

## Document Réponses

# CORRIGÉ

## I - Introduction

**Question 1** Vitesse azimutale maximale du soleil en degrés par seconde, notée  $\Omega_{a \max}$  et déplacement maximal du soleil pendant un intervalle de 15 min, noté  $\varphi_{a \max}$  en degrés.

$\Omega_{a \max}$  correspond à la valeur maximale de la dérivé (pente de la tangente à la courbe), soit à 14h. La lecture graphique ne permet d'avoir une précision à  $\pm 1$ h en abscisse et  $\pm 60^\circ$  en ordonnée.

On a alors :

$$\Omega_{a \max} = \frac{360 - 0}{20 - 8} \quad \boxed{\Omega_{a \max} = 8 \cdot 10^{-3} / s = 30^\circ / h}$$

$$\varphi_{a \max} = \Omega_{a \max} \cdot \Delta t$$

$$\varphi_{a \max} = 15 \times 60 \times 8 \cdot 10^{-3} \quad \boxed{\varphi_{a \max} = 7^\circ}$$

$$\varphi_{a \max} \in [6^\circ, 10^\circ]$$

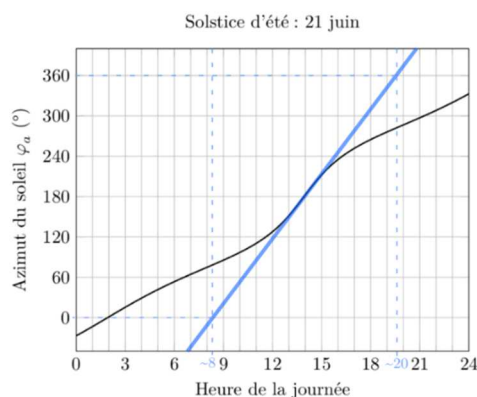


Figure 3 Évolution de l'azimut du soleil ( $\varphi_a$  en degrés) au solstice d'été

**Question 2** Durée de déplacement  $d_{cst}$  à la vitesse maximale (de  $t_1$  à  $t_2$ ) pour suivre le soleil pendant l'intervalle de temps de 15 min en fonction de  $\Omega_{\max}$  et de  $\varphi_{a \max}$ .

La distance parcourue est égale à l'aire sous la courbe :

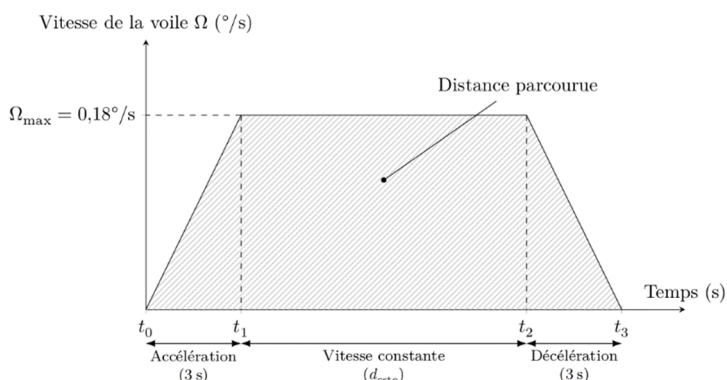


Figure 4 Profil de vitesse de la voile

On a alors :

$$\varphi_{a \max} = \frac{1}{2} \Omega_{\max} (t_1 - t_0) + \Omega_{\max} (t_2 - t_1) + \frac{1}{2} \Omega_{\max} (t_3 - t_2)$$

$$\text{Or } t_1 - t_0 = t_3 - t_2 \text{ et } t_2 - t_1 = d_{cst}$$

$$\Leftrightarrow \varphi_{a \max} = \Omega_{\max} (t_1 - t_0 + d_{cst})$$

$$\Leftrightarrow \boxed{d_{cst} = \frac{\varphi_{a \max}}{\Omega_{\max}} + t_0 - t_1}$$

### Commentaires :

Ne pas mélanger expression littérale et numérique.

**Question 3** Durée totale du déplacement,  $d_{totale}$  (de  $t_0$  à  $t_3$ ), avec ce profil de vitesse. Conclusion.

$$d_{totale} = t_3 - t_0 = (t_1 - t_0) + d_{cst} + (t_3 - t_2)$$

$$d_{totale} = (t_1 - t_0) + \left( \frac{\varphi_{a\ max}}{\Omega_{max}} + t_0 - t_1 \right) + (t_3 - t_2)$$

$$d_{totale} = 3 + \left( \frac{7}{0,18} - 3 \right) + 3 = 42s$$

Le cahier des charges spécifie que le déplacement doit être inférieur à 1 min,  $d_{totale} = 42s$  il est donc **respecté**.

