teaching sciences UPSTI for innovation

Proposition de corrigé

Concours : Concours Commun Mines-Ponts

Année : 2017

Filière : PSI

Épreuve : Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

Ceci est une proposition de corrigé des concours de CPGE, réalisée bénévolement par des enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur et d'Informatique, membres de l'UPSTI (Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles), et publiée sur le site de l'association :

https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours

A l'attention des étudiants

Ce document vous apportera des éléments de corrections pour le sujet traité, mais n'est ni un corrigé officiel du concours, ni un corrigé détaillé ou exhaustif de l'épreuve en question.

L'UPSTI ne répondra pas directement aux questions que peuvent soulever ces corrigés : nous vous invitons à vous rapprocher de vos enseignants si vous souhaitez des compléments d'information, et à vous adresser à eux pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

Licence et Copyright

En cas de doute, n'hésitez pas à nous contacter à : corrigesconcours@upsti.fr.

Informez-vous !

Retrouvez plus d'information sur les Sciences de l'Ingénieur, l'orientation, les Grandes Ecoles ainsi que sur les Olympiades de Sciences de l'Ingénieur et sur les Sciences de l'Ingénieur au Féminin sur notre site : www.upsti.fr

L'équipe UPSTI

CONCOURS COMMUN MINES PONTS

Signature du candidat

NOM : Corrigé UPSTI
En lettres capitales

PRÉNOMS :
En écriture courante

Épreuve de : PSI

CENTRE D'ÉCRIT :

CADRE RÉSERVÉ AU CONCOURS NE RIEN INSCRIRE

NE RIEN PORTER SUR CETTE FEUILLE AVANT D'AVOIR REMPLI COMPLÈTEMENT L'EN-TÊTE CI-DESSUS

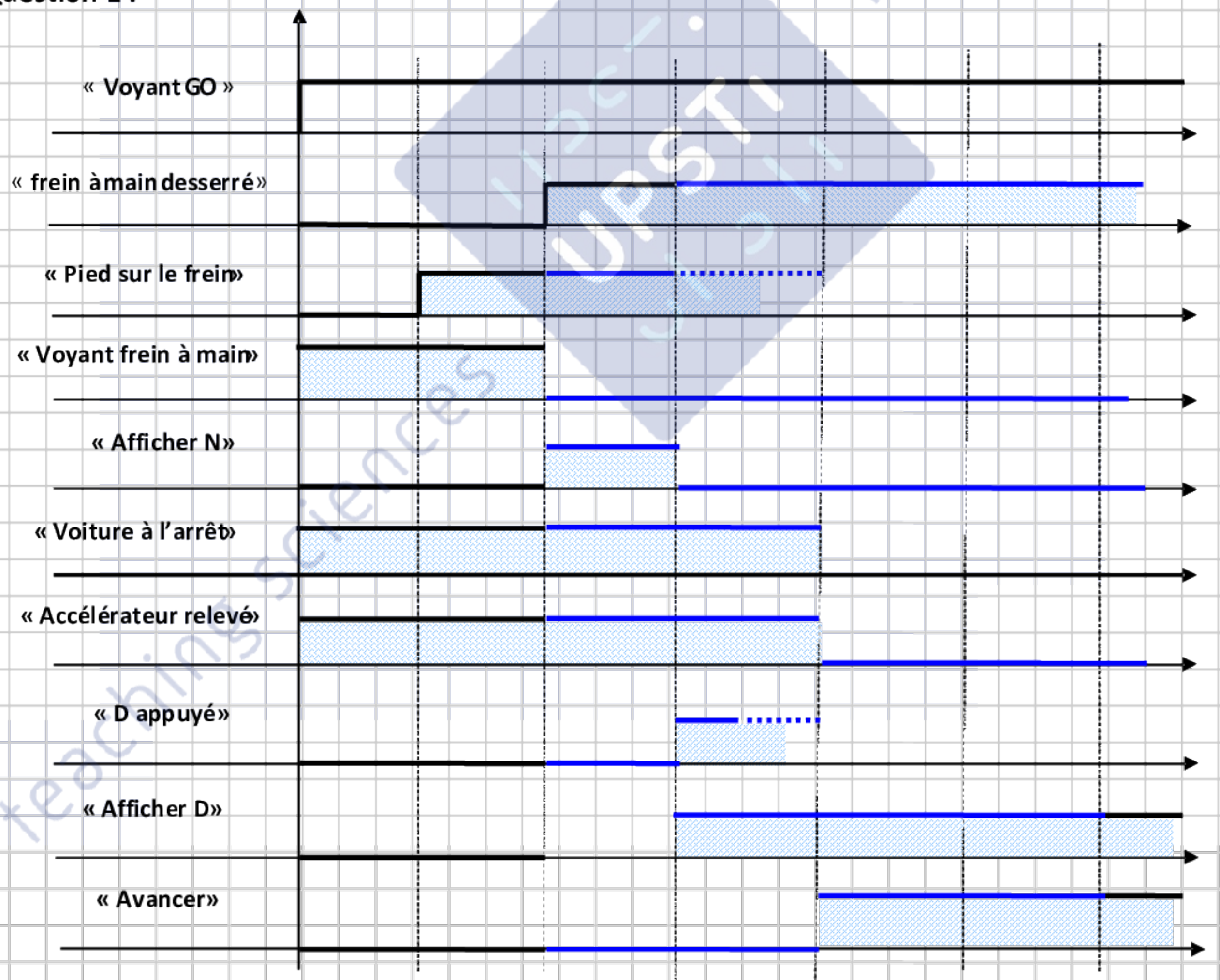
Épreuve de : *Feuille n°*

Epreuve de Sciences Industrielles FILIERE PSI

En dehors de l'espace réponse réservé à chaque partie l'espace libre page 16 peut être utilisé, mais le candidat identifiera clairement le numéro de la question à laquelle il répond.

