

DOCUMENT RÉPONSES

Nom :

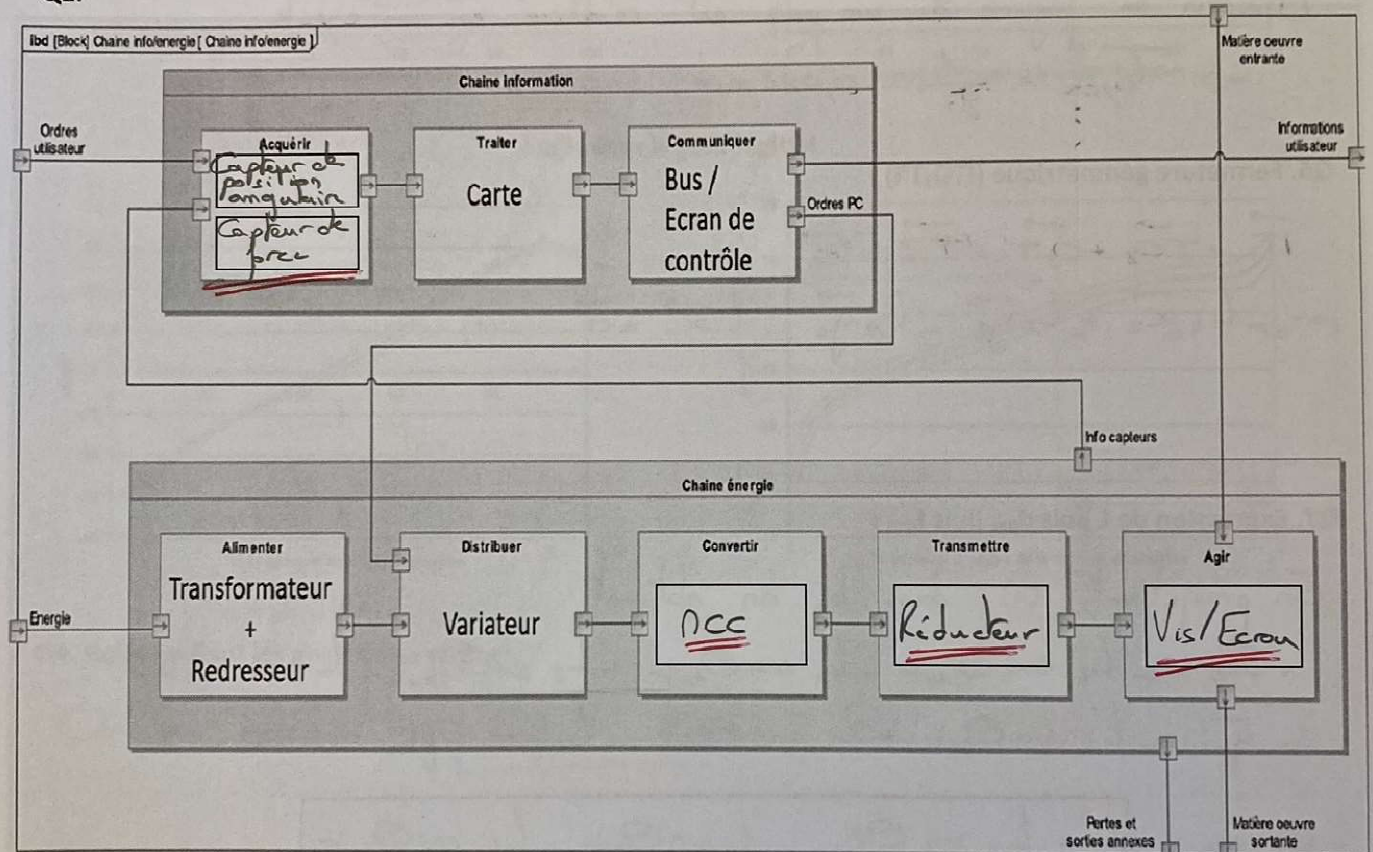
Note :

Prénom :

Observations :

CORRIGÉ

Q1.