## II - Analyse de la commande en boucle ouverte du déplacement de la voile solaire

**Question 4** Conclusion quant au respect des exigences Id 1.1 et Id 1.2 à partir des courbes figure 9.

Vérification de l'exigence Id 1.1 :

Le chariot se déplace de 3,651 mètres en 49 secondes,

ce qui donne une vitesse de déplacement  $v_{déplacement} = \frac{\Delta d}{\Delta t}$

A.N.  $v_{déplacement} = \frac{3,651}{49}$   $v_{déplacement} = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$

Soit une vitesse de déplacement angulaire  $\omega_{déplacement} = \frac{v_{déplacement}}{R}$

A.N.  $\omega_{déplacement} = \frac{7,5 \cdot 10^{-2}}{22,75} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}$   $\omega_{déplacement} = 0,19^\circ/s (> 0,18^\circ/s)$

### Commentaires :

L'unité SI d'une vitesse angulaire est le rad/s et non deg/s.

$$\omega = \frac{V}{R} \quad [rad/s] = [s^{-1}] = \frac{[m/s]}{[m]}$$

|              |                                         |                                                        |               |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| Exigence 1.1 | Vitesse de déplacement $< 0,18^\circ/s$ | $\omega_{déplacement} = 0,19^\circ/s (> 0,18^\circ/s)$ | non respectée |
| Exigence 1.2 | Temps de déplacement $< 1 \text{ min}$  | $t_{déplacement} = 49 \text{ s} (< 1 \text{ min})$     | respectée     |

**Question 5** Défaut maximal de position relatif entre les deux chariots dans le cas réel présenté figure 10. Conclusion.

L'écart de position entre les deux voiles sera de  $3,651 - 3,633 = 0,018 \text{ m} > 0,015 \text{ m}$  donc l'exigence **Id 1.5** n'est **pas respectée**.

La perturbation du vent a donc une influence sur la précision du système donc l'exigence **Id 1.4 non respectée**.

### III - Étude de la commande en vitesse d'un chariot central en boucle fermée

#### III.1 - Modélisation dynamique de la voile

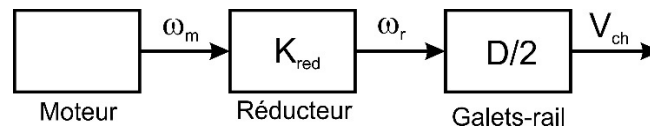
##### III.1.a - Modélisation de la transmission mécanique

**Question 6** Expression de la vitesse de déplacement de la demi-voile  $V_{ch}$  en fonction de  $\omega_m$ , de  $D$  et de  $K_{red}$ .

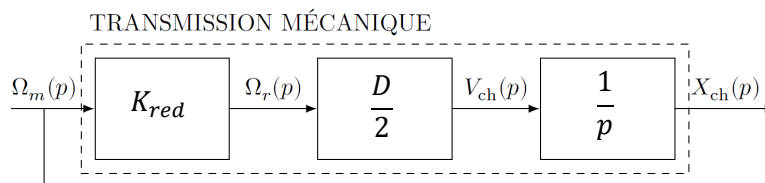
En supposant les liaisons sans jeux et les liaisons entre les galets et le rail circulaire sans glissement, on a alors :

$$V_{ch} = \omega_r \cdot \frac{D}{2} = K_{red} \cdot \omega_m \cdot \frac{D}{2}$$

Chaîne de transmission :



**Question 7** Fonctions de transfert de la zone « Transmission mécanique » du schéma-bloc sur la figure B du document réponse.



##### III.1.b - Modélisation des perturbations

###### III.1.b.i - Détermination de l'effort du vent sur la demi-voile

**Question 8** Effort élémentaire du vent sur la demi-voile s'appliquant au point  $P$  sur la surface  $dS$ , noté  $d\vec{F}_{vent}$ .

Par définition  $d\vec{F}_{vent} = \vec{f}_{vent}dS = f dS \vec{u} \Rightarrow \boxed{d\vec{F}_{vent} = f R^2 \sin(\theta) \cdot d\theta \cdot d\varphi \cdot \vec{u}}$

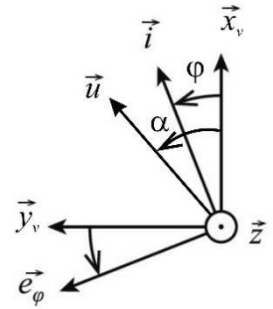
**Question 9** Définition de  $\vec{M}_{O \text{ vent}}$ , moment résultant de l'action mécanique du vent au point O, en fonction de l'effort élémentaire du vent  $d\vec{F}_{\text{vent}}$  s'appliquant au point P.

$$\vec{M}_{O \text{ vent}} = \int \vec{OP} \wedge d\vec{F}_{\text{vent}}$$

Expression du moment de l'action mécanique du vent selon l'axe  $(O, \vec{z})$ ,  $\vec{M}_{O \text{ vent}} \cdot \vec{z}$  s'opposant à la rotation de la voile autour de l'axe  $(O, \vec{z})$  en fonction de  $R$ ,  $f$  et  $\alpha$ .

$$(\vec{OP} \wedge d\vec{F}_{\text{vent}}) \cdot \vec{z} = (R \wedge f dS \vec{u}) \cdot \vec{z} = R \cdot f dS \left( \frac{\vec{z} \wedge \vec{e}_r}{\sin(\theta) \cdot \vec{e}_\varphi} \right) \cdot \vec{u}$$

Or  $\vec{e}_\varphi \cdot \vec{u} = \sin(\alpha - \varphi)$  (Faire un dessin !!)

