Record de vitesse du TGV (Mines MP 200) (1).

I - Trajet en ligne droite

▫ 1. Sur l'intervalle $[t_i, t_{i+1}]$, $\boxed{a_i = \dfrac{v_{i+1} - v_i}{t_{i+1} - t_i}}$

Sur cette intervalle : $\dfrac{dv}{dt} = a_i \Rightarrow dv = a_i\, dt$

$\Rightarrow \displaystyle\int_{t_i}^{t} dv = \int_{t_i}^{t} a_i\, dt$

Donc : $v(t) = a_i(t - t_i) + v_i$

Et : $v(t) = \dfrac{d(d)}{dt} \rightarrow d(d) = v\, dt = [a_i(t - t_i) + v_i]\, dt$.

Donc : $\displaystyle\int_{t_i}^{t} d(d) = \underset{x}{\underset{\shortparallel}{d(t)}} - \underset{x_i}{\underset{\shortparallel}{d(t_i)}} = \int_{t_i}^{t} a_i(t - t_i)\, dt + \int_{t_i}^{t} v_i\, dt$

$= a_i \dfrac{(t - t_i)^2}{2} + v_i(t - t_i)$.

Donc : $\boxed{d_i = x_{i+1} - x_i = \dfrac{a_i}{2}(t_{i+1} - t_i)^2 + v_i(t_{i+1} - t_i)}$ où d_i : distance parcourue entre t_i et t_{i+1}.

On obtient le tableau suivant :

"a_i" "t_i" "t_{i+1}"

t(s)	[0,70]	[70,95]	[95,124]	[124,155]	[155,231]	[231,263]	[263,332]
a(m.s⁻²)	0,595	0,556	0,479	0,448	0,193	0,434	0,201
d(m)	1458	1215	1813	2368	6861	3333	8146

⚠ ATTENTION à ne pas oublier de passer v en $km.h^{-1}$ à des $m.s^{-1}$!

(Première question assez lourde au niveau calculatoire ... Mais bon, c'est les Mines !).

$\Rightarrow \underline{d} = 1458 + 1215 + 1813 + 2368 + 6861 + 3333 + 8146$

$= 25\,194$ m soit $\underline{25{,}2 \text{ km}}$.

▫ 2. Il est question d'étudier l'inclinaison maximale du pendule par rapport à la verticale durant l'essai, en régime permanent.

Régime permanent = le pendule met un certain temps pour atteindre cette inclinaison, il oscille (régime transitoire) puis se stabilise avec une inclinaison qui ne varie plus (régime permanent).

Le pendule est attaché au train qui avance dans le référentiel du train est en translation par rapport au référentiel galiléen terrestre $\Rightarrow$ le référentiel du train est non galiléen !

$\Rightarrow$ Il faut compter les forces d'inertie : $\vec{f_{ie}} = -m\vec{a_{ent}}$ et $\vec{f_{ic}} = -m\vec{a_{cor}}$.

Or, le réf. du train est en translation par rapport au réf. terrestre $\Rightarrow \vec{\Omega} = \vec{0}$.

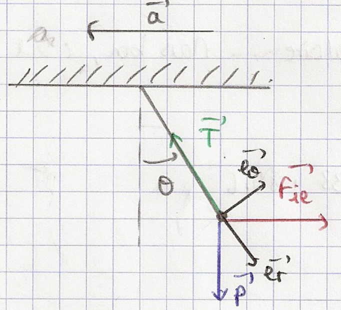
Donc : $\vec{a_{cor}} = 2\vec{\Omega} \wedge \vec{v}(M)_{\text{réf. train}} = \vec{0}$.

$\vec{a_{ent}} = \vec{a}(O_2)_{\text{réf. ter}} + \underbrace{\left.\dfrac{d\vec{\Omega}}{dt}\right)_{\text{réf. ter.}} \wedge \vec{O_2M}}_{=\vec{0}} + \underbrace{\vec{\Omega} \wedge (\vec{\Omega} \wedge \vec{O_2M})}_{=\vec{0}}$.