1. ETUDE DU CYCLE DE DEMARRAGE DU MOTEUR [Q1]

Question 1 :

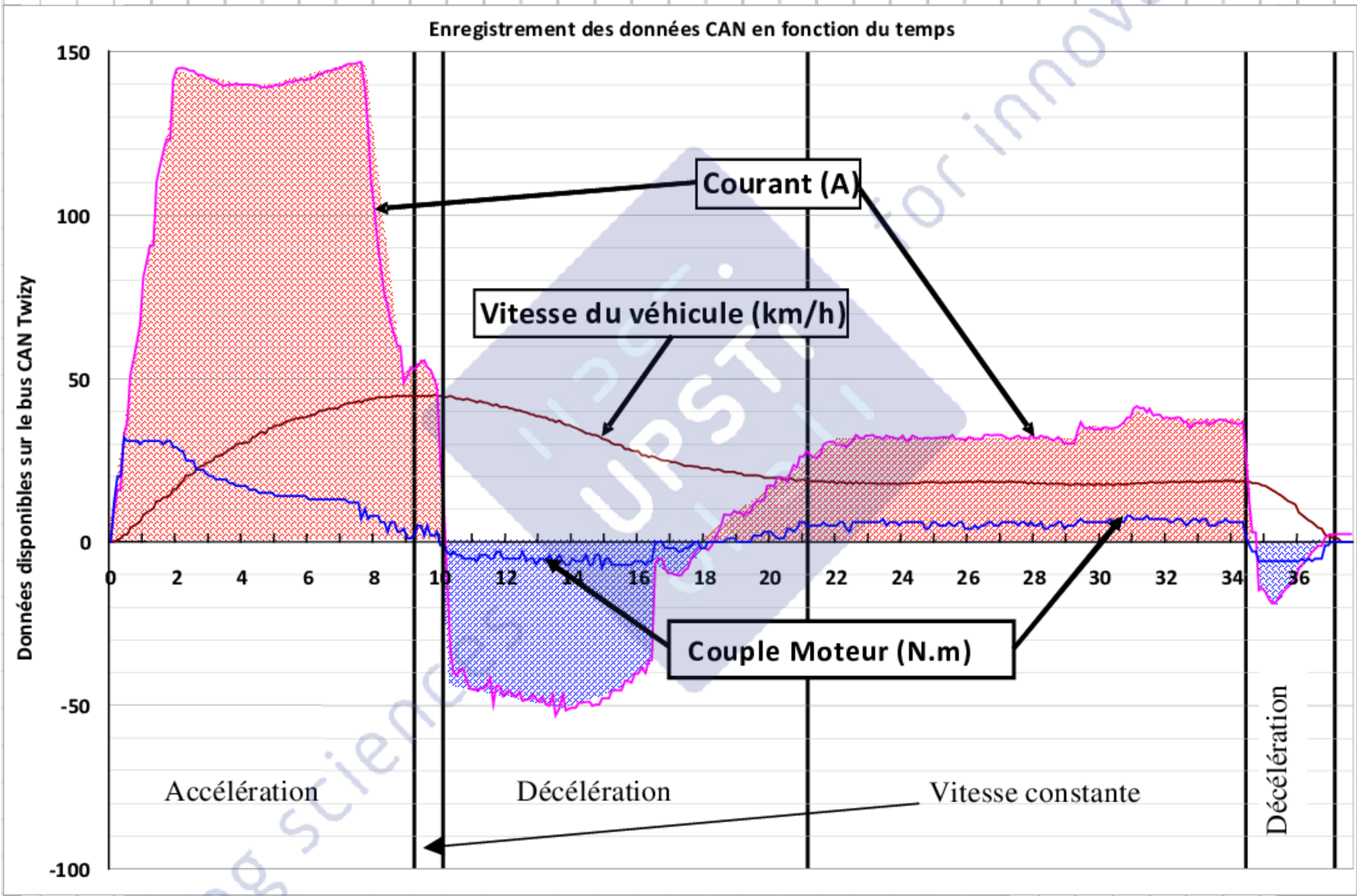


Ne rien écrire dans la partie barrée

2. VERIFICATION DES PERFORMANCES ANNONCEES DU VEHICULE [Q2 à Q5]

2.1 Vérification des exigences de vitesse, d'accélération maxi et de couple maxi disponible du véhicule

Question 2 :



Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 3 :