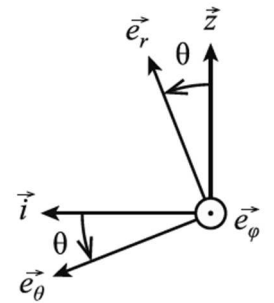


$$(\vec{OP} \wedge d\vec{F}_{\text{vent}}) \cdot \vec{z} = R \cdot f \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\alpha - \varphi) \cdot dS$$

$$(\vec{OP} \wedge d\vec{F}_{\text{vent}}) \cdot \vec{z} = R \cdot f \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\alpha - \varphi) \cdot R^2 \sin(\theta) \cdot d\theta \cdot d\varphi$$

Donc

$$\vec{M}_{O \text{ vent}} \cdot \vec{z} = \int_{\varphi=-\pi/8}^{\pi/8} \int_{\theta=0}^{\pi/2} (R^3 f \sin^2 \theta \cdot \sin(\alpha - \varphi)) d\theta d\varphi$$



$$= R^3 f \int_{\theta=0}^{\pi/2} \sin^2 \theta d\theta \int_{\varphi=-\pi/8}^{\pi/8} \sin(\alpha - \varphi) d\varphi = R^3 f \left[ \frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right]_0^{\pi/2} \underbrace{\left[ \cos(\alpha - \varphi) \right]_{-\pi/8}^{\pi/8}}_{2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \frac{\pi}{8}} \quad \left( \sin^2 \theta = \frac{1}{2} - \frac{\cos 2\theta}{2} \right)$$

$$\vec{M}_{O \text{ vent}} \cdot \vec{z} = R^3 f \frac{\pi}{2} \cdot \sin \frac{\pi}{8} \cdot \sin \alpha$$

#### Commentaires :

On ne connaît pas le centre de poussée  
(= point d'application de la résultante)

$$\vec{M}_{O \text{ vent}} \neq \vec{OP} \wedge \int d\vec{F}_{\text{vent}}$$

**Question 10** Expression de  $F_{\text{vent}}$  l'effort du vent au point  $C_G$  s'opposant au déplacement du chariot central.

$$(\vec{OC_G} \wedge F_{\text{vent}} \vec{x}_{C_G}) \cdot \vec{z} = \vec{M}_{O \text{ vent}} \cdot \vec{z} \Leftrightarrow (R \cdot \vec{y}_{C_G} \wedge F_{\text{vent}} \vec{x}_{C_G}) \cdot \vec{z} = R^3 f \frac{\pi}{2} \cdot \sin \frac{\pi}{8} \cdot \sin \alpha$$

$$\Leftrightarrow -R \cdot F_{\text{vent}} = R^3 f \frac{\pi}{2} \cdot \sin \frac{\pi}{8} \cdot \sin \alpha \Leftrightarrow F_{\text{vent}} = -R^2 f \frac{\pi}{2} \cdot \sin \frac{\pi}{8} \cdot \sin \alpha$$

**Question 11** Valeur de  $\alpha$  tel que  $|F_{\text{vent}}|$  soit maximal et valeur maximale de  $|F_{\text{vent}}|$ .

Cet effort est maximal pour  $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$ , on alors  $|F_{\text{vent}}| = R^2 f \frac{\pi}{2} \sin \frac{\pi}{8}$

A.N.  $|F_{\text{vent}}| = 22,750^2 \cdot 54,7 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \sin \frac{\pi}{8} = 17 \text{ kN}$

### III.1.b.ii - Détermination du moment de résistance au roulement des galets sur le rail

**Question 12** Expression de  $F_I + F_J$ .

On isole cc = {chariot central + galets de roulement}

BAME (Bilan des Actions Mécaniques Extérieures) :

- $\{\tau_{pes \rightarrow cc}\} = \left\{ \begin{matrix} -m_{cc} \cdot g \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{G \text{ ou } F}$
- $\{\tau_{r \rightarrow cc}^I\} = \left\{ \begin{matrix} F_I \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_I$
- $\{\tau_{r \rightarrow cc}^J\} = \left\{ \begin{matrix} F_J \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_J$
- $\{\tau_{v \rightarrow cc}\} = \left\{ \begin{matrix} -\frac{m_v}{2} \cdot g \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{F \text{ ou } G}$

#### Commentaires :

Ne pas dire trop vite qu'un solide est en équilibre, la résultante dynamique peut s'annuler pour d'autres raisons : mouvement particulier, masse négligée.

