

Épreuve d'admissibilité de sciences industrielles de l'ingénieur

A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 19 avril 2013 et arrêté du 19 avril 2016

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

L'épreuve est commune à toutes les options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie.

Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnique automatique.

B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation_externer/87/4/s2019_agreg_externer_sii_1_1093874.pdf

Il s'appuie sur le changement de configuration du stade Pierre Mauroy de Lille de stade de sport en salle de spectacle. () à la particularité d'une toiture mobile et une arène sous la pelouse.



Le sujet s'intéresse au passage de stade à salle de spectacle qui débute par une étape de levage d'une demi-pelouse de 4500 tonnes par le biais de 12 vérins puis se poursuit par une étape de translation de ce plateau de façon à l'empiler sur l'autre demi-pelouse au moyen d'unités de translation à pas de pèlerin.

L'objectif général est la vérification de divers points de dimensionnement du système pour les phases de levage et de translation afin de valider une exigence relative à la durée de changement de configuration. Il en découle 4 parties permettant d'aborder chacune des exigences permettant en fin de sujet, lors d'un exercice de synthèse, de conclure quant à la validité de la durée d'un changement de configuration :

- l'étude de la structure du plateau mobile permet de valider des exigences liées à la résistance à la rupture pendant la phase de levage ;

- l'étude du cycle de chauffe du fluide du système hydraulique de levage amène à valider une exigence relative à l'interface homme-machine durant un changement de configuration ;
- l'étude du levage du plateau mobile se conclut par la validation d'exigences de dimensionnement et de pilotage du système de levage ;
- l'étude de la phase de translation consiste en la détermination d'un modèle d'asservissement en position du système hydraulique lors de la translation du plateau ;
- la synthèse générale prend en compte les durées de chacune des phases d'un changement de configuration étudiées précédemment pour conclure sur l'exigence de sa durée.

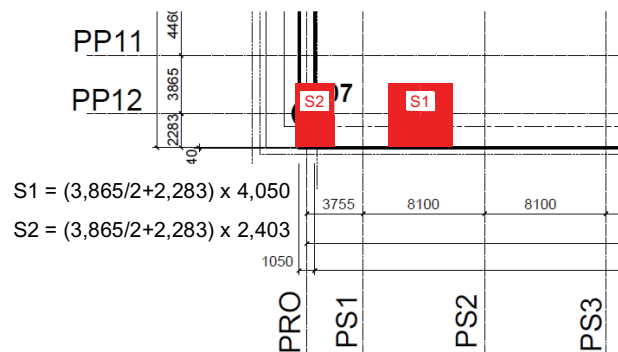
C. Éléments de correction

Étude de la structure du plateau mobile

Prédimensionnement d'une poutre principale du plateau

Question 1 :

Les surfaces et les longueurs d'influence des éléments sont évaluées à partir des surfaces et des longueurs d'influence des éléments sur chaque nœud :



$F_{1-2} = S1 \times \text{charge majorée}$

$$F_{1-2} = \left(\left(\frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 4,05 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 204,2 \text{ kN}$$

Pour F_2 , $S2$ est déterminée, au choix, à partir de la figure 8 ou à partir du DT2. Selon le cas, le résultat est :

$F_2 = S2 \times \text{charge surfacique majorée}$

Figure 8 : $F_2 = \left(\left(\frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 1,876 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 94,6 \text{ kN}$

DT2 : $F_2 = \left(\left(\frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 2,403 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 121,2 \text{ kN}$

Question 2 :

Les réactions d'appuis en A et B peuvent être déterminées par application du Principe Fondamental de la Statique (PFS) en isolant, comme système, le treillis complet :

$X_A = 0$ (pas de composante de force selon \vec{x})

$Y_A = Y_B = -(-204,2 \times 17 - 94,6 \times 2 - 111,7 \times 2 - 152,5 \times 9) / 2 = 2\,628,2 \text{ kN}$ (ou 2 654,8 kN si DT2)

Question 3 :

Les intensités des efforts normaux dans la diagonale la plus sollicitée, soit la barre 3, sont déterminées en utilisant le principe fondamental de la statique par une méthode de résolution au choix.

Seul l'équilibre des efforts selon \vec{y} est nécessaire pour résoudre :

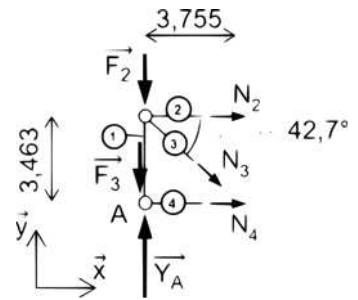
$$\sum \vec{F} \cdot \vec{y} = 0$$

$$\text{Projection selon } Y_A - F_2 - F_3 - N_3 \sin(42,7^\circ) = 0$$

$$\text{AN : } N_3 = (2\,628,2 - 94,6 - 111,5) / \sin(42,7^\circ)$$

$$N_3 = 3\,571,5 \text{ kN} \quad (\text{idem si DT2})$$

Le résultat est positif, la barre 3 est tendue.



Question 4 :

Les contraintes normales sont obtenues par la relation $\sigma = N/S$ pour chaque barre.

La démarche étant réalisée vis-à-vis de la rupture (à l'ELU : Etats Limites Ultimes), la limite à la rupture est utilisée pour le coefficient de sécurité (« Le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture »).

Coefficient de sécurité = $f_u / \text{abs}(\sigma)$:

	σ (MPa)	N (kN)	Sections (mm ²)	f_u (MPa)	coef. sécurité
27 (sup)	-129,3	-13130,5	101590	470	3,64
26 (inf)	172,3	12921,8	75000	470	2,73
3 (diag)	178,6	3571,3	20000	470	2,63
23 (mont)	-34,0	-204,2	6000	470	13,81

Les coefficients sont tous supérieurs à 2,5. Le prédimensionnement est validé.