Vitesse Maxi = 45 km/h

Conclusion : conforme CdCf (id 1.2.4) vitesse maximale 45 km/h

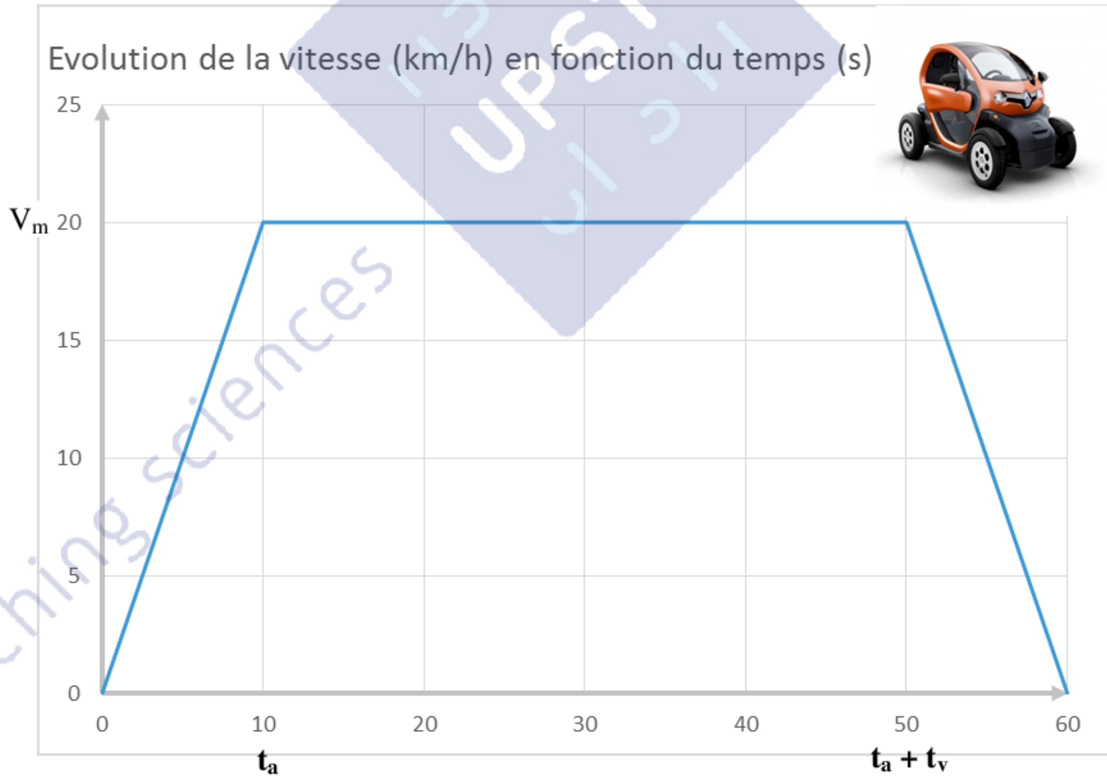
Temps d'accélération = 9 s

Conclusion : conforme CdCf car < 10 s (id 1.2.4)

Couple Maxi = 30 Nm

2.2 Vérification de l'exigence sur l'autonomie du véhicule

Question 4 :

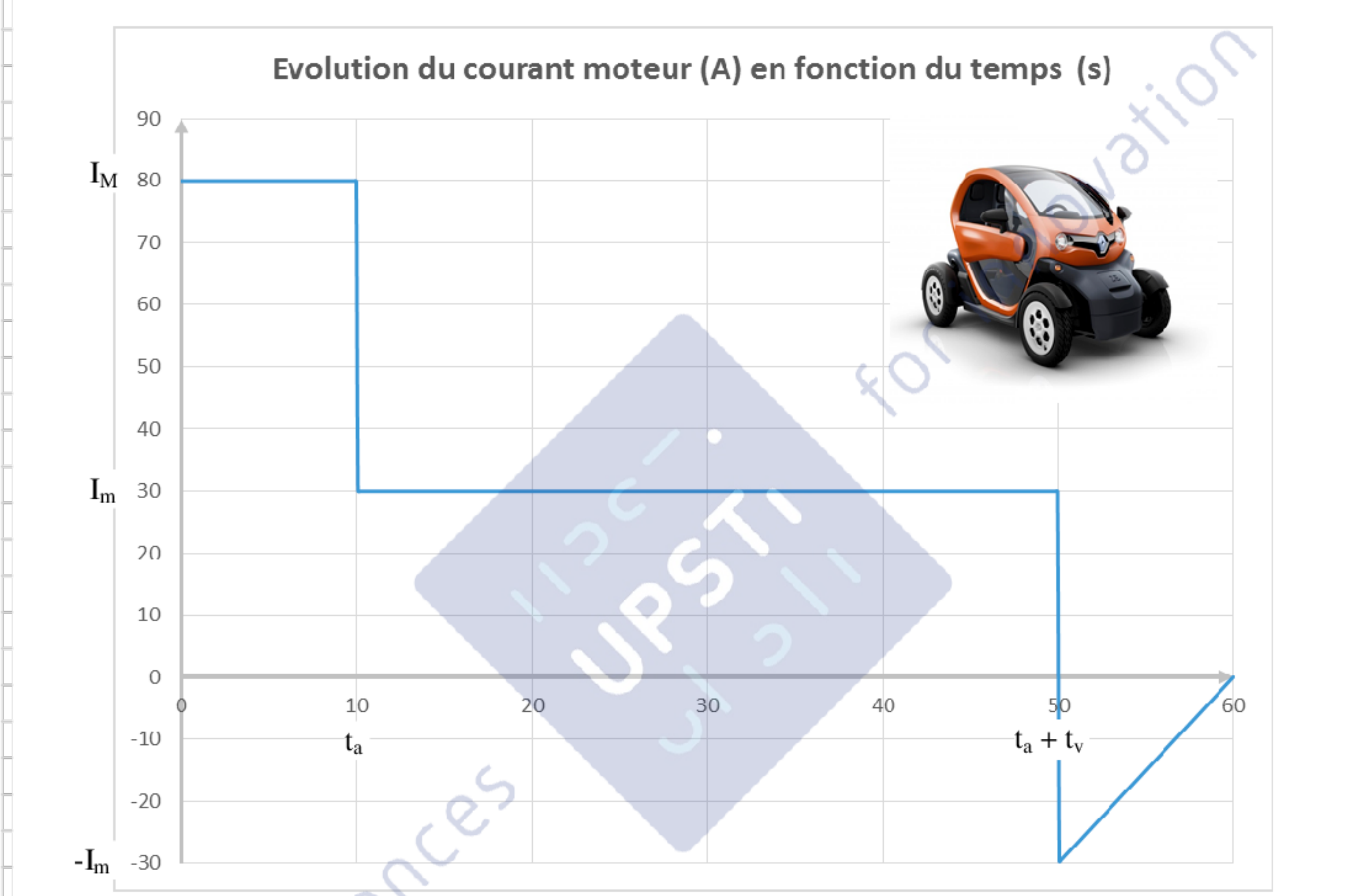


$d = a.t_a^2 + V_m.t_v$ avec $a = \dfrac{V_m}{t_a}$ soit $d = V_m.(t_a + t_v) = \dfrac{20}{3{,}6} \times 50 = \dfrac{2500}{9} = 277\text{m}$ (aire sous la courbe)

Distance parcourue d = 277 m

Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 5 :



La capacité utilisée sur ce cycle est

$$C = I_M.t_a + I_m.(t_v - t_a/2) = 80\times10 + 30\times35 = 1850 \text{ A.s} = 0{,}514 \text{A.h}$$

Rmq : la capacité juste nécessaire pour réaliser le cycle est de 2000 A.s (pas utile pour la suite).