$\boxed{\begin{aligned} \vec{a_{ent}} &= \vec{a}(O_2)_{\text{réf. ter}}. \\ \vec{a_{ent}} &= \text{accélération du train}. \end{aligned}}$

Donc : $\vec{f_{ic}} = \vec{0}$ et $\vec{f_{ie}} = -m\vec{a_{ent}} = -m\vec{a}$.

PFD dans le référentiel du train : $\vec{P} + \vec{T} + \vec{f_{ie}} = \vec{0}$. $\Rightarrow \vec{P} + \vec{T} - m\vec{a} = \vec{0}$.



Selon $\vec{e_\theta}$: $-mg\sin\theta + ma\cos\theta = 0$.

$\Rightarrow \boxed{\tan\theta = \dfrac{a}{g}}$.

en regardant dans le tableau de ▫1.

Donc $\tan\theta_{max} = \dfrac{a_{max}}{g} = \dfrac{0{,}595}{10} = 0{,}0595$

$\simeq \tan\theta_{max} \simeq \boxed{\theta_{max} = 0{,}0595 \text{ rad.} = 3{,}4°.}$

□3. Soit $\vec{f}$: force motrice à la jante.

Au démarrage ≡ $a = a_0 = 0,595\ m.s^{-2}$.

On a 16 essieux donc 32 roues :
- 12 essieux moteurs ⇒ 24 roues motrices
- 4 essieux non moteurs ⇒ 8 roues non motrices

Les 24 roues motrices sont donc constituées d'une réaction normale $\vec{R_N}$ et de $\vec{f}$.
Les 8 autres sont seulement constituées chacune d'une $\vec{R_N}$ seulement.

⇒ (PFD) : $\vec{P} + 32\vec{R_N} + 24\vec{f} = m_T . \vec{a}$.

En projetant sur l'axe horizontal, on a : $24f = m_T . a_0$ ⇒ $\boxed{f = \frac{m_T a_0}{24}}$

Donc : $f = \frac{270.10^3 \times 0,595}{24} = 6,7\ kN$.

En projetant sur l'axe vertical ; $-P + 32 R_N = 0$ ⇒ $\boxed{R_N = \frac{m_T g}{32} = 84,4\ kN}$

Donc au démarrage : $\frac{f}{R_N} = 0,079$ et $\mu_0 = 0,161 + \frac{7,5}{(44+0)} = 0,33 \gg \frac{f}{R_N}$.

Donc on a : $\boxed{f \ll \mu_0 . R_N}$ ≡ Il n'y a pas de glissement au démarrage.

4□. Cherchons la puissance qu'il faut fournir avec $v = 540\ km.h^{-1}$.

On a : $R = A + BV + CV^2 = 2700 + 31,8 \times V + 0,535 \times V^2$

Donc : $P = R.V = (2700\ V + 31,8 . V + 0,535 . V) . V$ m.s⁻¹ ⚠ en km.h⁻¹
$= 26,4\ MW$.

Ainsi : P = 19,6 MW n'est pas suffisante pour atteindre les 540 km.h⁻¹!

Agrandissement des roues : Il est certain qu'à vitesse égale, de plus grandes roues tournent à une vitesse angulaire plus faible ! Moins d'usure ? Moins d'échauffement au niveau des guides d'axe ? Un autre intérêt pourrait être d'éviter le glissement ... mais ce sujet ne semble pas être étudié ici...

□5. Le sujet ne précise pas s'il y a ou non accélération...

$R(V = 450\ km.h^{-1}) = 85,7\ kN$.

résultante des forces de traction de la jante qui participe à faire avancer le train !

On projète le TCI sur l'axe horizontale : $T - R = m_T . a$ (a entre 400 et 450 km.h⁻¹ ; $a = 0,201\ m.s^{-2}$)

s'oppose au mvt du train.

Or, $T = 24 f$ ⇒ $\boxed{f = \frac{T}{24} = \frac{m_T . a + R}{24}}$.

