Application de la transformation de Lorentz à la mécanique newtonienne généralisée.

Introduction :

Dans mon travail précédent intitulé « mécanique newtonienne généralisée » j'avais élargi le champs d'application de la mécanique classique newtonienne en y incluant des effets inertiels complémentaires jusqu'à présent négligés des forces de Coriolis. Je m'étais rendu compte que cette conception pouvait se substituer à la théorie relativiste de Einstein dans de nombreuses applications comme par exemple celle du calcul du décalage du périhélie de Mercure ou de l'interprétation de la nature et du comportement des particules élémentaires.

En reprenant et approfondissant ces calculs sur base tensorielle il m'est apparu à quel point la transformation de Lorentz était pertinente dans le cadre de mes conceptions alors qu'elle est en général associée uniquement à la théorie relativiste..

Résumé.

Ce travail constitue donc un prolongement de ma publication précédente (voir la référence en bas de page) Il comporte essentiellement une démonstration mathématique du fait que la masse newtonienne variable peut se substituer à la masse variable de Einstein selon une démarche ordonnée dans les chapitres suivants:

Chapitre 1. La masse variable newtonienne pseudo-scalaire : l'effet inertiel attribué à la masse m de l'équation newtonienne **F**= $m\gamma$ est considérée en mécanique classique comme scalaire. Il s'avère que l'effet inertiel (' ***masse Coriolis*** ') d'objets à vitesses relatives correspond à la composante complémentaire de nature pseudo-scalaire de la force de Coriolis.

Chapitre 2. Une généralisation de l'équation fondamentale newtonienne. Cette masse pseudo-scalaire est implicites dans la valeur de la masse dans l'équation fondamentale **F**= $\boldsymbol{m\gamma}$ de Newton qui se généralise dans le cas de l'application à des objets à vitesses relatives par rapport à la rotation d'entraînement d'un système matériel par la forme **F** = $m_0\ (1 + k)\boldsymbol{\gamma}$**.** Le produit km_0 insère cette composante complémentaire dans la formule **F**= $\boldsymbol{m\gamma}$**.**

Chapitres 3. Une analyse comparative de la théorie de Newton et relativiste de Einstein. Les équations newtonienne et relativistes sont formellement similaires. Elles ne diffèrent que par l'insertion du terme relativiste spatio-temporel lié à l'invariance de la vitesse de la lumière dans la mécanique newtonienne, donc par l'interprétation de Einstein de la relativité dans les deux groupes Galilée et Einstein. Le second terme de l'application de la formule de la géodésique en relativité générale à la courbure de l'espace <u>est équivalente à l'expression de la force de Coriolis dans un référentiel courbe</u>.

Chapitre 4. La transformation de Lorentz newtonienne. je démontre que la formule de la force de Coriolis avec le paramètre <u>vitesse d'entraînement invariant</u> dans un système physique isolé correspond à une <u>transformation de Lorentz</u> identiquement à la transformation spatio-temporelle de la vitesse relativiste. Cette transformation détermine la valeur de la masse « Coriolis » impliquée.

Chapitre 5. L'énergie newtonienne complémentaire de la masse. L'énergie inertielle hérité réciproquement par deux masses, suite à un échange de quantité de mouvement est proportionnelle à la valeur de la masse, correspond à la valeur déterminée par la transformation détaillée dans le chapitre précédent. Dans le cas hypothétique de deux objets m_1 et m_2 à vitesses de c et –c (vit. lumière) après impulsions réciproques le résultat newtonien donne : Energie E_1= $\boldsymbol{m_1.c^2}$ et E_2=0.

Les chapitres suivants, complétés par certains commentaires théoriques, récapitulent le formulaire symbolique précédent appliqué à un exemple de calcul sur base tensorielle pour une vérification numérique.

Chapitre 6. Application numérique des démonstrations symboliques précédentes.
Chapitre 7. Centre de masse et centre d'inertie compte tenu de la masse complémentaire « de Coriolis ».
Chapitre 8. Courbes analytiques cinématiques et dynamiques compte tenu des masses complémentaires.
Chapitre 9. Valeur inertielle complémentaire de la masse m_i équivalente à la force de Coriolis.
Chapitre 10. Les coefficients *k* de transformation de la masse newtonienne.
Chapitre 11. La forme généralisée de l'équation de Newton.
Chapitre 12. La masse « Coriolis », la masse relativiste et la transformation de Lorentz.
Chapitre 13 l'équation de Newton généralisée

Chapitre 14. <u>Analyse comparative des courbes</u> de transformations des valeurs inertielles des masses newtonienne et relativiste.

Référence : http://theorie.online.fr/ « Mécanique newtonienne généralisée »

(1) La masse variable newtonienne pseudo-scalaire.

- Considérons l 'équation de Newton **F =** $m\gamma$ appliquée au déplacement d'un mobile m_i de masse m_i sur une trajectoire curviligne définie par une représentation paramétrique $y^j(t)$. La force **F** instantanée appliquée au mobile est donnée par les relations vectorielles (1a), (1b) et (1c) où $\mathbf{e_t}$ et $\mathbf{e_n}$ sont les vecteurs unitaires définissant respectivement la tangente et la normale osculateur dirigée vers le centre de courbure de la trajectoire et r est le rayon de courbure**:** $\mathbf{v_e}$ = vitesse d'entraînement, $\mathbf{v_r}$ = vitesse relative et $\mathbf{v_{abs}} = \mathbf{v_e} + \mathbf{v_r}$ = vitesse absolue**:**

$$\mathbf{F}=m\left(\frac{dv}{dt}\mathbf{e}_t+\frac{v^2}{r}\mathbf{e}_n\right) \quad (1a) \qquad \mathbf{F}=m\frac{dv_{abs}}{dt}\mathbf{e}_t+m\frac{(ve\pm vr)^2}{r}\mathbf{e}_n \quad (1b) \qquad \mathbf{F}=m\frac{dv_{abs}}{dt}\mathbf{e}_t+m(ve^2+vr^2\pm 2ve\wedge v)\mathbf{e}_n \quad (1c)$$

La composante $\mathbf{F}=\frac{m}{r}\frac{dv_{abs}}{dt}\mathbf{e}_t$ représente la **force tangentielle** appliquée à l'objet sur sa trajectoire courbe. (1d)

La composante $\mathbf{F}=\frac{m}{r}(ve^2+vr^2\pm 2ve\wedge vr)\mathbf{e}_n$ exprime **la force radiale (centrale)** agissant sur l'objet. (1e)

Représentons cette force radiale $\mathbf{F_{rad}}$ de (1c) sous forme matricielle. Le mobile circule librement sur sa trajectoire courbe. L'accélération tangentielle et par conséquent la force tangentielle $\mathbf{F(e_n)}$ est considérée comme nulle. (2b1)

$$\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}}\cdot\begin{pmatrix}\mathbf{ve}\\ \mathbf{vr}\end{pmatrix}\cdot(\mathbf{ve}\ \ \mathbf{vr}) \rightarrow \begin{pmatrix}\mathbf{ve}^2\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}} & \mathbf{ve}\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}}\cdot\mathbf{vr}\\ \mathbf{ve}\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}}\cdot\mathbf{vr} & \mathbf{vr}^2\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}}\end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \sum\begin{pmatrix}\mathbf{ve}^2\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}} & \mathbf{ve}\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}}\cdot\mathbf{vr}\\ \mathbf{ve}\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}}\cdot\mathbf{vr} & \mathbf{vr}^2\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}}\end{pmatrix} \rightarrow \mathbf{ve}^2\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}} + 2\cdot\mathbf{ve}\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}}\cdot\mathbf{vr} + \mathbf{vr}^2\cdot\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{r}} \quad (2a)$$

- Cette matrice correspond au produit tensoriel: $m\rho\,(\mathbf{ve}\otimes\mathbf{vr}) = \mathrm{m}\,\rho ve^k\otimes vr^j(\mathbf{e}_k\otimes\mathbf{e}_j)$

dont $(\mathbf{e}_k\otimes\mathbf{e}_j)$ constituent une base d'un espace vectoriel à 4 dimensions ayant pour élément les tenseurs $\mathbf{ve}\otimes\mathbf{vr}$ du 2ième ordre dont une composante est constituée par les vecteurs $\mathbf{v_e}\wedge\mathbf{v_r}$

- Ce produit tensoriel $\mathbf{ve}\wedge\mathbf{vr}$ structure un espace $\mathbf{R}^2$x $\mathbf{R}^{*2}$ vectoriel de **vitesses d'entraînement et relative**.
L'introduction d'une notion "kg-masse" dans les g_{ij} de cette définition dynamique crée un espace de forces et d'inertie généralisé étant donné que le concept *masse* est lié par définition à l'inertie d'un corps.

Considérons le bivecteur $m(ve^2+vr^2\pm 2ve\wedge v)\mathbf{e}_n$ de l'expression (1c) sous forme matricielle:

$$\left(\mathbf{v_e}\ \ -\mathbf{v_r}\ \ 0\right)\cdot\begin{pmatrix}\mathbf{m} & \mathbf{m} & -\mathbf{m}\\ -\mathbf{m} & \mathbf{m} & \mathbf{m}\\ \mathbf{m} & -\mathbf{m} & \mathbf{m}\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}\mathbf{v_e}\\ \mathbf{v_r}\\ 0\end{pmatrix}\cdot\rho \rightarrow \left[\left(\mathbf{v_e}\cdot\mathbf{m}+\mathbf{v_r}\cdot\mathbf{m}\right)\cdot\mathbf{v_e} + \left(\mathbf{v_e}\cdot\mathbf{m}-\mathbf{v_r}\cdot\mathbf{m}\right)\cdot\mathbf{v_r}\right]\cdot\rho \quad (2b2)$$

En réduisant (2b2) nous retrouvons la forme de (2a). (ρ = 1/r) $\quad \mathbf{F_{Cor}} = -\mathbf{m}\cdot\left(-\mathbf{v_e}^2 - 2\cdot\mathbf{v_r}\wedge\mathbf{v_e} + \mathbf{v_r}^2\right)\cdot\rho$ (2b3)

décomposé en **Σ des forces radiales d'entraînement + relative:** $\quad \mathbf{F_{er}} = -\mathbf{m}\cdot\mathbf{v_e}^2\cdot\rho + \mathbf{m}\,\mathbf{v_r}^2\cdot\rho$ (2b4)

+ la **force radiale complémentaire (de Coriolis)**: $\quad \mathbf{F_{Cor}} = \left(2\cdot\mathbf{m}\cdot\mathbf{v_r}\wedge\mathbf{v_e}\right)\cdot\rho = \left(2\cdot\mathbf{m}\wedge\Omega\right)\cdot\mathbf{v_r}$ (2b5)

Le produit extérieur (bivecteur) de $\mathbf{v_e}\wedge\mathbf{v_r}$ de $\mathbf{F_{Cor}}$ se décompose en deux composantes:

(**a**) *un **tenseur symétrique** u^i_j **spécifique à l'effet inertiel de forces d'entraînement + relative.***

Espace vectoriel inertiel $\mathbf{R^2}$

$$\mathbf{F_{er}} = \left(\mathbf{v_e}\ \ -\mathbf{v_r}\ \ 0\right)\cdot\begin{pmatrix}\mathbf{m} & 0 & 0\\ 0 & \mathbf{m} & 0\\ 0 & 0 & \mathbf{m}\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}\mathbf{v_e}\\ \mathbf{v_r}\\ 0\end{pmatrix}\cdot\rho \rightarrow \mathbf{F_{er}} = \left(\mathbf{v_e}^2\cdot\mathbf{m} - \mathbf{v_r}^2\cdot\mathbf{m}\right)\cdot\rho \qquad \mathbf{F_{er}} = -\mathbf{m}\cdot\left(-\mathbf{v_e}^2+\mathbf{v_r}^2\right)\cdot\rho \quad (2b6)$$