Capacité nécessaire = 1850 A.s

La distance totale parcourue pour C_t = 105 A.h est

$$d_t = \frac{C_t}{C}.d = \frac{105\times3600}{1850}\times\frac{1}{3{,}6} = \frac{210}{3{,}7} = 56{,}8\text{km}$$

Autonomie = 56,8 km

Conclusion :

Le résultat obtenu correspond à une conduite dans des **conditions sévères** d'utilisation

Ne rien écrire dans la partie barrée

3. CHOIX DU MOTO-REDUCTEUR [Q6 à Q13]

Question 6 :

Théorème Energie-Puissance :

$$P_{pes\to E/0}+P_{s\to 1/0}+P_{s\to 2/0}+P_{\underset{3\leftrightarrow 4}{moteur}}+\underbrace{P_{int}}_{=0}=\frac{d}{dt}Ec_{E/0}=\frac{d}{dt}(Ec_{chassis/0}+Ec_{rotor\ moteur/0}+Ec_{roues/0})$$

Puissances extérieures :

$$P_{pes\to E/0}=\vec{R}_{pes\to E}.\vec{V}_{G,E/0}=-mg\,\vec{z}_0.v\,\vec{x}_s=-mgv\sin\alpha$$

$$P_{s\to 1/0}=\vec{M}_{I_1 s\to 1}.\vec{\Omega}_{1/0}=(\vec{I_1J_1}\wedge N_1\vec{z}_s).\omega_{10}\vec{y}_s=(\mu\vec{x}_s\wedge N_1\vec{z}_s).\omega_{10}\vec{y}_s=-\mu.N_1.\omega_{10}$$

de même : $P_{s\to 2/0}=-\mu.N_2.\omega_{20}$

Puissances intérieures :

$$P_{\underset{3\leftrightarrow 4}{moteur}}=C_{34}.\omega_{43}=C_m.\omega_m$$

Les autres puissances intérieures sont nulles car les liaisons sont supposées parfaites.

Energies Cinétiques :

$$Ec_{châssis/0}=\frac{1}{2}m_c v^2$$

$$Ec_{rotor\ moteur/0}=\frac{1}{2}m_r v^2+\frac{1}{2}J_m\omega_m^2$$

$Ec_{4\ roues/0}=2m_R v^2+2J_R\omega_{10}^2$ (le roulement sans glissement impose $\omega_{10}=\omega_{20}$)

Avec $m=m_c+m_r+4m_R$ on a : $\boxed{Ec_{E/0}=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}J_m\omega_m^2+2J_R\omega_{10}^2}$

Equation :

On trouve alors :

$$\boxed{C_m.\omega_m-mgv\sin\alpha-\mu.(N_1+N_2).\omega_{10}=m.v\dot{v}+J_m\omega_m\dot{\omega}_m+4J_R\omega_{10}\dot{\omega}_{10}}$$

L'équation trouvée n'est pas une équation de mouvement car elle comporte les actions de liaison N_1 et N_2

Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 7 :

On isole l'ensemble véhicule et on écrit le théorème de la résultante dynamique en projection sur $\vec{z}_s$:

$$\vec{R}_{pes\to E}.\vec{z}_s + \vec{R}_{s\to E}.\vec{z}_s = m.\vec{\Gamma}_{G,E/0}.\vec{z}_s = 0$$

On a donc : $-mg\,\vec{z}_0.\vec{z}_s + N_1 + N_2 = -mg\cos\alpha + N_1 + N_2 = 0$

Equation obtenue : $C_m.\omega_m - mgv\sin\alpha - \mu.mg\cos\alpha.\omega_{10} = mv\dot{v} + J_m\omega_m\dot{\omega}_m + 4J_R\omega_{10}\dot{\omega}_{10}$

Question 8 :

D'autre part le roulement **sans glissement** des roues sur le sol permet d'écrire $\vec{V}_{I_i,i/0} = \vec{0}$ soit

$$\vec{V}_{I_i,i/0} = \underbrace{\vec{V}_{O_i,i/0}}_{v\,\vec{y}_s} + \underbrace{\vec{I_iO_i}}_{R\,\vec{z}_s} \wedge \underbrace{\vec{\Omega}_{i/0}}_{\omega_{i0}.\vec{y}_0} = (v - R.\omega_{i0})\vec{y}_s = \vec{0} \text{ et}$$

finalement $v = R.\omega_{i0}$

Relation entre (V et ω_{10}) : $v = R.\omega_{10}$

Relation entre (V et ω_{20}) : $v = R.\omega_{20}$

On sait que : $\omega_m = r\omega_{13}$ et $\omega_{13} = \omega_{10} - \omega_{30} = \omega_{10}$ donc $\omega_m = r\omega_{10}$

Relation entre (ω_m et ω_{10}) : $\omega_m = r\omega_{10}$

L'équation de la Q7 devient : $C_m.\frac{r.v}{R} - mgv\sin\alpha - \mu.mg\cos\alpha.\frac{v}{R} = (m + \frac{r^2}{R^2}J_m + \frac{4}{R^2}J_R)v\dot{v}$

d'où pour $v \neq 0$ l'équation de mouvement sous la forme $\boxed{\frac{r.C_m}{R} - F_r = M_{eq}.\frac{dv}{dt}}$

Fr = $mg.\left(\sin\alpha + \frac{\mu.\cos\alpha}{R}\right)$

Méq = $m + \frac{r^2.J_m}{R^2} + 4\frac{J_R}{R^2}$

Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 9 :

Phase utilisée et justification :

On se place dans la situation ou le véhicule se déplace **à vitesse constante sur sol horizontal**

On a alors $\frac{r.C_m}{R} - F_r = 0$

Variable mesurée :

On mesure le **couple moteur**

Hypothèses nécessaires :

Il faut que **la résistance de l'air** soit négligeable (vitesse assez faible ≈ 20 km/h) et que **les liaisons internes** au véhicule ne dissipent pas d'énergie.

