

Proposition de corrigé

Concours : Concours Commun Mines-Ponts

Année : 2017

Filière : MP

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](http://www.upsti.fr) (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

Toute représentation ou reproduction (même partielle) de ce document faite sans l'accord de l'UPSTI est **interdite**. Seuls le téléchargement et la copie privée à usage personnel sont autorisés (protection au titre des [droits d'auteur](#)).

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

NOM : **Corrigé UPSTI** PRÉNOMS : _____
En lettres capitales En écriture courante

Épreuve de : **MP**

CENTRE D'ÉCRIT : _____

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

**CADRE RÉSERVÉ
 AU CONCOURS
 NE RIEN INSCRIRE**

Épreuve de : _____ Feuille n° _____

Epreuve de Sciences Industrielles FILIERE MP

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]

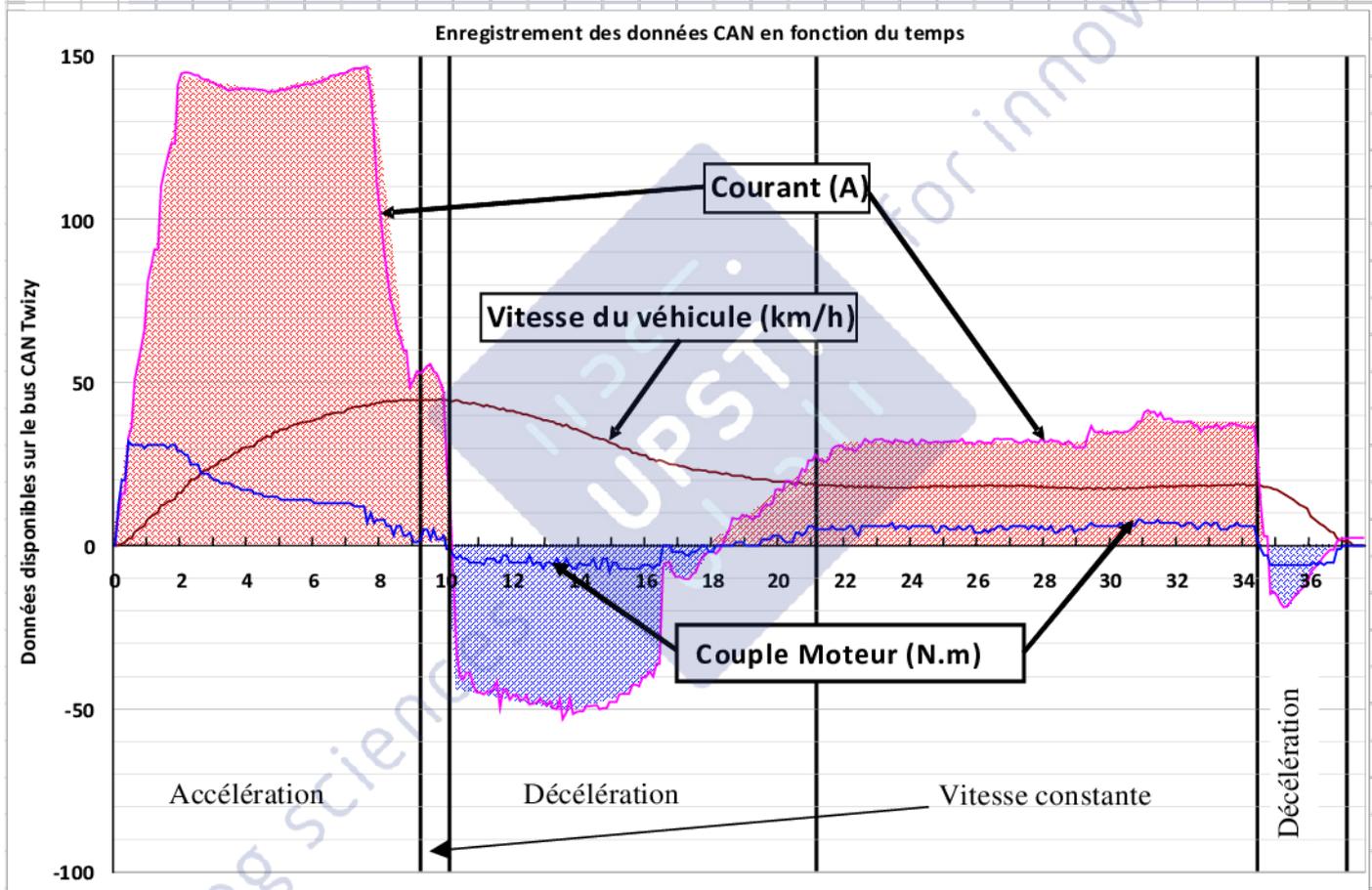
Question 1 :



Copie MP page 1/16
 Tournez la page S.V.P.