On applique le théorème de la résultante dynamique en projection suivant  $\vec{z}$  à l'ensemble **en mouvement de translation** (rectiligne uniforme) selon  $\vec{x}_{C_G}$  par rapport au référentiel lié au sol galiléen :

$$m_{cc} \cdot \overrightarrow{a_{G_{cc}/R_g}} \cdot \vec{z} = 0 = \sum \vec{F}_{ext \rightarrow cc} \cdot \vec{z} \Leftrightarrow -\frac{m_v}{2} \cdot g - m_{cc} \cdot g + F_I + F_J = 0 \Leftrightarrow \boxed{F_I + F_J = \left(\frac{m_v}{2} + m_{cc}\right) g}$$

**Question 13** Expression du moment de résistance au roulement en C, noté  $\vec{M}_C$ , en fonction de  $F_I$  et  $\delta$ .

$$\boxed{\vec{M}_C = \vec{M}_I + \vec{CI} \wedge F_I \vec{z} = -\delta \cdot F_I \cdot \vec{y}_{C_G}}$$

**Question 14** Expressions de  $\vec{M}_D$  en fonction de  $F_J$  et  $\delta$ , et du moment de résistance au roulement du chariot central  $\vec{M}_{cc} = \vec{M}_C + \vec{M}_D$  en fonction de  $\delta$ ,  $m_v$ ,  $m_{cc}$  et  $g$ .

Par analogie  $\vec{M}_D = \vec{DI} \wedge F_J \vec{z} = -\delta \cdot F_J \cdot \vec{y}_{C_G}$

$$\text{Et } \vec{M}_{cc} = \vec{M}_C + \vec{M}_D = -\delta(F_I + F_J) \vec{y}_{C_G} \Rightarrow \boxed{\vec{M}_{cc} = -\delta g \left( \frac{m_v}{2} + m_{cc} \right) \vec{y}_{C_G}}$$

**Question 15** Moment de résistance au roulement des galets de roulement du chariot latéral, noté  $\vec{M}_{cl}$  et moment de résistance au roulement total des galets de roulement,  $\vec{M}_{glob}$ . Application numérique.

Le chariot latéral a exactement la même géométrie et les mêmes actions mécaniques, seul le poids du chariot change donc :

$$\boxed{\vec{M}_{cl} = -\delta g \left( \frac{m_v}{2} + m_{cl} \right) \vec{y}_{C_G}}$$

On en déduit :

$$\boxed{\vec{M}_{glob} = \vec{M}_{cc} + \vec{M}_{cl} = -\delta g (m_v + m_{cc} + m_{cl}) \vec{y}_{C_G}}$$

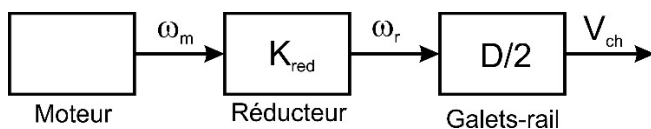
$$\text{AN : } \|\vec{M}_{glob}\| = 0,005 \times 9,81(120\,000 + 15\,000 + 8\,000) = 7014 \text{ N.m}$$

$$\boxed{\|\vec{M}_{glob}\| = 7014 \text{ N.m}}$$

### III.1.c - Détermination de l'inertie équivalente de la partie mobile

**Question 16** Expression littérale de l'inertie équivalente,  $J_{eq}$ , de l'ensemble mobile  $E$  rapporté sur l'arbre moteur telle que :  $E_c = \frac{1}{2} J_{eq} \omega_m^2$

On rappelle la chaîne de transmission :



$$\omega_r = K_{red} \omega_m; V_{ch} = \frac{D}{2} \omega_r$$

On a alors :

$$E_c = \frac{1}{2} (m_v + m_{cc} + m_{cl}) V_{ch}^2 + J_g \omega_r^2 + J_{mr} \omega_m^2 = \frac{1}{2} \left( (m_v + m_{cc} + m_{cl}) \frac{D^2}{4} K_{red}^2 + 2J_g K_{red}^2 + 2J_{mr} \right) \omega_m^2$$

Donc :

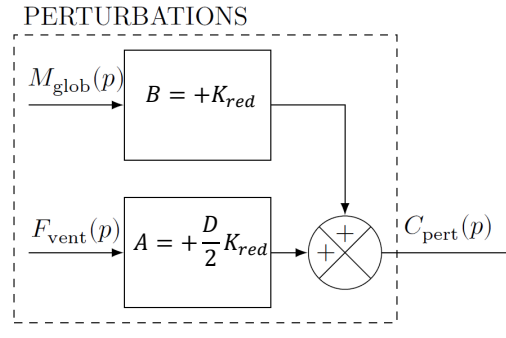
$$\boxed{J_{eq} = (m_v + m_{cc} + m_{cl}) \frac{D^2}{4} K_{red}^2 + 2J_g K_{red}^2 + 2J_{mr}}$$

**Commentaires :**

Ne pas confondre diamètre et rayon...