$= \Sigma\ \mathbf{F_{entraînement}} + \mathbf{F_{relative}}$

(**b**) ***un <u>tenseur antisymétrique</u> v_{ij} spécifique à l'effet inertiel des forces complémentaire (de Coriolis) 'mc'***

$$\mathbf{F_{cor}} = \left[\begin{pmatrix} v_e & -v_r & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & mc & -mc \\ -mc & 0 & mc \\ mc & -mc & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_r \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \rho \rightarrow \right] \quad 2.m_c\, \varepsilon\, \Omega . v_r = \mathbf{F_{Coriolis}}$$

<u>Espace vectoriel inertiel **R*2**</u> (2b7)

mc = masse Coriolis

- **<u>la valeur inertielle d'une masse newtonienne à mouvement relatif</u>** <u>radial</u> correspond à la somme des forces $\mathbf{F_{er}}$ (2b6) et $\mathbf{F_{cor}}$ + (2b7). Il en résulte une **composante (inertielle) de masse m_0: masse ± $m_0\,\kappa$ complémentaire**.
- Calculons un **<u>coefficent κ</u>** correspond au rapport: **force de Coriolis / Σ des forces d'entraînement et relative:**

$$\frac{F_{cor}}{F_{er}} \rightarrow \frac{F_{cor}}{F_{er}} = 2 \cdot v_r \cdot mc \cdot \frac{v_e}{m \cdot \left(v_e^{\,2} - v_r^{\,2}\right)} = \frac{F_{cor}}{Fer} = \frac{2 \cdot mc \cdot v_r \cdot v_e}{m \cdot \left(v_e^{\,2} - v_r^{\,2}\right)} = \frac{\text{force Coriolis}}{\text{force(entr + rel)}} = \kappa \qquad (2b8)$$

donc : $\frac{m}{mc} = \frac{2 \cdot v_r \cdot v_e}{v_e^{\,2} - v_r^{\,2}} = \kappa \quad m = \kappa \cdot mc$ ou $\frac{m}{mc} = \frac{2 \cdot v_r \cdot v_e}{\Omega^2 \cdot r^2 - v_r^{\,2}} = \kappa$

A noter que la vit. de rotation angulaire d'entraînement Ω est <u>une valeur invariante dans l'ensemble du système</u>.

Considérons les g_{ijk} (**<u>coefficients de transformation fondamentaux)</u>** des matrices [m] dans (2b6) et (2b7):

Somme (**a**) + (**b**): $u_{ij} + v_{ij} = T_{ij}$: (2b9)

$$\left[\begin{pmatrix} 0 & m & -m \\ -m & 0 & m \\ m & -m & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{pmatrix} \right] \rightarrow \begin{pmatrix} m & m & -m \\ -m & m & m \\ m & -m & m \end{pmatrix} \quad \text{dont le } g^i_j\, m = \begin{pmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} m = \delta^i_j m \qquad (2b10$$

Cette matrice unité δ^i_j peut-être associée à un **opérateur unité** dans toute base. Son caractère est tensoriel.

L'expression $\delta^i_j m$ liée à la composante $(v_e^2 m - v_r^2 m)\rho$ (2b2) détermine donc une composante de masse *m de* valeur **scalaire** donc **invariante.**

Quotient (**a**)/(**b**): $T_{ij} = u_i\, v_j^{-1}$ (2b6)

$$\begin{pmatrix} 0 & m & -m \\ -m & 0 & m \\ m & -m & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{dont} \quad \begin{pmatrix} 0 & m & -m \\ m & 0 & -m \\ m & m & 0 \end{pmatrix} = \varepsilon_{ijk}\, m \qquad (2b11)$$

- En utilisant le ***<u>symbole d'antisymétrie</u>*** ε_{ijk} (symbole de Levi-Civita) on peut écrire **le produit extérieur** sous la forme $m(\mathbf{v_e} \wedge \mathbf{v_r}) = 2m\,\varepsilon_{ijk} v^i v^j$ qui est **un vecteur-axial,** c'est à dire un **pseudo-vecteur.** Le symbole **ε** exprime sous forme réduite la valeur du déterminant $|d| = |u_i\; v_j\;\; w_k|$ (i,j,k, = 1,2,3 = rang des lignes). La valeur du déterminant est variable par alternance de la séquence des bases pour les vecteurs **u, v, w.** Ce déterminant n'est pas un scalaire. Le symbole ε_{ijk} n'est donc pas tensoriel. **Le symbole change de signe ± en fonction de l'ordre de permutation de indices i,j,k. du vecteur axial** ce qui implique un valeur positive ou négative de la masse ***m*** complémentaire (de Coriolis). La valeur $\varepsilon_{ijk}\, m$ liée à la composante "de Coriolis)" (2b3) est donc **pseudo-scalaire.**

- La valeur de la masse newtonienne n'est donc pas scalaire. Elle se compose d'un tenseur scalaire de valeur $\delta^i_j m$ et d'un pseudo-vecteur axial de valeur déterminée par l'application du symbole ε_{ijk}. La valeur de cette composante est liée à l'effet inertiel du mouvement relatif de l'objet et par conséquent à celui des forces de Coriolis.

- Soit: *m = valeur inertielle totale de la masse,* m_0 = masse au repos et κ = coefficient déterminé par la relation: force de Coriolis / (force d'entraînement + force relative), cf.(2b8)

$$\boldsymbol{m = m_0. + m_0 . \kappa \quad ou \quad m = m_0 . (1 + \kappa)}$$

(2) Une généralisation de l'équation fondamentale newtonienne.

- La masse newtonienne m_0 n'est donc pas strictement scalaire. - Les valeur $\delta^i_j m$ et $\varepsilon_{ijk} m_{Cor}\kappa$ déterminent la valeur dynamique pseudo- tensorielle (l'effet inertiel) de la masse *m* d'un objet à vitesse relative. La valeur $\delta^i_j m$ correspond à l'effet inertiel m_0 de cette masse (au repos) et à l'effet inertiel complémentaire (de Coriolis) due à sa vitesse relative.

- La valeur (inertielle) de la masse *m* dans l'expression F=$m\gamma$ devient $m = (m_0 + m_{Coriolis})$ soit $m_0(1+\kappa)$ *ou* κ *est le coefficient sous (2b5).*

- A noter que la matrice correspondant au g_{ij} *peut-être assimilée à $\varepsilon_{ij.}$ ce coefficient détermine une base $\mathbf{e}_i$ à une rotation près du trièdre de référence (direct ou rétrograde)* c'est dire à un isomorphisme près.

- Or l'inertie d'un objet est par définition la valeur de masse d'un objet dans le cadre d'un système matériel auquel il est lié.

- Tenue compte de cette variabilité la valeur de la masse newtonienne, implicite dans l'équation fondamentale de Newton, se généralise commes suit: (γ est l'accélération de la masse "au repos" m_0)

$$\mathbf{F} = m_0 (1 + \kappa)\, \gamma$$

et le coefficient $$\kappa = \frac{\text{masse .. coriolis}}{\text{masse .. } m_0} = \frac{2 \cdot v_{relatif} \cdot v_{entr.}}{v_{entr.}^2 + v_{relatif}^2} \qquad (2b13)$$

- Il faut considérer la valeur $\boldsymbol{m_0}$ dans la forme classique netownienne $\mathbf{F_1}$ comme pseudo-scalaire, soit dans le cas le plus général pseudo-tensorielle. Elle est notée pour cette raison en gras italique. Sa valeur inertielle est incorrecte dans tout les cas où elle quantifie la valeur inertielle d'un objet à vitesse relative à la suite d'un échange de quantité de mouvement dans un système à rotation globale d'entraînement. La valeur $\kappa\boldsymbol{m}$ représente la valeur inertielle réelle scalaire de l'objet.

- L'équation du calcul de l'effet inertiel $\mathbf{F_2}$ représente donc une généralisation de l'équation fondamentale $\mathbf{F_1} = m\gamma$.

- Le calcul de la valeur réelle m_0 de la masse d'un objet implique donc la connaissance du rapport vitesse relative/vitesse d'entraînement (de rotation) du système auquel il est lié.

Considérons maintenant une variante tensorielle de l'équation fondamentale de Newton, $\mathbf{F} = m\gamma$

- Nous avons vu (relation (1a), (2b3) à (2b5) que la force **F** d'un mobile **se déplaçant sur une trajectoire courbe** se décompose en une ***composante tangentielle*** (**e**i) et en une ***composante normale*** ($\mathbf{e_n}$). Les composantes $m.\boldsymbol{ve}^2/\rho$, $m.\boldsymbol{vr}^2/\rho$ et $2m.(\mathbf{v_e} \wedge \mathbf{v_r})/\rho$ correspondent aux ***accélérations d'entraînement, relatives et complémen- taires (de Coriolis)*** d'une masse ponctuelle.

- Exprimons $\mathbf{F} = m\gamma$ par leurs formes contravariantes ((2c1), (2c2) ou covariantes (2c4) dans un **système de coordonnées curvilignes** $y^i(t)$: Le terme Γ est le symbole de Christoffel de connexion affine qui definit les tenseurs de courbure de l'espace.

$$\vec{\mathbf{F}}^i = m\frac{d^2y^i}{dt^2} + m\Gamma^i_{kh}\frac{dy^h}{dt}\frac{dy^k}{dt} \quad (2c1) \qquad \vec{\mathbf{F}}^i = m\gamma^i = m\frac{d^2y^i}{dt^2} + m\Gamma^i_{kh}v^h\frac{dy^k}{dt} \quad (2c2) \qquad \mathbf{F}^i = m\frac{dv^i}{dt} + m\Gamma^i_{kh}v^h v^k \quad (2c3)$$

$$m\gamma_i = mg_{ij}\frac{d^2y^i}{dt^2} + m\Gamma_{kih}\frac{dy^h}{dt}\frac{dy^k}{dt} = \mathbf{F}^i \quad (2c4)$$

Relations entre les ***composantes covariantes*** ω_{ji}dt (coef. de courbure) et le ***tenseur*** g_{ij} **:**

$$\frac{\Omega_{ji}}{dt} = g_{ji}\frac{\Omega^j_i}{dt} = g_{ji}\Gamma^j_{ki}\frac{dy^k}{dt} \quad (2c5)$$

- Ces formules (2c1) à (2c4) spécifient l'équation fondamentale F = $m\gamma$ de Newton sous forme tensorielle.
Le premier terme des expressions (2d1) à (2d3) concerne l'accélération tangentielle du mobile m des formules (1a) à (1c) le second terme son accélération centrale.

- Substituons maintenant ***au produit scalaire*** $v_i v_k$ *de (2d)* un ***produit tensoriel*** . Ce produit de deux vecteurs et d'un tenseur du 2ième ordre est lié à celle **d'un produit de 2 espaces vectoriels**.

$$\vec{\mathbf{F}}^i = m\gamma^i = m\frac{d^2y^i}{dt^2} + m\Gamma^i_{kh}\frac{dy^h}{dt}\otimes\frac{dy^k}{dt} \qquad \vec{\mathbf{F}}^i = m\gamma^i = m\frac{d^2y^i}{dt^2} + m\Gamma^i_{kh}v^h\otimes v^k \qquad (2c6)$$

- La force F^i se décompose en composantes ***tangentielle*** $m d^2y^i/dt^2$ et ***normale*** v^2/r (composante $m\,\Gamma_k{}^i{}_j v^j v^k$) à la trajectoire de l'objet· **- Nous reconnaissons donc la forme newtonienne (1c) (quadratique) appliquée à un mobile à masse ponctuelle se déplaçant à vitesse d'entraînement + relative sur une trajectoire courbe .**
- Or, nous retrouvons les variantes de l'équation newtonienne ci-dessus dans la la relativité générale de Einstein. Considérons les options d'interprétation physique.