Donc : $\boxed{f = 5,83\ kN}$

R_N lui reste inchangée ⇒ $\boxed{R_N = 84,4\ kN}$.

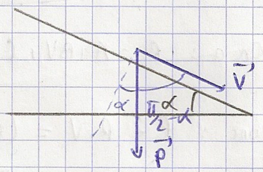
On a : $\mu = 0,161 + \frac{7,5}{(44+450)} = 0,176$ et $\frac{f}{R_N} = 0,069 < \mu$.

Donc : $\boxed{f < \mu . R_N}$ ≡ Il n'y a toujours pas de patinage.

□6. On a : $P_{moteur} = 19,6\ MW$. (voir □4).
Ce P_{moteur} est ce que l'on dispose, on ne peut pas le modifier.

Avec les A, B, C du □5 et $V = 574,8\ km.h^{-1}$, on a : $P = 21,6\ MW$.
Les moteurs ne vont pas suffir...

Dans une descente, la puissance du poids vaut :



$P_{poids} = \vec{P} . \vec{V} = m_T . g \sin\alpha\ V$ (cf schéma)

En effet, $\vec{P}.\vec{V} = m_T . g . V \cos(\frac{\pi}{2} - \alpha)$
$= m_T . g . V \sin\alpha$.

Donc on veut que : $P = 21,6\ MW = P_{poids} + P_{moteur}$ pour pouvoir répondre à la "consommation" du train.

Donc : $\sin\alpha = \frac{P - P_{moteur}}{m_T g V} = 0,0046$ ⇒ $\alpha = 0,266°$ ⇒ $\alpha = 20'$.

○7. $E_c = \frac{1}{2} m_T (V_0)^2 = 2{,}67\ GJ$.

Lors de la phase de freinage, soient : d_f : distance de freinage.

t_f : date de freinage.

On note $t = t_0$ l'instant à partir duquel le système de freinage se déclenche.

Donc pour la phase de freinage, on peut dire que $t_0 = 0$ et que $v(t_0) = V_0$.

Sachant que t_f est la durée qu'aura mis le train pour freiner, on a $v(t_f) = 0\ km.h^{-1}$.

On sait que : $\begin{cases} x = \frac{1}{2} a t^2 + V_0 t \\ v = at \end{cases} \Rightarrow$ en intégrant : $\int_{t_0}^{t_f} dv = a \int_{t_0}^{t_f} dt$

On obtient : $v(t_f) - v(t_0) = 0 - V_0 = a(t_f - t_0) = a t_f$.

$\Rightarrow t_f = \frac{-V_0}{a}$ ⚠ On a bien $t_f > 0$ car $a < 0$ puisque nous sommes dans une décélération !

$\Rightarrow d_f = \frac{1}{2} a \left(\frac{-V_0}{a}\right)^2 + V_0 \times \left(\frac{-V_0}{a}\right) = \frac{1}{2}\frac{V_0^2}{a} - \frac{V_0^2}{a} = -\frac{V_0^2}{a}$.

Donc : $a = \frac{-V_0^2}{2 d_f} = \frac{-(506/3{,}6)^2}{2 \times 15.10^3} = \boxed{-0{,}659\ m.s^{-2} = a}$.

$\Rightarrow t_f = \frac{-V_0}{a} = \frac{-(506/3{,}6)}{-0{,}659} = 213\ s = \boxed{3\ min\ 33\,s = t_f}$.

○8. Les moteurs sont en circuit ouvert $\Rightarrow F = 2uf = 0$.

Donc ce qui était : $-R + T = m_T . a$ devient $-R = m_T . a$.

en ne considérant que le terme en CV^2

Or, à $V = 500\ km.h^{-1}$, $R = 152\ kN \Rightarrow a = \frac{-R}{m_T} = -0{,}56\ m.s^{-2}$

$-R = m_T \frac{dV}{dt} = -CV^2 \Rightarrow \frac{dV}{V^2} = \frac{-C}{m_T} \Rightarrow \frac{1}{V(t)} - \frac{1}{V_0} = \frac{C}{m_T} \times t$ (*)

D'où : $\frac{dt}{dx} - \frac{1}{V_0} = \frac{C}{m_T} t \Rightarrow dx = \frac{dt}{\frac{1}{V_0} + \frac{C}{m_T} t} = V_0 . \frac{dt}{1 + \frac{CV_0}{m_T} t} = \frac{dt}{1 + \frac{t}{\tau}}$.