Q2. Plan dans lequel est proposé le modèle des membres inférieurs équipés de l'exosquelette :

Plan sagittal car c'est le plan dans lequel s'effectuent les mouvements de flexion et d'extension de la hanche.

Q3. Justification des liaisons entre les différents membres inférieurs :

Ces liaisons pivot sont pertinentes car elles présentent un ddl en rotation autour de $(O, \vec{z})$ conforme aux hanches, genoux et chevilles d'un corps humain.

Q4. Longueur d'un pas L_{pas} :

$$L_{pas} = \frac{v}{cad}$$

$$\text{AN: } L_{pas} = \frac{1,2 \times 60}{85} = \underline{\underline{0,85 \text{ m}}}$$

Q5. Temps de cycle de marche T_{cycle} :

D'après la figure 8, un pas est réalisé en un cycle
 $\Rightarrow T_{cycle} = \frac{1}{85} = 0,012 \text{ min} = \underline{\underline{0,7 \text{ s}}}$

Q6. Fermeture géométrique (ITO₁T'I) :

$$\begin{aligned} \vec{IT} + \vec{TQ_1} + \vec{Q_1T'} + \vec{T'I} &= \vec{0} \\ \Rightarrow -L_4 \vec{x}_2 + L_1 \vec{y}_2 - L_2 \vec{y}_2' - L \vec{x}_0 &= \vec{0} \quad (1) \end{aligned}$$

Q7. Expression de L puis d_{pas} puis L_{pas} :

En projetant (1) dans b_0 on obtient :

$$\begin{aligned} \bullet \vec{x}_0 : -L_4 \cos \theta_{ext} - L_1 \sin \theta_{ext} + L_2 \sin \theta_{flex} - L &= 0 \quad (2) \\ \bullet \vec{y}_0 : -L_4 \sin \theta_{ext} + L_1 \cos \theta_{ext} - L_2 \cos \theta_{flex} &= 0 \end{aligned}$$

$$(2) \Rightarrow \boxed{L = L_2 \sin \theta_{flex} - L_1 \sin \theta_{ext} - L_4 \cos \theta_{ext}}$$

Or $d_{pas} = L + L_4$

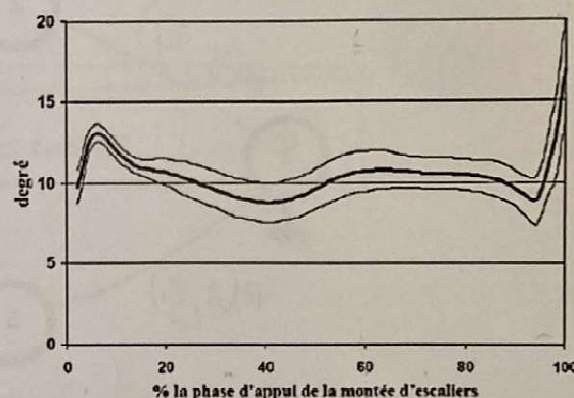
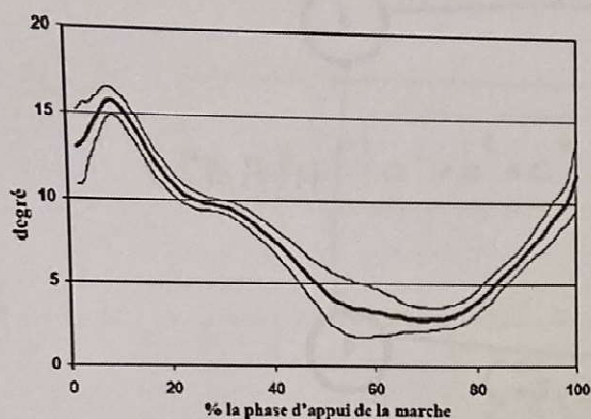
D'où $d_{pas} = L_2 \sin \theta_{flex} - L_1 \sin \theta_{ext} + L_4 (1 - \cos \theta_{ext})$

