\vec{u'}_x}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\vec{u'}_y}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\vec{u'}_z}{\mathrm{d}t} = 0 \tag{11}$$

La vitesse d'entrainement de (R′) se réduit alors à la vitesse du point O′ dans le référentiel (R) :

$$\vec{v}_{e\,\mathrm{M}} = \left(\frac{\overrightarrow{\mathrm{OO'}}}{\mathrm{d}t}\right)_{(\mathrm{R})} = \vec{v}_{\mathrm{O'}\,(\mathrm{R})} \tag{12}$$

En conclusion, dans le cas où le référentiel mobile (R′) est en translation par rapport au référentiel fixe (R), la composition des vitesses s'écrit :

$$\boxed{\vec{v}_{a\,\mathrm{M}} = \vec{v}_{\mathrm{O'}\,(\mathrm{R})} + \vec{v}_{r\,\mathrm{M}}} \tag{13}$$

soit

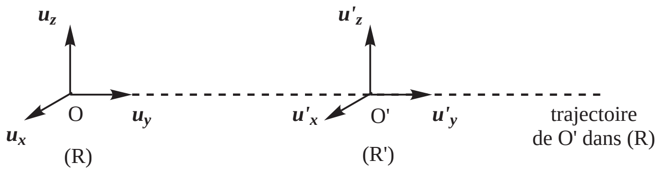
$$\boxed{\vec{v}_{\mathrm{M}\,(\mathrm{R})} = \vec{v}_{\mathrm{O'}\,(\mathrm{R})} + \vec{v}_{\mathrm{M}\,(\mathrm{R'})}} \tag{14}$$

2.3.2 Exemple de la translation rectiligne.

Le référentiel (R′) est en translation rectiligne par rapport à (R) si le point O′ a un mouvement rectiligne dans (R), ce qui s'écrit :

$$\vec{v}_{\mathrm{O'}\,(\mathrm{R})} = \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OO'}}}{\mathrm{d}t}\right)_{(\mathrm{R})} = v\,\vec{u} \tag{15}$$

où $\vec{u}$ est un vecteur unitaire constant dans (R). Prenons le cas simple où $\vec{u}$ est un vecteur de la base de (R), auquel il est toujours possible de se ramener en choisissant judicieusement les axes du repère lié à (R), par exemple : $\vec{u} = \vec{u}_y$.



Dans ce cas, la relation de composition des vitesses s'écrit :

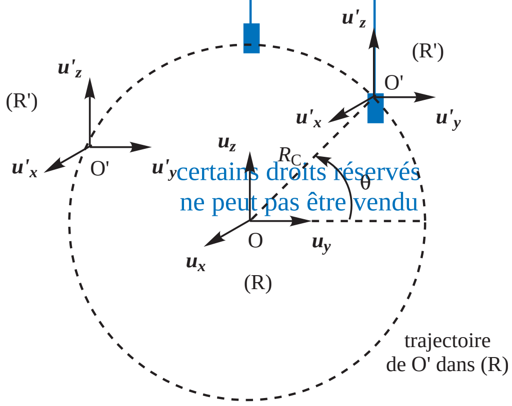
$$\vec{v}_{a\,\mathrm{M}} = v\,\vec{u}_y + \vec{v}_{r\,\mathrm{M}} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x} = \dot{x'} \\ \dot{y} = v + \dot{y'} \\ \dot{z} = \dot{z'} \end{cases} \tag{16}$$

Si $\vec{v}_{\mathrm{O'}\,(\mathrm{R})}$ est constant, soit si v est constant, la translation est rectiligne uniforme. Par intégration, on obtient directement la relation entre les coordonnées de M dans (R) et dans (R′). Dans le cas simplificateur où O′ est confondu avec O à la date initiale, on a :

$$\begin{cases} x = x' \\ y = vt + y' \\ z = z' \end{cases} \tag{17}$$

2.3.3 Exemple de la translation circulaire.

La translation circulaire correspond au cas où l'origine O′ du repère lié au référentiel mobile (R′) décrit un cercle dans (R). Il est alors judicieux de choisir comme origine O de (R) le centre de ce cercle, et de choisir les axes du repère lié à (R) de sorte que le cercle décrit par O′ soit dans un plan défini par deux d'entre eux, par exemple dans le plan $(\vec{u}_y, \vec{u}_z)$.



Attention ! dans le cas de la translation circulaire, les vecteurs de base du repère lié à (R′) sont invariants. L'exemple le plus parlant est celui des nacelles d'une grande roue : il est possible de passer de la position de la nacelle à une date t à la position de la nacelle à une date t' en effectuant une translation. Il n'y a pas ici de rotation, qui signifierait que les passagers auraient parfois la tête en bas.