### III.1.d - Détermination de l'équation dynamique de la voile

**Question 17** Fonctions de transfert de la zone « Perturbations » du schéma-bloc sur la figure B du document réponse.

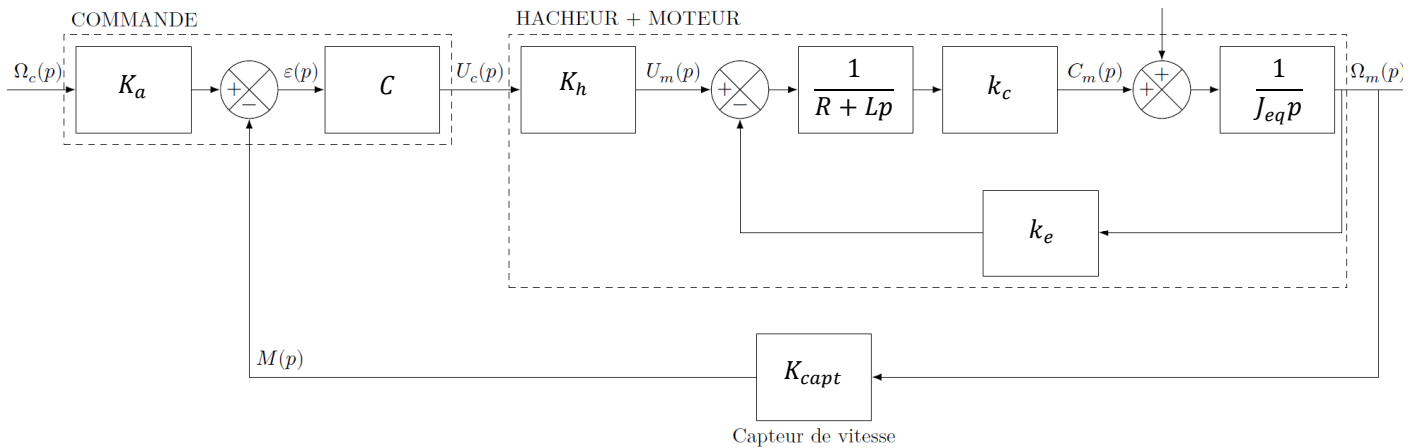


### III.2 - Modélisation de la commande en vitesse d'un chariot central en boucle fermée

**Question 18** Fonctions de transfert manquantes du schéma-bloc sur la figure B du document réponse.

$$U_m(p) - E_m(p) = (R + L \cdot p) \cdot I_m(p); C_m = k_c \cdot I_m(p); E_m(p) = k_e \cdot \Omega_m(p)$$

D'où le schéma-blocs complété :

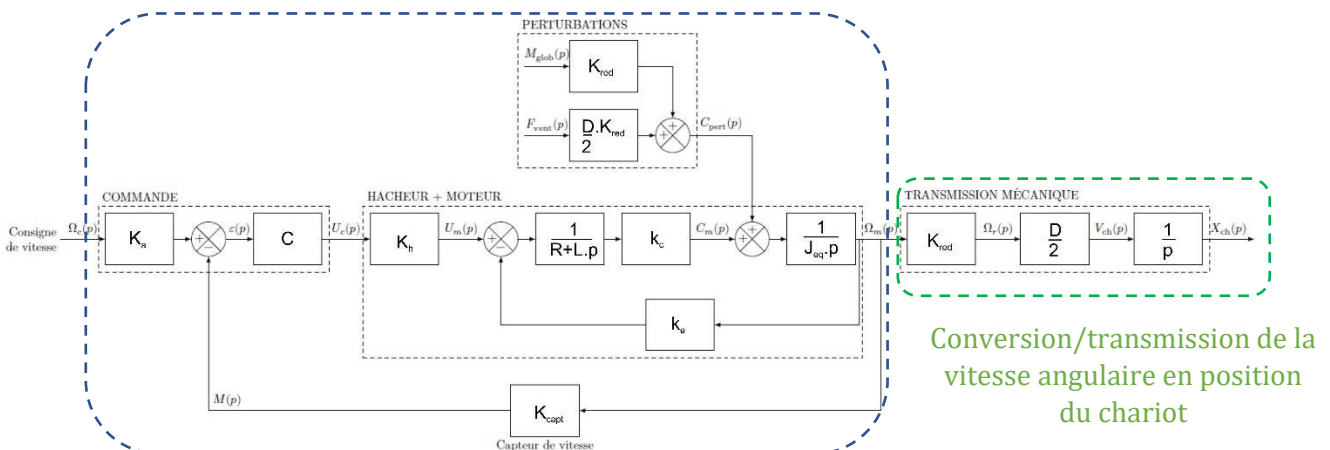


**Question 19** Expression de  $K_a$ .

On veut que  $\varepsilon(t) = 0$  quand  $\omega_c(t) = \omega_m(t)$  donc  $\varepsilon(p) = 0 \Leftrightarrow \Omega_c(p) \cdot K_a - \underbrace{\Omega_m(p)}_{\Omega_c(p)} \cdot K_{capt} = 0$

d'où  $\Omega_c(p) \cdot (K_a - K_{capt}) = 0$  pour toute entrée  $\Omega_c(p)$  d'où  $(K_a - K_{capt}) = 0$

