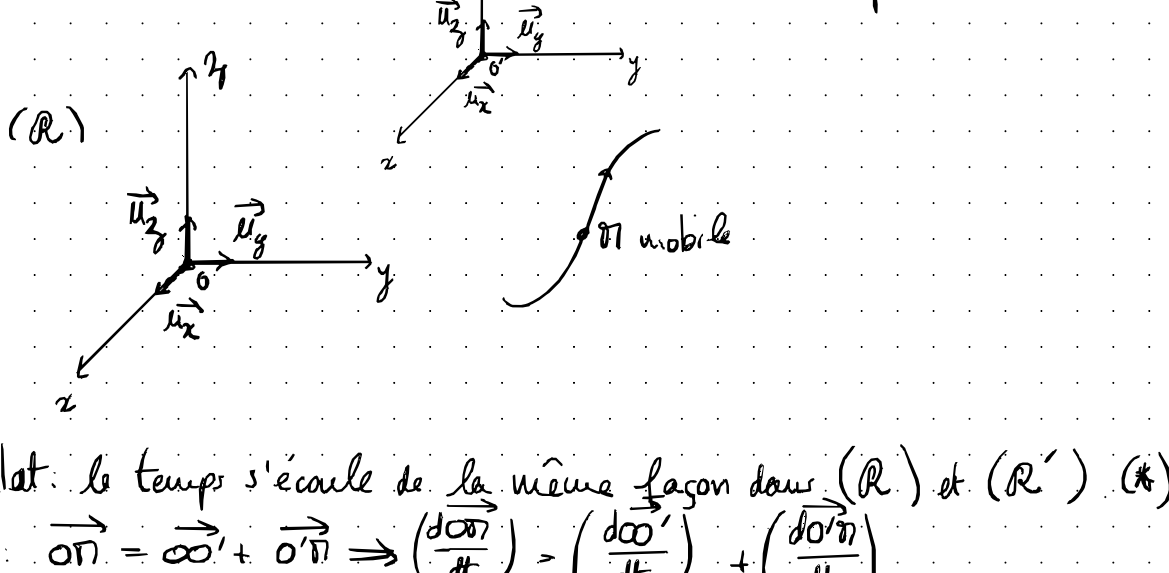


I. Cinématique classique : Changement de référentiel

1) Rappels c.f. sup

2) Cas d'un référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport à un autre



Postulat: le temps s'écoule de la même façon dans (R) et (R') (*)

$$\text{On a } \vec{OM} = \vec{OO'} + \vec{O'M} \Rightarrow \left(\frac{d\vec{OM}}{dt} \right)_R = \left(\frac{d\vec{OO'}}{dt} \right)_R + \left(\frac{d\vec{O'M}}{dt} \right)_R$$

$$\Rightarrow \vec{v}(M)_R = \vec{v}(O')_R + \vec{v}(M)_{R'}$$

└─ postulat + même base

3) Cas de la cinématique relativiste

Le postulat (*) est écarté par Einstein et est remplacé par

- Il existe une vitesse limite notée c identique dans tous référentiels en translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres. c'est la vitesse de la lumière dans le vide.
- Les lois de la physique ont la même forme dans tous référentiels (idem avant)

On montre alors que la Loi de Composition des Vitesses est différente de la version classique: Si $\vec{v}(M)_{R'} \parallel \vec{v}(O')_R$, on a $\vec{v}(M)_R = \frac{\vec{v}(O')_R + \vec{v}(M)_{R'}}{1 + \frac{\vec{v}(O')_R \cdot \vec{v}(M)_{R'}}{c^2}}$