(3) Une analyse comparative de la théorie de Newton et relativiste de Einstein.

- On détermine en *relativité générale* le mouvement local de la matière sous l'effet de la gravitation et en considérant une distribution d'énergie concentrée en un point par la formule (2c6) ci-dessous. Le terme $d\tau^2 = -ds^2/c^2$, étant la vitesse de la lumière. La particule en question se meut sur une géodésique de l'espace de Riemann. On considère dans cette théorie que cette formule exprime un cas limite newtonien dans un champ gravitationnel faible et lentement variable. Elle se substitue par une interprétation géométrique gravitationelle à l'effet inertiel, c'est à dire à la pesanteur newtonienne.

- Or, la formule (2c8) relativiste ci-dessous est identique à la celles de l'expression (2c10) et (2c11). Leurs différence consiste dans l'interprétation physique. Elle correspond à l'application de l'intervalle de temps propre $d\tau^2$ lié à la vitesse c de la lumière. Mettons les formules newtoniennes et relativistes en parallèle. Le cas du résultat nul des équations suivantes correspond à un mouvement de l'objet sur la géodésique de cette trajectloire: (2c7)

Forme relativiste

Equation gravitationnelle du mouvement relativiste *de la particule sur une géodésique de l'espace de Riemann.*

$$\frac{d^2x^\upsilon}{d\tau^2}+\Gamma^\upsilon_{\alpha\beta}\frac{dx^a}{d\tau}\frac{dx^\beta}{d\tau}=0 \qquad (2c8)$$

Forme relativiste gravitationnelle*.La force* F^i *définie l'"effet" (le poids) gravitationnel" de l'objet sur la géodésique d'un espace de Riemann*

$$\mathbf{F}^i=m\frac{d^2x^\upsilon}{d\tau^2}+m\Gamma^\upsilon_{\alpha\beta}\frac{dx^a}{d\tau}\frac{dx^\beta}{d\tau} \qquad (2c9)$$

Forme newtonienne équivalente

Accélération d'une particule par rapport à un repère fixe curviligne, décomposition en composantes tangentielles u^i et normale n^i à la trajectoire.

$$\frac{d^2y^i}{dt^2}+\Gamma^i_{kh}\frac{dy^h}{dt}\frac{dy^k}{dt}=\gamma^i \qquad (2c10)$$

ou $\gamma^i=u^i\dfrac{dv}{dt}+n^i\dfrac{(\mathbf{v})^2}{\rho}$

Force newtonienne induite correspondant à l'accélération (2c8) ci-dessus. Le second terme est la composante radiale de la force agissant sur l'objet et donc son "poids" corrélatif au sytème (isolé) à qui il est lié.

$$\vec{\mathbf{F}}^i=m\frac{d^2y^i}{dt^2}+m\Gamma^i_{kh}\frac{dy^h}{dt}\frac{dy^k}{dt} \qquad (2c11)$$

ou $\mathbf{F}^i=mu^i\dfrac{dv}{dt}+mn^i\dfrac{(\mathbf{v})^2}{\rho}$

- Considérons à présent l'ensemble des formules (2c7) sous leurs forme généralisée (2c11) ci-dessous. Cette application interprète la méthode du calcul de l'effet dynamique de l'addition d'une vitesse relative et d'entraînement d'un objet **parallèlement dans les deux groupes, newtonienne ou relativiste.**

. Groupe: "transformation de Lorentz-Poincarré". (2c11) **Groupe "transformation de Galilée".**

Forme relativiste comparée *à la forme ci-contre.*

$$\mathbf{F}^i=m\frac{d^2x^\upsilon}{d\tau^2}+m\Gamma^\upsilon_{\alpha\beta}\frac{dx^a}{d\tau}\otimes\frac{dx^\beta}{d\tau}$$

(2c11)a ou $\mathbf{F}^i=m\dfrac{d^2x^\upsilon}{d\tau^2}+m\Gamma^\upsilon_{\alpha\beta}v^\alpha\otimes v^\beta$

où $d\tau^2 = -ds^2/c^2$ est l'intervalle du temps propre dans le **repère pseudo-euclidien spatio-temporel** relativiste contrairement à la différentielle *dt* (temps t invariant) du temps Euclidien dans (2c11)b.

Force cf (2c11) **newtonienne** généralisée:

$$\vec{\mathbf{F}}^i=m\gamma^i=m\frac{\Delta v^i}{dt}=m\frac{d^2y^i}{dt^2}+m\Gamma^i_{kh}\frac{dy^h}{dt}\otimes\frac{dy^k}{dt}$$

ou $\vec{\mathbf{F}}^i=m\gamma^i=m\dfrac{d^2y^i}{dt^2}+m\Gamma^i_{kh}v^h\otimes v^k$ (2c11)b

identique à $\mathbf{F}=m_0\dfrac{dv_{abs}}{dt}\mathbf{e}_t+m_0(ve^2+vr^2)\pm 2m_{Cor}ve\wedge vr.\mathbf{e_n}$

ou $m\rho\,(\mathbf{ve}\otimes\mathbf{vr})=m\,\rho ve^k\otimes vr^h(\mathbf{e}_k\otimes\mathbf{e}_k)$ (2c12)

Dans les formules (2c11)a et (2c11)b les termes à symboles de Christoffel sont équivalents des expressions de Coriolis newtoniennes munis de la masse variable complémentaire pseudo-scalaire, soit:

$m\Gamma^\upsilon_{\alpha\beta}\dfrac{dx^a}{d\tau}\otimes\dfrac{dx^\beta}{d\tau}$ ou $m\Gamma^i_{kh}v^h\otimes v^k$ identique à $\pm 2m_{Cor}ve\wedge vr.\mathbf{e_n} \equiv 2\mathrm{m_{Cor}}\Omega\wedge vr.\mathbf{e_n}=\mathbf{F_{Cor}}=$ **force de Coriolis**

Cette concomitance introduit une même notion de "*masse complémentaire*" dans les deux théories avec un formulaire similaire mais se basant sur une interprétation différente. L'option galiléenne/newtonienne est mathématiquement purement déductive. L'option relativiste se base sur le postulat de l'invariance universelle de la vitesse de la lumière intégré dans le formulaire newtonien.

(4) La transformation de Lorentz newtonienne.

- **Les équations newtoniennes et relativiste** (2c7) à (2c10) sont donc **formellement simillaires**. Elles diffèrent dans l'interprétation physique concernant les deux groupes de la relativité communs à **Galilée et à Einstein**. Le premier, caractérisé par l'existence d'un ***temps absolue*** **indépendant du référentiel,** est celui des transformations de Galilée, $\delta_{ab}R_i^aR_j^b = \delta_{ji}$ ou δ_{ij} est le symbole de Kronecker (voir formule (2b10)). La théorie de relativité correspondante est celle de **Newton** déterminant les accélérations des corps en fonction de la configuration géométrique relative instantanée des objets en interaction.

- Le deuxième groupe est celui des transformations de Lorentz-Poincarré (invariant: $ds^2 = \eta_{\upsilon v}\, dx^{\upsilon} dx^{v}$) caractérisé par l'existance d'une ***vitesse absolue c indépendante du référentiel.*** Il correspond à la théorie relativiste avec un repère ***c*** invariant identifié par **Einstein** à la vitesse c de la lumière. Le fondement de cette théorie relativiste consiste dans la création d'un repère "**espace temps" avec l'invariant "c".**

- En introduisant dans le formulaire de la mécanique classique le terme $c^{-2}vx$ dans la composante t' (t = temps) tout réferentiel inertial sera pourvu d'un **temps local** pour devenir un repère **spatio-temporel** cartésien. Ce procédé implique évidemment la contraction de toutes les valeurs physiques (dimensions, temps, masse, force etc.) en fonction de l'incidence de ce paramètre. **Le repère galiléen devient lorentzien**.

- Les lois du changement de référentiel spatio-temporel du groupe Lorentz-Poincarré impliquent l'application d'une coordonnée complémentaire invariante au repère classique euclidien, en l'occurence la vitesse de la lumière dans le "vide". La contraction des valeurs physique qui résulte de l'application de cette logique se répercute en particulier par une **variabilité de la valeur inertielle de la masse** relativiste en fonction des paramètres de repère spatio-temporel interprétée par une transformation masse/énergie.

-Or, les formules du chapitre 1 précédent démontrent **une variabilité inertielle newtonienne de la masse** en contradiction apparente avec le théorème du centre de masse classique fonction des mouvements relatifs d'objets dans un système matériel .L' incompatibilié avec les principe du centre de masse est compensée par l'insertion **de la valeur inertielle des masses "de Coriolis"**, **fonction du rapport des vitesses relatives des objets à la rotation d'entraînement globale du système.**

- Considérons le coefficient κ du rapport $\boldsymbol{m_{Cor}}/m_0$ de la valeur de la masse au repos m_0 à celle de cette masse "de Coriolis" complémentaire compensatrice (voir 2b11) sous diverses formes équivalentes. Ce coefficient est une fonction des vitesse d'entraînement et relatives sous la forme suivante: (m_c = "masse Coriolis")

$$\frac{m_c}{m} = \frac{2\cdot v_r\cdot v_e}{v_e^2+v_r^2} = \kappa \quad a) \qquad \kappa = \frac{2\cdot v_r}{\dfrac{v_e^2+v_r^2}{v_e}} \quad b) \qquad \kappa = \frac{2\cdot v_r}{v_e+\dfrac{v_r^2}{v_e}} \quad c) \qquad \kappa = \frac{2\cdot v_e\cdot v_r}{v_e^2\cdot\left(1+\dfrac{v_r^2}{v_e^2}\right)} \quad d) \qquad \kappa = \frac{2\cdot v_e\cdot v_r}{v_e^2\cdot\dfrac{v_e^2+v_r^2}{v_e^2}} \quad e) \qquad (2c13)$$

et $m_c = \kappa\cdot m$

La valeur de la vitesse d'entraînement v_e dans cette suite de formules équivalentes correspond à une transformation de Lorentz, en effet:

La valeur de v_x en fonction de v_r où ($v_r = x$)

$$v_x = \frac{v_e+v_r}{1+\dfrac{v_e\cdot v_r}{v_e^2}} \rightarrow \frac{v_e+v_r}{1+\dfrac{1}{v_e}\cdot v_r} \text{ dont } \frac{v_e+v_r}{1+\dfrac{1}{v_e}\cdot v_r} = \frac{v_e+v_r}{\dfrac{v_e+v_r}{v_e}} \rightarrow v_e \qquad (2c14)$$

$= \mathbf{v_{entr.}} =$ **invariante** par rapport aux variations de $\mathbf{v_{rel}}$. = **condition Lorentz.**

on reconnait une forme de la transformation de Lorentz $\boldsymbol{\beta = v/c}$ **(relativiste) en substituant la vitesse d'entraînement de l'objet v_e à l'invariante c, vitesse limite de la lumière:** $\boldsymbol{\beta_{Newton} = v_r/v_e}$

donc: $\beta = \dfrac{v}{c} = \beta_{Newton}$: = vitesse rel./vitesse d'entr. v_e: $\dfrac{v_r^2}{v_e^2} = \dfrac{v_r^2}{c^2}$ **en posant $v_e = c$** (2c15)

- Nous retrouvons le terme $v_r^2/\,\mathbf{v_e}^2$ dans les formules newtoniennes (2c13); b,c,d ci-dessus. $\quad v = v_e + v_r$

- La valeur classique du calcul de la **force de Coriolis** peut-être exprimé par les deux formules:

$$\vec{F_c} = \left(2\cdot m\cdot\vec{v_r}\wedge\vec{v_e}\right)\cdot\rho \qquad (2c16)$$

soit en remplaçant v_e par l'angle de rotation $\Omega = v_e/r$; $\rho = 1/r$ $\qquad F_c = 2\cdot m\cdot\Omega\cdot v_r$

Calculons la "masse de Coriolis" $\boldsymbol{m_c}$ (pseudo-scalaire) avec les formules (2c13)a et (2c13)d. : $m_c = \kappa\cdot m$ et $\rho = 1/r$

$$m_c = \frac{2 \cdot m \cdot v_e \wedge r}{v_e^2 \cdot \left(1 + \frac{v_r^2}{v_e^2}\right)}$$ En multipliant par ρ $$m_c \cdot v_e^2 \cdot \rho \left(1 + \frac{v_r^2}{v_e^2}\right) = (2 \cdot m \wedge v_e) \cdot v_r \cdot \rho = (m \cdot 2 \wedge \Omega) \cdot v_r = F_{Coriolis} \quad (2c17)$$

dont $m_c \cdot v_e^2 \cdot \rho = F_c$ représente la **force centrale (centrifuge)** appliqué à la masse (m_0 + m_c)

Posons: $1 + \frac{v_r^2}{v_e^2} = \beta$ **Le scalaire β (Newtonien) *analogue à celui*** $1 - \frac{v_r^2}{c^2} = \beta$ de la théorie relativiste. (2c18)

- La force de Coriolis complémentaire centrale (= centrifuge) $F_{Coriolis}$: appliquée à un objet à vitesse relative correspond donc à une **action inertielle complémentaire newtonienne** à celle de sa masse au repos m_0.