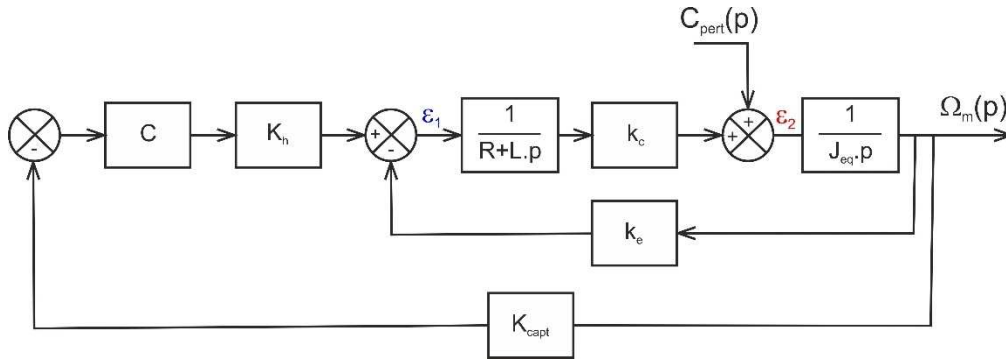
Finalement, on obtient :  $\boxed{K_a = K_{capt}}$  (réglage de l'adaptateur sur la boucle d'asservissement)



Asservissement de vitesse angulaire :  
présence d'un capteur de vitesse et d'un amplificateur (hacheur)

### III.3 - Étude des performances de la boucle de vitesse non corrigée

**Question 20** Fonction de transfert  $H_r(p) = \frac{\Omega_m(p)}{C_{pert}(p)}$  sous la forme  $H_r(p) = \frac{\alpha(1+\tau p)}{1+\gamma p+\beta p^2}$ .



Méthode « des epsilons »

$$\varepsilon_1(p) = -K_{capt} \cdot C \cdot K_h \cdot \Omega_m(p) - k_e \cdot \Omega_m(p)$$

$$\varepsilon_2(p) = \frac{k_c}{R + L \cdot p} \varepsilon_1(p) + C_{pert}(p)$$

$$\Omega_m(p) = \frac{1}{J_{eq} \cdot p} \cdot \varepsilon_2(p)$$

$$\text{Soit } \Omega_m(p) = \frac{1}{J_{eq} \cdot p} \left[ \frac{k_c}{R + L \cdot p} [-K_{capt} \cdot C \cdot K_h \cdot \Omega_m(p) - k_e \cdot \Omega_m(p)] + C_{pert}(p) \right]$$

$$[J_{eq} \cdot p \cdot (R + L \cdot p) + k_c \cdot (K_{capt} \cdot C \cdot K_h + k_e)] \cdot \Omega_m(p) = (R + L \cdot p) \cdot C_{pert}(p)$$

$$H_r(p) = \frac{\Omega_m(p)}{C_{pert}(p)} = \frac{R + Lp}{J_{eq}p(R + Lp) + k_c(K_{capt} \cdot C \cdot K_h + k_e)}$$

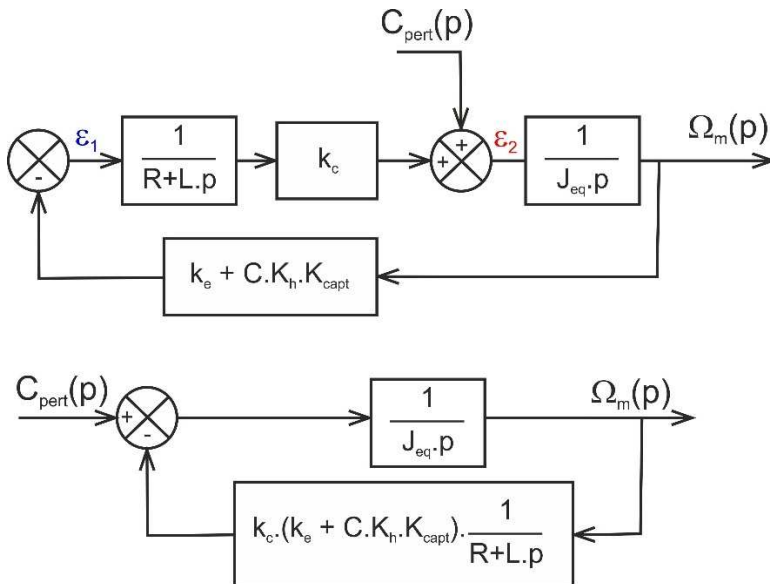
Soit sous forme canonique avec C=1 :

$$H_r(p) = -\frac{-R}{k_c(K_{capt} \cdot K_h + k_e)} \frac{1 + \frac{L}{R}p}{1 + \frac{J_{eq}R}{k_c(K_{capt} \cdot K_h + k_e)}p + \frac{J_{eq}L}{k_c(K_{capt} \cdot K_h + k_e)}p^2}$$

On a donc :

$$\alpha = \frac{-R}{k_c(k_{capt}k_h + k_e)}; \quad \tau = \frac{L}{R}; \quad \gamma = \frac{J_{eq}R}{k_c(k_e + k_{capt}k_h)}; \quad \beta = \frac{J_{eq}L}{k_c(k_e + k_{capt}k_h)}$$

Méthode graphique algèbre des schémas



$$H_r(p) = \frac{\Omega_m(p)}{C_{pert}(p)} = \frac{\frac{1}{J_{eq}p}}{1 + \frac{k_c(K_{capt} \cdot C \cdot K_h + k_e)}{J_{eq}p \cdot (R + L \cdot p)}}$$

$$H_r(p) = \frac{R + L \cdot p}{J_{eq}p(R + L \cdot p) + k_c(K_{capt} \cdot C \cdot K_h + k_e)}$$

**Question 21** Variation de vitesse du moteur, en régime permanent, sous l'effet d'un couple de perturbation  $C_{pert}(t) = C_0 u(t)$  avec  $u(t)$  l'échelon de Heaviside. Conclusion.