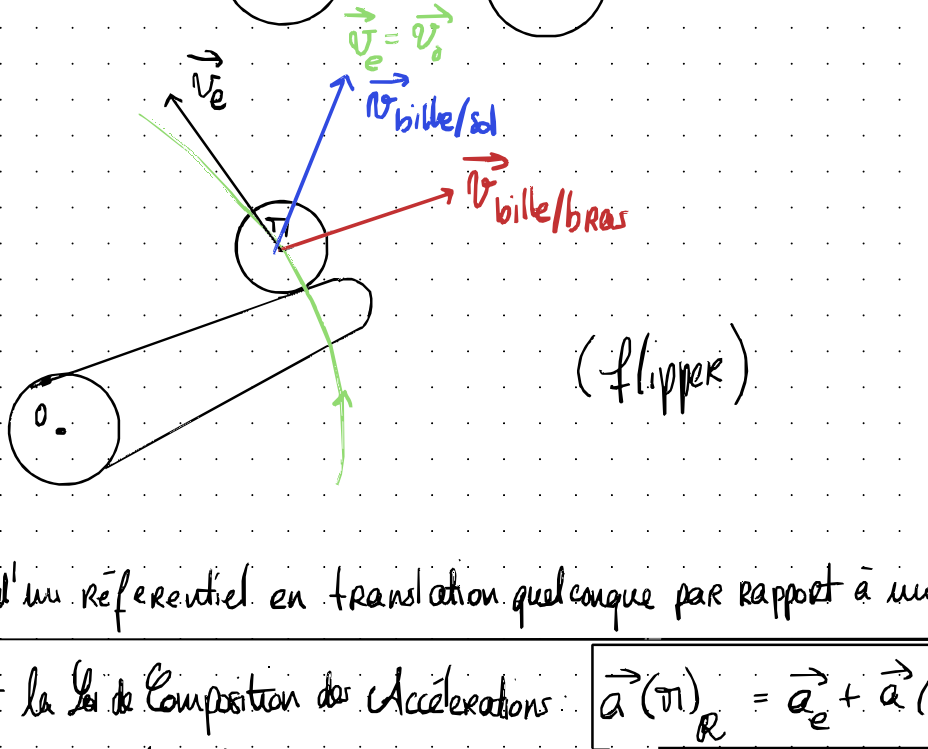
et dans ce cas $\vec{v}(M)_{R'} = c \vec{u}_x \Rightarrow \vec{v}(M)_R = c \vec{u}_x$ ça ne dépend pas du référentiel

4) Cas d'un référentiel en mouvement quelconque par rapport à un autre

On montre que si (R') est en mouvement quelconque par rapport à (R), la Loi de Composition s'écrit $\vec{v}(M)_R = \vec{v}_e + \vec{v}(M)_{R'}$

avec $\vec{v}_e$ la vitesse d'entraînement (= vitesse du point coïncident)

Le point coïncident est le point qui, à la date où l'on applique la Loi de Composition et qui reste fixe dans (R').



5) Cas d'un référentiel en translation quelconque par rapport à un autre

On écrit la Loi de Composition des Accélérations: $\vec{a}(M)_R = \vec{a}_e + \vec{a}(M)_{R'}$

et dans ce cas tous les points coïncidents ont la même trajectoire

1) Mouvement de rotation ≠ Translation circulaire



6) Cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un autre

On introduit le vecteur rotation $\vec{\Omega} = \dot{\varphi} \vec{u}_\Delta$

avec $\varphi = (Ox, Ox')$

- Sa direction est celle de l'axe de rotation
- Sa norme est la vitesse angulaire du système
- Son sens dans le sens de rotation avec la règle du Tire-Bouchon

La Loi de Composition s'écrit:

$$\vec{a}(M)_R = \vec{a}_e + \vec{a}_c + \vec{a}(M)_{R'}$$

avec $\vec{a}_c$ l'accélération de Coriolis donnée par

$$\vec{a}_c = 2 \vec{\Omega} \wedge \vec{v}(M)_{R'}$$

On introduit H le projeté orthogonal de M sur l'axe Δ. Le point coïncident a un

mouvement circulaire uniforme autour de H. On a donc

OR $H\vec{\Omega} = H\vec{u}_x$, donc $\vec{a}_e = -\Omega^2 H \vec{u}_H$

$$\begin{cases} \vec{v}_e = H\Omega \vec{u}_y \\ \vec{a}_e = -H\Omega^2 \vec{u}_x \end{cases}$$

Formule de dérivation composée: $\left(\frac{d\vec{A}}{dt} \right)_R = \left(\frac{d\vec{A}}{dt} \right)_{R'} + \vec{\Omega} \wedge \vec{A}$

II. Dynamique dans les référentiels non galiléens

1) Référentiel galiléen et Lois de Newton

Référentiel galiléen (ou inertiel): Référentiel dans lequel la 1^{ère} Loi de Newton est vérifiée: mot rect. uniforme $\Leftrightarrow \vec{F} = \vec{0}$ ou immobile

Dans ces référentiels, le mouvement d'un objet ponctuel vérifie la 2^{ème} Loi de Newton: $m \vec{a}(M)_R = \vec{F}_{ext}(M)$ avec m la masse de M