Question 5 :

Les phénomènes mécaniques à évaluer et à contrôler sont les suivants :

- flambement des barres (diagonales et montants) ;
- cisaillement des barres (accepter efforts tranchants et contraintes tangentielles) ;
- déformations et déplacements limités. Démarche ELS (Etats Limites de Service) ;
- qualité des liaisons entre barres (visseries, soudures) ;
- fluage ;
- torsion ;
- déversement.

Simulation et analyse des sollicitations dans la poutre principale PP12 - modèle aux éléments finis

Question 6 :

D'après les résultats des simulations, le critère de Von Mises est respecté pour l'ensemble des éléments étudiés.

	σ (MPa)	τ (MPa)	Von Mises (MPa)
Memb. sup.	174	22	178,1
	153	41	168,7
Memb. inf.	89	11	91,0
	19	27	50,5
diagonales	281	129	<u>359,0</u>
	210	72	244,2

La limite élastique de l'acier est $f_y=355$ MPa. Les membrures supérieures et inférieures semblent correctement dimensionnées pour l'étude du levage. On constate qu'une diagonale est sous dimensionnée : la diagonale 7.

Question 7 :

Augmenter de 20 % la section assure la diminution de la contrainte normale dans la diagonale en des proportions équivalentes, soit une contrainte normale de 225 MPa dans l'élément le plus sollicité. La contrainte de cisaillement diminue également, donc la contrainte de Von Mises sera au maximum de 317 MPa. Ce qui permet de valider le critère.

Question 8 :

Liste des exigences à vérifier :

- coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture pour le prédimensionnement : 2,5 aux ELU. Ce critère est respecté ;
- limite élastique de l'acier : 355 MPa. Cette limite élastique ne doit jamais être dépassée, lors du levage, dans toutes les configurations de chargement possibles. Ce critère est respecté dans les membrures inférieures et supérieures. En revanche, ce critère n'est pas respecté dans le cas des diagonales. Une solution possible est de remplacer les HEM 240 par des HEM 280.

Le modèle aux éléments finis permet de réaliser une étude en tenant compte :

- des efforts tranchants dans les éléments constitutifs du plateau ;
- des moments fléchissants dans les éléments constitutifs du plateau ;
- d'une étude mécanique tridimensionnelle intégrant la tôle, les augets, les poutres secondaires, les poutres de rive ;
- d'une approche des charges extérieures appliquées au plateau, plus proche de la réalité et dans différentes configurations ;
- des efforts horizontaux appliqués au plateau, lors du recentrage et lors du début de la translation.

Étude du cycle de chauffe du fluide du système hydraulique de levage

Étude du cycle de chauffe au sein du cycle de levage

Question 9 :

Risque d'échauffement :

- lors de la descente gravitaire où le fluide est « laminé » au travers du régulateur de débit (élévation peu importante de la température) ;
- lors du levage à pleine charge ;
- s'il y a dysfonctionnement d'un groupe motopompe qui fonctionnerait à pleine puissance un long moment.

Conséquences : s'il y a échauffement (Capteur T_EST_25), les conditions permanentes ne seront pas validées.

Question 10 :

Le calcul du temps nécessaire pour le chauffage des lignes prend en compte les volumes d'huile dans les circuits aller et retour et la nécessité de parcourir 10 fois la ligne avant d'atteindre la température en régime permanent :

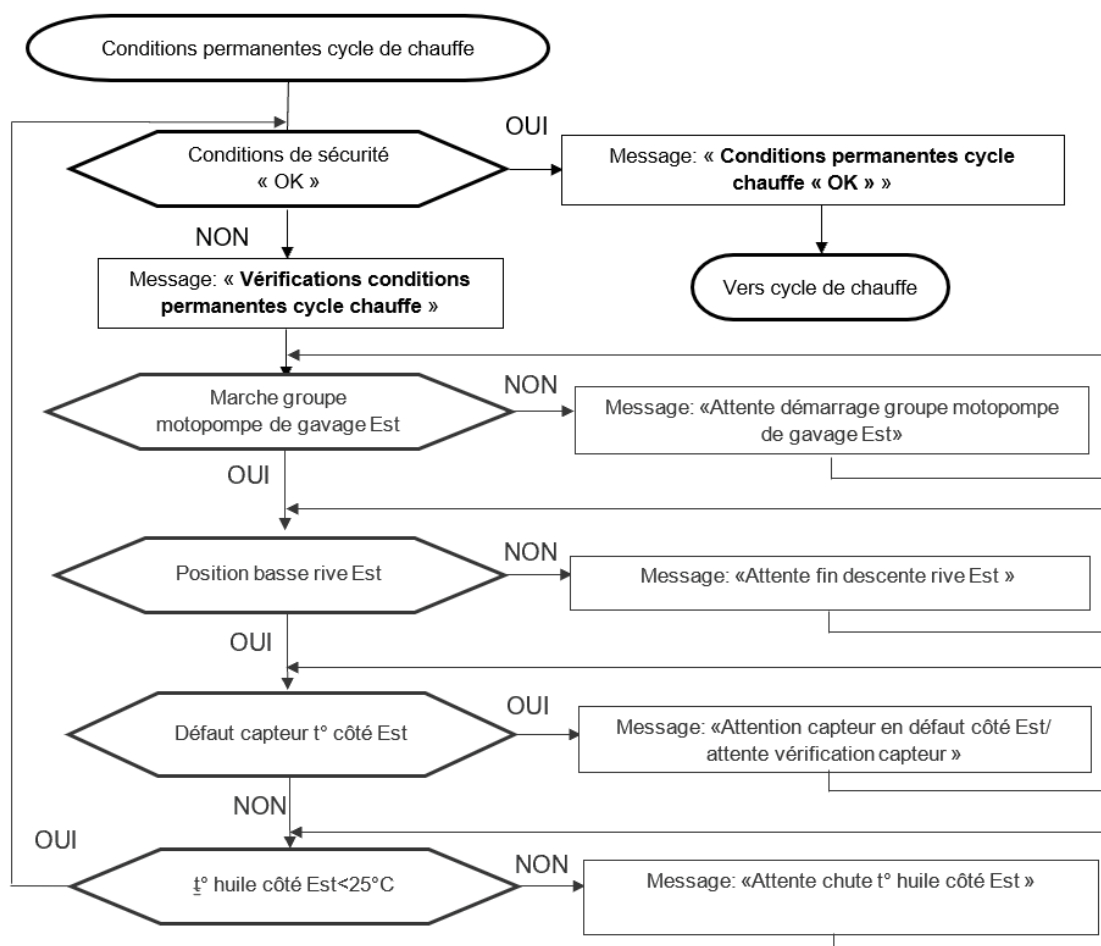
- circuit aller : $2,1 \times 75 = 157,5$ l ;
- circuit retour : $(4,6 + 2,1) \times 75 = 502,5$ l ;
- volume total équivalent pour 10 parcours : 6600 l.