La consigne  $\omega_c(t)$  étant nulle, on calcule la valeur finale de  $\omega_m(t)$  ou l'erreur statique :

$$\omega_{m\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} (\omega_m(t)) = \lim_{p \rightarrow 0} p \Omega_m(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p H_r(p) C_{pert}(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{\alpha(1 + \tau p)}{1 + \gamma p + \delta p^2} \frac{C_0}{p}$$

$$\boxed{\omega_{m\infty} = \alpha \cdot C_0 \neq 0}$$

ou

$$E_{rs} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left( \underbrace{\omega_c(t)}_0 - \omega_m(t) \right) = \lim_{p \rightarrow 0} -p \Omega_m(p) = \lim_{p \rightarrow 0} -p H_r(p) C_{pert}(p) = \lim_{p \rightarrow 0} -p \frac{\alpha(1 + \tau p)}{1 + \gamma p + \delta p^2} \frac{C_0}{p}$$

$$\boxed{E_{rs} = -\alpha \cdot C_0 \neq 0}$$

La valeur finale de **la vitesse n'est pas nulle** (ou l'erreur statique pour une consigne nulle) le système est donc sensible à la perturbation. L'exigence 1.4 n'est **pas satisfaite**.

#### Commentaires :

On ne veut jamais suivre la perturbation, on veut suivre la consigne !

$$E_{rs} = \lim_{t \rightarrow \infty} (\text{cons}(t) - \text{sortie}(t)) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot (\text{CONS}(p) - \text{SORTIE}(p))$$

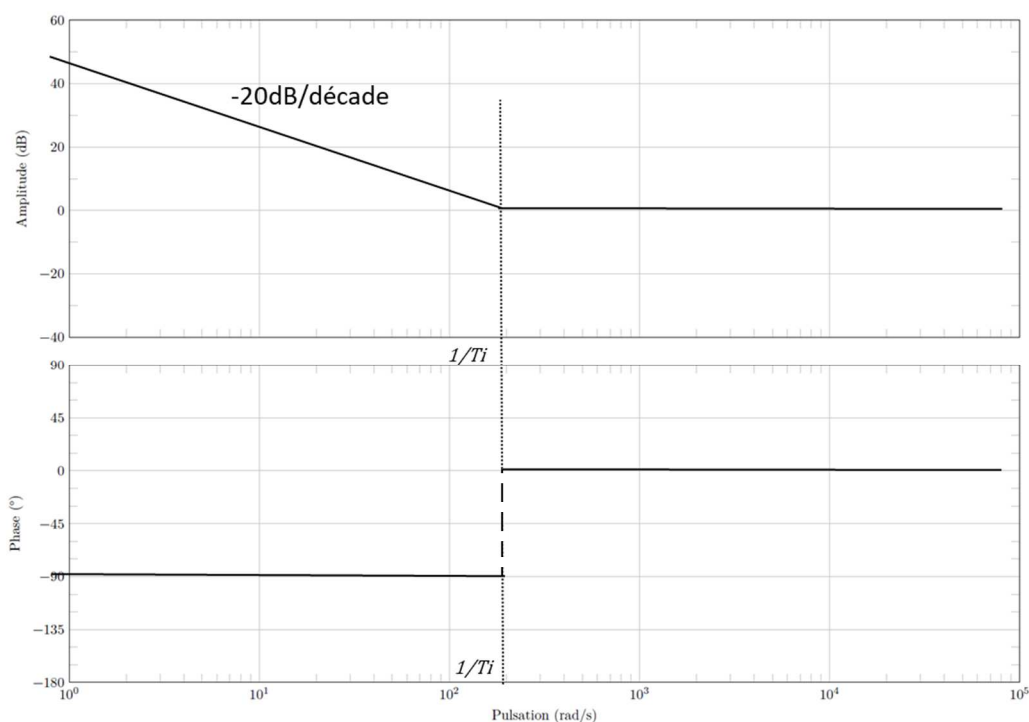
dépend de la consigne et de la perturbation

### III.3.a - Asservissement avec prise en compte des perturbations

**Question 22** Diagrammes asymptotiques de Bode en gain et en phase du correcteur  $C(p) = C \cdot \frac{1+T_i p}{T_i p}$ ,  $C = 1$ .