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

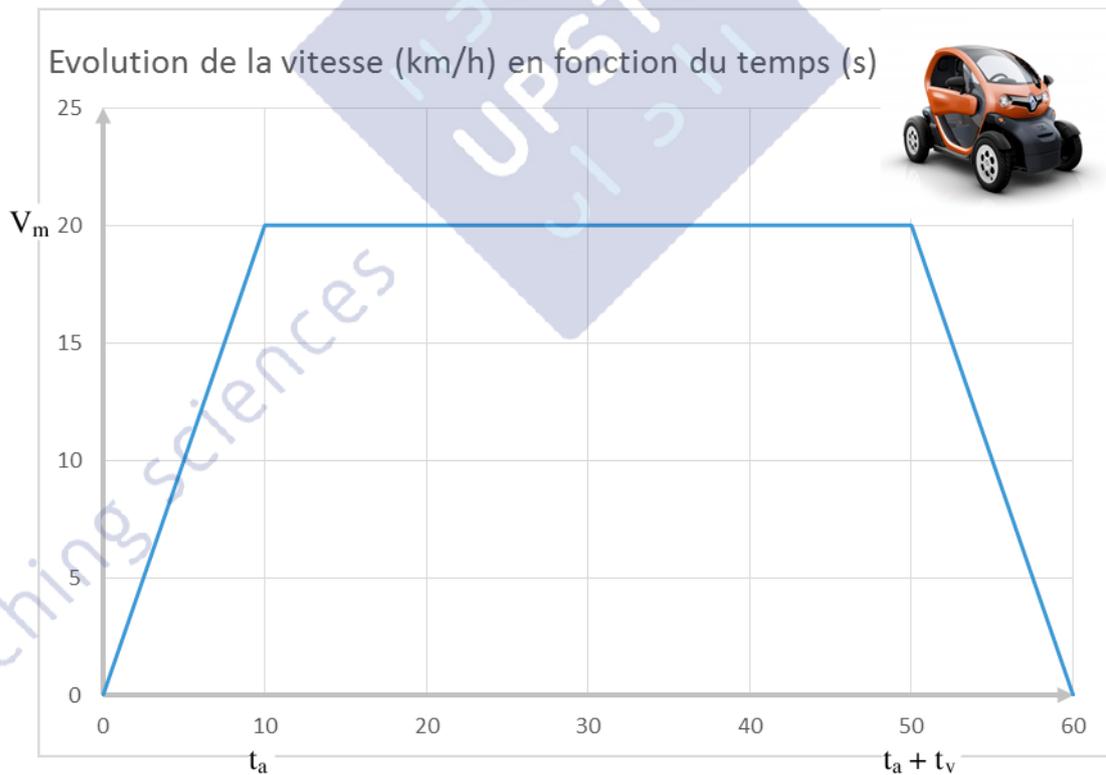
Temps d'accélération = 9 s

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 :