Equation(s) utilisée(s) :

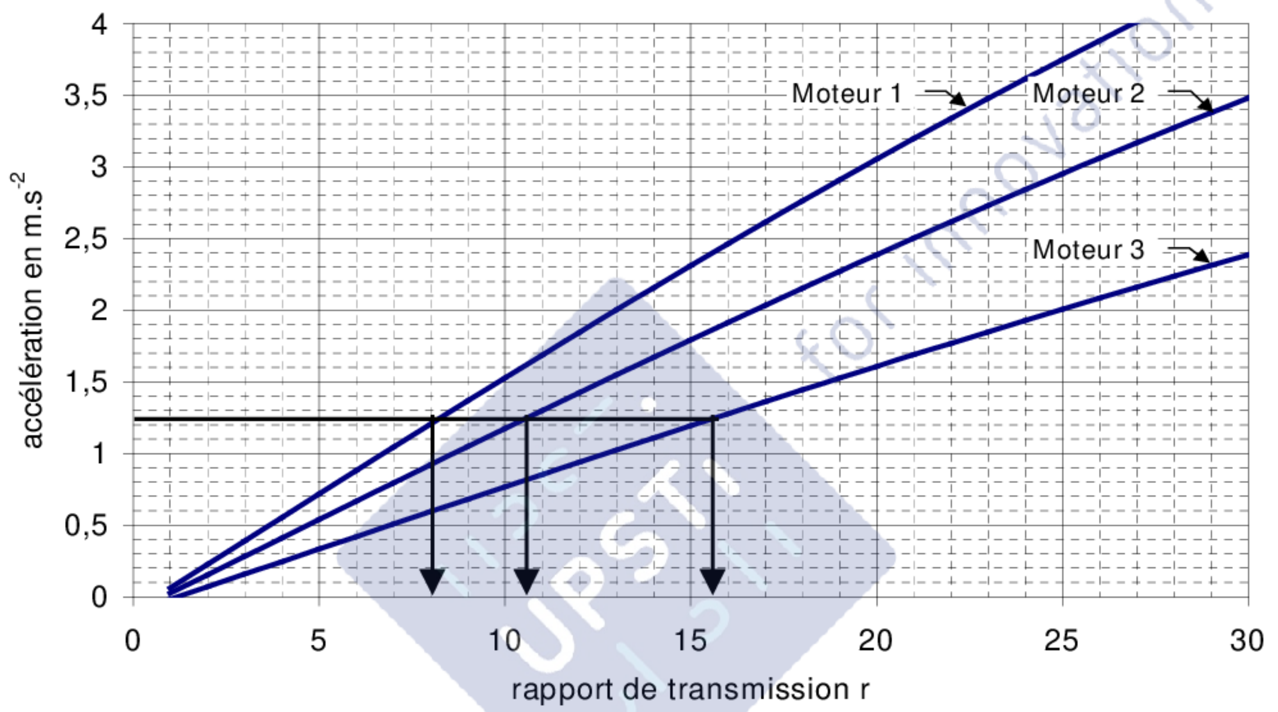
$\frac{r.C_m}{R} - F_r = 0$ avec $F_r = mg.\left(\sin\alpha + \frac{\mu.\cos\alpha}{R}\right) = \frac{mg.\mu}{R}$ car α = 0

d'où $\frac{mg.\mu}{R} = \frac{r.C_m}{R}$ soit $\mu = \frac{r.C_m}{mg}$

$$\boxed{\mu = \frac{r.C_m}{mg}}$$

Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 10 :



Id 1.2.4 : Accélération de 0 à 45 km/h en 10 s

soit $a = \dfrac{45}{10 \times 3{,}6} = 1{,}25 \text{m.s}^{-2}$

Accélération souhaitée = 1,25 m.s^{-2}

Moteur 1	**Moteur 2**	**Moteur 3**
r_{mini} = 8	**r_{mini} = 10,5**	**r_{mini} = 15,5**

Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 11 :

$$(v_{max})_{min} = \frac{R}{r_{max}}.\omega_{m\,max}$$ soit

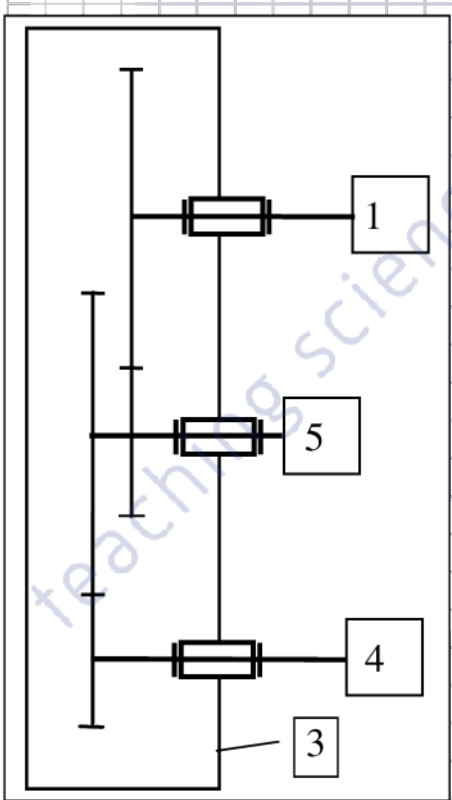
$$r_{max} = \frac{R}{(v_{max})_{min}}.\omega_{m\,max} = \frac{0,28\times 2\pi\times 7000\times 60}{45\times 1000} = \frac{2,8\times 42\times 6,28}{5\times 9} \approx \frac{42\times 2}{5} \approx 4,2\times 4 \approx 16$$

$r_{max} = 16$

Question 12 :

Moteur 1 avec un rapport de transmission 8 < r < 16 permet une plage d'optimisation de r plus importante

Question 13 :



$$r = \frac{Z_{5a}\times Z_1}{Z_4\times Z_{5b}} = \frac{57\times 68}{17\times 17} = \frac{4\times 57}{17} = 4\times 3,35 = 13,4$$

$r = \dfrac{\omega_{43}}{\omega_{13}} = 13,4$

Conclusion :

Ce rapport est dans la plage donnée à la question précédente.