Dans le cas de la translation circulaire schématisée ci-dessus, et en appelant R_C le rayon du cercle décrit par O′, la position du point O′ dans (R) est :

$$\overrightarrow{\mathrm{OO'}} = R_C\,\cos\theta\,\vec{u}_y + R_C\,\sin\theta\,\vec{u}_z \tag{18}$$

La vitesse d'entrainement de (R′) par rapport à (R) est donc :

$$\vec{v}_e = \left(\frac{\mathrm{d}\overrightarrow{\mathrm{OO'}}}{\mathrm{d}t}\right)_{(\mathrm{R})} = -R_C\dot{\theta}\,\sin\theta\,\vec{u}_y + R_C\dot{\theta}\,\cos\theta\,\vec{u}_z \tag{19}$$

2.4 Composition des accélérations pour les référentiels en translation rectiligne uniforme.

La composition des accélérations est hors programme dans le cas général. On peut néanmoins considérer le cas très particulier de deux référentiels en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre.

Le premier observateur, dans le référentiel (R) fixe, mesure l'**accélération absolue** du point M :

$$\vec{a}_{a\,\mathrm{M}} = \ddot{x}\,\vec{u}_x + \ddot{y}\,\vec{u}_y + \ddot{z}\,\vec{u}_z \tag{20}$$

Le second observateur, dans le référentiel (R′) mobile, mesure l'**accélération relative** du point M :

$$\vec{a}_{r\,\mathrm{M}} = \ddot{x'}\,\vec{u'}_x + \ddot{y'}\,\vec{u'}_y + \ddot{z'}\,\vec{u'}_z \tag{21}$$

Supposons que (R′) soit en translation rectiligne uniforme par rapport à (R) d'un vecteur $v\,\vec{u}_y$, avec v constant. On a montré précédemment que, dans ce cas, la vitesse absolue et la vitesse relative sont reliées par la loi de composition des vitesses (16). Par dérivation, on obtient une relation entre l'accélération absolue (dérivée de la vitesse absolue) et l'accélération relative (dérivée de la vitesse relative) :

$$\vec{v}_{a\,\mathrm{M}} = v\,\vec{u}_y + \vec{v}_{r\,\mathrm{M}} \Rightarrow \frac{\mathrm{d}\vec{v}_{a\,\mathrm{M}}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}(v\,\vec{u}_y)}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}\vec{v}_{r\,\mathrm{M}}}{\mathrm{d}t} \tag{22}$$

Puisque $v\,\vec{u}_y$ est un vecteur constant, on en déduit immédiatement :

$$\boxed{\vec{a}_{a\,\mathrm{M}} = \vec{a}_{r\,\mathrm{M}}} \tag{23}$$

Autrement dit, l'accélération perçue par deux observateurs est la même, s'ils sont liés à des référentiels en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre.

Attention ! Tout ce paragraphe n'est valable *que* dans le cas de référentiels en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre. Dans tous les autres cas, la formule (22) n'est pas valable. Il faut dériver proprement comme dans le cas du paragraphe 2.2.2 pour les vitesses. On obtient alors dans le cas général :

$$\vec{a}_{a\,\mathrm{M}} = \vec{a}_{r\,\mathrm{M}} + \vec{a}_{e\,\mathrm{M}} + \vec{a}_{c\,\mathrm{M}}$$

où $\vec{a}_{e\,\mathrm{M}}$ est l'accélération d'entrainement, liée uniquement au mouvement de (R′) par rapport à (R), et $\vec{a}_{c\,\mathrm{M}}$ l'accélération de Coriolis, terme complexe faisant intervenir la rotation de (R′) par rapport à (R) et la vitesse relative de M.

3 Référentiels galiléens.

3.1 Principe d'inertie.

Galilée a émis l'hypothèse, aujourd'hui admise comme un principe fondamental de la physique, et connu sous le nom de **principe d'inertie**, que :

un objet mécaniquement isolé, c'est-à-dire qui n'est soumis à aucune force, est animé d'un mouvement rectiligne uniforme.

Un objet pseudo-isolé, c'est-à-dire soumis à des forces dont la somme est nulle, est analogue à un objet mécaniquement isolé ; il est également en mouvement de translation rectiligne uniforme.

Expérimentalement, ceci est vérifié à plusieurs échelles : les objets en mouvement dans l'espace loin de tout astre (donc quasi isolés) sont en translation rectiligne uniforme (échelle astronomique), de même que les objets pseudo-isolés comme un palet lancé sur la glace ou sur une table à coussin d'air.