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

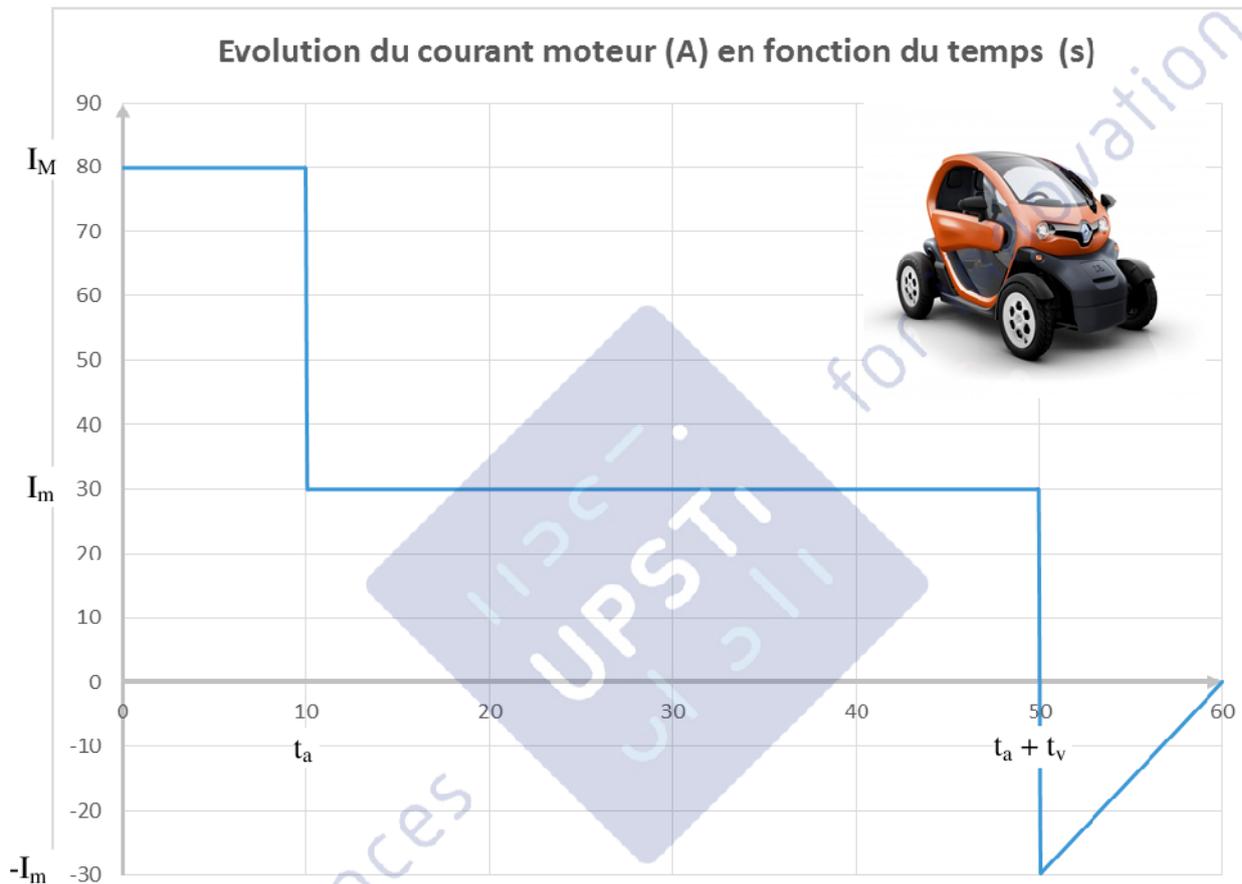
Distance parcourue d = 277 m

Copie MP page 3/16
Tournez la page S.V.P.

Ne rien écrire

dans la partie barrée

Question 5 :



La capacité utilisée sur ce cycle est

$$C = I_M \cdot t_a + I_m \cdot (t_v - t_a / 2) = 80 \times 10 + 30 \times 35 = 1850 \text{ A.s} = 0,514 \text{ A.h}$$

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

La distance totale parcourue pour $C_t = 105 \text{ A.h}$ est

$$d_t = \frac{C_t}{C} \cdot d = \frac{105 \times 3600}{1850} \times \frac{1}{3,6} = \frac{210}{3,7} = 56,8 \text{ km}$$

Capacité nécessaire = 1850 A.s

Autonomie = 56,8 km

Conclusion :

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

3. CHOIX DU MOTO-REDUCTEUR [Q6 à Q11]**Question 6 :****Théorème Energie-Puissance :**

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

Puissances extérieures :

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

$$P_{s \rightarrow 1/0} = \vec{M}_{1s \rightarrow 1} \cdot \vec{\Omega}_{1/0} = (\vec{I}_1 \vec{J}_1 \wedge \vec{N}_1 \vec{z}_s) \cdot \vec{\omega}_{10} \vec{y}_s = (\mu \vec{x}_s \wedge \vec{N}_1 \vec{z}_s) \cdot \vec{\omega}_{10} \vec{y}_s = -\mu \cdot N_1 \cdot \omega_{10}$$

$$\text{de même : } P_{s \rightarrow 2/0} = -\mu \cdot N_2 \cdot \omega_{20}$$

Puissances intérieures :

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

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

Énergies Cinétiques :

$$Ec_{\text{chassis}/0} = \frac{1}{2} m_c v^2$$

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

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

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

Equation :

On trouve alors :

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

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

Question 7 :

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

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

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

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

Question 8 :

D'autre part le roulement sans glissement des roues sur le sol

permet d'écrire $\vec{V}_{I_i/0} = \vec{0}$ soit

$$\vec{V}_{I_i/0} = \underbrace{\vec{V}_{O_i,i/0}}_{v \vec{y}_s} + \underbrace{I_i \vec{O}_i}_{R \vec{z}_s} \wedge \underbrace{\vec{\Omega}_{i/0}}_{\omega_{i0} \vec{y}_0} = (v - R \cdot \omega_{10}) \vec{y}_s = \vec{0} \text{ et}$$

finalement $v = R \cdot \omega_{10}$

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

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

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

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

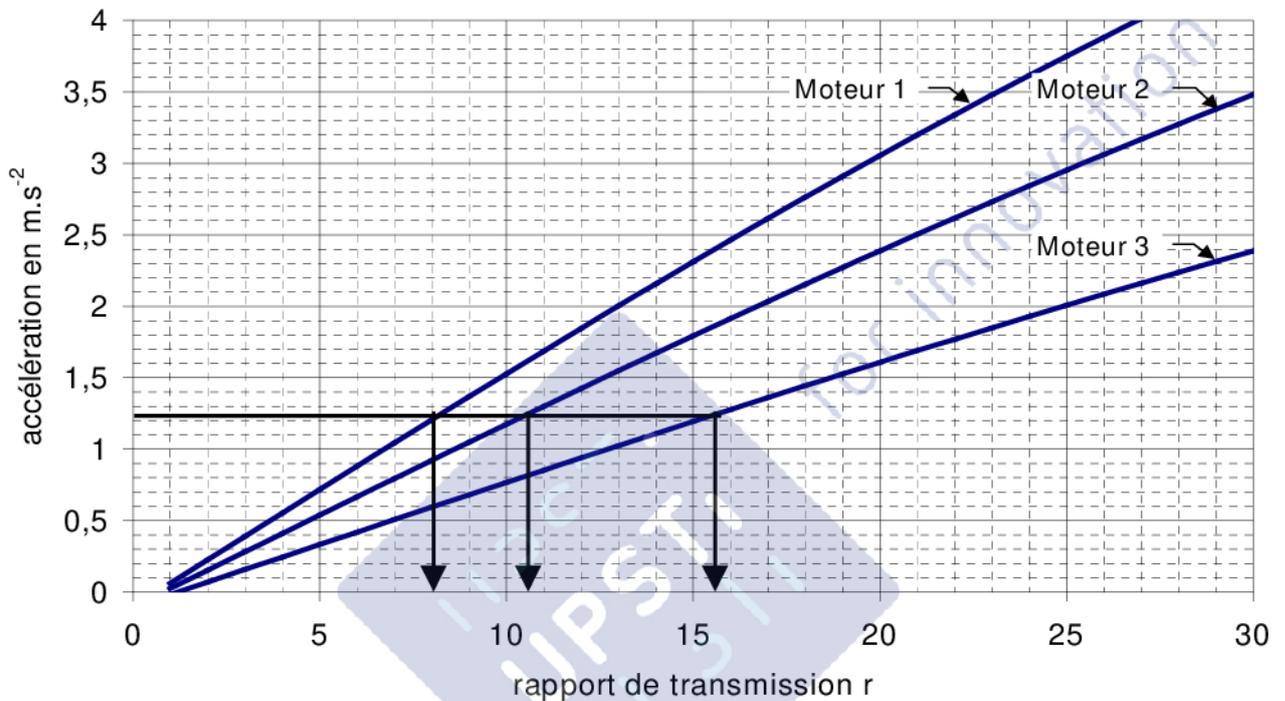
$$\text{L'équation de la Q7 devient : } C_m \cdot \frac{r \cdot v}{R} - mgv \sin \alpha - \mu \cdot mg \cos \alpha \cdot \frac{v}{R} = \left(m + \frac{r^2}{R^2} J_m + \frac{4}{R^2} J_R \right) v \dot{v}$$