Donc : En intégrant de 0 à t : $\boxed{x(t) = V_0 \tau \ln\left(1 + \frac{t}{\tau}\right)}$

$\tau = \frac{m_T}{C V_0} = \frac{270 \times 1000}{0{,}37 \times 3{,}6 \times 506} = 401\ s$

Pourquoi $\times 3{,}6$? Car $[C] = N.km^{-2}.h^2 \Rightarrow [\tau] = \frac{kg}{N.km^{-2}.h^2.km.h^{-1}}$

Or, $[N] = kg.m.s^{-2} \Rightarrow [\tau] = \frac{kg}{(kg.m.s^{-2}).km^{-1}.h}$

Donc il faut passer $[C] = kg.m.s^{-1}.s^{-1}$ en $[C] = kg.km.h^{-1}.s^{-1}$

Or, on passe de $m.s^{-1}$ à $km.h^{-1}$ en multipliant par 3,6.

Donc $[C] = kg.km.h^{-1}.s^{-1} = 3{,}6 \times kg.m.s^{-2}$

On veut $v(t_1) = V_1 = 400\ km.h^{-1}$. Avec (*), $t_1 = \tau\left(\frac{V_0}{V_1} - 1\right) = 0{,}265\,\tau$.

La distance parcourue est donc : $x(t_1) = v_0 \tau \ln\left(1 + \frac{t_1}{\tau}\right) = 13{,}2\ km = x_1$

○9. Au cours de cette seconde phase : $\frac{dE_c}{dt} = -(|P_{\vec{R}}| + P_{Joule}) = m_T V . \frac{dV}{dt}$.

signe ⊖ car ces puissances vont "à l'encontre du mouvement", elles "s'échappent" vers l'ext.

$|P_{\vec{R}}| = \|\vec{R}\| . V = (1700 + 20{,}1 \times 400 + 0{,}37 \times 400^2) \times (400/3{,}6)$

$= 7{,}66\ MW$.

$P_{Joule} = 4 \times 0{,}9 = 3{,}6\ MW$ (car 4 moteurs qui délivrent chacun un débit de 900 kW)

$\Rightarrow \frac{dV}{dt} = \frac{-(|P_{\vec{R}}| + P_{Joule})}{m_T . V} = \boxed{-0{,}375\ m.s^{-2} = \frac{dV}{dt}}$

II - Comportement en virage.

▷10. Durée de la phase de transition : $t_2 = \frac{L}{v} = \frac{130}{540} \times 3,6 = \underline{0,87\,s}$.

Le tronçon parabolique permet de raccorder la droite au cercle par une courbe de classe $\mathcal{C}_2$ (= continuité du rayon de courbure).

→ En ligne droite : pas de force centrifuge.

→ Dans la partie circulaire (càd à la fin de la parabole) : $f_{cent} = + m_p \frac{v^2}{\chi}$

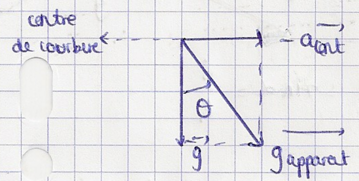
Donc : $\boxed{f_{cent} = 101\,N}$ le passager a donc senti une force centrifuge croissante de 0 à 101 N (le poussant vers la droite du train).

▷11. $J_s = \frac{a}{t_2} = \frac{v^2}{\chi t_2} = \frac{(540/3,6)^2}{\chi \times 0,87} = \underline{1,55}$.

La secousse engendrée par ce virage respecte la norme de confort.