- Conclusion: Nous constatons que le coefficient de transformation de Lorentz relativiste β de la force de Coriolis newtonienne $F = m.v_e^2.\rho$ diffère de celle relativiste de Einstein que par l'interprétation des vitesses dans le le terme $\beta = 1 - v_e^2 / c^2$, (2c18). Le signe + remplace le signe négatif - de la forme $1 - v_e^2/v_r^2$, la vitesse relative newtonienne v_r pouvant être positive ou négative par rapport à v_e.

- Le paramètre v_e lié à la vitesse angulaire Ω_e d'entraînement détermine la vitesse globale dans un système matériel isolé. C'est un invariant du même ordre que la vitesse c de la lumière dans la théorie relativiste, voir démonstration (2c14) précédente. Ce paramètre est lié au concept de la variabilité de la masse newtonienne "de Coriolis".

- Le tenseur de rotation Ω de la vitesse d'entraînement globale d'un système physique est un élément de calcul classique et incontournable implicite à tout calcul newtonien. L'introduction du paramètre correcteur 'c' réducteur au formulaire de la dynamique de Newton résulte par contre du postulat relativiste de Einstein.

(5) L'énergie newtonienne complémentaire de la masse.

L'énergie potentielle E correspondant à la Force **F** dans la formule (2c19) est égale à l'énergie cinétique:

$$E = \frac{2.m \cdot v_r^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{v_r^2}{v_e^2}\right) \qquad \frac{2.m \cdot v_r^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{v_r^2}{v_e^2}\right) \rightarrow v_r^2 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{v_r^2}{v_e^2}\right) \qquad E = m \cdot v_r^2 \cdot \left(1 + \frac{v_r^2}{v_e^2}\right) \quad (2c19)$$

Dans le cas d'un échange de quantité de mouvement à vitesses $v_r = \pm v_e$ il vient:

$$E_1 = m_1 \cdot v_e^2 \cdot \left(1 + \frac{v_e^2}{v_e^2}\right) \rightarrow E_1 = 2 \cdot m_1 \cdot v_e^2 \quad \text{et} \quad E_2 = m_2 \cdot v_e^2 \cdot \left(1 - \frac{v_e^2}{v_e^2}\right) \rightarrow E_2 = 0$$

donc: $$E_1 = m_1c^2 \quad (2c20)$$

$$E_2 = 0 \quad (2c21)$$

$$\Sigma E_{1,2} = m_{1,2}c^2 \quad (2c21)$$

- Nous retrouvons un résultat newtonien de la forme E = mc² en comparaison avec la formule fondamentale de la théorie relativiste de Einstein. Elle s'applique à deux particules se déplaçant à la vitesse relative $v_{1absolue} = c = v_{1relative} + v_{entraînement}$ suite à un échange de quantité de mouvements dans un système matériel isolé.

$$E_{1,2} = m_{1,2}c^2$$

- L'énergie complémentaire induite lors d'un échange de quantités de mouvement de deux particules se répartie de façon asymétrique sur les deux particules. La valeur inertielle est proportionnelle aux masses complémentaires "de Coriolis" de la formule $m_0 = m.(1 + m_{Cor})$.

- **Dans le cas particulier de l'égalité des deux masses la formule prend la forme (2c21) citée ci-dessus, similaire à la forme relativiste F = *mc²*. L'effet inertiel de la forme de l'énergie $\Sigma E_{1,2}$ résulte d'un échange de quantités de mouvements de deux masses réelles par opposition à la conversion hypothétique "matière / énergie" relativiste.**

(6) Application numérique des démonstrations symboliques précédentes.

- Soit deux objets m_1 et m_2 de masse $m_{01} = m_{02}$ soumis à des mouvements relatifs sur une trajectoire courbe résultants d'un échange réciproque des quantités de mouvements **p_1** et **p_2** ; donc **$p_1 = p_2$** et $m_1.v_1 = m_2.$**v2**.
L'accélération des particules (masses ponctuelles) le long de leurs trajectoires est considérée comme constamment nulle. Les résultats des formules correspondent à l'effet inertiel central (radial) c'est à dire centrifuges, respectivements centripètes.

Formulaire de base:

$$F_{ent} + F_{rel} = \begin{pmatrix} v_e & v_r \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_r \end{pmatrix} \cdot \rho \rightarrow \left(v_e^2 \cdot m + v_r^2 \cdot m \right) \cdot \rho$$

Composante: Σ des forces d'entraînement + relatives: Forme bilinéaire. (2b2)

$$F_{Cor} = \begin{pmatrix} v_e & -v_r \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & m \\ -m & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_r \end{pmatrix} \cdot \rho \rightarrow 2 \cdot v_r \cdot m \cdot v_e = 2 \cdot m \cdot v_r \cdot v_{re} \cdot \rho$$

Composante: forces complémentaires (de Coriolis) = $2m\, \varepsilon\, v_e\, \Omega \times v_r$. étant donné que ($\Omega = v_e/r$) (2b3)

$$F_{abs} = \begin{pmatrix} v_e & v_r \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m & m \\ -m & m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_r \end{pmatrix} \cdot \rho \rightarrow \left[\left(v_e \cdot m - v_r \cdot m \right) \cdot v_e + \left(v_e \cdot m + v_r \cdot m \right) \cdot v_r \right] \cdot \rho \qquad m^2 \cdot \left(v_e + v_r \right)^2 \cdot \rho \qquad (2b4)$$

$$F_{abs} = \left[\begin{pmatrix} v_e & -v_r \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m & m \\ -m & m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ -v_r \end{pmatrix} \right] \cdot \rho = \left(v_e^2 \cdot m - 2 \cdot v_{r1} \cdot m \cdot v_e + v_{r1}^2 \cdot m \right) \cdot \rho$$

= (2b4) factorisé (2b5)

Données. Vérification par l'application de valeurs numériques simples .

$$m_1 := 1 \cdot kg \quad m_2 := 1 \cdot kg \quad r := 1 \cdot m \quad v_e := 2 \frac{m}{s} \quad v_{r1} := 1 \frac{m}{s} \quad v_{r2} := -v_{r1} \cdot \frac{m_1}{m_2} \quad v_{r2} = -1 \frac{m}{s} \quad v_{abs1} := v_e + v_{r1} \qquad (8)$$

$$v_{abs1} = 3 \frac{m}{s} \quad v_{abs2} := v_e + v_{r2} \quad v_{abs2} = 1 \frac{m}{s} \quad \Omega_e := \frac{v_e}{r}$$

G_{ij} Mouvement absolu = $\begin{pmatrix} m_1 & m_1 \\ m_1 & m_1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} kg & kg \\ kg & kg \end{pmatrix}$ (9)

- Courbure de rayon r de la trajectoire d'entraînement de la masse ponctuelle m_i $\quad \rho_e := \frac{1}{r} \quad \rho_e = 1 \frac{1}{m}$

<u>**Tableau**</u> des "valeurs masse" des deux masse m_1 et m_2 en fonction des forces radiales induites par leurs mouvement d'entraînement et relatif sur leur trajectoire courbe.

A) Forces centrales (entr. + rel. + Coriolis) = effet inertiel induit par les masses m_1 et m_2 dans le système considéré physiquement comme isolé.	**B)** Forces d'entraînement relatives et de Coriolis = fraction des valeurs inertielles induites par les masses m_1 et m_2.	**C) Valeur "masse"** correspondant aux effets des **valeurs inertielles** (forces dans B)
<u>**Objet m_1**</u>: masse m_{01}	<u>**Action (Force) inertielle de**</u> m_{01}	<u>**"masse inertielle"**</u> m_{01}

Force d'entraînement + relative sur m_1. Tenseur "masse": composantes symétriques.

$$F_{1erc} := \begin{pmatrix} v_e & v_{r1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_{r1} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r} \qquad F_{1erc} = 5\ N$$

a) valeur masse $m_{0::}$ $\quad m_{1er} := \frac{m_1 \cdot F_{1erc}}{F_{1erc}} \rightarrow kg \qquad (10)$

Force complémentaire "de Coriolis) sur m_1. Tenseur "masse" : composantes antisymétriques.

$$F_{1Cc} := \begin{pmatrix} v_e & v_{r1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & m_1 \\ m_1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_{r1} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r} \quad + \quad F_{1Cc} = 4\ N$$

b) valeur "masse Coriolis" <u>**complémentaire:**</u> $\quad m_{1Cc} := \frac{m_1 \cdot F_{1Cc}}{F_{1erc}} \rightarrow \frac{4}{5} \cdot kg \qquad (11)$

Σ Force entr.+ compl. +"de Coriolis" sur m_1. Tenseur "masse" généralisé.

$$F_{1abs} := \begin{pmatrix} v_e & v_{r1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_1 & m_1 \\ m_1 & m_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_{r1} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r} = F_{1abs} = 9\ N$$

c) valeur masse active totale: $\quad m_{1abs} := \frac{m_1 \cdot F_{1abs}}{F_{1erc}} \rightarrow \frac{9}{5} \cdot kg \qquad (12)$

Objet m_2 : masse m_{02} **Action (Force) inertielle de** m_{02} **"masse inertielle"** m_{02}

Force d'entraînement + relative sur m_2. Tenseur "masse": composantes symétriques

$$F_{2erc} := \begin{pmatrix} v_e & v_{r2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_2 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_{r2} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r} \qquad F_{2erc} = 5\ N$$

a) valeur masse m_0 ::

$$m_{2er} := \frac{m_2 \cdot F_{2erc}}{F_{2erc}} \to kg \qquad (13)$$

Force complémentaire "de Coriolis) sur m_2. .Tenseur "masse": composantes antisymétriques

$$F_{2Cc} := \begin{pmatrix} v_e & v_{r2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & m_2 \\ m_2 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_{r2} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r} + \quad F_{2Cc} = -4\ N \quad +$$

b) valeur "masse Coriolis": **complémentaire**

$$m_{2Cc} := \frac{m_2 \cdot F_{2Cc}}{F_{2erc}} \to \frac{-4}{5} \cdot kg \qquad (14)$$

Σ Force entr. + compl. +de Coriolis sur m_2. Tenseur "masse" généralisé.

$$F_{2abs} := \begin{pmatrix} v_e & v_{r2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_2 & m_2 \\ m_2 & m_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ v_{r2} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r} = \quad F_{2abs} = 1\ N \quad =$$

c) valeur masse active totale:

$$m_{2abs} := \frac{m_2 \cdot F_{2abs}}{F_{2erc}} \to \frac{1}{5} \cdot kg \qquad (15)$$

Les objets m_1 et m_2, de masse identiques (m_{01}= 1kg et m_{02}=1kg) constituent un système matériel physiquement isolé, c'est à dire libre de toute force extérieure. Ils sont liés à un repère fixe Oxyz,: m_1 (0,m_1,0) et m_2 (0,-m_1,0). Calculons l'ordonnés Y_G de leur centre de masse et d'inertie par rapport à l'origine O du repère fixe Oxyz .