De plus $L_{pas} = 2 \cdot d_{pas}$

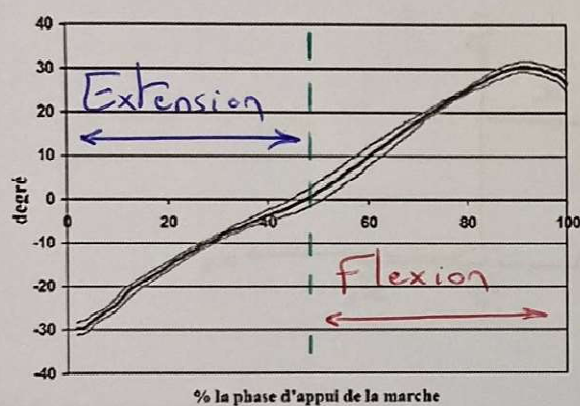
D'où $L_{pas} = 2 [L_2 \sin \theta_{flex} - L_1 \sin \theta_{ext} + L_4 (1 - \cos \theta_{ext})]$

Q9. Phases de flexion et d'extension de la hanche :

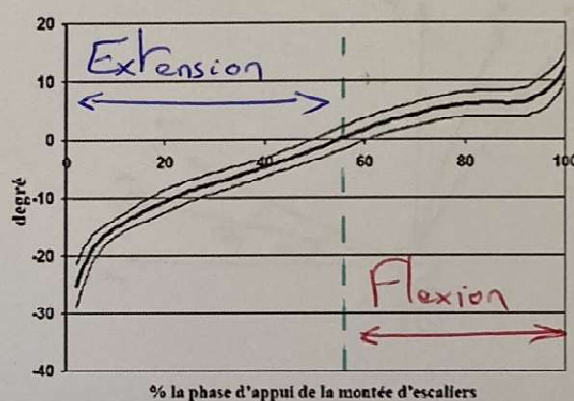
Angle dans le plan frontal



Angle dans le plan sagittal



(a)



(b)

Q9. Relation liant les angles θ_{flex} et θ_{ext} :

On peut admettre $\boxed{\theta_{\text{flex}} = -\theta_{\text{ext}}}$

Q10. Valeur numérique de θ_{flexMAX} :

$$\theta_{\text{flexMAX}} = \underline{3,5^\circ}$$

Q11. Intérêt de la présence des butées mécaniques :

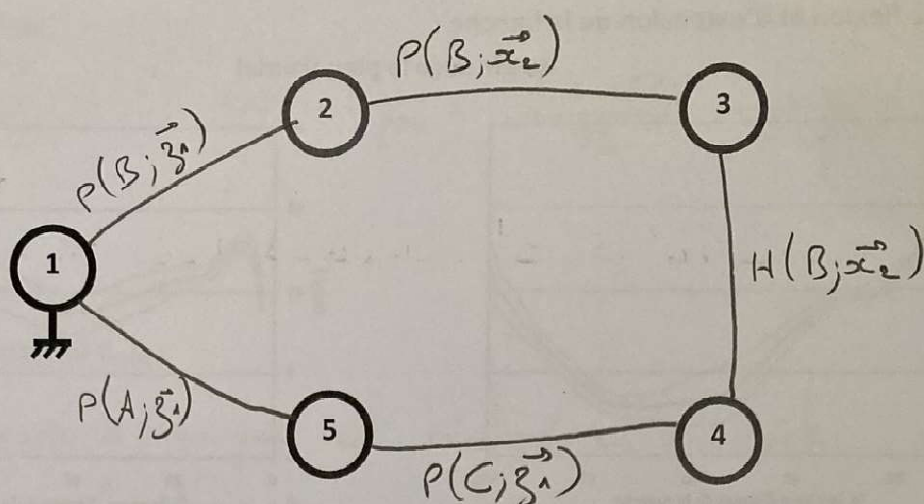
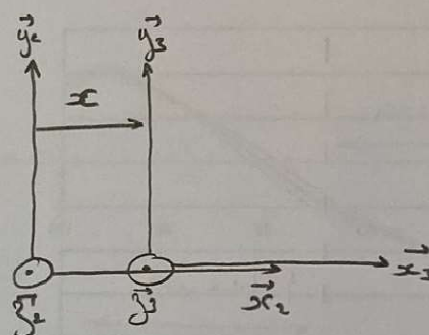
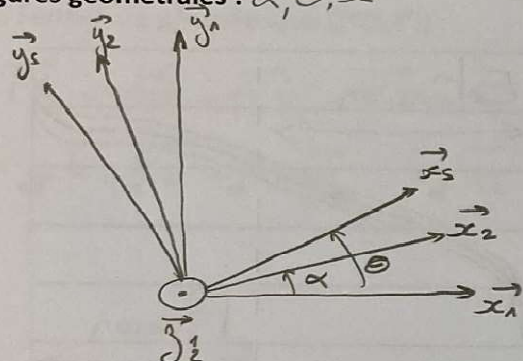
Les butées mécaniques sont liés aux recommandations médicales relatives aux restrictions articulaires du patient : elles permettent de garantir que l'amplitude du mouvement ne dépasse pas une valeur limite dangereuse pour le patient.