Pour un débit total de $260 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, il faut une durée de chauffe de 25,4 min soit 1524 s.

La consigne de programmation est supérieure à celle nécessaire à la régénération prévue $1524\text{ s} < 1800\text{ s}$, afin d'assurer la température requise de 12°C en tout point du circuit et ainsi limiter les pertes de charges. L'écart provient aussi de l'approximation faite sur le débit estimé.

Question 11 :

Le logigramme de vérification des conditions permanentes du fonctionnement d'un cycle de chauffe pour la rive Est permet de faire apparaître les messages à afficher sur l'écran de l'IHM de façon à guider l'opérateur dans le suivi des étapes.



Question 12 :

Liste des variables nécessaires à la mise en place d'un algorithme de commande du cycle de chauffe de la rive Est :

Variables identifiées à partir de l'IHM :

- BP_OMCC (Bouton Poussoir Ordre de Marche Cycle de Chauffe) binaire
- tempo_chauffe_lignes entier
- BP_OACC (Ordre d'Arrêt Cycle de Chauffe) binaire
- tempo_chauffe_bloc entier
- tempo_filtration entier

Variables identifiées à partir du séquençement :

- GMPGAV_ES binaire
- EST_BAS binaire
- T_EST_25 binaire
- T_EST: binaire ou TEMP_°C_EST flottant

Variables identifiées à partir des documentations techniques

EV_RD	binaire
EV_SA	binaire
EV_N	binaire
EV_IG	binaire
GMPHP	binaire

Question 13 :

Liste des conditions initiales nécessaires à la mise en place d'un algorithme de commande du cycle de chauffe de la rive Est :

Conditions initiales des variables identifiées à partir de l'IHM :

BP_OMCC=0
tempo_chauffe_ligne = 1800
BP_OACC=0
tempo_chauffe_bloc = 1800
tempo_filtration = 60

Conditions initiales des variables identifiées à partir du séquençement :

GMPGAV_EST=0
EST_BAS=1
T_EST_25=1 ou TEMP_°C_EST <25
T_EST=1

Conditions initiales des variables identifiées à partir des documentations techniques

EV_RD=0
EV_SA=0
EV_N=0
EV_IG=0
GMPHP=0

L'initialisation de la consigne de température est également possible : température_chauffe = 12.

Question 14 :

L'algorithme permettant la gestion de l'état de BP_OMCC consiste en une boucle d'attente du bouton poussoir d'ordre de marche de type « tant que » en ayant au préalable précisé les conditions initiales. Par exemple :

Tant que BP_OMCC est égal à 0
|
Fin tant que
programme « cycle de chauffe »

Question 15 :

L'algorithme partiel du cycle de chauffe peut, par exemple, utiliser deux boucles de type « tant que » pour la gestion des variables GMP_GAV et EV_RD.

sous-programme « cycle de chauffe »

Début

|
| toptime = time
| Tant que (time - toptime) < tempo_filtration
| | Afficher («Filtration en cours »)
| | GMP_GAV = 1
| Fin tant que

```

|
|   Tant que TEMP_°C_EST < 12°C
|   |   Afficher («Chauffage réservoir en cours »)
|   |   GMP_GAV = 1
|   |   EV_RD = 1
|   Fin tant que
|
|   .....
|
|
Fin

```

Étude du capteur de température et de la transmission de données

Question 16 :

Une étude classique du pont de Wheatstone permet d'établir :

$$U_{CB} = \frac{R_{Pt100}}{R + R_{Pt100}} U_{cc} \text{ (diviseur de tension)}$$

$$U_{DB} = \frac{R'}{R + R'} U_{cc} \text{ (diviseur de tension)}$$

$$U_{mes} = U_{CB} - U_{DB} = \left(\frac{R_{Pt100}}{R + R_{Pt100}} - \frac{R'}{R + R'} \right) U_{cc}$$

Le pont est dit équilibré lorsque $U_{mes} = 0$ c'est-à-dire lorsque $R' = R_{Pt100}$.

$$R_{Pt100}(-10^\circ) \approx 100 \times (1 + 3,98 \cdot 10^{-3} \times (-10)) = 96 \Omega$$

Conclusion : pour obtenir $U_{mes} = 0$ V à -10°C , il faut choisir $R' = 96 \Omega$.

Question 17 :

Une relation de type pont diviseur de tension permet d'écrire :

$$U_r = \frac{R_{r1}}{2R_{L1} + R_{r1}} U_t = \frac{1}{1 + \frac{2R_{L1}}{R_{r1}}} U_t \approx \left(1 - \frac{2R_{L1}}{R_{r1}} \right) \times U_t \text{ avec } R_{r1} \text{ supposée grande devant } R_{L1}.$$

$$\varepsilon_{\%} = \frac{U_t - U_r}{U_t} \times 100 = \frac{2R_{L1}}{R_{r1}} \times 100$$

AN : pour une distance de 150 m, $R_{L1} = 0,1 \times 150 = 15 \Omega$ et $\varepsilon_{\%} = \frac{2 \times 15}{2500} \times 100 = 1,2 \%$.