Coordonnées des masses m_1 et m_2 $\quad y_1 := 1 \cdot m \quad$ et $\quad y_2 := -1 \cdot m$

(7) Centre de masse et centre d'inertie tenu compte de la masse complémentaire "de Coriolis

a) calcul classique **F**=mγ du **centre de masse m_0** des "masses au repos" dee m_1 et m_2. Le terme γ_{Cor} est implicite dans γ_{abs}.

$$Y_{(1} := \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2}{2(m_1 + m_2)} \qquad Y_G = 0\ m \qquad (16)$$

b): calcul du **centre d'inertie** correspondant au forces induites par les vitesses "***d'entraînements + relatives = vitesse absolue***". (= centre identique au centre des masse au repos m_0.). Voir composantes (10) et (13)

$$Y_{Gm0} := \frac{m_{1er} \cdot y_1 + m_{2er} \cdot y_2}{2(m_{1er} + m_{2er})} \qquad Y_{Gm0} = 0\ m \qquad (17)$$

d): calcul du **centre d'inertie** correspondant aux forces induites par la "***vitesse absolue ± les vitesse relatives***". Ces dernières sont à l'origine des forces de Coriolis dont la valeur inertielle correspond à la "masse "de Coriolis". Composantes (14)+(15) et (17)+(18)

$$Y_{Gabs} := \frac{m_{1abs} \cdot y_1 + m_{2abs} \cdot y_2}{2(m_{1abs} + m_{2abs})} \qquad Y_{Gabs} = 0.4\ m \qquad (18)$$

Donc: Ordonnée du centre de masse dans O(xyz): y_{cdm} = 0m, celui du centre d'inertie $y_{inertie}$ 0.5m

- Conclusion: Les opérations (10) à (18) prouvent que la position du centre d'inertie d'objets à vitesses relatives dans un système matériel isolé correspond à leurs centre inertiel commun instantané et non à celui de leurs "*masses au repos, m_0.*". Ce centre d'inertie est centre de rotation instantané par rapport à l'origine d'un repère immobile. Le centre des masses m_0 devient mobile dans ce référentiel.

- Ce constat semble invalider le *théorème classique du centre de masse* de la mécanique newtonienne (énoncé voir çi-dessous) qui déclare que le mouvement global d'un système matériel correspond à celui de son centre de masse (=Σ masses m_0) et qu'il est immobile en l'absence de forces appliquées à extérieure.

- L'étude présente démontre que ce mouvement correspond à celui du centre d'inertie instantané. La désignation *"théorème du centre de masse"* est revalorisée à condition d'attribuer aux objets à vitesses relatives les valeurs de masses complémentaires correspondant aux "*masses de Coriolis*" . Ces masses "newtoniennes" sont de valeurs variable en fonction de mouvement relatif des objets.

- La somme des masses m_0 du système isolé global reste invariante. En effet, on démontre que les forces de Coriolis et donc les valeurs de masse correspondantes, sont toujours de même valeur absolue mais de sens vectoriel opposé, (voir démonstration ci-dessous). Il en résulte que le potentiel global des énergies des composantes du système reste constant.

- Ces masses variables sont partie intégrante dans tout calcul de mécanique newtonienne. Elles se substituent aux masses variables relativistes comme par exemple dans le calcul de la précession des périhélies des planètes.

Remarques complémentaires, quelques rappels: définition du centre de masse et d'inertie

- Centre de masse et centre d'inertie : La masse d'un objet est définie en physique par sa valeur inertielle ce qui implique intuitivement l'équivalence du centre d'inertie et du centre de masse. **Théorème**: *Le mouvement du centre de masse d'un système matériel (n particules ou solide) est identique à celui d'un point matériel de masse M (M = Σm_i = centre de masse G) soumise à la résultante en G des forces extérieures appliquées au système.*

Ce principe est équivalent à l'équation fondamentale: F = $m\gamma$. **Le centre d'inertie est l'axe de rotation instantané du système.**

- Les forces de Coriolis résultant d'un échange de quantités de mouvement p sont toujours égales et de sens contraire. En effet, le principe de conservation des quantités de mouvement s'énonce: $\mathbf{p}_{12} = m_1 v_1 = m_2 v_2$. La force de Coriolis s'écrit: $\mathbf{F}_{Cor} = 2\varepsilon\Omega.m.v_{rel}$, où la vitesse angulaire d'entraînement est commune aux deux objets m_1 et m_2.

On peut donc conclure: $\mathbf{F}_{1Cor} = \Omega\mathbf{p}_1 = -\mathbf{F}_{2Cor} = -\Omega\mathbf{p}_2$

(8) Courbes analytique: cinématique et dynamique compte tenu des masses complémentaires

Généralisation. Les calculs précédents se basent sur les valeurs fixes définies sous (8). Extrapolons ces calculs par des **courbes,** fonctions des vitesses relatives variables par rapport à une vitesse d'entraînement invariable. Les limites sont fixés à ± 30m/sec. Les courbes correspondent proportionnellement à l'intervalle 0 à c (300 000 km.sec.).

Incrément de suite variable   Vit. relative de m_1 Vit. relative de m_2 Vit. d'entraînement = invariante instantanée.

$\mathbf{n} := -30, -29 .. 30$ $\mathbf{V_{r1}(n)} := \mathbf{v_{r1} \cdot n}$ $\mathbf{V_{r2}(n)} := \mathbf{v_{r2} \cdot n}$ $\mathbf{v_e} = 2\ \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}}$

Force d'entraînement + relative sur m_1

$$\mathbf{F_{1ercv}(n)} := \begin{pmatrix} \mathbf{v_e} & \mathbf{V_{r1}(n)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{m_1} & 0 \\ 0 & \mathbf{m_1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{v_e} \\ \mathbf{V_{r1}(n)} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{\mathbf{r}}$$

(19a) valeur masse m_0: :

$$\mathbf{m_{1erv}(n)} := \frac{\mathbf{m_1 \cdot F_{1ercv}(n)}}{\mathbf{F_{1ercv}(n)}} \qquad (19)$$

Force complémentaire "de Coriolis) sur m2

+

$$\mathbf{F_{1Ccv}(n)} := \begin{pmatrix} \mathbf{v_e} & \mathbf{V_{r1}(n)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & \mathbf{m_1} \\ \mathbf{m_1} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{v_e} \\ \mathbf{V_{r1}(n)} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{\mathbf{r}}$$

(20b) valeur inertielle de la "masse Coriolis" m_{Cor} complémentaire

$$\mathbf{m_{1Ccv}(n)} := \frac{\mathbf{m_1 \cdot F_{1Ccv}(n)}}{\mathbf{F_{1ercv}(n)}} \qquad (20)$$

Σ Force entr. + compl. +de Coriolis sur m2

=

$$\mathbf{F_{1absv}(n)} := \begin{pmatrix} \mathbf{v_e} & \mathbf{V_{r1}(n)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{m_1} & \mathbf{m_1} \\ \mathbf{m_1} & \mathbf{m_1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{v_e} \\ \mathbf{V_{r1}(n)} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{\mathbf{r}}$$

(21c) valeur (19a)+(20b)= valeur masse totale (effective)

$$\mathbf{m_{1absv}(n)} := \frac{\mathbf{m_1 \cdot F_{1absv}(n)}}{\mathbf{F_{1ercv}(n)}} \qquad (21)$$

Fig.19d Courbes de variation des <u>valeurs inertielles</u> des masses calculées dans les formules (19) à (21) ci-dessus.:

rouge: valeur de la masse au repos invariante (19)
bleue: valeur de la masse "Coriolis" complémentaire (20)
Vert : valeur absolue instantanée de la masse: vert (21)=(19)+(20)

La courbe m_{total} exprime la variation inertielle réelle de l'inertie de la masse m_1. ***Cette valeur pseudo-scalaire différente de m_0 correspond donc conformément à la définition classique en physique à sa valeur de masse au sein du système isolé considéré.***

Fig; (19e) Courbes des forces calculées dans les formules (19) à (21) .- La Force absolue (en rouge) résulte de l'addition de forces de Coriolis complémentaires (en bleu) à celles induites par les "masses au repos".

Fig.19d masse variable newtonienne

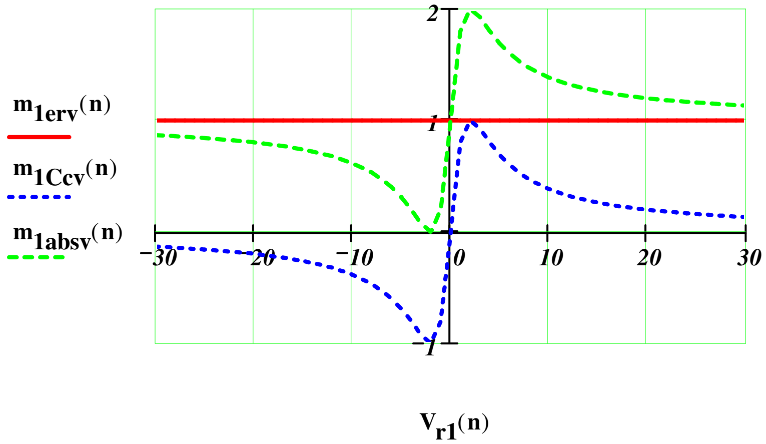
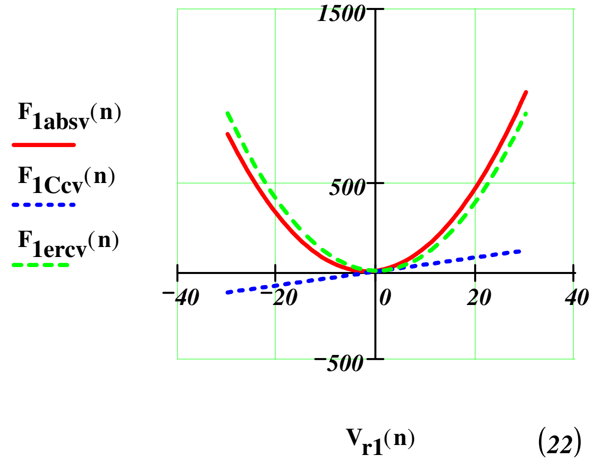


Fig.19e Forces centrales



(22)

Force d'entraînement + relative sur m_2

$$F_{2ercv}(n) := \begin{pmatrix} v_e & V_{r2}(n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_2 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ V_{r2}(n) \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r}$$

a) valeur masse m_0: :

$$m_{2erv}(n) := \frac{m_2 \cdot F_{2ercv}(n)}{F_{2ercv}(n)} \qquad (23)$$

\+

Force complémentaire "de Coriolis) sur m2

$$F_{2Ccv}(n) := \begin{pmatrix} v_e & V_{r2}(n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & m_2 \\ m_2 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ V_{r2}(n) \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r}$$

b) valeur "masse Coriolis" m_{Cor} complémentaire:

$$m_{2Ccv}(n) := \frac{m_2 \cdot F_{2Ccv}(n)}{F_{2ercv}(n)} \qquad (24)$$

=

Σ Force entr. + compl. +de Coriolis sur m2

$$F_{2absv}(n) := \begin{pmatrix} v_e & V_{r2}(n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_2 & m_2 \\ m_2 & m_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_e \\ V_{r2}(n) \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r}$$

c) valeur masse totale (effective)

$$m_{2absv}(n) := \frac{m_2 \cdot F_{2absv}(n)}{F_{2ercv}(n)}$$

(22d) Courbes idem fig.22d pour l'objet m_2.