3.2 Définition d'un référentiel galiléen.

Un problème a été éludé dans le paragraphe précédent : dans quel référentiel le mouvement rectiligne uniforme d'un objet isolé est-il mesuré ? Dans un référentiel lié au laboratoire, donc qui tourne avec la Terre dans un mouvement de double rotation (sur elle-même et autour du Soleil), un objet se déplaçant en ligne droite ne parait pas suivre une trajectoire rectiligne. Le principe de Galilée est donc intimement lié à un référentiel bien choisi.

On appelle **référentiel galiléen** un référentiel dans lequel un objet mécaniquement isolé est en mouvement de translation rectiligne uniforme.

Soit (R) un référentiel galiléen, et (R′) un autre référentiel, mobile par rapport à (R). Soit un point M mécaniquement isolé ; il est en mouvement de translation rectiligne uniforme dans (R), puisque celui-ci est galiléen. La vitesse $\vec{v}_{\mathrm{M}\,(\mathrm{R})}$, qui est la vitesse absolue $\vec{v}_{a\,\mathrm{M}}$ de M, est un vecteur constant.

D'autre part, la vitesse $\vec{v}_{\mathrm{M}\,(\mathrm{R}')}$ de M dans (R′) est la vitesse relative $\vec{v}_{r\,\mathrm{M}}$ de M, telle que :

$$\vec{v}_{r\,\mathrm{M}} = \vec{v}_{a\,\mathrm{M}} - \vec{v}_{e\,\mathrm{M}} \tag{24}$$

Supposons que (R′) soit galiléen. Dans ce cas, $\vec{v}_{\mathrm{M}\,(\mathrm{R}')} = \vec{v}_{r\,\mathrm{R}}$ est un vecteur constant. D'après l'équation précédente, la vitesse d'entrainement $\vec{v}_{e\,\mathrm{M}}$ décrivant le mouvement de (R′) par rapport à (R) est nécéssairement un vecteur constant. En d'autres termes, si (R′) est galiléen, il est nécessairement en mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport au référentiel (R) galiléen.

Les référentiels galiléens sont en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres.

En conséquence, et d'après (23), l'accélération d'un mobile est la même dans deux référentiels galiléens. Il y a invariance de l'accélération lors d'un changement de référentiel galiléen.

Ceci implique que la relation entre force et accélération (deuxième loi de Newton) s'écrit de façon identique pour deux observateurs en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre. C'est une généralisation d'un principe plus général : deux observateurs en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre énoncent les lois physiques de façon identique. Ce principe est l'un des plus fondamental de la physique, et on considère que toute nouvelle théorie en cosmologie, en physique des particules ou en physique quantique doit y satisfaire. C'est à partir de ce principe qu'Einstein a construit le modèle de la relativité restreinte suite à l'observation de Michelson et Morley que la vitesse de la lumière était indépendante de l'observateur (la même qu'il soit fixe ou qu'il se déplace).

Notons que cela implique également qu'il est impossible à un observateur de déterminer s'il est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme en utilisant les lois de la Nature. C'est une expérience que chacun peut faire en fermant les yeux dans un train roulant en ligne droite à vitesse constante. Galilée avait pris l'exemple d'un observateur enfermé dans la cale d'un bateau allant en ligne droite à vitesse constante sur une mer calme.

3.3 Référentiels galiléens usuels.

Il y a une certaine ironie à vouloir définir un référentiel galiléen dans un univers n'ayant aucun point fixe. La définition d'un point fixe est totalement arbitraire dans un univers en expansion et de dimensions indéfinies.

Le référentiel galiléen de référence est le *référentiel de Copernic* ($\mathrm{R_C}$) :
- son origine est le centre de masse du système solaire,
- ses axes sont dans la direction de trois étoiles « fixes »(des étoiles très lointaines).

Ce référentiel est adapté aux études astronomiques, du moins tant que le mouvement de rotation du système solaire autour du centre de la Voie Lactée est négligeable.

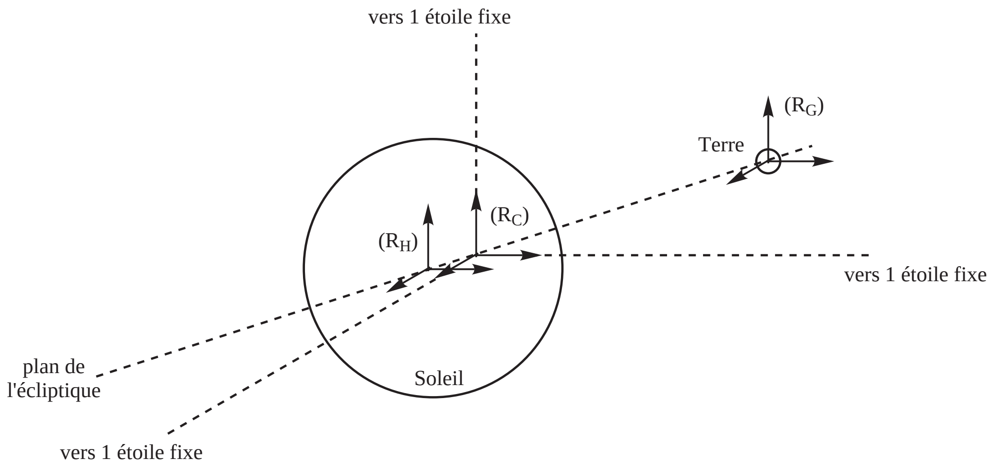
Le *référentiel héliocentrique* ($\mathrm{R_H}$) est suffisant pour les études limitées au système solaire. Il est quasiment confondu avec le référentiel de Copernic :