$$H_{Bo}(p) = \frac{1,05}{1 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot p^2} \Rightarrow \frac{1}{T_i} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{1,9 \cdot 10^{-5}}} = 229,4 \text{ rad/s}$$

On somme un intégrateur et l'inverse d'un premier ordre de cassure  $\boxed{\frac{1}{T_i} = 229,4 \text{ rad/s}}$



**Question 23** Nouvelle valeur de l'erreur statique. Conclusion vis-à-vis de l'exigence 1.4.

En reprenant le calcul de  $H_r(p)$  Q20 et en remplaçant  $C$  par  $C \cdot \frac{1+T_i \cdot p}{T_i \cdot p}$  :

$$H_r(p) = \frac{\Omega_m(p)}{C_{\text{pert}}(p)} = \frac{R + Lp}{J_{eq}p(R + Lp) + k_c(K_{\text{capt}} \cdot C \cdot \frac{1+T_i \cdot p}{T_i \cdot p} \cdot K_h + k_e)} \xrightarrow{p \rightarrow 0} \frac{R}{k_c(K_{\text{capt}} \cdot C \cdot \frac{1}{T_i \cdot p} \cdot K_h + k_e)}$$

$$E_{rs} = \lim_{p \rightarrow 0} -p \Omega_m(p) = \lim_{p \rightarrow 0} -p H_r(p) C_{\text{pert}}(p) = \lim_{p \rightarrow 0} -p \frac{R}{k_c(K_{\text{capt}} \cdot C \cdot \frac{1}{T_i \cdot p} \cdot K_h + k_e)} \frac{C_0}{p} \Rightarrow \boxed{E_{rs} = 0}$$

Le correcteur proportionnel intégral permet de satisfaire l'exigence 1.4 « précision  $E_{rs} = 0$  ».

#### IV - Conclusion

**Question 24** Nécessité de mettre en place une solution de synchronisation pour le déplacement des demi-voiles entre les garages est et ouest.

On remarque que lors d'un déplacement (de 15 min), l'écart relatif entre les deux voiles est de **0,9mm < 15 mm**, ce qui est conforme au cahier des charges.

Cependant, il y a un risque que **cet écart se cumule** à chaque déplacement, toutes les 15 minutes.

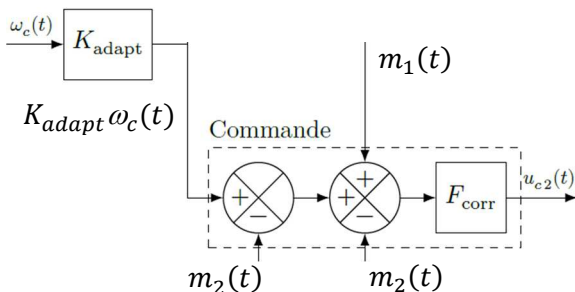
Il y a donc un risque d'obtenir en écart entre les deux voiles de plus de 15 mm au bout de 15 cycles, soit après 4 heures de fonctionnement.

Il semble judicieux de mettre en place une solution de synchronisation pour le déplacement des demi-voiles.

**Commentaires :** On attend une argumentation, chiffres à l'appui, pas un vague blabla...

**Question 25** Expression de  $u_{c2}(t)$  en fonction de  $\omega_c$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $K_{\text{adapt}}$  et  $F_{\text{corr}}$ . Conclusion quant à la correction d'éventuel écart entre les vitesses des deux moteurs.

Par lecture du schéma-blocs de la commande :



$$\boxed{u_{c2}(t) = F_{\text{corr}}(m_1 - 2m_2 + \omega_c K_{\text{adapt}})}$$

En cas de vitesse identique entre les deux moteurs  $\omega_{m2} = \omega_c$ , les mesures  $m_1 = m_2$ , le second sommateur du moteur 2 n'a aucune influence et la commande du moteur 2 n'est donc pas modifiée.

Si la vitesse de rotation du second moteur est plus faible  $\omega_{m2} < \omega_c$  :

- le chariot 2 est en retard sur le chariot 1
- $\omega_c K_{\text{adapt}} - m_2 > 0$  et  $m_1 > m_2$

→ le signal de sortie du second sommateur sera augmenté, ce qui va monter la consigne  $u_{c2}$  du moteur 2 ;  
→ la vitesse du moteur 2 va alors augmenter jusqu'à redevenir égal à celle du moteur 1.

Si la vitesse de rotation du second moteur est plus grande  $\omega_{m2} > \omega_c$  :

- le chariot 2 est en avance sur le chariot 1
- $\omega_c K_{\text{adapt}} - m_2 < 0$  et  $m_1 < m_2$

→ le signal de sortie du second sommateur sera diminué, ce qui va baisser la consigne  $u_{c2}$  du moteur 2 ;  
→ la vitesse du moteur 2 va alors diminuer jusqu'à redevenir égal à celle du moteur 1.

**Conclusion :** Le schéma de synchronisation proposé permet de corriger correctement le système en cas d'écart entre les vitesses des deux moteurs.

**Commentaires :**

On attend une **argumentation** en fonction des différents cas qui peuvent se présenter et une **conclusion** !