Commentaires idem fig. (19d) et 19c b)

(24b) Forces idem fig. 19e

Fig.22d masse variable newtonienne

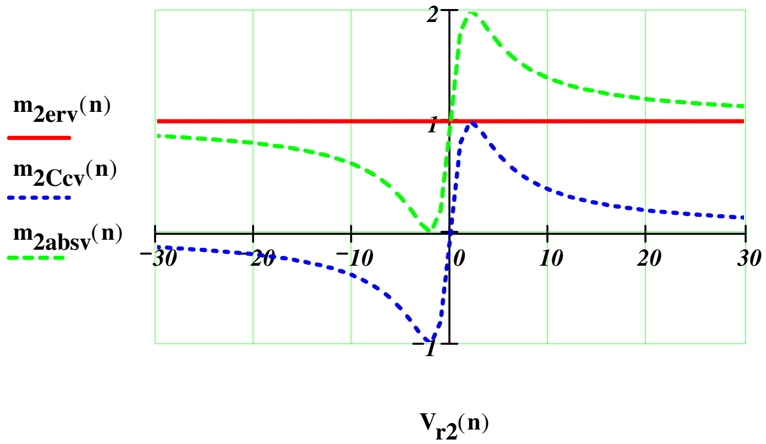
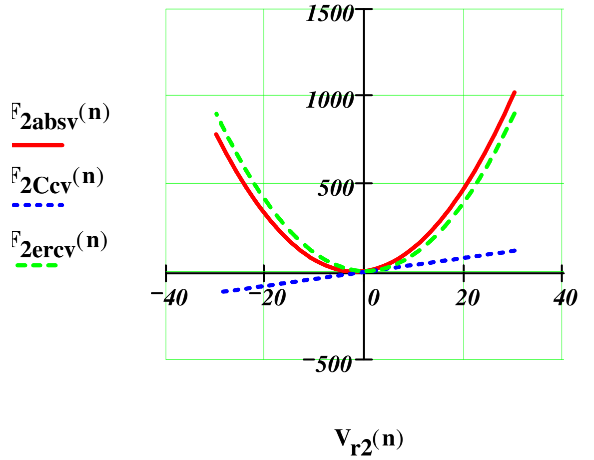


Fig.22e Forces centrales



Evaluations symboliques des dimensions des valeurs inertielles converties en kg-masse (19) à (24). Confirmation de la valeur en kg/masse force de Coriolis / "masse Coriolis" (*F1erc* = force d'entraînement + relative):

Valeur inertielle de la "masse au repos" m_0 de l'objet m_1 $$m_{1er} := \frac{m_1 \cdot F_{1erc}}{F_{1erc}} \rightarrow kg \qquad (25)$$

(9) Valeur inertielle complémentaire de la masse de l'objet m_1 équivalente à la force de Coriolis.

Le terme "n" dans les formules suivantes est l'incrément scalaire du rapport variable de la vitesse relative v_{ri} à la vitesse d'entraînement v_e : $n = v_{ri} / v_e$. La vitesse d'entraînement v_e de l'objet m_i est considérée comme invariante dans la situation instantanée du système.

paramètres dans les formules suivantes:

$m_1 = m_0 = 1 \cdot kg$

m_{1CcV} = force de Coriolis $\qquad m_{1absV}$ = force absolue = force = ∎

F_{1ercv} = force absolue (entrainement + relative)

$$m_{1CcV}(n) := \frac{m_1 \cdot F_{1Ccv}(n)}{F_{1ercv}(n)} \rightarrow 4 \cdot kg^2 \cdot \frac{m^2}{s^2} \cdot \frac{n}{4 \cdot \frac{m^2}{s^2} \cdot kg + \frac{m^2}{s^2} \cdot n^2 \cdot kg} \quad \text{= réduit} \quad 2 \cdot kg \cdot \frac{n}{1 + n^2} = m_0 \cdot \kappa \qquad (26)$$

valeur inertielle totale de la masse de l'objet m_1

$$m_{1absV}(n) := \frac{m_1 \cdot F_{1absv}(n)}{F_{1ercv}(n)} \rightarrow kg \cdot \frac{2 \cdot \left(2 \cdot \frac{m}{s} \cdot kg + \frac{m}{s} \cdot n \cdot kg\right) \cdot \frac{m}{s} + \left(2 \cdot \frac{m}{s} \cdot kg + \frac{m}{s} \cdot n \cdot kg\right) \cdot \frac{m}{s} \cdot n}{4 \cdot \frac{m^2}{s^2} \cdot kg + \frac{m^2}{s^2} \cdot n^2 \cdot kg} \qquad (27)$$

Ces trois formules concrétisent la valeur inertielle instantanée d'un objet, donc par définition l'unité de sa valeur de masse. La valeur en kg/masse dans (27) correspond à la somme des masses déterminées dans (19) à (21).

Considérons la forme F_{abs} centrifuge **:** $m_0\gamma = -m_0 v^2_{abs}/r$. La vitesse v_{abs} se décompose en vitesse relative v_{r1} et d'entraînement v_e: $v_{abs} := v_{r1} + v_e$.

$m_{01} := m_1 \qquad m_{02} := m_2$

$\Omega_{e1} := \frac{v_e}{r}$ = vitesse angulaire d'entraînement. (r_1 = rayon instantané du trajet de l'objet m_1) $\qquad \rho_e = 1 \frac{1}{m}$ = rayon de courbure du trajet de l'objet m_i (28)

La force centrifuge F_{abs} : $F_{abs1} := m_{01} \cdot \rho_e \cdot (v_{r1} + v_e)^2 \qquad F_{abs1} = 9\ N$ se décompose en: (29)

$$F_{abs1d} := m_{01} \cdot \rho_e \cdot \left(v_{r1}^2 + v_e^2\right) + 2m_1 \cdot \rho_e \cdot v_e \cdot v_{r1} \quad \text{soit} \quad F_{abs1e} := m_{01} \cdot \rho_e \cdot \left(v_{r1}^2 + v_e^2\right) + 2m_1 \cdot \Omega_{e1} \cdot v_{r1} \qquad (30)$$

$F_{abs1d} = 9\ N$ dont les composantes:

$F_{r1e} := m_{01} \cdot \rho_e \cdot \left(v_{r1}^2 + v_e^2\right)$ = Σ des forces d'entraînement + relatives $\quad F_{r1e} = 5\ N$ (31)

$F_{Cor1} := 2m_{01} \cdot \rho_e \cdot v_e \cdot v_{r1}$ = Σ force complémentaire (de Coriolis) $\quad F_{Cor1} = 4\ N$ (32)

- Or la valeur de la masse m_{01} *commune au composantes (30) et (31) est scalaire. C*e terme F_{Cor1} quantifie une valeur inertielle F_{Cor1} (32) complémentaire à celle induite par la masse m_0 dans (29) par F_{r1e}

- Considérons une **<u>forme généralisée de l'équation</u>** $F_{Newton} = (m_0 + m_{Cor\,1})\gamma$ **<u>qui fait apparaître le complément inertiel</u>** $m_{Cor\,1}$ complémentaire par le coefficient κ_{1m} correspondant au rapport de la force de Coriolis (32) à la somme des forces d'entraînement et relatives (30) soit:.

(10) Le coefficient κ de transformation de la masse variable newtonienne.

$$\kappa_{1m} := \frac{2\cdot v_e\cdot v_{r1}}{v_e^{\,2} + v_{r1}^{\,2}} \quad \kappa_{2m} := \frac{2\cdot v_e\cdot v_{r2}}{v_e^{\,2} + v_{r2}^{\,2}} \quad \kappa_{1m} = 0.8 \quad \kappa_{2m} = -0.8 \qquad (33)$$

= coefficient du rapport de la force de Coriolis à la somme de la force d'entraînement et relative; voir: (31) /32)

$$m_{cor1} := \kappa_{1m}\cdot m_{01} \quad m_{cor1} = 0.8\ \text{kg} \quad m_{cor2} := \kappa_{2m}\cdot m_{01} \quad m_{cor2} = -0.8\ \text{kg}$$

= "masse Coriolis" correspondant à l'effet inertiel de la force de Coriolis complémentaire

= Force absolue centrifuge sur la base de la forme classique de l'équation newtonienne **F** = $m_0\gamma$.

$$F_{N1v} := m_{01}\cdot\rho_e\cdot v_{abs1}^{\,2} \quad F_{N1v} = 9\ \text{N} \quad \text{soit} \quad F_{N1v1} := m_{01}\cdot\rho_e\cdot\left(v_e + v_{r1}\right)^2 \quad F_{N1v} = 9\ \text{N} \qquad (34)$$

$$F_{N2v} := m_{02}\cdot\rho_e\cdot v_{abs2}^{\,2} \quad F_{N2v} = 1\ \text{N} \quad \text{soit} \quad F_{N2v2} := m_{02}\cdot\rho_e\cdot\left(v_e + v_{r2}\right)^2 \quad F_{N2v} = 1\ \text{N}$$

Or la valeur inertielle réelle de la masse ponctuelle m_0 correspond en réalité à celle d'une masse $m_0 + m_{cor}$. ***d'où:***

(11) La forme généralisée de l'équation de Newton.

$$F_{Ne1} := \left(m_{01} + m_{cor1}\right)\cdot\rho_e\cdot\left(v_e^{\,2} + v_{r1}^{\,2}\right) \quad \text{soit} \quad F_{Ne1v} := m_{01}\cdot\rho_e\cdot\left(1 + \kappa_{1m}\right)\cdot\left(v_e^{\,2} + v_{r1}^{\,2}\right) \quad F_{Ne1v} = 9\ \text{N} \qquad (35)$$

$$F_{Ne2} := \left(m_{02} + m_{cor2}\right)\cdot\rho_e\cdot\left(v_e^{\,2} + v_{r2}^{\,2}\right) \quad \text{soit} \quad F_{Ne2v} := m_{02}\cdot\rho_e\cdot\left(1 + \kappa_{2m}\right)\cdot\left(v_e^{\,2} + v_{r2}^{\,2}\right) \quad F_{Ne2v} = 1\ \text{N} \qquad (36)$$

$$F_{N1v5} := m_{01}\cdot\frac{v_e^{\,2}}{r} \quad F_{N1v5} = 4\ \text{N}$$

= calcul de la masse sur la base de la seule vitesse d'entraînement de l'objet.

- La formule classique **(34)** s'applique à la détermination du centre de masse d'un objet à mouvements relatifs en fonction de la courbure de son trajet et de sa vitesse instantanée. ***La valeur de la masse*** m_{01} ***ne correspond pas à la valeur réelle de la masse au repos.***

- ***La forme généralisée*** **équivalente b *(35)*** fait état de la variabilité de la valeur de la masse, fonction de la relativité de la vitesses de l'objet par rapport à la vitesse d'entraînement du système auquel il est lié. Elle s'impose pour le calcul du centre de masse réel (= centre inertiel) de ce sytème ou inversement pour le calcul de la masse $m_{0\ \text{réel}}$ de l'objet **en connaissance** de ses vitesse relative et d'entraînement. Le calcul de la valeur de la "masse Coriolis" **présume l**a connaissance du rapport des vitesses relatives internes des composantes d'un ensemble matériel à la vitesse globale d'entraînement du système.