Q12. Conclusion :

Les courbes sont si proches $\Rightarrow$ modèle cohérent.

$$\Delta\theta \approx 15 - (-10) \approx 25^\circ < 30^\circ \Rightarrow \underline{\underline{\text{CDC OK}}}$$

Q13.

Figures géométrales : α, θ, x Q14. Fermeture géométrique et deux équations scalaires liant les paramètres cinématiques α, θ et x :

$$\vec{BC} + \vec{CA} + \vec{AB} = \vec{0}$$

$$\Leftrightarrow \vec{BC} - \vec{AC} - \vec{OA} + \vec{OB} = \vec{0}$$

$$\Leftrightarrow x \vec{x}_2 - c \vec{x}_3 - a \vec{x}_1 + b \vec{y}_1 = \vec{0}$$

En projection dans la base b_1 .

$$\begin{cases} \vec{x}_1 : x \cos \alpha - c \cos \theta - a = 0 & (1) \\ \vec{y}_1 : x \sin \alpha - c \sin \theta + b = 0 & (2) \end{cases}$$

Q15. Expression de x en fonction de θ :

$$(1) \Rightarrow x \cos \alpha = a + c \cos \theta \quad (3)$$

$$(2) \Rightarrow x \sin \alpha = c \sin \theta - b \quad (4)$$

$$(3)^2 + (4)^2 \Rightarrow x^2 = (a + c \cos \theta)^2 + (c \sin \theta - b)^2$$

Soit

$$x = \pm \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + 2c(a \cos \theta - b \sin \theta)}$$

car $\vec{BC} = x \cdot \vec{x}_2$

$\vec{BC}$ et $\vec{x}_2$ sont toujours de même sens

Q16. Course de la vis :

$$x_{\min} = x(\theta = +15^\circ) = 23,35 \text{ cm}$$

$$x_{\max} = x(\theta = -15^\circ) = 26,35 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\Delta x = 3 \text{ cm}}}$$

Q17. Relation entre Δx et $\Delta \beta$:

