**III Référentiels galiléens :**

Les référentiels galiléens sont les référentiels dans lesquels les trois lois de Newton s'appliquent.

**III-1 Définition théorique, propriétés :**

Le principe d'inertie ***postule*** l'existence de référentiels privilégiés, dans lequel le mouvement d'un point matériel isolé (c'est à dire non soumis à des forces) est rectiligne et uniforme. Dans ces référentiels, dits galiléens, le mouvement d'un tel point a donc un vecteur-vitesse invariant.

Considérons un point matériel de position M, supposé isolé. On envisage son mouvement dans deux référentiels $R_1(O_1,x,y,z)$ et $R_2(O_2,x,y,z)$. Les axes de $R_1$ et $R_2$ restent pointés dans la même direction). Les vitesses de M dans $R_1$ et $R_2$ sont respectivement : $\vec{V}(M/R_1) = \dfrac{d\overrightarrow{O_1M}}{dt}$ et $\vec{V}(M/R_2) = \dfrac{d\overrightarrow{O_2M}}{dt}$.

Le principe de relativité affirme l'additivité des vitesses :

$$\vec{V}(M/R_1) = \vec{V}(M/R_2) + \vec{V}(M)R_2/R_1$$

où le terme : $\vec{V}(M)R_2/R_1$ est un terme dit de vitesse d'entraînement : il traduit le mouvement relatif de $R_2$ par rapport à $R_1$ tel qu'il est perçu en la position M.

M étant isolé, en supposant $R_1$ galiléen : $\vec{V}(M/R_1) = \overrightarrow{Cste1}$

et de même en supposant $R_2$ galiléen : $\vec{V}(M/R_2) = \overrightarrow{Cste2}$

Par conséquent, la vitesse d'entraînement : $\vec{V}(M)R_2/R_1 = \overrightarrow{Cste1} - \overrightarrow{Cste2} = \overrightarrow{Cste}$

Remarquons que $\vec{V}(M)R_2/R_1$ ne dépend ni du temps ni du point M considéré.

Le mouvement d'entraînement apparaît donc identique en tout point et invariant dans le temps. $R_1$ et $R_2$ sont alors nécessairement en translation rectiligne et uniforme l'un par rapport à l'autre.

Ainsi, connaissant un référentiel galiléen, on peut affirmer que tous les référentiels galiléens sont en translation rectiligne et uniforme par rapport à ce référentiel.

**III-2 Définition pratique des référentiels galiléens :**

En pratique, le fait de considérer un référentiel comme galiléen correspondra à une ***approximation***. Un référentiel sera considéré comme galiléen lorsque les écarts à ce modèle ne sont pas détectables dans l'expérience considérée. En conduisant une étude théorique du mouvement dans l'hypothèse galiléenne, les résultats obtenus devront être en accord avec les observations expérimentales.

Nous verrons en seconde partie de l'année que lorsque cette hypothèse est infirmée, l'étude d'un mouvement dans un référentiel non galiléen fera intervenir des ***pseudo-forces d'inertie***, que nous définirons à cette occasion.

Introduisons ce sujet sur un exemple simple :

Un passage est assis dans une voiture roulant sur une route. Il observe une bille posée sur le tableau de bord. Le système étudié est donc la bille, et le référentiel (R) est lié à la voiture. Les interactions s'exerçant su la bille sont son poids et la réaction du tableau de bord.

- Si la voiture roule en ligne droite, à vitesse constante, la bille reste immobile, la réaction du tableau de bord compense son poids ;

la R.F.D. écrite dans (R), supposé galiléen : $m\vec{g}+\vec{R}=\vec{0}$ est en accord avec le fait que la bille soit en équilibre.

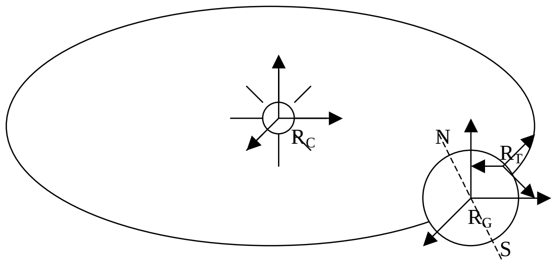
- Si la voiture freine ou accélère, l'étude menée dans (R) considéré comme galiléen mènerait aux mêmes conclusions.

Or l'expérience montre que cette fois-ci la bille ne sera pas en équilibre dans le référentiel de la voiture. Le référentiel n'est donc pas galiléen. Une étude correcte dans le référentiel (R) devra faire intervenir une pseudo-force d'inertie.

- Si la voiture tourne, les conclusions sont analogues : le référentiel (R) ne peut pas être considéré comme galiléen.