Conclusion : l'erreur de liaison est supérieure à la condition sur la tension au niveau du récepteur. De plus, cette erreur est fonction de la longueur de fil, ce qui n'est pas satisfaisant.

Question 18 :

Application de la loi des mailles : $U_s = U_{DC} - R_{r2} \times I_b$

$$\text{Valeur de tension minimale : } U_{s_{max}} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_{min}} = 24 - 500 \times 4 \cdot 10^{-3} = 22 \text{ V}$$

$$\text{Valeur de tension maximale : } U_{s_{min}} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_{max}} = 24 - 500 \times 20 \cdot 10^{-3} = 14 \text{ V}$$

La plage de tension indiquée par le constructeur étant de 12 V à 30 V, l'exigence est vérifiée.

Question 19 :

Pour respecter la valeur minimale de 12 V en sortie du conditionneur, il faut s'assurer que la chute de tension liée aux fils de la boucle n'excède pas 2 V.

Soit L la longueur maximale de boucle, pour un courant maximal de 20 mA, on a :

$$U_{s_{min}} = 12 \text{ V} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_{max}} - 2 \times L \times 0,1 \times I_{b_{max}}$$

D'où $L = \frac{(24 - 12 - 10)}{2 \times 0,1 \times 20 \cdot 10^{-3}} = 500$ m. Cette distance est nettement supérieure aux 150 m qui séparent le capteur

de l'automate de contrôle. Cette solution est donc valide.

Question 20 :

Soit I_b l'intensité du courant dans la boucle 4-20 mA.

Avantages d'une transmission analogique par boucle de courant :

- transmission sur de grande distance. Le courant est constant le long d'un câble et ne dépend pas de la longueur de la ligne ;
- très bonne immunité aux bruits électromagnétiques (fils torsadés) ;
- seulement 2 fils pour l'alimentation du capteur et le codage de l'information ;
- détection de panne du capteur intégrée (lorsque $I_b < 4$ mA ou $I_b > 20$ mA). La détection du défaut capteur est gérée comme demandée dans les conditions permanentes.

Étude du levage du plateau mobile**Dimensionnement du système hydraulique de levage****Question 21 :**

Pour l'huile référencée PANOLIN HLP SYNTH 32, courbe bleue, les valeurs de viscosité sont :

- 150 cSt à 0°C : température minimale en salle hydraulique ;
- 50 cSt à 20°C : température ambiante normale ;
- 22 cSt à 40°C : température maximale de fonctionnement normal ;
- 14 cSt à 60°C : température de coupure du circuit.

La viscosité dynamique étant une fonction décroissante de la température, la viscosité retenue pour le modèle de dimensionnement est celle correspondant à la température minimale de la salle hydraulique (soit 0°C) et donc une viscosité de 150 cSt.

Question 22 :

Vérification des données numériques pour la portion de ligne hydraulique V4/V3 :

- vitesse moyenne d'écoulement $v_m = 4 \times \frac{Q_v}{\pi D^2} = 4 \times \frac{210 \cdot 10^{-3} / 60}{\pi \times (50,80 \cdot 10^{-3})^2} = 1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- avec $u = 150 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} = 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,
nombre de Reynolds $R_e = \frac{v_m D}{u} = \frac{1,7 \times 50,80 \cdot 10^{-3}}{150 \cdot 10^{-6}} = 576$;
- pertes de charge régulières : $\lambda = \frac{64}{R_e} = \frac{64}{576} = 0,11$ et $\Delta p = \lambda \frac{\rho v_m^2 L}{2 D} = 0,35 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0,35 \text{ bar}$.

Au total, les pertes de charges régulières de la ligne de gavage s'élèvent à $\Delta p = 0,09 + 0,20 + 0,38 + 0,42 + 0,40 + 1,40 = 2,89 \text{ bar}$

La valeur retenue pour le dimensionnement est bien cohérente avec les valeurs annoncées par le bureau d'étude.

Question 23 :

Il s'agit de la résistance à l'écoulement provoquée par les accidents de parcours (coudes, élargissements ou rétrécissement de la section, organes de réglage, filtre électrovanne etc.) ; ce sont les pertes de charge accidentelles ou singulières.

Question 24 :

Il faut appliquer le théorème de Bernoulli entre (1) le point d'aspiration et (2) l'entrée de la pompe de levage V6 la plus éloignée de la centrale.

$$\underbrace{\left(p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2\right)}_{\text{charge à la sortie}} - \underbrace{\left(p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1\right)}_{\text{charge à l'entrée}} = \underbrace{\frac{P_H}{Q_v}}_{\substack{\text{pression hydraulique} \\ \text{de la pompe}}} - \underbrace{\Delta p}_{\text{perte de charge}}$$

Calcul des pertes de charges totales : $\Delta p_{\text{total}} = 2,9 + 14 + 2 + 1 + 1 + 1 = 21,9 \text{ bar}$;

Données en aval de la ligne de courant : $p_2=10^5\text{Pa}$; $v_2=0,6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $z_2=-7\text{ m}$;
 Données en amont de la ligne de courant : $p_1=1,9\cdot 10^5\text{ Pa}$; $v_1= 3,4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $z_1= 0\text{ m}$;

$$\rho g=0,93\times 1000\times 10=9300\text{ Pa}\cdot\text{m}^{-1}$$

$$\frac{P_H}{Q_v}=(p_2-p_1) + \frac{1}{2}\rho(v_2^2-v_1^2) + \rho g(z_2-z_1) + \Delta p_{\text{total}}$$

$$\frac{P_H}{Q_v}=(1-1,9)\cdot 10^5 + \frac{1}{2}\times 0,93\times 1\ 000\times(0,6^2-3,4^2) + 0,93\times 1\ 000\times 10\times(-7-0) + 21,9\cdot 10^5$$

$$\frac{P_H}{Q_v}=20,3\cdot 10^5\text{Pa} = 20,3\text{ bar}$$

Avec une majoration de 20%, la valeur de pression est alors de 24,4 bar. Le choix d'une pompe de 30 bar est validé.