- **Exemples:** *le décalage du périhel de Mercure. La masse complémentaire* $\mathbf{m_{Cor}}$ *qui correspond à la rotation propre relative dans le système Soleil Mercure de la planète est substitué à la masse variable relativiste. Il en résulte un décalage du centre inertiel (donc centre de rotation propre de la planète) par rapport à son centre des masses* m_0 **.** ***La trajectoire observée correspond à celle d'une planète de masse*** *(*$M_{inertiel} = (\Sigma m_0 + \Sigma m_{Cor})$*). La masse* M_0 *réelle de la planète est donc inférieure à celle déterminée par le calcul sur la base de sa trajectoire connue. La masse complémentaire* Σm_{Cor} *correspond à la masse complémentaire due à la rotation relative propre de la planète.*

- ***Ce principe est universel****, qu'il s'agisse d'objets astronomiques, de particules élémentaires ou de tout objet de nature quelconque à mouvement relatif.*

- L'application du calcul des trajectoires de ces objet ou inversement de leurs masses soulève un problème notable. En effet, la valeur de la fraction de masse complémentaire Σm_{Cor} *est tributaire de la connaissance de leurs vitesses relatives propres et de la répartition des propriétés intrinsèques de leurs densité. On connait par exemple les valeurs globales des vitesse angulaires de rotation des planètes .On évalue par hypothèse la répartition de leurs densités internes. Il en est de même de ces paramètres pour les particules élémentaires. Le spin en est la cause mais pas la mesure de leurs vitesses de rotations réelles. L'étude dynamique du comportement de ses objets produit la valeur globlale mais pas la distinction des valeurs* m_0 *et* m_{Cor}*.*

- Les effets comme ceux du décalage du périhel de Mercure, de la variabilité apparente des masse des atomes et des particules élémentaires sont actuellement interprétés par les hypothèses consécutives au postulat de Einstein. Elles s'expliquent par contre concrètement par l'application des masses variables "de Coriolis" , procédé mathématiquement incontournable. Cette méthode se basant sur l'effet inertiel de compensation de la masse variable newtonienne "de Coriolis" se substitue donc rationnellement à celle de la masse variable et transmutable relativiste.

(12) La masse "Coriolis", la masse relativiste et la transformation de Lorentz. Application numérique.

Les formules de l'effet Coriolis correspondent à celles de la transformation de Lorentz. Il en résulte une certaine concordance des résultats newtoniens et relativistes de l'évaluation de la valeur de la masse.

Considérons l'équation $\mathbf{F} = m_{0i}\,\gamma$ affectée au calcul des forces radiales (centrifuges) appliquées à une masse ponctuelle $\mathbf{F} = (\mathbf{v_e} \pm \mathbf{v_{ri}})^2 . m_0 . \rho$ et décomposée en forces relatives, d'entraînement et de Coriolis: $(\mathbf{v_e}^2 + \mathbf{v_r}^{2*}) m_0 . \rho \pm 2.\mathbf{v_e}.\mathbf{v_r}).m_0.\rho.$ On considère en mécanique classique que la valeur m_0 et scalaire.

Or la parité booléenne de la valeur absolue du rapport masses $|m_{cor}|/|m_0|$ = est 1 (= égal pour les valeurs absolues) et 0 (= inégal pour la valeur algébrique $\pm$) pour les valeurs algébriques m_{cor}/m_0 **:** Le terme ρ_e = rayon de courbure de la trajectoire de masses m_i **:**

Considérons les rapports $(\mathbf{F_{i\,(entr.)}} + \mathbf{F_{i(rel)}}) / \mathbf{F_{i(Cor)}}$ de l'équation $\mathbf{F} = m_i\,\gamma$ décomposée en vitesses d'entraînement et relative**.**

Rapport des valeurs inertielles des masses m_{cori}/m_{0i}

$$\kappa_1 := \frac{m_{cor1}}{m} \qquad \kappa_2 := \frac{m_{cor2}}{m} \qquad \text{donc} \qquad \frac{\kappa_1}{\kappa_2} = -1 \tag{37}$$

soit sous forme d'équations booléenne = : (égal**:** 1 = oui 0 = non)

val.absolue booléenne: $|\kappa_1| = |\kappa_2| = 1$ **val. inertielle booléenne:** $\kappa_1 = \kappa_2 = 0$ (37)

Donc les rapports κ_i des valeurs inertielles des masses m_1 et m_2 sont **<u>égales mais d'effets inertiels opposés</u>**:
<u>Les valeurs de "masse complémentaires de Coriolis" sont pseudo-scalaires.</u>

Considérons une suite de transformations équivalentes du coefficient κ (voir formule (33)) du rapport des vitesses d'entraînement et relatives:

$$\kappa_{11} := \frac{2\cdot v_{r1}\cdot v_e}{v_e^2 + v_{r1}^2} \quad \kappa_{12} := \frac{2\cdot v_{r1}}{\dfrac{v_e^2+v_{r1}^2}{v_e}} \quad \kappa_{13} := \frac{2\cdot v_{r1}}{v_e + \dfrac{v_{r1}^2}{v_e}} \quad \kappa_{14} := \frac{2\cdot v_e\cdot v_{r1}}{v_e^2\cdot\left(1 + \dfrac{v_{r1}^2}{v_e^2}\right)} \quad \kappa_{15} := \frac{2\cdot v_e\cdot v_{r1}}{v_e^2\cdot\dfrac{v_e^2 + v_{r1}^2}{v_e^2}} = \kappa_{11} \tag{38}$$

Vérification: κ_{m1}

$\kappa_{11} = 0.8$ $\kappa_{12} = 0.8$ $\kappa_{13} = 0.8$ $\kappa_{14} = 0.8$ $\kappa_{15} = 0.8$

$$\kappa_{21} := \frac{2\cdot v_{r2}\cdot v_e}{v_e^2 + v_{r2}^2} \quad \kappa_{22} := \frac{2\cdot v_{r2}}{\dfrac{v_e^2+v_{r2}^2}{v_e}} \quad \kappa_{23} := \frac{2\cdot v_{r2}}{v_e + \dfrac{v_{r2}^2}{v_e}} \quad \kappa_{24} := \frac{2\cdot v_e\cdot v_{r2}}{v_e^2\cdot\left(1 + \dfrac{v_{r2}^2}{v_e^2}\right)} \quad \kappa_{25} := \frac{2v_e\cdot v_{r2}}{v_e^2\cdot\dfrac{v_e^2 + v_{r2}^2}{v_e^2}} = \kappa_{21} \tag{38a}$$

Vérification: κ_{m2}

$\kappa_{21} = -0.8$ $\kappa_{21} = -0.8$ $\kappa_{23} = -0.8$ $\kappa_{24} = -0.8$ $\kappa_{25} = -0.8$

Ces formes du coefficient κ_{11} et κ_{21} de transformation de la valeur $m_{abs} = m_0 + m_{Cor}$ d'un objet à vitesse relative sont équivalentes. Ils s'appliquent au calcul de la composante radiale (force centrifuge) de l'objet sur un trajet courbe. En tenant compte de l'égalité des formes κ_{11} et κ_{14} on peut transformer la formule κ_{14} en association avec la masse m_{01} et le rayon r de la trajectoire tangentielle comme suit: (**<u>= 1 signifie: preuve d'égalité booléenne</u>**)

Etant donné que : voir (κ_{11} et κ_{14})

$$v_e^2\cdot\left(1 + \frac{v_{r1}^2}{v_e^2}\right) = v_e^2 + v_{r1}^2 = 1 \quad \text{et} \quad \kappa_{14}\cdot\left(v_e^2 + v_{r1}^2\right) = 2\cdot v_e\cdot v_{r1} = 1 \quad \text{et} \quad \frac{m_{cor1}}{m_{01}} = \kappa_{14} = 1$$

boléen : = 1

donc avec $\Omega_e = \dfrac{v_e}{r}$

$$\kappa_{14}\cdot v_e^2\cdot\left(1 + \frac{v_{r1}^2}{v_e^2}\right) = 2\cdot v_e\cdot v_{r1} = 1 \quad \text{et} \quad m_{cor1}\cdot\rho_e\cdot\left(v_e^2 + v_{r1}^2\right) = m_{01}\cdot 2\cdot\Omega_e\cdot v_{r1} = 1$$

où $m_{01}\cdot 2\cdot\Omega_e\cdot v_{r1} = 4\ \mathrm{N}$ est la force deCoriolis

(13) L'équation de Newton généralisée.

Application numérisée

Vaieurs inertielle instantanée des masse m_{1t} et m_{2t}: masses m_{01} et m_{02} + masses complémentaires "de Coriolis" m_{cor1} et m_{cor2}. Valeur variable.

$$m_{1t} := m_1 \cdot (1 + \kappa_{14}) \quad m_{1t} = 1.8 \text{ kg} \quad = \quad m_{01} + m_{cor1} \qquad (39)$$

$$m_{2t} := m_2 \cdot (1 + \kappa_{24}) \quad m_{2t} = 0.2 \text{ kg} \quad = \quad m_{02} + m_{cor2} \qquad (40)$$

La valeur inertielle totale des masses $m_{1t} + m_{2t}$ est égale à $m_{01} + m_{02}$. (invariante)

$$m_{01} + m_{02} = 2 \text{ kg} \qquad (41)$$

F = $m\gamma$ (**équation de Newton généralisée**) appliquée au calcul de la force centrifuge qui agit sur une masse ponctuelle sur un trajet courbe. Vitesses: $\mathbf{v}_{abs} = \mathbf{v}_{entr} + \mathbf{v}_{rel}$: ρ_e= rayon de courbure de la trajectoire.

F_{Nei}: force absolue, m_{01}: masse au repos, m_{corii} v_e : vit.entraînement, v_{ri}:vit. relative, ρ_e rayon de courbure du trajet.

$$F_{Ne1} := (m_{01} + m_{cor1}) \cdot (v_e^2 + v_{r1}^2) \cdot \rho_e \quad F_{Ne1} = 9 \text{ N} \qquad (42)$$

$$F_{Ne2} := (m_{02} + m_{cor2}) \cdot (v_e^2 + v_{r2}^2) \cdot \rho_e \quad F_{Ne2} = 1 \text{ N} \qquad (43)$$

$$F_{Ne1a} := m_{01} \cdot \rho_e \cdot (1 + \kappa_{14}) \cdot (v_e^2 + v_{r1}^2) \quad F_{Ne1a} = 9 \text{ N} \quad F_{Ne2a} := m_{02} \cdot \rho_e \cdot (1 + \kappa_{23}) \cdot (v_e^2 + v_{r2}^2) \quad F_{Ne2a} = 1 \text{ N}$$

$$F_{Ne11} := m_{01} \cdot \rho_e v_{abs1}^2 \quad F_{Ne11} = 9 \text{ N} \quad F_{Ne22} := m_{01} \cdot \rho_e v_{abs2}^2 \quad F_{Ne22} = 1 \text{ N}$$

$$F_{Ne11er} := m_{01} \cdot \rho_e \cdot (v_e^2 + v_{r1}^2) \quad F_{Ne22er} := m_{01} \cdot \kappa_{14} \cdot \rho_e \cdot (v_e^2 + v_{r1}^2)$$

$$F_{Ne11} = 9 \text{ N} \quad F_{Ne11C} := m_{01} \quad F_{Ne11C} = 1 \text{ kg}$$

(14) Analyse comparative des courbes de transformation des valeurs inertielles des masses newtonienne et relativiste.

- Considérons la correspondance des courbes de transformation newtonienne à la courbe de transformation relativiste. L'indice E signifie valeur ou courbe einsteinienne. Les vitesses sont échelonnées de -30m/sec à + 30m/sec. Le terme $2_{vr1} \cdot v_e$ dans ces formules est équivalent à la force de Coriolis.
- Nous avions trouvés dans le chapitre 3 les formes similaires des ransformations de Lorentz $\beta = v/c$ (=~v_{re1}/v_e) et $\gamma = (1-\beta^2)$ *en* substituant la vitesse c (une constante) à la vitesse d'entraînement v_e. La vitesse v_e représente une constante instantané valable pour l'ensemble d'un système isolé considéré. Le coefficient κ (voir 2b8 et 2c13) symbolise le coefficient de transformation de Lorentz newtonien de la masse.