▷12. Dans le wagon, tout se passe comme si la gravité apparente devenait :

$$\overrightarrow{g_{apparent}} = \vec{g} - \overrightarrow{a_{ent}} = \vec{g} + \frac{v^2}{\chi}\vec{u_r}.$$

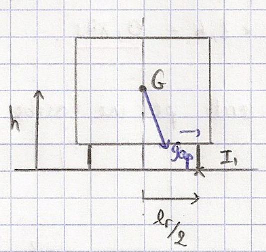


• La surface de l'eau est une isobare et on sait qu'elle est ⊥ à la verticale apparente (// à $\overrightarrow{g_{ap}}$).

⇒ la surface libre de l'eau s'incline dans le verre.

• Par ailleurs, le verre subit la force centrifuge ... qui ne peut être compensée que par le "frottement" sur la table (seule composante horizontale de la réaction). Si ce frottement n'est pas suffisant, le verre glisse vers la droite (càd vers l'extérieur du virage).

▷13. Il faut que la verticale apparente passant par G reste entre les 2 roues.



$$\frac{a_{ent}}{g} < \frac{e_r}{2h} \Rightarrow v < \sqrt{\frac{e_r g}{2h}\chi} = \underline{219\,m\,s^{-1}}$$
$$= \underline{787\,km.h^{-1}} = v_{max}$$

(À la limite du basculement, la réaction normale $\vec{N}$, qui compense le poids, se répartit sur les roues extérieures du virage) : le moment du poids par rapport à I_1 compense tout juste le moment de $\overrightarrow{f_{cent}}$ par rapport à I_1 (côté I_1).

▷14. En inclinant le côté extérieur au virage, le sol du wagon s'incline de façon à tenter de rester ⊥ à $\overrightarrow{g_{ap}}$. Si c'est bien le cas, la réaction normale du sol peut compenser le poids apparent : il n'y a plus de risque de "glisser" vers l'extérieur du virage.

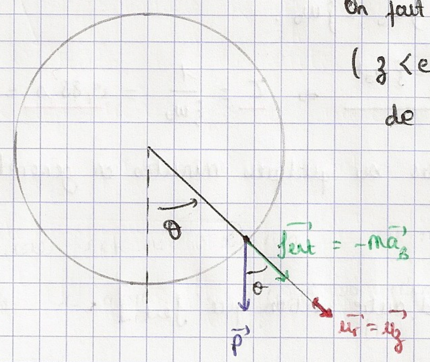
• On a vu que $a_{ent} = \frac{v^2}{\chi} = 1,35\,m.s^{-2}$.

* la verticale apparente fait donc un angle θ par rapport à $\vec{g}$: $\tan\theta = \frac{a_{ent}}{g}$.
  ⇒ θ = 7,7°.
* le sol du wagon fait un angle α avec l'horizontale : $\sin\alpha = \frac{f}{e_r}$
  ⇒ α = 5,2°.
* Ainsi, le pendule sera incliné de (θ − α) = 2,5° par rapport à la cloison latérale du train (alors qu'il serait de θ = 7,7° si le rail n'était pas relevé...).

IV - Instrumentation lors des essais

IV - A - Analyse mécanique

19. On fait l'étude dans le référentiel du boîtier.
($z < e \ll r_t$: on pourra négliger les variations de a_{ent}).



Bilan des $\vec{f}$ exercées sur A (en projetant sur z) :

* Poids $\longrightarrow P_z = mg\cos\theta$
* $\vec{F_{ent}} = -m\vec{a_B} \longrightarrow F_{ent} = -ma_B$.
* $\vec{f_{ic}} = 2\vec{\Omega}\wedge\vec{V_{rel}} \longrightarrow f_{ic} = 0$ (car $\vec{\Omega}\wedge\vec{V_{rel}} \perp \vec{u_z}$) selon $\vec{u_z}$
* $\vec{F_{el}} \longrightarrow -kz$.
* $\vec{f_{frot}} \longrightarrow -f\cdot\dot{z}$

$\Rightarrow$ PFD : $m\cdot\ddot{z} = -kz - f\cdot\dot{z} + mg\cos\theta - ma_B$.