- son origine est le centre de masse du Soleil,
- ses axes sont parallèles à ceux du référentiel de Copernic.

Le référentiel héliocentrique est en translation (non rectiligne) par rapport au référentiel de Copernic. La différence entre les deux est ténue ; en effet, le centre de masse du système solaire est quasiment le centre de masse du Soleil, dans la mesure où la quasi-totalité de la masse du système solaire est concentrée dans le Soleil. Pour des applications limitées au système solaire, il est donc possible de le considérer galiléen.

Le *référentiel géocentrique* ($\mathrm{R_G}$) est en translation elliptique (quasiment circulaire) par rapport au référentiel héliocentrique :
- son origine est le centre de masse de la Terre,
- ses axes sont parallèles à ceux du référentiel de Copernic.

Il peut être considéré galiléen pour toute étude au niveau de la Terre, dans laquelle l'influence des autres astres est négligeable. Il permet ainsi d'étudier le mouvement d'un mobile, mais pas le phénomène des marées, dû aux influences conjuguées du Soleil et de la Lune.



Sur ces schémas, on a choisi des axes quelconques par rapport au plan de l'écliptique. On peut néanmoins s'arranger pour que deux d'entre eux soient dans le plan de l'écliptique.

- On rappelle que le système solaire est constitué de *planètes*, actuellement au nombre de 8 (Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) en rotation elliptique quasi-circulaire autour du Soleil dans un plan appelé *plan de l'écliptique* (le plan de l'écliptique est strictement défini par l'orbite terrestre). La période de révolution sidérale est variable (de 88 jours pour Mercure à 60200 jours pour Neptune). Le rayon de l'orbite varie de $58 \cdot 10^6$ km pour Mercure à $4500 \cdot 10^6$ km pour Neptune.
- Certaines de ces planètes (en fait toutes sauf Mercure et Vénus), possèdent un ou plusieurs *satellites*, corps en rotation autour d'elle.
- Toutes les planètes sont en outre en rotation sur elles-mêmes autour d'un axe de direction variable (perpendiculaire au plan de l'écliptique pour Mercure, incliné de 23° par rapport à la normale au plan de l'écliptique pour la Terre, et presque confondu avec lui pour Uranus). La période de rotation est très variable (presque 24 heures pour la Terre, et 243 jours pour Vénus), et se fait dans le même sens que la révolution sidérale (sauf pour Vénus et Uranus).
- D'autres corps sphériques, tels Cérès, Pluton ou des objets transplutoniens, sont appelés *petites planètes*, et n'orbitent pas dans le plan de l'écliptique et/ou pas selon une orbite presque circulaire (ni l'un ni l'autre pour ce qui est de Pluton). Enfin, il existe des *petits corps* qui circulent autour du Soleil.

Pour des précisions, des schémas, des définitions, etc, concernant le système solaire, voir l'excellent site de l'IMCCE, l'*Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides*, dont le lien se trouve sur mon site. Choisir la rubrique *astronomie pour tous* puis *promenade dans le système solaire*.

Dans énormément de cas, il est largement suffisant de considérer comme galiléen le *référentiel terrestre local*, lié au lieu d'étude.

- Son origine est un point fixe à l'échelle locale,
- ses axes sont définis arbitrairement ; généralement l'axe z est donné par la verticale du lieu d'étude.

Ce référentiel est en rotation complexe par rapport au référentiel héliocentrique, puisqu'il faut considérer le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même et celui de la Terre autour du Soleil.

Il est suffisant pour les études locales, dans lesquelles le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même est négligeable. Ainsi, il pourra permettre l'étude d'un mouvement de chute libre pas trop longue, d'une particule dans un laboratoire, d'un véhicule sur une route, etc. En revanche, il ne peut permettre d'étudier les phénomènes météorologiques de grande ampleur (cyclones), influencés par la rotation terrestre.