Si le système n'est pas ponctuel, on généralise par $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{ext}$

avec $\vec{p} = \sum m_i \vec{v}_i(M_i)_R$ (ou une somme continue) et on introduit le barycentre G tel que $\sum m_i G \vec{v}_i = \vec{0}$ On a alors $\vec{p} = m \vec{v}(G)_R$ avec $m = \sum m_i$

et $m \vec{a}(G)_R = \vec{F}_{ext}$

2) Cas d'un référentiel en translation quelconque par rapport à un référentiel galiléen (R')

On écrit dans (R): $m \vec{a}(M)_R = \vec{F}_{ext}(M)$ et $\vec{a}(M)_R = \vec{a}_e + \vec{a}(M)_{R'}$

donc $m \vec{a}(M)_{R'} = \vec{F}_{ext}(M) + \vec{F}_{ie}(M)$ avec $\vec{F}_{ie} = -m \vec{a}_e$ la « force d'inertie d'entraînement ».

De plus les $\vec{a}_e$ sont identiques et valent $\vec{a}(O')_R$

3) Cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport à un référentiel galiléen

PFD dans (R) galiléen: $m \vec{a}(M)_R = \vec{a}_e + \vec{a}_c + \vec{a}(M)_{R'}$

d'où $m \vec{a}(M)_{R'} = \vec{F}_{ie} + \vec{F}_c$ avec $\vec{F}_{ie}$ force d'inertie d'entraînement

$\vec{F}_c$ force d'inertie de Coriolis

avec $\vec{F}_{ie} = -m \vec{a}_e \Rightarrow \vec{F}_{ie} = -2m \vec{\Omega} \wedge \vec{v}(M)_{R'}$

$\vec{F}_{ie} = -m \vec{a}_e \Rightarrow \vec{F}_{ie} = +m \Omega^2 H \vec{u}_H$

« axifuge » plus adapté.

Dans le langage courant on dit « force centrifuge » mais terme corrigé

4) Les autres lois

Pour le Théorème Cinétique et Théorème de l'Énergie Cinétique: on peut également les appliquer dans (R') non galiléen en ajoutant la contribution des 2 forces d'inertie

REM La force de Coriolis ne travaille jamais dans (R') ($\vec{F}_c \perp \vec{v}(M)_{R'}$)

REM Dans le cas où (R') est en rotation autour de (Δ) (choisis O_Δ) à (R) galiléen, $\vec{F}_{ie}$ est une force conservative dérivant de $\mathcal{E}_{ie}$ que l'on se propose de calculer:

Dans (R'), on repère M avec les coordonnées cylindriques (R, θ, z): $d\vec{W}_{ie} = \vec{F}_{ie} \cdot d\vec{r}$

avec $d\vec{r} = dR \vec{u}_R + R d\theta \vec{u}_\theta + dz \vec{u}_z$

et $\vec{F}_{ie} = -m \Omega^2 H \vec{u}_H = -m \Omega^2 R \vec{u}_R$

d'où $d\vec{W}_{ie} = -m \Omega^2 R dR = -d\mathcal{E}_{ie}$

$\mathcal{E}_{ie} = -\frac{1}{2} m \Omega^2 R^2 + Cste$

III. Exemple pour la Terre

1) Les référentiels usuels

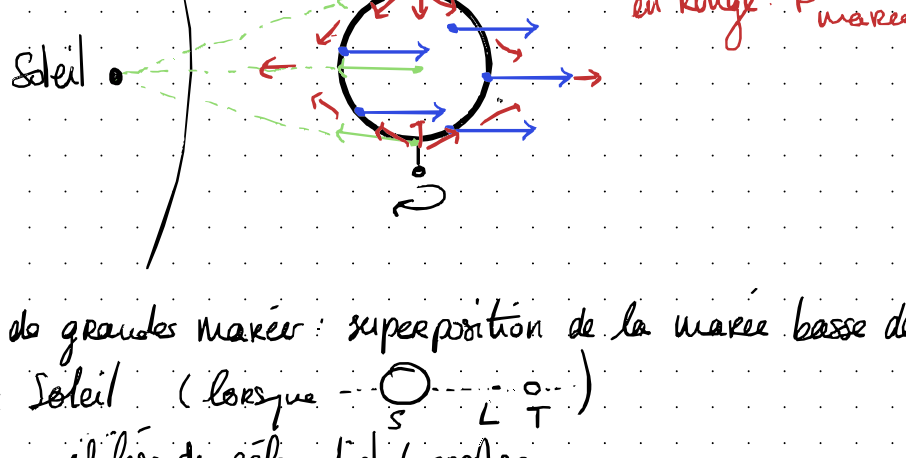
- Référentiel héliocentrique: de centre celui du Soleil et les axes pointent 3 étoiles lointaines: considéré comme galiléen pour l'étude de mouvements dans le système solaire
- Anéquilibration avec le référentiel de Copernic de centre le centre de masse du soleil (le soleil tourne autour)
- Référentiel géocentrique: de centre celui de la Terre et les axes pointent 3 étoiles lointaines
- Référentiel terrestre: de centre celui de la Terre (ou n'importe quel point de la surface terrestre) et les axes restent fixes par rapport à la Terre en tant que solide.