$$\Rightarrow \boxed{\ddot{z} + \frac{f}{m}\dot{z} + \frac{k}{m}z = g\cos\theta - a_B}.$$

$$\Rightarrow \boxed{\ddot{z} + 2\omega_0\xi\dot{z} + \omega_0^2 z = g\cos\theta - a_B}\ (b)$$

AN : $\omega_0 = 238$ rad/s.
$\xi = 4{,}8.10^{-3}$

20. • Roulement sans glissement : $V = r_t\cdot\dot{\theta}$
• $\vec{a_B} = -\dot{\theta}^2\cdot r_B\,\vec{u_r}$

$$\left.\right\}\ \boxed{a_{B_0} = \frac{-V^2 r_B}{r_t^2} = -41.10^3\,m.s^{-2}}$$

21. La pulsation serait la vitesse angulaire de la roue :

$$\omega = \dot{\theta} = \frac{V}{r_t} = 275\ \text{rad.s}^{-1}$$

22. L'équation caractéristique de l'équa. diff. est : $\boxed{r^2 + 2\xi\omega_0 r + \omega_0^2 = 0}$

Δ' = (discriminant réduit) = $\omega_0^2(\xi^2 - 1) \simeq -\omega_0^2$ car $\xi \ll 1$.

$\Rightarrow r_{1/2} = -\xi\omega_0 \pm j\sqrt{-\Delta'} \simeq -\xi\omega_0 \pm j\omega_0$.

Le terme d'amortissement est donc : $e^{-\xi\omega_0 t} \Rightarrow \tau = \frac{1}{\xi\omega_0} = 0{,}88\ s$ = temps carac. d'amortissement.

Les études concernent des régimes établis sur quelques minutes en général !

$\Rightarrow$ On sera en régime permanent !

23. À "l'équilibre relatif" [pas d'autre action que $\vec{f_{ent}}$] :

$\cancel{\ddot{z}} + \cancel{2\xi\omega_0\dot{z}} + \omega_0^2 z_{eq} = -a_B$ (c).

Ainsi (b) - (c) devient, en choisissant $z' = z - z_{eq}$:

$$\boxed{\ddot{z}' + 2\xi\omega_0\dot{z}' + \omega_0^2 z' = (g + A_1\cos\omega t)}$$

(On suppose l'action de g et de la perturbation en phase : c'est à la verticale que l'effet d'un défaut de jante est le plus fort (moment du contact du défaut avec le rail).

On résoud en complexe : $z'(t) = Z\cos(\omega t + \varphi) \leftrightarrow \underline{z}'(t) = \underline{Z}e^{j\omega t}$; $\underline{Z} = Ze^{j\varphi}$

donc : $e^{j\omega t}\underline{Z}(-\omega^2 + 2\xi\omega_0 j\omega + \omega_0^2) = (g + A_1)e^{j\omega t}$

$\Rightarrow \underline{Z} = \dfrac{g + A_1}{(\omega_0^2 - \omega^2) + 2\xi\omega_0 j\omega}$

Les valeurs de ω_0 et ω sont telles que : $2\xi\omega_0\omega \ll (\omega_0^2 - \omega^2)$ (sauf si $\omega = \omega_0$).

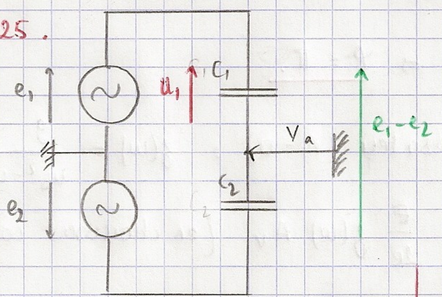
Si $\omega \neq \omega_0$, $\underline{Z} \simeq \dfrac{g + A_1}{\omega_0^2 - \omega^2}$ $\Rightarrow \boxed{z(t) = \dfrac{g + A_1}{\omega_0^2 - \omega^2}\cos(\omega t) + z_{eq}}$ $\forall\omega \neq \omega_0$.