Validation mécanique d'un choix de vérin

Question 25 :

Les efforts \vec{F}_L et \vec{F}_T s'appliquent en tête de tige de vérin et sont les valeurs maximales en situation dégradée. Le cas le plus défavorable correspond à la situation dégradée 12 sur le vérin 2.

D'après la figure 21 : $\|\vec{F}_L\| = 9\ 412\text{ kN}$; $\|\vec{F}_T\| = 188\text{ kN}$.

Question 26 :

Plusieurs conventions sont possibles. Par exemple, en utilisant la convention « dite » de l'ingénieur, à savoir :

- l'effort normal N est positif en traction ;
- l'effort tranchant V est positif lorsqu'il est directement orthogonal à l'effort normal ;
- le moment fléchissant M est positif lorsqu'il tend la fibre inférieure.

L'application du PFS sur la poutre donne :

$$X_A=F_L \cdot Y_A=F_T \cdot a/L$$

$$Y_B=-F_T \cdot (L+a)/L$$

$$\text{Entre A et B : } N(x)=-F_L$$

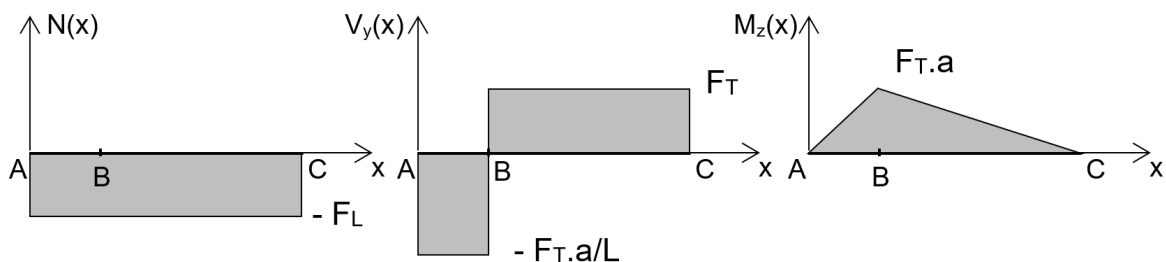
$$V_y(x)=-F_T \cdot a/L$$

$$M_z(x)=F_T \cdot (a/L)x$$

$$\text{Entre B et C : } N(x)=-F_L$$

$$V_y(x)=F_T$$

$$M_z(x)=-F_T \cdot x+F_T \cdot (L+a)$$



Question 27 :

Soit $v(x)$ est le déplacement de la poutre selon \vec{y} en fonction de x .

La relation de comportement E.lz. $\frac{d^2v}{dx^2}=M_z(x)$ permet de calculer la flèche. L'expression de $v(x)$ peut alors être déterminée en intégrant deux fois la relation $\frac{M_z(x)}{E.lz}$ dans le tronçon AB et dans le tronçon BC.

La détermination des 4 constantes d'intégration est obtenue en utilisant les conditions aux limites :

- tronçon AB : $v_{AB}(0)=0$ et $v_{AB}(L)=0$;
- tronçon BC : $v_{BC}(L)=0$;
- continuité de $v'(L)$ à l'interface entre les deux tronçons : $v'_{AB}(L)=v'_{BC}(L)$.

La flèche en C est égale à $v(L+a)$.

Ce même résultat peut être obtenu par d'autres méthodes : méthode des déplacements, intégrales de Mohr, etc.

Question 28 :

La tige du vérin est un tube de diamètre extérieur 580 mm et intérieur 410 mm.

Le moment quadratique d'un tube est $\frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$ car les disques formant la section du tube sont concentriques en G. Soit $4\,167 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 = 4,167 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$.

Question 29 :

Une application numérique à partir des données permet de déterminer la valeur du déplacement de la poutre au point C :

$$\frac{F_T \cdot a^2 \cdot (a+L)}{3 \cdot E \cdot I_z} = \frac{188\,000 \times 6,436^2 \cdot (6,436 + 1,332)}{3 \times 210 \cdot 10^9 \times 4,167 \cdot 10^{-3}} = 0,024 \text{ m soit } 24 \text{ mm.}$$

Ce déplacement est inférieur à 50 mm et conforme aux exigences.

Validation de la pression de fonctionnement du groupe motopompe haute pression de levage

Question 30 :

Lecture du diamètre d'alésage sur le DT6 : $d_{\text{alésage}} = 640 \text{ mm}$.

Surface de répartition de l'effort de levage : $S = \pi \frac{d_{\text{alésage}}^2}{4} = \pi \times 0,320^2 = 0,322 \text{ m}^2$

Deux possibilités de validation :

- Calcul de l'effort maximal à partir de la pression maximale 350 bar :

$$F_{\text{max}} = P_{\text{max}} \times S = 11\,300 \text{ kN} > 9\,500 \text{ kN.}$$

- Calcul de la pression nécessaire en prenant un effort de 9 500 kN :

$$P = \frac{F}{S} = 295 \text{ bar} < 350 \text{ bar.}$$

Validation du choix du transformateur HT/BT du poste énergie levage

Question 31 :

A partir des données, il est possible de calculer la puissance électrique absorbée par chaque moteur : $P = \frac{P_u}{\eta}$.

- groupe motopompe gavage (GMP GAV) :

$$P = \frac{P_u}{\eta} = \frac{33}{0,89} = 37 \text{ kW ;}$$

- groupe motopompe haute pression levage (GMP HP) :

$$P = \frac{P_u}{\eta} = \frac{16,5}{0,89} = 18,5 \text{ kW .}$$

De même, la puissance réactive associée à chaque charge est obtenue par la relation : $Q = P \tan \varphi$.