Ne rien écrire dans la partie barrée

4. MODELISATION DE LA MISE EN MOUVEMENT DU VEHICULE [Q14 à Q22]

Question 14 :

$\frac{r.C_m}{R} - F_r = M_{eq}.\frac{dv}{dt}$ devient $\frac{r}{R}C_m(p) - F_r(p) = M_{eq}.p.V(p)$

A(p) = $\frac{r}{R}$

B(p) = $\frac{1}{Meq.p}$

Question 15 :

En remarquant que I(p) → V(p) est le retour de $\varepsilon_v(p)$ → I(p) on a directement :

$$\frac{I(p)}{I_c(p)} = \frac{C(p).H(p)}{C(p).H(p) + R_m + L_m p + K_m^2.A^2B} = \frac{R_m(R_m + L_m p)M_{eq}p}{R_m(R_m + L_m p)M_{eq}p + \left((R_m + L_m p)M_{eq}p + K_m^2.(r/R)^2\right)L_m p}$$

$$\frac{I(p)}{I_c(p)} = \frac{R_m(R_m + L_m p)M_{eq}}{R_m(R_m + L_m p)M_{eq} + \left((R_m + L_m p)M_{eq}p + K_m^2.(r/R)^2\right)L_m}$$

Question 16 :

$$I(\infty) = \lim_{p\to 0} pI(p) = \frac{R_m^2 M_{eq} I_0}{R_m^2 M_{eq} + L_m K_m^2.(r/R)^2} = \frac{I_0}{1 + \frac{L_m K_m^2.(r/R)^2}{R_m^2 M_{eq}}}$$ et comme $\frac{L_m.K_m^2.(r/R)^2}{R_m^2 M_{eq}} << 1$

alors $I(\infty) \approx I_0$.

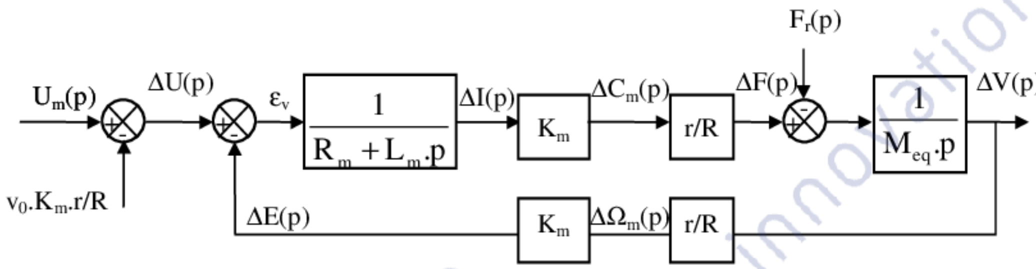
Question 17 :

$V(p) = \frac{(K_m.(r/R).I_c(p) - F_r(p))}{M_{eq}.p}$ D'où si $i_c(t)$ et $F_r(t)$ sont des échelons respectivement

d'amplitude I_0 et F_0 : $V(p) = \frac{(K_m.(r/R).I_0 - F_0)}{M_{eq}.p^2}$ et finalement

v(t) = $\frac{(K_m.(r/R).I_0 - F_0)}{M_{eq}}.t$

Question 18 :



Question 19 :

Fonction de transfert du premier ordre donc le temps de réponse à 5% du modèle est

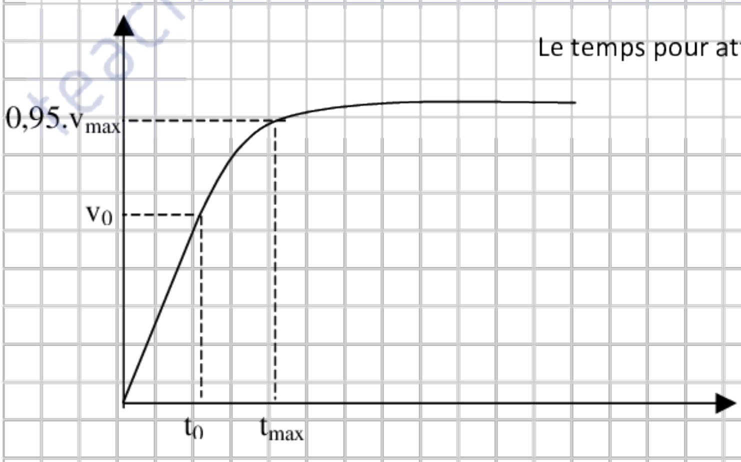
$$t_{R5\%} = 3.\frac{R_m.M_{eq}}{(K_m.r/R)^2}$$

$$\boxed{\mathbf{t_{r5\%}} = 3.\frac{R_m.M_{eq}}{(K_m.r/R)^2}}$$

Question 20 :

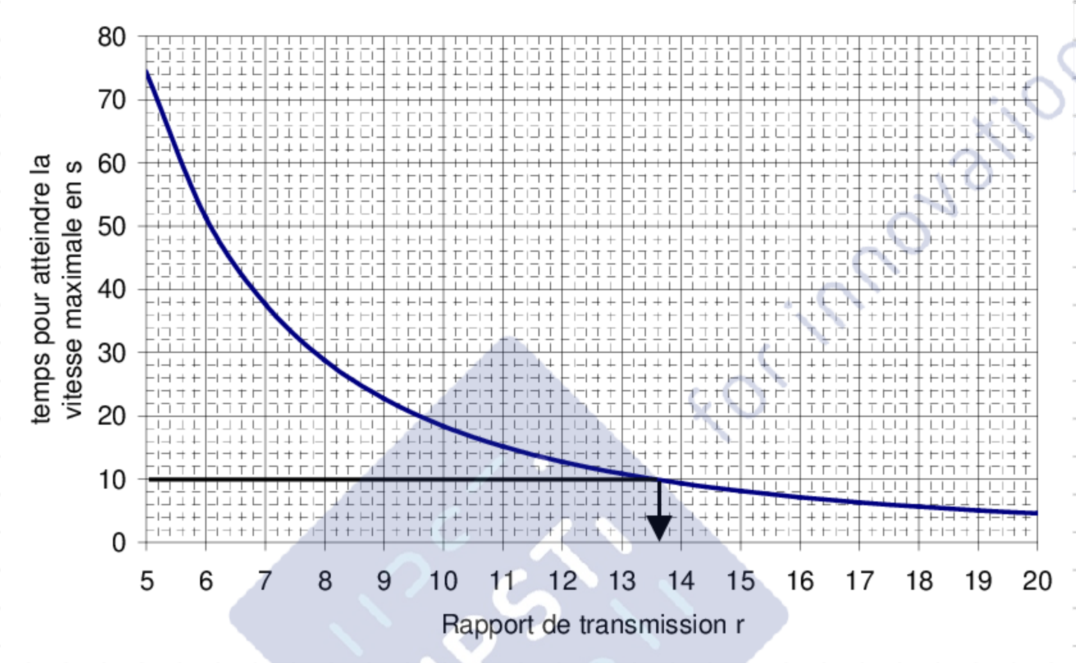
Le temps pour atteindre v_0 est : $t_0 = \dfrac{M_{eq}.v_0}{(K_m.r/R.I_0 - F_0)}$