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

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

$$M_{eq} = m + \frac{r^2 \cdot J_m}{R^2} + 4 \frac{J_R}{R^2}$$

Question 9 :



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

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

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

Moteur 1	Moteur 2	Moteur 3
$r_{\text{mini}} = 8$	$r_{\text{mini}} = 10,5$	$r_{\text{mini}} = 15,5$

Copie MP page 7/16
Tournez la page S.V.P.

Question 10 :

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

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

$$r_{\max} = 16$$

Question 11 :

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

4. MODELISATION DE LA MISE EN MOUVEMENT DU VEHICULE [Q12 à Q19]**Question 12 :**

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

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

$$B(p) = \frac{1}{M_{eq} \cdot p}$$

Question 13 :

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

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

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

Question 14 :

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

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

Question 15 :

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

d'amplitude I_0 et F_0 : $V(p) = \frac{(K_m \cdot (r/R) \cdot I_0 - F_0)}{M_{eq} \cdot p^2}$ et finalement $v(t) = \frac{(K_m \cdot (r/R) \cdot I_0 - F_0)}{M_{eq}} \cdot t$

Question 16 :

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

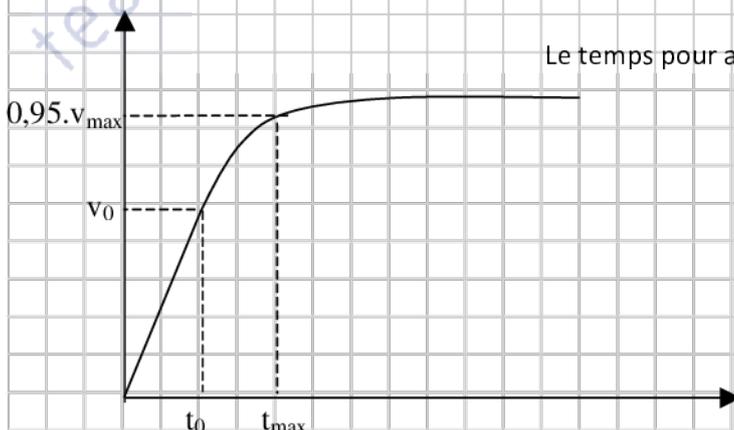
$$t_{R5\%} = 3 \cdot \frac{R_m \cdot M_{eq}}{(K_m \cdot r/R)^2}$$

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

Question 17 :