Transformation newtonienne:

Posons 1 + vr1/ve (expression κ_{14} de (37)) = β_N.

$$v_{ee} := 15 \cdot \frac{m}{s} \quad n := -30, -29 .. 30 \quad n_E := 1, 2 .. 30 \quad v_{eE} := 30 \frac{m}{s} \quad \beta(n) := 1 + \frac{V_{r1}(n)^2}{v_e^2}$$

Force d'entraînement + relative sur m_2

$$F_{1ercve}(n) := \begin{pmatrix} v_{ee} & V_{r1}(n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_{ee} \\ V_{r1}(n) \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r}$$

a) valeur masse m_0: :

$$m_{1ercve}(n) := \frac{m_1 \cdot F_{1ercve}(n)}{F_{1ercve}(n)} \qquad (38)$$

Force complémentaire "de Coriolis) sur m2

$$F_{1Ccve}(n) := \begin{pmatrix} v_{ee} & V_{r1}(n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & m_1 \\ m_1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_{ee} \\ V_{r1}(n) \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r} \quad +$$

b) valeur "masse Coriolis" m_{Cor} complémentaire:

$$m_{1Ccve}(n) := \frac{m_1 \cdot F_{1Ccve}(n)}{F_{1ercve}(n)} \qquad (39)$$

Σ Force entr. + compl. +de Coriolis sur m2

$$F_{1absve}(n) := \begin{pmatrix} v_{ee} & V_{r1}(n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_1 & m_1 \\ m_1 & m_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_{ee} \\ V_{r1}(n) \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{r} \quad =$$

c) valeur masse totale (effective)

$$m_{1absve}(n) := \frac{m_1 \cdot F_{1absve}(n)}{F_{1ercve}(n)} \qquad (40)$$

Formule relativiste similaires: V

$V_{rE}(n_E) := V_{r1}(n_E) \quad m_0 := m_1 \quad m_0 = 1\ kg \qquad v_{eE} := 30 \cdot \frac{m}{s}$ **= vitesse hypothétique c de la lumière: 30m/sec.**

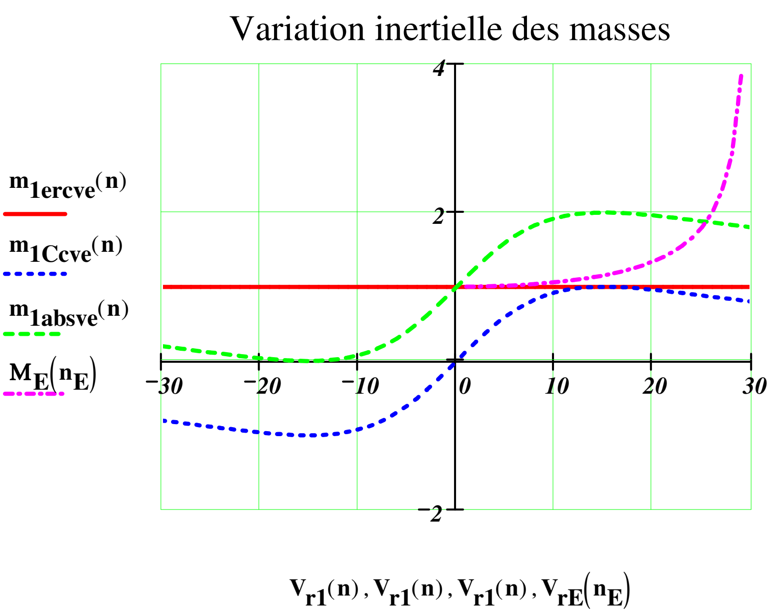
$$M_E(n_E) := m_1 \cdot \left(1 - \frac{V_{rE}(n_E)^2}{v_{eE}^2}\right)^{-0.5}$$

d) variation relativiste d'une masse m_0 de 1kg (m_0) à vitesse de 0,00m/sec à 30,00m/sec sur un une courbe de rayon de 1,00 m. (41) (42)

$$F_E(n_E) := 2 \cdot m_1 \cdot \left(1 - \frac{V_{rE}(n_E)^2}{v_{eE}^2}\right)^{-0.5} \cdot \frac{V_{rE}(n_E)^2}{r}$$

e) variation des forces radiales relativistes centrifuges en kg.m.s-2 appliquées à un objet de 1kg/masse (m_0) soumis à une vitesse de relative tangentielle de 0,00m/sec à 30,00m/sec sur un une courbe de rayon de 1.00m.

Courbes newtoniennes: (43)



Courbes des variations inertielles des **masses** newtonienne et relativiste (en kg) pour l'objet m_1 en fonction d'une suite variable des vitesses relatives dans un intervalle V_{rE} (n_E) =-30m/sec à +30m/sec. **La forme** des courbes est indépendante des unités utilisées. Elle reste constante dans tout intervalle tel que par exemple -300 000km/sec à + 300 000km/sec.

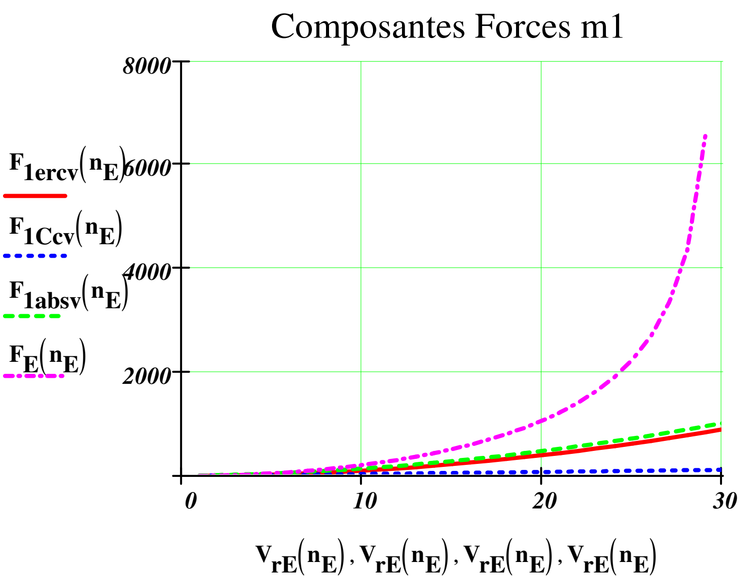
$m_{1ercve}(n)$: (rouge) "masse au repos m_0"

$m_{1Ccve}(n)$: (bleu) "masse Coriolis" m_{Cor}

$m_{1absve}(n)$: (verte) valeur absolu $m_0 + m_{Cor}$ de la masse de l'objet m_1

$M_E(n_E)$ **Courbe relativiste** correspondante aux précédentes.Elle tend vers *m = infini.* pour V_i= 30m/sec.

Ordonnée en kg.m.sec-2. Vitesse hypothétique de la lumière c = 30m.sec. La courbe de variation de la masse relativiste recoupe la variation newtonienne aux environs de la vitesse 25m/sec (= convertie en c réel 250 000 km/sec). La ligne rouge sur ordonnée = 1 kg délimite la valeur de 1kg.



Courbes des variations des **forces centrifuges** en Newton appliquées à l'objet m_1 en fonction des variations des vitesses tangentielles et des masses correspondant aux courbes précédentes (44)

Courbes newtoniennes: (44)

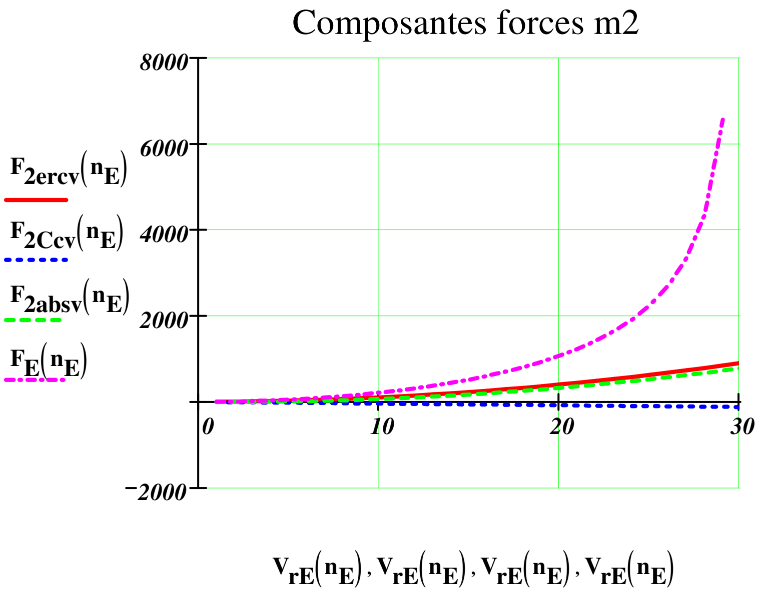
$F_{1ercv}(n_E)$: (rouge) forces d'entraînement + relatives dues aus masses m_0

$F_{1Ccv}(n_E)$: (bleu) forces de Coriolis complémentaires

$F_{1absv}(n_E)$: (verte) force absolu correspondant à l'effet inertiel d'une masse ***m*** **=** $m_0 + m_{Cor}$

$F_E(n_E)$ **Courbe relativiste** correspondante

La courbe relativiste asymptotique tends vers l'infini. Elle représente les forces correspondant au terme avec le symbole de Christoffel de la formule relativiste 2c9 chapitre (3), donc à l'effet de la force e Coriolis ajustée du terme correctif $d\tau^2$ de la contraction de la vitesse de la lumière.



Courbes newtoniennes: (45)

Courbe des variations des **forces centrifuges** appliqués à l'objet m_2.

$F_{2ercv}(n_E)$: (rouge) forces d'entraînement + relatives dues aus masses m_0

$F_{2Ccv}(n_E)$: (bleu) forces de Coriolis complémentaires

$F_{2absv}(n_E)$: (verte) force absolu correspondant à l'effet inertiel d'une masse $m = m_0 + m_{Cor}$

$F_E(n_E)$ **:Courbe relativiste** correspondante

Remarque idem figure précédente.

Conclusion

- Ces courbes newtoniennes et relativistes d'origine mathématiques similaires interprètent des principes physiques fondamentalement différentes. Elles se fondent identiquement sur l'application de la transformation de Lorentz à l'invariance du mouvement d'entraînement d'un système physique par rapport aux mouvements relatifs au sein de ce système.
- En mécanique newtonienne il s'agit du rapport du mouvement global d'un système isolé par rapport aux mouvements relatifs de ses objets à vitesses relatives. L'effet inertiel est quantifié par l'application du théorème de Coriolis. Ce principe correspond à une transformation de Lorentz avec l'invariant Ω, tenseur "vitesse angulaire d'entraînement" du système global. Voir à ce sujet le chapitre (4) ou je démontre l'invariance de la vitesse d'entraînement et la concordance de la forme des coefficients des transformations de Lorentz.
- Einstein fait par contre appel à la transformation de Lorentz afin de formuler les conséquences du postulat d'une vitesse absolue c (vitesse de la lumière) indépendante du référentiel. Voir commentaires du chapitre (4). Il introduit dans ce but dans l'ensemble du formulaire de Newton un rapport vitesse relative d'un objet à la vitesse invariante 'c' ce qui correspond en principe à la même finalité du théorème de Coriolis.

- L'application du théorème de Coriolis, compensatoire des effets inertiel relatifs des valeurs de la masse d'objet à viesses relatives est une opération mathématique purement déductive et incontournable. La théorie relativiste se base sur le postulat de l'invariance 'c'. L'application newtonienne se substitue donc logiquement à la méthode relativiste. Pour exemple: le décalage du périhel de Mercure se calcul rigoureusement en fonction des masses variables de Newton.