- groupe motopompe gavage (GMP GAV), $\cos \varphi = 0,9$:

$$Q = 17,9 \text{ kVAR}$$

- groupe motopompe haute pression levage (GMP HP), $\cos \varphi = 0,85$:

$$Q = 11,5 \text{ kVAR}$$

Bilan de puissance (théorème de Boucherot) : la puissance active/réactive totale est égale à la somme des puissances actives/réactives. Ici, on doit compter 2 GMP GAV et 12 GMP HP, d'où :

$$P_t = 2 \times 37 + 12 \times 18,5 = 296 \text{ kW}$$

$$Q_t = 2 \times 17,9 + 12 \times 11,5 = 174 \text{ kVAR}$$

On en déduit alors la puissance apparente totale : $S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = 343 \text{ kVA}$.

Le choix d'un transformateur de puissance apparente 500 kVA est validé.

Question 32 :

Conversion vitesse : $70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

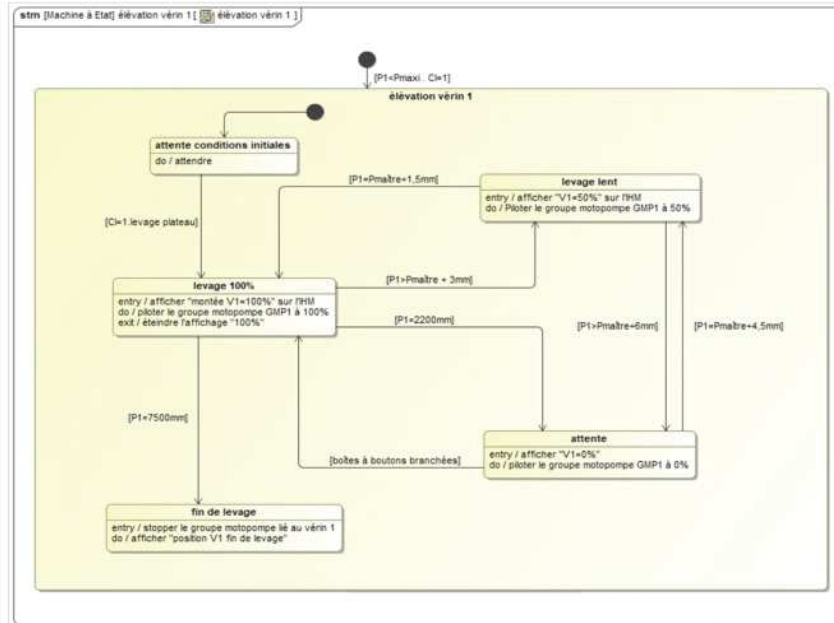
Puissance utile en sortie : $P_u = \eta \times P_t = 12 \times F \times v = 12 \times 9\,500 \cdot 10^3 \times 1,17 \cdot 10^{-3} = 133,4 \text{ kW}$

D'où l'effort au niveau de chaque vérin : $F = \frac{\eta \times P_t}{12 \times v} = \frac{0,45 \times 296 \cdot 10^3}{12 \times 1,17 \cdot 10^{-3}} = 9\,487 \text{ kN}$

Conclusion : le système est correctement dimensionné pour $F=9\,500\text{kN}$ (soit $P=11\,083 \text{ W}$ pour un vérin).

Étude de la synchronisation en position des vérins en phase de levage

Question 33 :



Notations :

P1 : position du vérin 1

CI : conditions initiales (non détaillées ici)

Étude de l'acquisition de la position des vérins

Question 34 :

Résolution du capteur : $r = \frac{5\,700}{(2^n - 1)}$ et $r \leq 5 \mu\text{m}$

d'où un nombre de bits nécessaire de codage $n \geq 21\text{bits}$.

Le capteur doit transmettre au minimum 21 bits de données.

Question 35 :

- Capacité de transmission :

En SSI24 le format de transmission est de 24bits, en tenant compte du bit de parité et des bits 22 et 23 qui sont à 0. Il y reste bien 21 bits disponibles pour coder une position.

- Résolution du capteur :

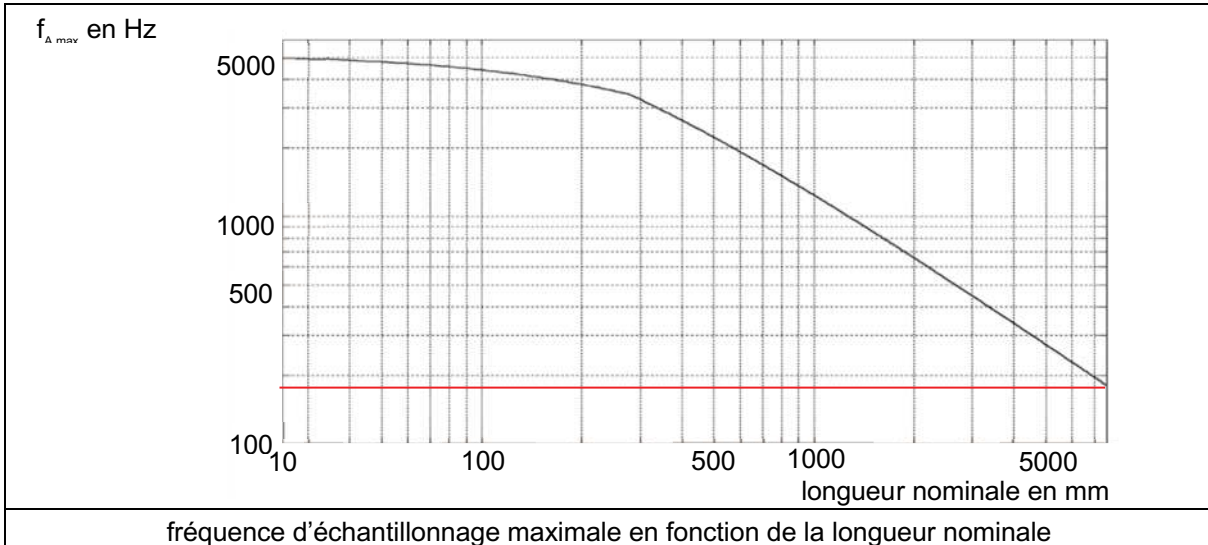
La course du capteur étant de 6350 mm, sa résolution est de $r = \frac{6350}{(2^{21} - 1)} = 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$.