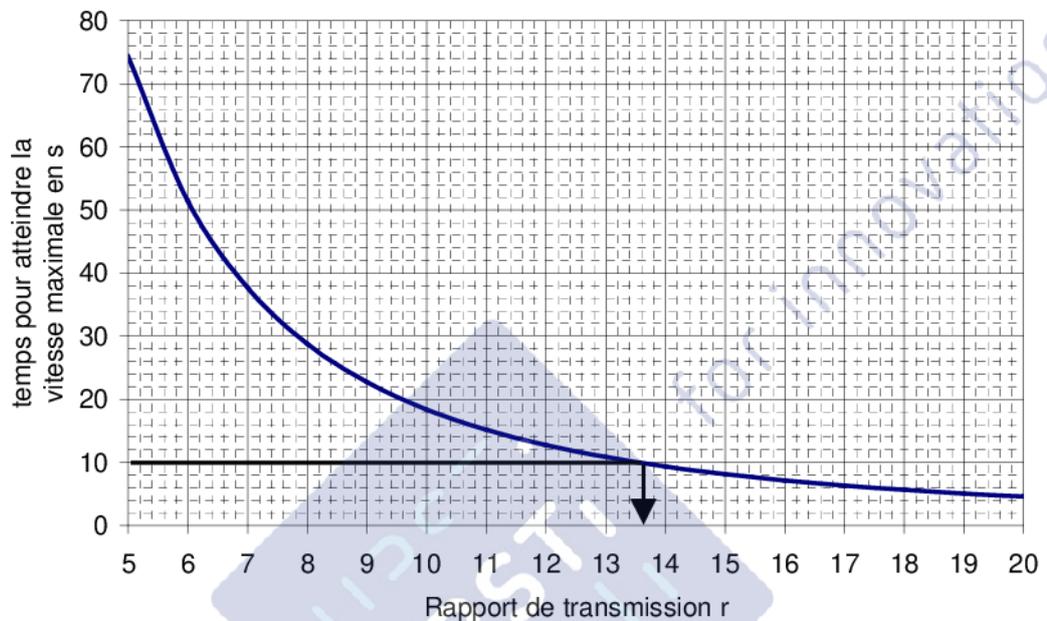
Le temps pour atteindre v_0 est : $t_0 = \frac{M_{eq} \cdot v_0}{(K_m \cdot r/R \cdot I_0 - F_0)}$

Le temps pour atteindre la vitesse maximale est donc :



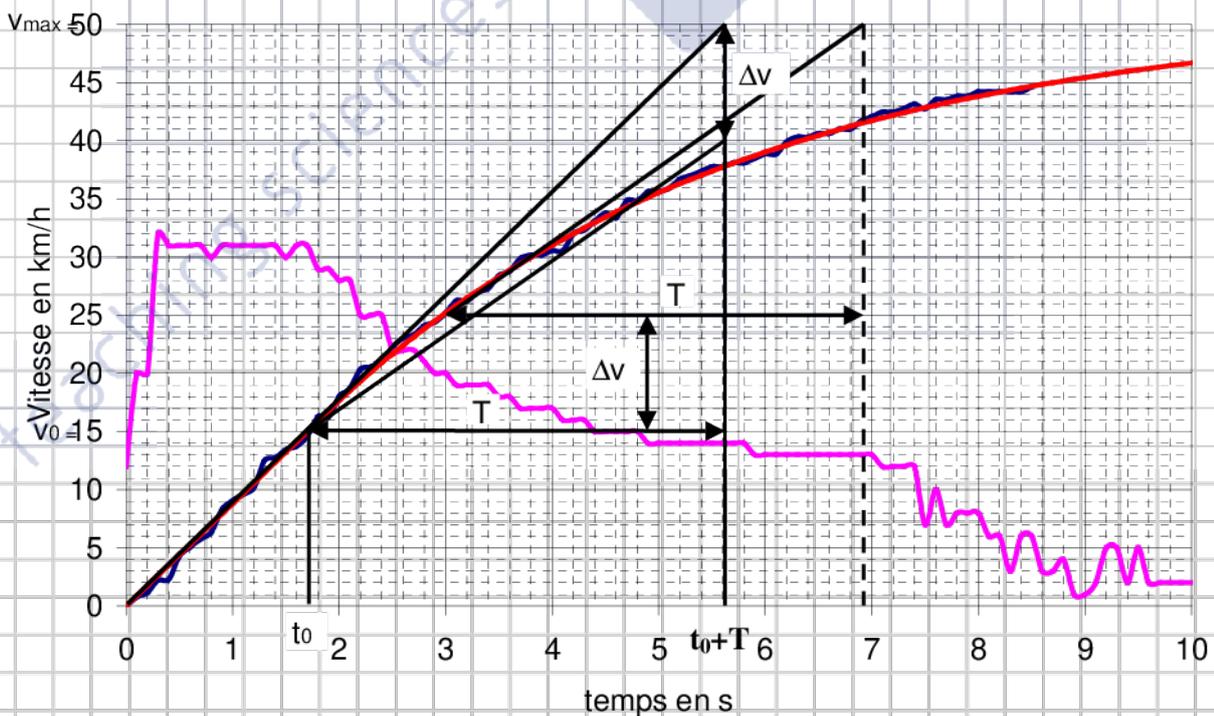
$$t_{\max} = 0,95 \cdot \frac{M_{eq} \cdot v_0}{(K_m \cdot r/R \cdot I_0 - F_0)} + 3 \cdot \frac{R_m \cdot M_{eq}}{(K_m \cdot r/R)^2}$$

Question 18 :



Proposition et conclusion : d'après id 1.2.4 le temps pour atteindre v_{max} est de 10s. Il faut $r > 13,6$. Cette valeur est dans la plage des valeurs possibles trouvées en Q11 .

Question 19 :



Ne rien écrire

dans la partie barrée

Question 19 : (suite)

Zone 1

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

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

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

Zone 2

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

$$v(t) = v_0 + (v_{\max} - v_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{T}} \right)$$

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

$$v(t) = v_0 + (v_{\max} - v_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{T}} \right) \quad \text{avec}$$

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

5. RECUPERATION D'ENERGIE [Q20 à Q23]

Question 20 :

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

$e = u_a + R_m \cdot i + L_m \frac{di}{dt}$ devient dans le domaine de

Laplace $E(p) - U_a(p) = (R_m + L_m \cdot p)I(p)$ soit

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

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

Pour le condensateur $i = C \frac{du_a}{dt}$ et dans le

domaine de Laplace $I(p) = C \cdot p U_a(p)$ soit

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

Copie MP page 11/16
Tournez la page S.V.P.