Le temps pour atteindre la vitesse maximale est donc :



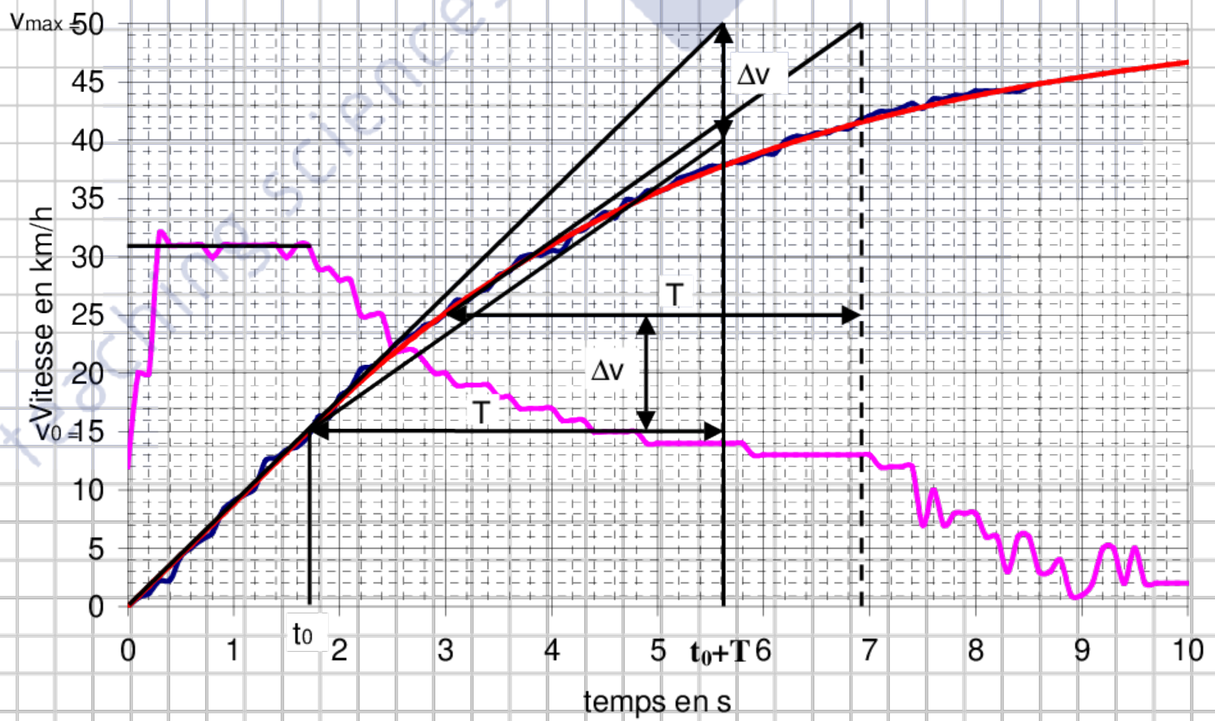
$$\boxed{\mathbf{t_{max}} = 0,95.\frac{M_{eq}.v_0}{(K_m.r/R.I_0 - F_0)} + 3.\frac{R_m.M_{eq}}{(K_m.r/R)^2}}$$

Question 21 :



Proposition et conclusion : d'après id 1.2.4 le temps pour atteindre v_{max} est de 10s. Il faut r> 13,6
Le rapport de transmission du constructeur de 13,4 convient (calculé en Q13)

Question 22 :



Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 22 : (suite)

Zone 1

Modélisable par une droite $v(t) = a.t$

avec $a = \frac{v_0}{t_0} = \frac{15}{1,7 \times 3,6} \approx \frac{5}{2} = 2,5 m.s^{-2}$

$$v(t) = a.t \qquad \text{avec } a = 2,45\ m.s^{-2} = 8,8\ km.h^{-2}$$

Zone 2

Modélisable par un ordre un car la pente à l'origine est non nulle et il n'y a pas d'oscillations

$$v(t) = v_0 + (v_{max} - v_0).\left(1 - e^{-\left(\frac{t-t0}{T}\right)}\right)$$

avec $T = 5,6 - 1,7 = 3,9\ s$, v_0 =15 km/h, t_0 = 1,7 s et $v_{max} = 50\ km/h$.

$$v(t) = v_0 + (v_{max} - v_0).\left(1 - e^{-\left(\frac{t-t0}{T}\right)}\right) \text{ avec}$$
$T = 3,9\ s$, v_0 =15 km/h, t_0 = 1,7 s et $v_{max} = 50\ km/h$.

Justification du choix de la zone 1 :

Sur la zone 1 le couple est quasi constant à sa valeur maximale (sauf pour les 0,2 s du début dus à la constante de temps électrique) d'où une accélération constante et une vitesse en rampe.