$r \leq 5 \mu\text{m}$ donc la résolution du capteur est valide.

- Principe et intérêt du bit de parité :

Le bit de parité (pair ou impair) permet de vérifier la justesse du message en comptant le nombre de bits à 1 et en indiquant par un 0 (ou un 1) si ce nombre est pair ou impair. Il s'agit d'une méthode de vérification de message transmis en détectant une éventuelle erreur de transmission durant la communication.

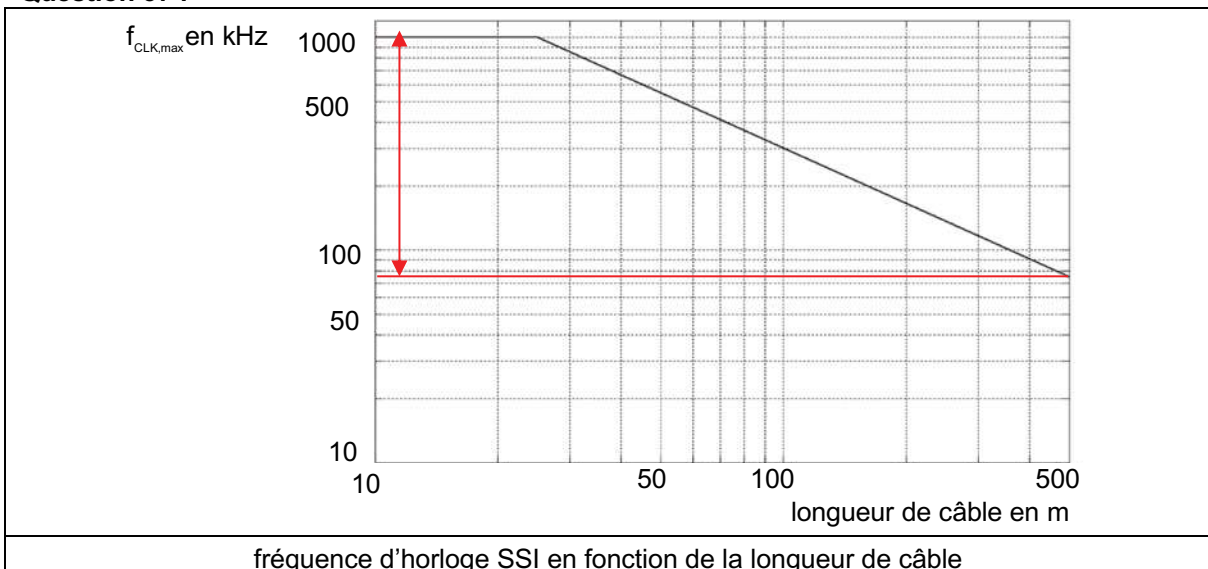
Question 36 :



Dans le pire des cas on a : $f_{A,max} > 150 \text{ Hz}$ soit $T_{A,min} > 0,006 \text{ s}$ donc $T_{A,min} > 0,016 \text{ s}$.

Le comportement synchrone est validé.

Question 37 :



Dans le pire des cas $75 \text{ kHz} < f_{CLK,max} < 1000 \text{ kHz}$ donc $0,001 \text{ ms} < T_{CLK,max} < 0,013 \text{ ms}$.

Or, pour une transmission complète des données il faut

$$24T_{CLK,max} + 2T_{CLK,max} = 26 \times 0,013 \cdot 10^{-3} = 0,347 \text{ ms}$$

Cette durée est suffisante pour assurer la transmission et le traitement des données avant la fin d'une période d'échantillonnage ($T_{A,min} = 0,006 \text{ s}$).

Les exigences de fonctionnement (synchrone), de résolution ($r \leq 5 \mu\text{m}$), de durée de transmission ($T_{A,min} > 24T_{CLK,max}$) et de course (course capteur > course vérin) sont validées.

Question 38 :

Position à coder : position initiale + 6 = 200 + 6 = 206 mm.

Avec une résolution de $5 \mu\text{m}$, il faut coder

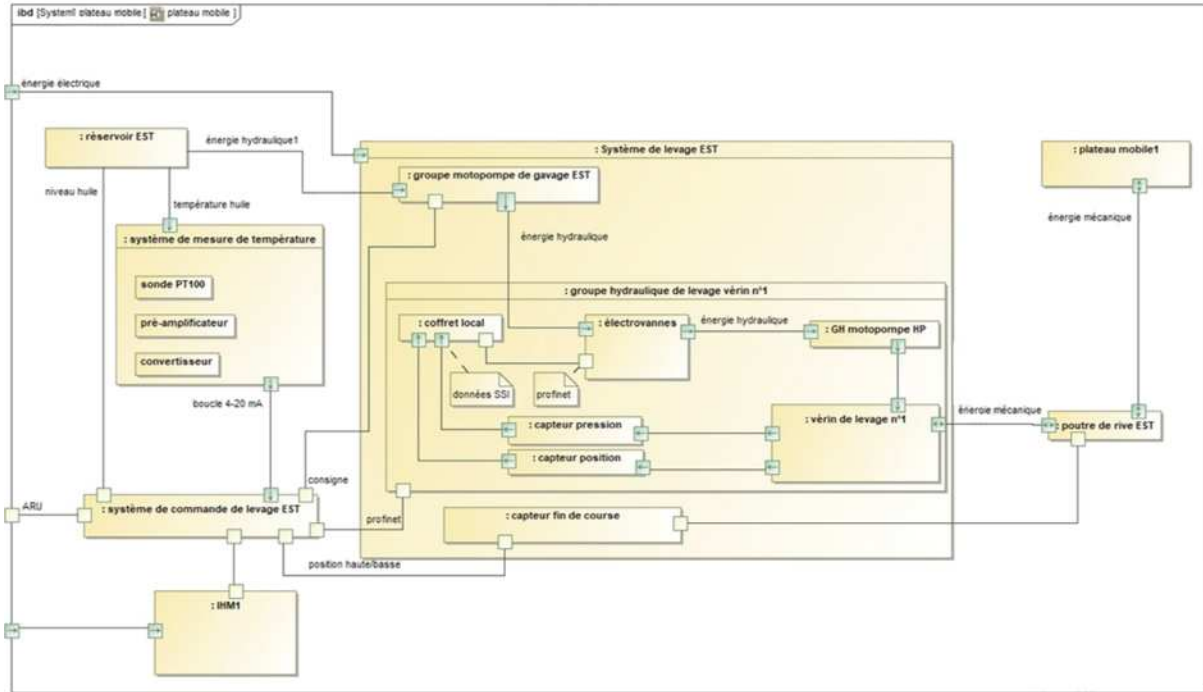
$$(41200)_{10} = (1010000011110000)_2 = (1111000010001000)_{\text{gray}}$$