Question 21 :

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

On applique le théorème de la valeur initiale :

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

(On remarque que a_0 ne dépend pas de C)

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

Question 22 :

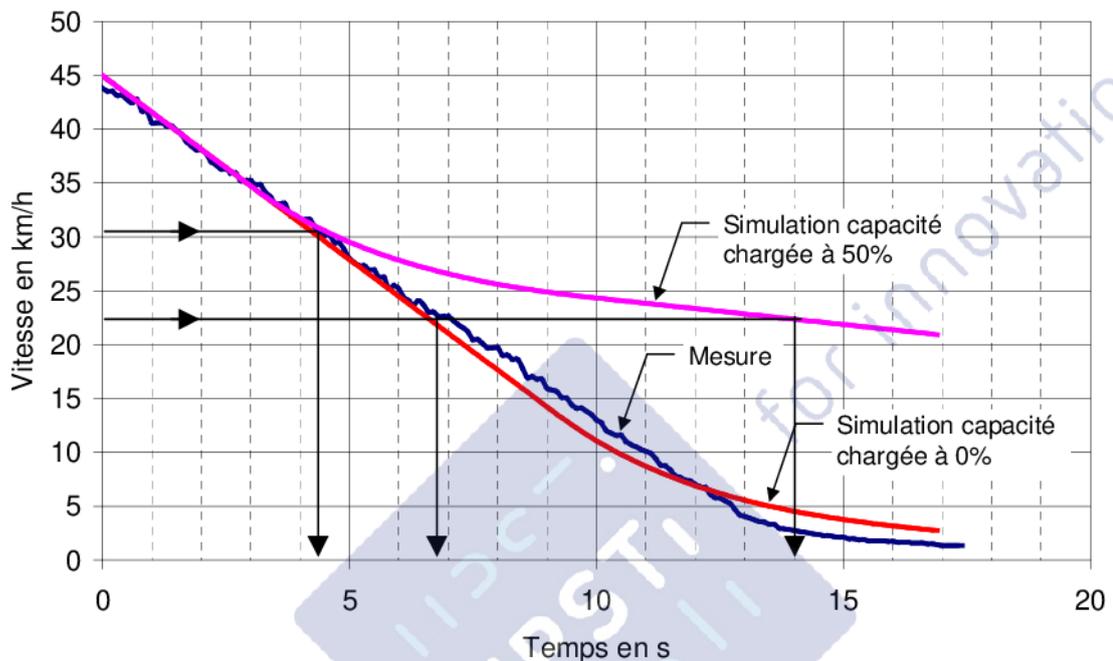
En supposant le modèle stable, on peut utiliser le théorème de la valeur finale :

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

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

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

Question 23 :



Réduction de vitesse de 30%

Temps_{30%} (simulation 0%) = 4,3 s

Temps_{30%} (simulation 50%) = 4,5 s

Temps_{30%} (mesure) = 4,3 s

Réduction de vitesse de 50%

Temps_{50%} (simulation 0%) = 6,7 s

Temps_{50%} (simulation 50%) = 14 s

Temps_{50%} (mesure) = 6,7 s

Conclusion sur le modèle utilisé :

Le modèle avec la capacité non chargée **correspond à la mesure**.