5. RECUPERATION D'ENERGIE [Q23 à Q28]

Question 23 :

Justification du bloc $\frac{1}{R_m + L_m.p}$:

$e = u_a + R_m.i + L_m\frac{di}{dt}$ devient dans le domaine de Laplace $E(p) - U_a(p) = (R_m + L_m.p)I(p)$ soit

$$\frac{I(p)}{E(p) - U_a(p)} = \frac{1}{R_m + L_m.p}$$

Justification du bloc $\frac{1}{C.p}$:

Pour le condensateur $i = C\frac{du_a}{dt}$ et dans le domaine de Laplace $I(p) = C.pU_a(p)$ soit

$$\frac{U_a(p)}{I(p)} = \frac{1}{C.p}$$

Question 24 :

$$\frac{I(p)}{E(p)} = \frac{C.p}{(R_m + L_m p)C.p + 1} \text{ et}$$

$$\boxed{H_4(p) = -\frac{1}{M_{eq}.p + \frac{(K_m.r/R)^2.C.p}{(R_m + L_m p).C.p + 1}}}$$

Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 25 :

$v(t) = v_0 + \int a.dt$ soit dans le domaine de Laplace $V(p) = \frac{v_0}{p} + \frac{A(p)}{p}$ d'où $A(p) = p.V(p) - v_0$

On applique le théorème de la valeur initiale :

$$a_0 = \lim_{p\to\infty} p.(p.V(p) - v_0) = \lim_{p\to\infty} p.\left(p.H_3(p).\frac{v_0}{p} + p.H_4(p).\frac{F_0}{p} - v_0\right) = -\frac{(K_m.r/R)^2 v_0}{R_m.M_{eq}} - \frac{F_0}{M_{eq}}$$

(On remarque que a_0 ne dépend pas de C)

$$\boxed{\textbf{décélération } a_0 = -\frac{(K_m.r/R)^2 v_0}{R_m.M_{eq}} - \frac{F_0}{M_{eq}}}$$

Question 26 :

En supposant le modèle stable, on peut utiliser le théorème de la valeur finale :

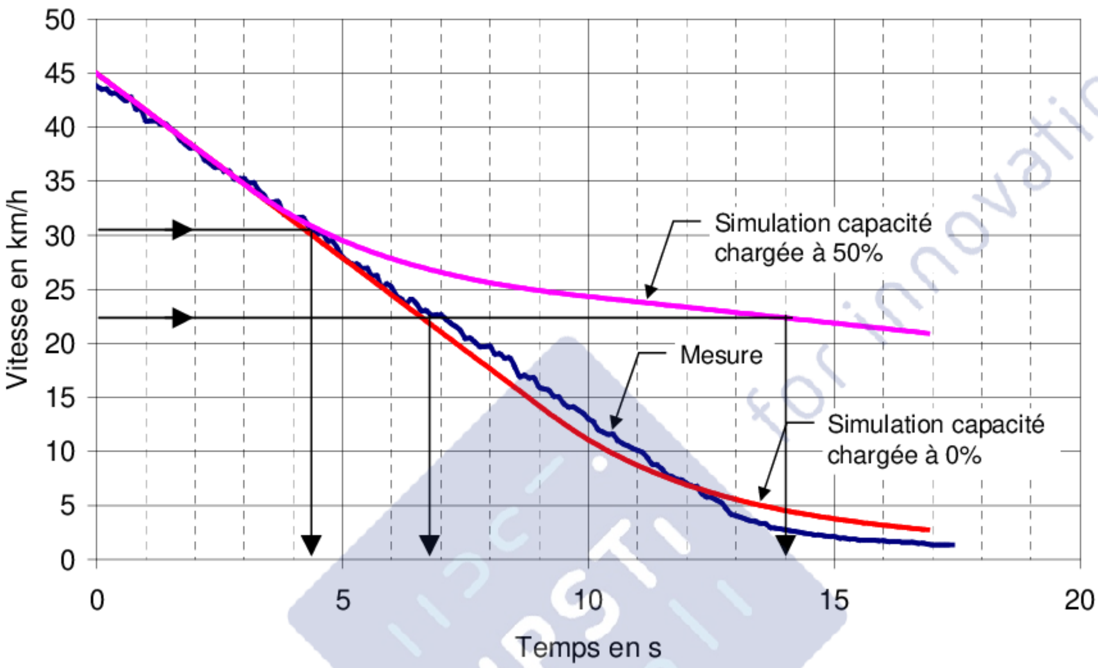
$$v_\infty = \lim_{p\to 0} p.V(p) = \lim_{p\to 0} p.H_3(p).\frac{v_0}{p} = \frac{M_{eq}.v_0}{M_{eq} + (K_m.r/R)^2.C}$$

On remarque que la vitesse sera d'autant plus faible que la capacité disponible C sera grande.

$$\boxed{v_\infty = \frac{M_{eq}.v_0}{M_{eq} + (K_m.r/R)^2.C}}$$

Ne rien écrire dans la partie barrée

Question 27 :



Réduction de vitesse de 30%	**Réduction de vitesse de 50%**
Temps$_{30\%}$ (simulation $_{0\%}$) = 4,3 s	**Temps$_{50\%}$ (simulation $_{0\%}$) = 6,7 s**
Temps$_{30\%}$ (simulation $_{50\%}$) =4,5 s	**Temps$_{50\%}$ (simulation $_{50\%}$) = 14 s**
Temps$_{30\%}$ (mesure) = 4,3 s	**Temps$_{50\%}$ (mesure) = 6,7 s**

Conclusion sur le modèle utilisé :
Le modèle avec la capacité non chargée **correspond à la mesure**.
Par contre le modèle montre une **perte d'efficacité** quand la capacité est en partie chargée.

Une dissipation d'énergie par résistance de freinage permet certainement de conserver le frein moteur quand la batterie est complètement chargée.
La mesure peut avoir été réalisée avec une batterie peu chargée.

Question 28 :

De l'ordre de 15s pour passer au-dessous de 5km/h sans atteindre l'arrêt total. **Insuffisant pour un freinage d'urgence** (Id1.2.4 Arrêt d'urgence : 45 à 0 km.h^{-1} en 2s) d'où la nécessité d'un **frein mécanique** (dissipation d'énergie par frottement sec). La récupération d'énergie nécessite d'anticiper les freinages.

Ne rien écrire dans la partie barrée