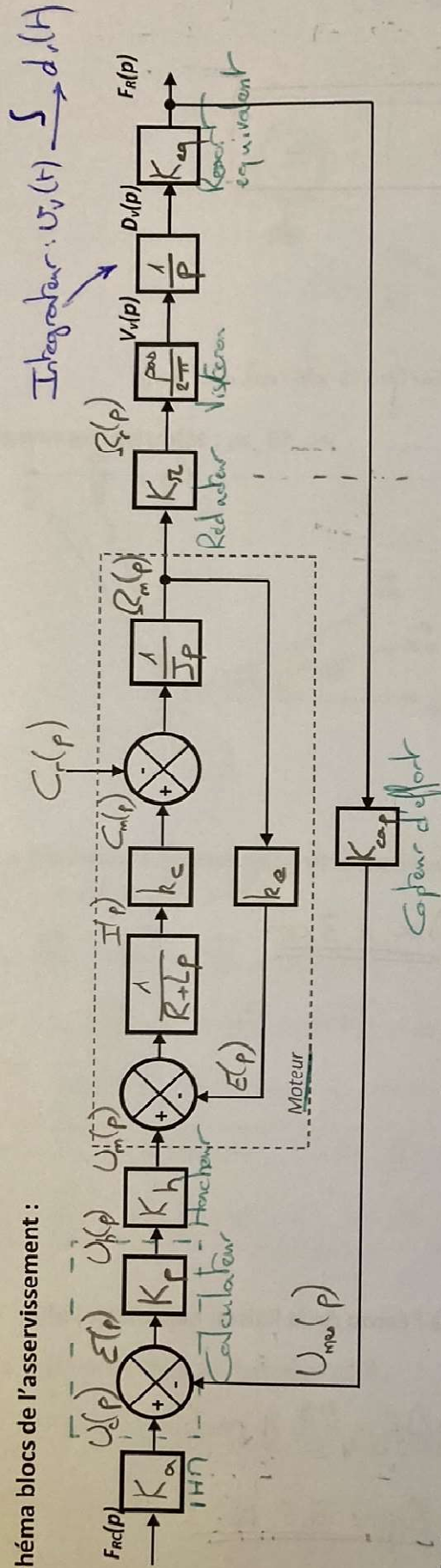
$$\Delta x = \frac{p_{\text{vis}}}{2\pi} \Delta \beta$$

Q18. Nombre de tours que doit effectuer le rotor du moteur 2 (lié à l'écrou de la liaison hélicoïdale) afin de satisfaire l'exigence " Limiter l'amplitude articulaire " :

$$\text{D'où } \Delta \beta = \frac{2\pi}{p_{\text{vis}}} \Delta x = \frac{2\pi}{0,4} \times 3 \Rightarrow \Delta \beta = 47,1 \text{ rad}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\Delta \beta = 7,5 \text{ tours}}}$$

Q19. Schéma blocs de l'asservissement :



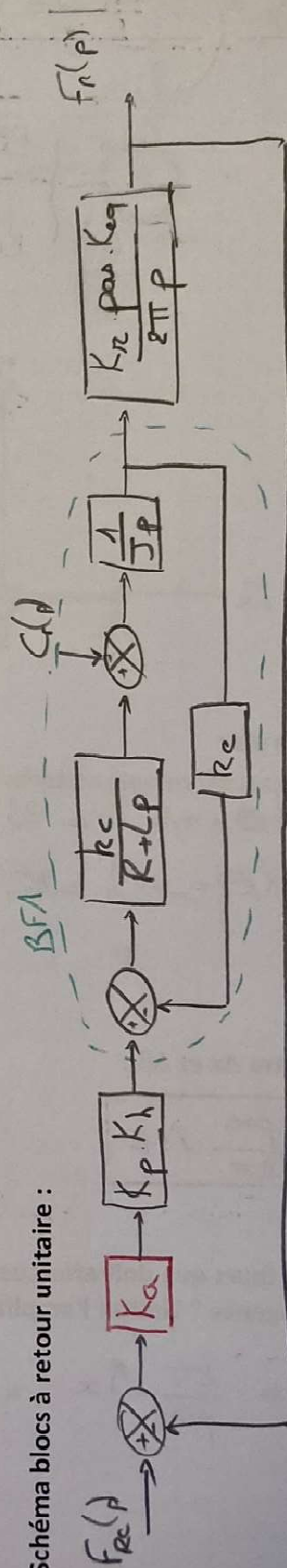
Q20. Relation entre K_a et K_{cap} afin que le système soit correctement asservi :