IV-B - Signal électrique de sortie

24. C_1 : épaisseur $e+z$ $\longrightarrow$ $C_1 = \dfrac{\varepsilon S}{e+z}$

C_2 : épaisseur $e-z$ $\longrightarrow$ $C_2 = \dfrac{\varepsilon S}{e-z}$

25.



On a : $u_1 = \dfrac{Z_1}{Z_1+Z_2}(e_1-e_2)$

et $V_a = e_1 - u_1 = \dfrac{Z_2 e_1 + Z_1 e_2}{Z_1 + Z_2}$.

Comme : $e_2 = -e_1 = E e^{i\omega t} = e$.

On a : $\boxed{V_a = \dfrac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\, e = \dfrac{1/C_2 - 1/C_1}{1/C_2 + 1/C_1}\, e}$.

Donc : $V_a = \dfrac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} E e^{j\omega_1 t}$ $\Rightarrow$ $V_a(t) = \dfrac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} E \sin(\omega_1 t)$

Or : $\dfrac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = \dfrac{-2z}{2e}$ $\Rightarrow$ $\boxed{V_a(t) = -\dfrac{E}{e} z \sin(\omega_1 t)}$.

Comme $z(t)$ est sinusoïdal de pulsation ω : l'amplitude de $V_a(t)$ est sinusoïdale de pulsation ω.

26. On notera : $z(t) = Z(\omega)\cos\omega t + z_{eq}$ $\left(\text{où } z_{eq} = -\dfrac{a_{3_0}}{\omega_0^2},\ z(\omega) = \dfrac{g + A_1}{\omega_0^2 - \omega^2} \text{ d'après 23}\right)$

Donc : $V_2(t) = -\dfrac{E^2}{E}\dfrac{z(t)}{e}\sin(\omega_1 t)\sin(\omega_1 t + \varphi)$

$= + E\dfrac{z(t)}{2e}\left[\cos(2\omega_1 t + \varphi) - \cos\varphi\right]$.

soit : $V_2(t) = \dfrac{E}{2e}\Big\{ z_{eq}\left[\cos(2\omega_1 t + \varphi) - \cos\varphi\right]$
$+ z(\omega)\left[-\cos\varphi\cos\omega t + \dfrac{\cos\left[(2\omega_1 + \omega)t + \varphi\right] + \cos\left[(2\omega_1 - \omega)t + \varphi\right]}{2}\right]\Big\}$

Après élimination des termes de pulsation $> \omega_1$ car le filtre possède une pulsation de coupure égale à ω_1 donc :

$\boxed{V_3(t) = \dfrac{-E}{2e}\cos\varphi\left[z_{eq} + Z(\omega)\cos\omega t\right]}$ (on suppose que le filtre PB ne modifie pas les termes de pulsation $\ll \omega_1$).

La sensibilité sera max si $\cos\varphi = -1$ $\Rightarrow$ $\varphi = \pi$.

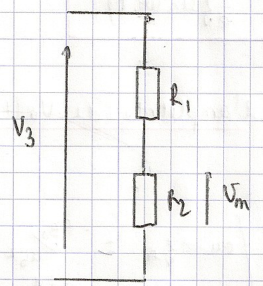
27. S'il n'y a que le phénomène de pesanteur ($A_1 = 0$) : $z(\omega) = \dfrac{g}{\omega_0^2 - \omega^2}$.

L'amplitude des variations de V_m est : $\dfrac{E}{2e} z(\omega) A_v$ (en choisissant $\cos\varphi = -1$)

on veut une amplitude : $V_m = 10\,mV$

$\Rightarrow$ $A_v = \dfrac{V_m}{E}\dfrac{2e}{z(\omega)} = \dfrac{V_m}{E}\dfrac{2e}{g}|\omega_0^2 - \omega^2|$ AN : $A_v = 1{,}9 \cdot 10^{-3}$

On peut utiliser un simple pont diviseur de tension car $A_v < 1$:



$A_v = \dfrac{R_2}{R_1 + \cancel{R_2}}$ ← négligeable ici

avec $R_1 \simeq 530\, R_2$.