On interprète le mouvement de la bille observé par le passager en faisant intervenir une pseudo-force d'inertie (force centrifuge).

**Quelques référentiels usuels :**




Le **référentiel de Copernic ($R_C$)** : centré sur le centre d'inertie du système solaire ; ses axes sont dirigés en direction de trois étoiles considérées comme fixes. *Usuellement affirmé comme galiléen, cette propriété disparaît si l'on étudie par exemple le mouvement du système solaire dans la galaxie.*

Le **référentiel de Kepler($R_K$)** : centré sur le centre d'inertie du Soleil ; ses axes sont dirigés en direction de trois étoiles considérées comme fixes. *La différence (subtile) entre ce référentiel et celui de Copernic ne sera pleinement expliquée qu'à la fin du cours de mécanique*.

Le **référentiel Géocentrique ($R_G$)** : centré sur le centre d'inertie de la Terre ; en translation circulaire dans le référentiel de Copernic (ses axes restent de direction invariante par rapport à ceux du référentiel de Copernic), du fait de la ***révolution*** de la ***Terre autour du Soleil.***

**Le référentiel Terrestre ($R_T$)** : lié à un point de la surface terrestre situé à proximité de l'expérience. Il est en rotation par rapport au référentiel géocentrique, du fait de la ***rotation*** de la Terre autour de son axe.

Dans toutes les situations étudiées l'an dernier et sur cette première partie du cours de mécanique, le référentiel terrestre a été et sera considéré comme galiléen. Est-ce à dire que ce référentiel terrestre est intrinsèquement galiléen ? Non, car le fait de considérer un référentiel comme galiléen est toujours une approximation.

Si on lance une bille sur un plan horizontal, sans frottement, le poids de la bille sera compensé par la réaction du plan. Une étude dans l'hypothèse galiléenne prévoit un mouvement rectiligne à vitesse constante (système pseudo-isolé). C'est ce que l'on observe sur une distance suffisamment faible (et donc pour une durée d'expérience suffisamment courte).
En observant le mouvement sur une durée plus grande, la rotation de la Terre se manifeste ; La trajectoire dans le référentiel terrestre va s'incurver. Le référentiel terrestre ne peut plus être considéré comme galiléen.

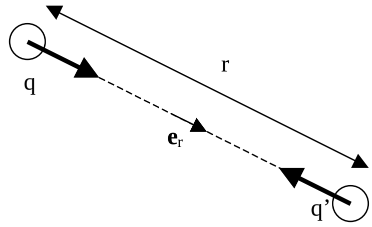
Des considérations analogues peuvent être faites en envisageant une chute libre dans le champ de pesanteur. Sur une hauteur pas trop élevée, la trajectoire d'une bille lâchée sans vitesse initiale sera rectiligne, strictement verticale. Sur une grande hauteur, la trajectoire va dévier de la verticale, du fait de la rotation terrestre.

## IV Les forces d'interaction :

### IV-1 Divers types d'interactions.

Les diverses théories physiques envisagent des interactions à distance, dites interactions fondamentales, parmi lesquelles on distingue :

- les **interactions électromagnétiques**, existant entre particules chargées. Nous les préciserons ultérieurement, mais on peut rappeler la loi force de Coulomb, donnant l'interaction entre deux particules chargées ponctuelles : $\boxed{\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q.q'}{r^2}\vec{e_r}}$




où $\varepsilon_o$ est la permittivité diélectrique du vide

($\varepsilon_o = 8{,}4.10^{-12}$ F .m$^{-1}$ ; soit $\frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \approx 9.10^9\,u.s.i.$).

Cette force électrique sera à compléter par une force magnétique. La force magnétique concerne une particule chargée, de charge q, et animée d'une vitesse $\vec{v}$ dans le référentiel d'étude.

Le champ magnétique est représenté par un vecteur noté $\vec{B}$ qui rend compte de l'ensemble des caractéristiques de ce champ magnétique au point considéré (norme, direction et sens).

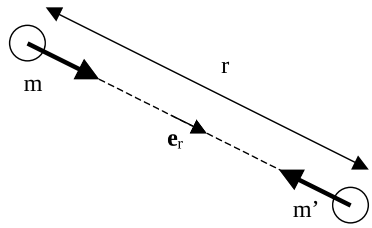
La force magnétique aura pour expression : $\boxed{\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}}$

Nous reviendrons plus tard sur cette notion, mais remarquons, d'après les propriétés du produit vectoriel, que cette force s'annule quand la vitesse est colinéaire au champ.