Afin que le système soit correctement asservi, il faut $\varepsilon(p) = 0$ quand $F_R(p) = F_C(p)$

$$\Rightarrow U_C(p) - U_{nea}(p) = K_a \cdot F_R(p) - K_{cap} \cdot F_R(p) = 0 \text{ quand } F_R(p) = F_C(p)$$

$$\Rightarrow K_a = K_p$$

Q21. Schéma blocs à retour unitaire :



$$\text{Pour } C_r(p) = 0 \quad FTBFA = \frac{K_c}{J_p(R + Lp) + K_c K_c}$$

Q22. Expression de $H_1(p) = \frac{F_R(p)}{F_{Rc}(p)}$ sous forme canonique :

D'après ce qui précède : $H_1(p) = \frac{K_a K_p K_h \cdot FTBF(p) \cdot \frac{K_r p K_{eq}}{2\pi p}}{2\pi p [Jp(R+Lp) + k_c k_e]}$

Soit

$$\begin{aligned}
 H_1(p) &= \frac{\underbrace{K_a K_p K_h k_c K_r p K_{eq}}_{=K^*}}{2\pi p [Jp(R+Lp) + k_c k_e]} \\
 &= \frac{1 + \frac{K^*}{2\pi p [Jp(R+Lp) + k_c k_e]}}{1 + \frac{2\pi k_c k_e}{K^*} p + \frac{2\pi J R}{K^*} p^2 + \frac{2\pi J L}{K^*} p^3} \\
 &= \frac{1}{1 + \underbrace{\frac{2\pi k_c k_e}{K^*} p}_A + \underbrace{\frac{2\pi J R}{K^*} p^2}_B + \underbrace{\frac{2\pi J L}{K^*} p^3}_C}
 \end{aligned}$$

Q23. Erreur indicielle pour une consigne en échelon $F_{Rc}(t) = 500 \text{ N}$:

$$F_{Rc}(t) = 500 \text{ N} \Rightarrow F_{Rc}(p) = \frac{500}{p}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \lim_{t \rightarrow \infty} [F_{Rc}(t) - F_R(t)] \stackrel{TVF}{=} \lim_{p \rightarrow 0} p [F_{Rc}(p) - F_R(p)] \\
 &= \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot F_{Rc}(p) \left[1 - \frac{F_R(p)}{F_{Rc}(p)} \right] \\
 &= \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{500}{p} \cdot [1 - H_1(p)]
 \end{aligned}$$

Soit $\boxed{\varepsilon_s = 0 = \varepsilon_n}$

Q24. Erreur de poursuite pour une consigne en rampe de pente 500 N.s^{-1} :

Pour une rampe de consigne : $F_{\text{re}}(p) = \frac{500}{p^2}$

D'où

$$\begin{aligned} \varepsilon_p &= \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{500}{p^2} [1 - H_1(p)] = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{500}{p} \cdot \frac{p(A + Bp + Cp^2)}{1 + Ap + Bp^2 + Cp^3} \\ &= 500 A \\ &= 500 \times \frac{2\pi k_c k_e}{K^*} \end{aligned}$$

Finalement :

$$\boxed{\varepsilon_r = \frac{1000\pi k_e}{K_a K_p K_h K_r p_0 K_{eq}} = \varepsilon_e}$$

AN : $\varepsilon_e = 38,9 \text{ kN}$ soit $\varepsilon_e \approx 80 F_{\text{cons}} \gg 5\% \text{ de } F_{\text{cons}}$

$\Rightarrow \text{CDC KO}$

Q25. Conclusion :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_1 = 0 < 2\% \Rightarrow \underline{\underline{\text{CDC OK}}}$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_e \gg 5\% \text{ de } F_{\text{cons}} \Rightarrow \underline{\underline{\text{CDC KO}}}$$

Q26. Dispositions à envisager :

Modifier le gain K_p du correcteur ($\gg$ fortement)

Voire changer le type de correcteur $\Rightarrow$ correcteur intégral.