La trame transmise par le capteur d'un vérin à la limite du passage de la commande de 50 % à 0 % doit être : 00 00001111000010001000.

Synthèse phase de levage

Question 39 :

Le diagramme des blocs internes partiel est le suivant :



Question 40 :

L'effort total supporté par le chariot rouleur le plus chargé en mode nominal est : $228,6 \cdot 10^4 + 58,1 \cdot 10^4 \times 4 = 461 \cdot 10^4$ N.

Conclusion : les bras ne peuvent pas supporter cette charge au regard du cahier des charges. Il est nécessaire de mettre en place un dispositif qui répartit les surcharges sur l'ensemble des bras de façon équitable.

Question 41 :

L'équation de continuité pour les 2 chambres, dans le cas où le fluide est compressible, est :

$$Q_1 = S \frac{dz(t)}{dt} + \frac{V_1}{\beta} \frac{dP_1(t)}{dt} \quad \text{et} \quad Q_2 = S \frac{dz(t)}{dt} - \frac{V_2}{\beta} \frac{dP_2(t)}{dt}$$

En appliquant le théorème de la résultante dynamique appliqué à la tige du vérin en projection selon \vec{z} , on trouve :

$$-m \frac{d^2z(t)}{dt^2} = -S \cdot P_1(t) + S \cdot P_2(t) + F_z(t) + f_v \frac{dz(t)}{dt}$$

Dans le domaine de Laplace :

$$Q_1(p) = S \cdot p \cdot Z(p) + \frac{V_1}{\beta} \cdot p \cdot P_1(p) \quad \text{et} \quad Q_2(p) = S \cdot p \cdot Z(p) - \frac{V_2}{\beta} \cdot p \cdot P_2(p).$$

En exprimant les deux pressions $P_i(p)$, et en remplaçant dans l'expression du théorème de la résultante :

$$[mp^2 + f_v p] \cdot Z(p) = S \cdot \frac{\beta}{V_1 p} [Q_1(p) - S p Z(p)] - S \cdot \frac{\beta}{V_2 p} [-Q_2(p) + S p Z(p)] + F_z(p)$$

L'expression peut se factoriser sous la forme :

$$Z(p) \left[mp^2 + f_v p + \beta S^2 \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2} \right] - F_z(p) = \frac{\beta S}{p} \left[\frac{V_2 Q_1(p) + V_1 Q_2(p)}{V_1 V_2} \right]$$

Question 42 :

Par simplification de l'expression précédente :

$$Z(p) \left[mp^2 + f_v p + \frac{2\beta S^2}{V_0} \right] \cdot F_z(p) = \frac{\beta S}{p} \left[\frac{2Q(p)}{V_0} \right] \quad (1)$$

La fonction de transfert est de la forme : $Z(p) = H_1(p)Q(p) + H_2(p)F_z(p)$

$$Z(p) = \frac{2\beta S}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} Q(p) + \frac{V_0 p}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} F_z(p)$$

Question 43 :

L'expression de $Z(p)$ étant donnée, $Z(p) = \frac{2\beta S}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} Q(p) + \frac{V_0 p}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} F_z(p)$

En utilisant le principe de superposition :

$$Z(p) = \frac{2\beta \cdot S_{eq} Q(p) - V_0 \cdot p \cdot F_z(p)}{p \cdot (2\beta S_{eq}^2 + V_0 \cdot p \cdot (mp + f_v))} \text{ et par identification on obtient : } G(p) = \frac{1}{p \cdot (mp + f_v)}$$

Question 44 :

Le temps de levage est $\frac{L}{V} = \frac{63}{1,08} = 58,3$ min, soit 0,04 jour, ce qui est inférieur à l'exigence 0,07 jour.

Question 45 :

D'après le DT4, la course de levage est 5 700 mm et la vitesse de levage est $70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Le temps de levage est $5700/70 = 81,4$ min soit une durée arrondie à 90 min.

D'après la partie 5, le transfert complet du plateau mobile sur 63 m se déroule en cycles successifs de 0,9 m. Chaque cycle a une durée de 50 secondes et il n'y a aucun délai entre deux cycles successifs.

Le temps de translation est $(63/0,9) \times 50 = 3\,500 \text{ s} = 58,3$ min soit environ 60 min.

Question 46 :

D'après le diagramme de Gantt simplifié :

- la durée de la phase 2 est de 2h car la fin du levage correspond à la fin des 2h de mise en place des chariots rouleurs ;
- la durée de la phase 4 est de $1 + 1 = 2$ h, soit 1h de translation et 1h de sécurisation ;
- la durée totale correspond à la durée des phases moins les chevauchements de phases.

Or les phases 1 et 2 se chevauchent de 0,5 h et les phases 4 et 5 se chevauchent de 1h.

La durée totale de changement de configuration vaut donc $3+2+6,5+2+4-0,5-1=16$ h. Elle est bien inférieure à l'exigence de 24 h.

Vue la durée d'un changement de configuration (48h pour ouverture et fermeture), et sa logistique (matériel et coût), cette opération est réalisée pour des événements exceptionnels.