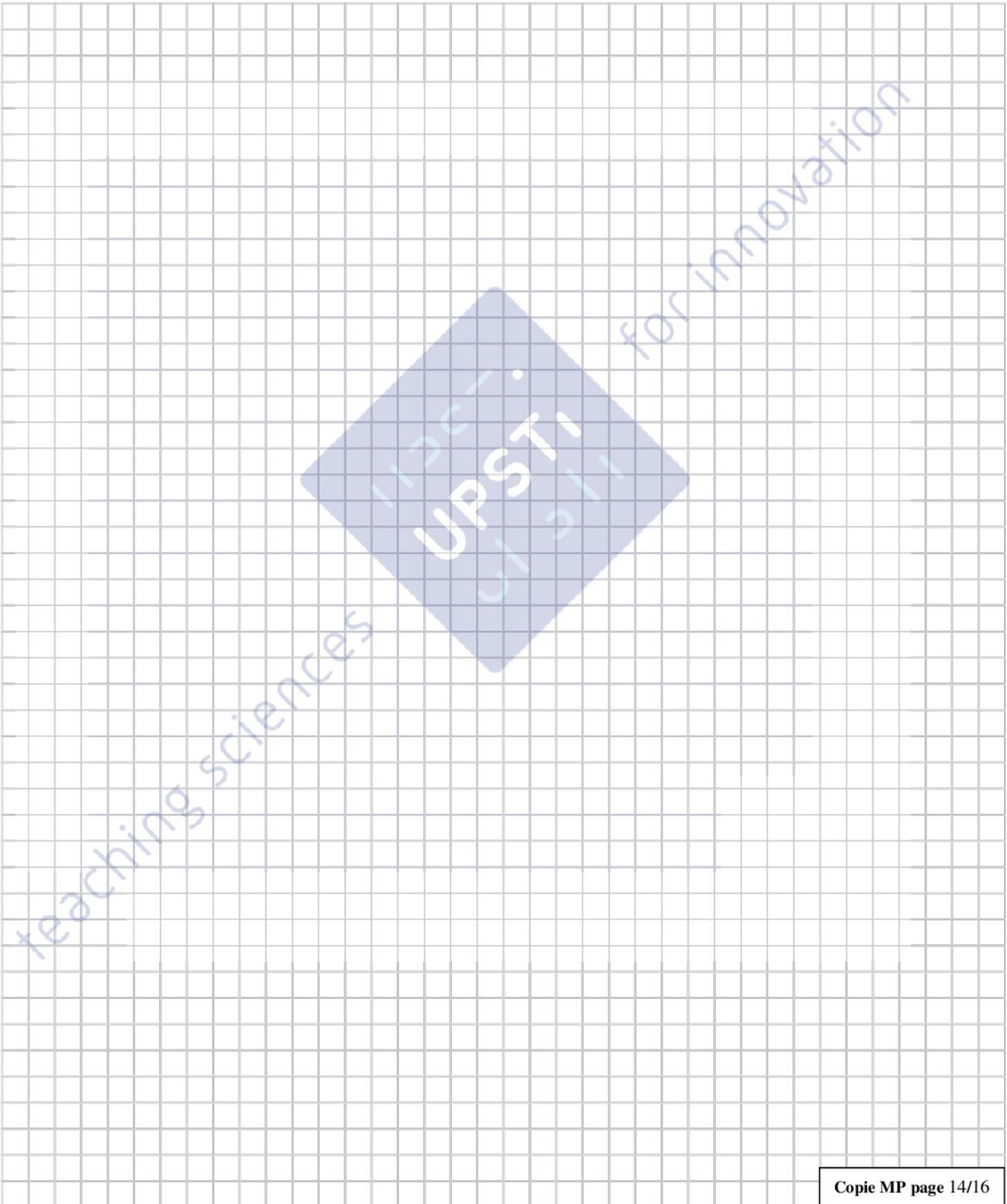
Par contre le modèle montre une **perte d'efficacité** quand la capacité est en partie chargée.

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.