2) Caractère non galiléen du référentiel géocentrique

Dans ce référentiel, présence d'une seule force d'inertie $\left\{ \begin{array}{l} \text{en translation elliptique par rapport au référentiel héliocentrique} \\ \text{(quasi circulaire uniforme)} \end{array} \right.$

Pour rendre compte de l'effet du caractère non galiléen du référentiel géocentrique, on introduit la « force de Marée » qui vaut par définition la somme vectorielle de $\vec{F}_{ie}$ avec la force gravitationnelle exercée par le soleil. Cette force de Marée est nulle au centre de la Terre mais non nulle à sa surface

Allure:



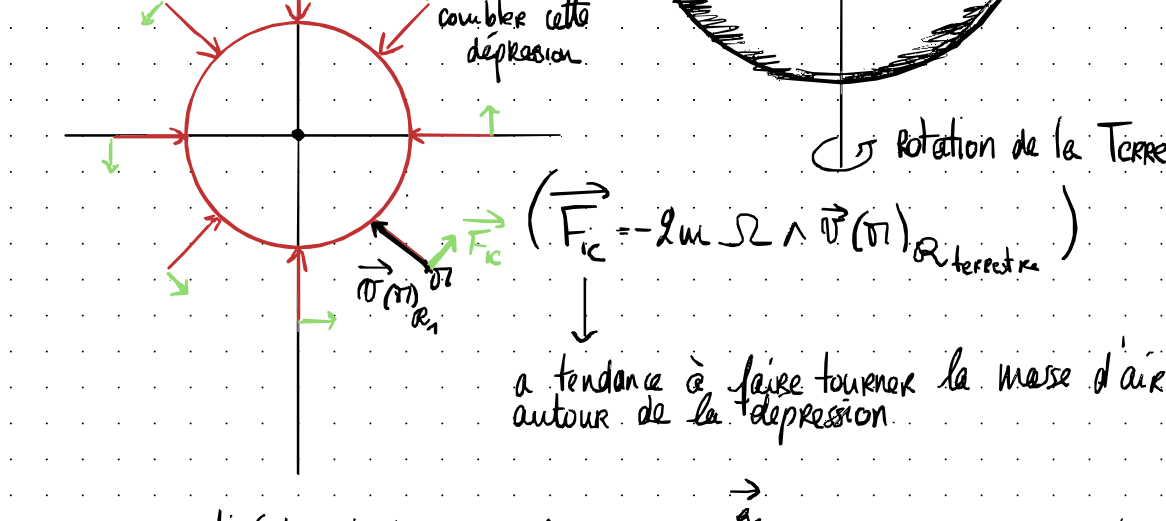
Phénomène de grandes marées: superposition de la marée basse de la Lune / du Soleil (lorsque $\vec{S} \parallel \vec{L}$)

3) Caractère non galiléen du référentiel terrestre

2 forces d'inertie $\left\{ \begin{array}{l} \text{en rotation uniforme autour d'un axe fixe par rapport au référentiel géocentrique} \end{array} \right.$

- force d'inertie de Coriolis: en pratique, joue un rôle négligeable tant que la durée du mouvement est $\ll 1$ jour
- Rôle important dans les mouvements atmosphériques

Dans cette zone, apparition d'une dépression



• force d'inertie d'entraînement

Par définition, le champ de pesanteur sur une planète vaut la somme du champ gravitationnel de la planète et de la force d'inertie d'entraînement de la Terre.

PFD à M dans le référentiel terrestre:

$m \vec{a}(M)_{R_T} = m \vec{g} + \vec{F}_{ie} + \vec{F}_c$ autres forces

AN: $\vec{a}_e = -\Omega^2 H \vec{u}_H$

aux pôles géographiques: $\vec{g} = \vec{g}_g$

à l'équateur: $|\vec{a}_e|_{max} = 0,13 \text{ m.s}^{-2}$

La variation de g reste modeste.