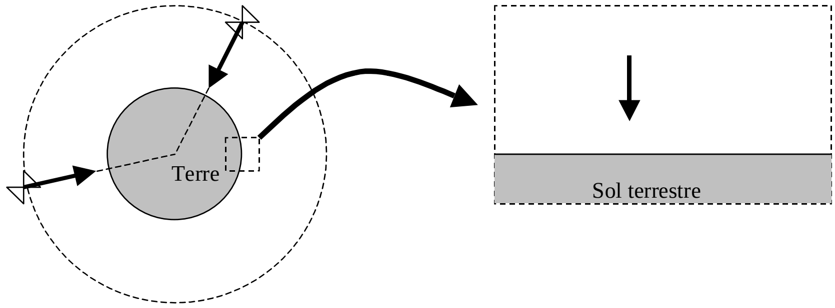
- les **interactions nucléaires** ; très intenses mais de très courte portée, c'est à dire décroissant très rapidement avec la distance. Elles assurent notamment la cohésion du noyau des atomes (protons et neutrons) (interaction nucléaire forte).
- Elles interviennent aussi dans les phénomènes de radioactivité (interaction nucléaire faible). En leur absence, les interactions électrostatiques entre les protons, répulsives, feraient exploser le noyau.

Ces interactions sont environ 100 fois plus intenses que les interactions électromagnétiques, mais leur portée est de l'ordre du femtomètre ($10^{-15}$ m), qui correspond à l'ordre de grandeur de la taille du noyau des atomes. Au-delà de cette échelle, elle n'interviendront donc pas directement dans les problème, et nous n'auront pas l'occasion de les utiliser.

- les **interactions de gravitation**, répondant à la loi d'attraction gravitationnelle universelle. Entre deux masses ponctuelles, la force de gravitation est attractive et s'écrit : $\boxed{\vec{F} = -G\frac{m.m'}{r^2}\vec{e_r}}$ où G = 6,67.10$^{-11}$ u.s.i. est la constante universelle de gravitation.




- La force de pesanteur (poids) est un effet essentiellement gravitationnel, décrit dans le cadre du modèle "champ de pesanteur uniforme", applicable localement à la surface d'une planète. Le poids sera noté $\boxed{m\vec{g}}$ et non $\vec{P}$ qui pourrait amener des confusions.




Attention à ne pas faire de confusion entre le champ de gravitation $\vec{G}$ et le champ de pesanteur $\vec{g}$.

Dans le modèle usuel de pesanteur uniforme, le poids d'une masse m aura donc pour valeur $\boxed{\vec{P} = m\vec{g}}$ où $\vec{g}$ aura une valeur vectorielle identique en tout point : $\vec{g} = -g\vec{e_z}$ en notant $\vec{e_z}$ l'unitaire vertical ascendant. Ceci est valide tant que les variations d'altitude restent modestes.

Si le problème fait intervenir un déplacement important à l'échelle de la Terre (mouvement d'un satellite par exemple), le modèle local précédent n'est plus valide.
On doit prendre en compte l'expression du champ de gravitation, qui dépend de la position dans l'espace.
En notant R le rayon terrestre, M la masse de la Terre, h l'altitude, K = $1,67.10^{-11}$ u.s.i.
et en introduisant r = R + h, la distance au centre de la Terre, on aura : $\vec{G} = -\frac{KM}{r^2}\vec{e_r}$

où $\vec{e_r}$ est l'unitaire radial.
(les coordonnées sphériques auront bien sûr pour origine le centre de la Terre).

On note usuellement $g_o$ l'intensité du champ de gravitation à la surface de la Terre.
$g_o = \frac{KM}{R^2} \simeq 9{,}8\ ms^{-2}$ On aura donc : $\vec{G} = -\frac{g_o R^2}{r^2}\vec{e_r} = -\frac{g_o R^2}{(R+h)^2}\vec{e_r}$
La force de gravitation s'exerçant sur une masse m vaudra donc :

$$\boxed{\vec{F} = m\vec{G} = -m\frac{g_o R^2}{r^2}\vec{e_r} = -\frac{m g_o R^2}{(R+h)^2}\vec{e_r}}$$

De façon plus phénoménologique, on peut envisager les interactions de contact. Elles sont fondamentalement dues à des interactions électromagnétiques qui ont lieu entre les particules constituant la matière. Ces forces fondamentales sont la cause de l'impossibilité de l'interpénétration entre deux objets matériels, et de la cohésion de la matière.
On rencontrera :

- la force de réaction d'un support,vis à vis d'un solide ;

- la force de pression (ou force pressante) exercée par un fluide sur un solide ;

- la force de frottement visqueux d'un fluide sur un solide, de frottement d'un solide sur un solide… ;

- les forces de cohésion de la matière (tension d'un fil, d'une barre…) ;

- la force de rappel d'un ressort…