Ne rien écrire

dans la partie barrée

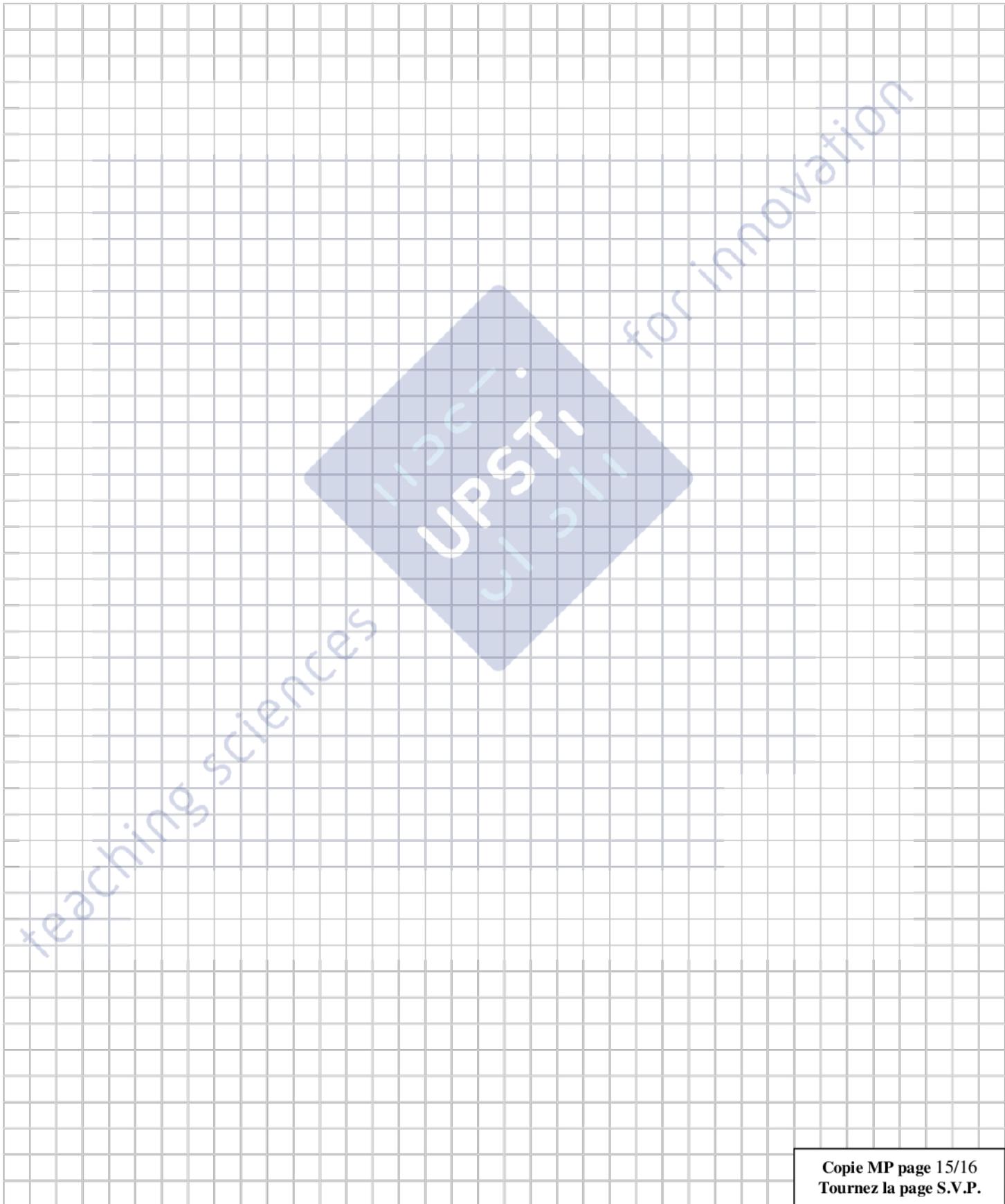


Copie MP page 14/16



Ne rien écrire

dans la partie barrée

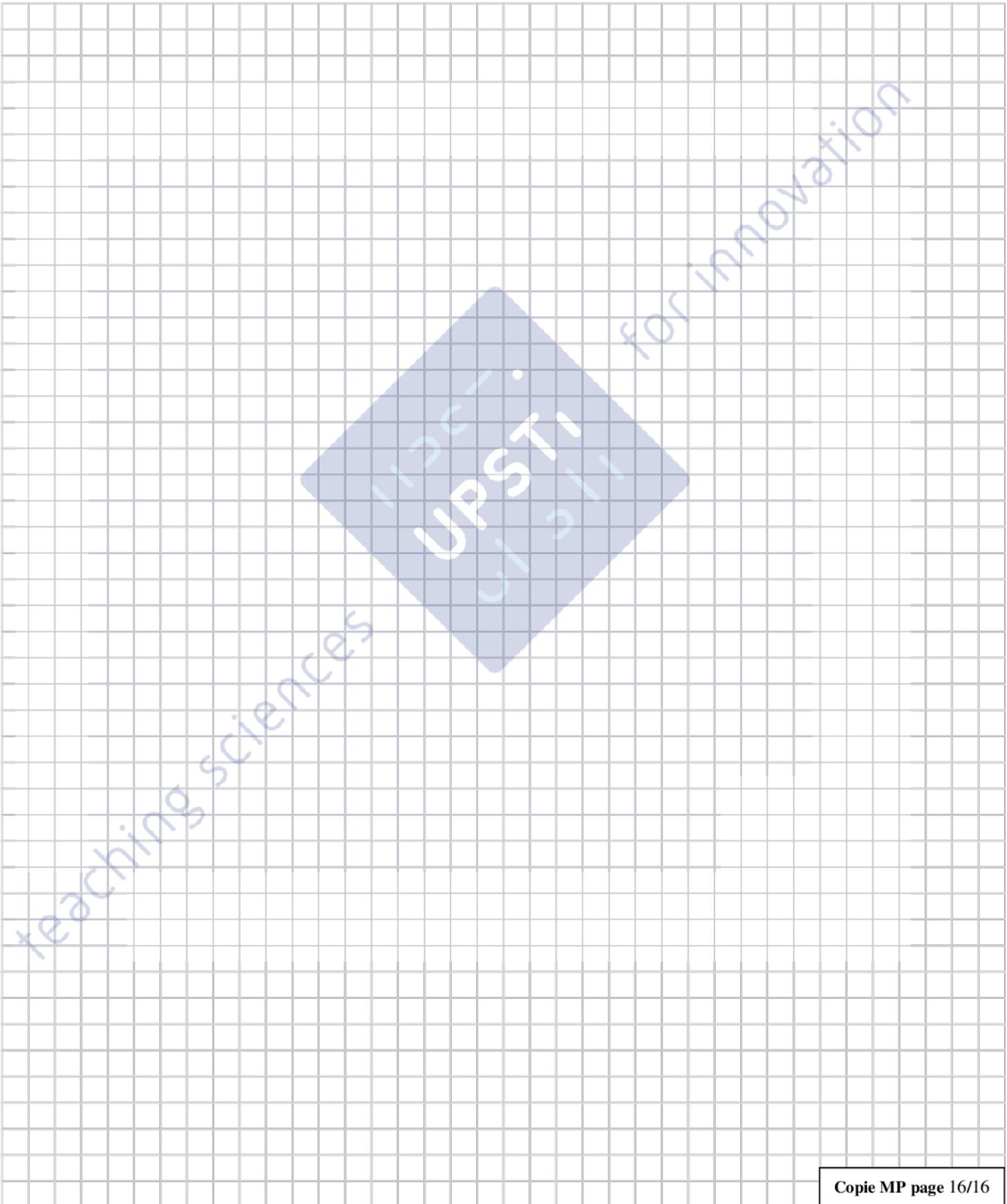


Copie MP page 15/16
Tournez la page S.V.P.



Ne rien écrire

dans la partie barrée



Copie MP page 16/16

