

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL
SÉRIE SCIENTIFIQUE
ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2020

Corrigé

Ce corrigé comporte 11 pages numérotées de 1 sur 11 à 11 sur 11.

Option Stop & Go sur chariot de manutention télescopique

Q1. Déterminer à l'aide des figures 1 page 3 et 2 page 4 le coût du gazole sur une période de cinq ans. **Calculer** et **justifier** l'économie maximale réalisable avec l'option Stop & Go sur la même période.

Consommation horaire :

$$C_h = 0,25 \cdot 6,3 + 0,3 \cdot 13,6 + 0,3 \cdot 1,6 + 0,15 \cdot 12,8 = 8,055 \text{ l/h}$$

Coût de gazole pour 5 ans :

$$C_{\text{gazole}} = 0,9 \cdot 800 \cdot 5 \cdot 8,055 = 28 \, 998 \text{ €}$$

Avec le système Stop&Go, la consommation horaire sera de :

$$C_h = 0,25 \cdot 6,3 + 0,3 \cdot 13,6 + 0 \cdot 1,6 + 0,15 \cdot 12,8 = 7,575 \text{ l/h}$$

Coût de gazole pour 5 an :

$$C_{\text{gazole}} = 0,9 \cdot 800 \cdot 5 \cdot 7,575 = 27 \, 270 \text{ €}$$

$$\text{L'économie réalisée est de } T = 28 \, 998 - 27 \, 270 = 1 \, 728 \text{ €}$$

Q2. Calculer les prix à la revente, au terme de la période d'amortissement, d'un chariot équipé et d'un chariot non équipé de l'option Stop & Go. **Déterminer** le coût d'entretien économisé sur la même période pour un chariot équipé de l'option Stop&Go.

Sans l'option Stop & Go, le temps d'utilisation du chariot est de 4000 h, ce qui donne un coefficient de revente (tableau 2 DT1) de 1. Le prix de revente est donc de 30 062 €.

Avec l'option Stop & Go, l'économie réalisée dépend du temps d'arrêt du moteur économisé.

Sur 5 ans, au lieu de 4000 h, le moteur aura tourné 30 % de temps en moins
 $T = 4000 \cdot (1 - 0,3) = 2 \, 800 \text{ h}$

A l'aide du tableau 2 DT1, la surcote sera d'environ 1,025.

$$(\sin(x) \text{coef}) = \frac{(2800 - 3000)}{(2500 - 3000)} (1,03 - 1,02) + 1,02 = 1,024 \text{ exactement}$$

Le prix de revente est donc de $30 \, 062 \cdot 1,024 = 30 \, 783 \text{ €}$, soit un gain de 721 € grâce à l'option Stop & Go.

Au niveau du coût d'entretien, l'économie se fait sur les opérations de maintenance de 3 000, 3 500 et 4 000 h, soit 3 600 € d'économisés (voit tableau 3 DT1).

Q3. Sachant que la combustion d'un litre de gazole produit 2,6 kg de CO₂, **calculer** la réduction des émissions de CO₂ en kg sur 5 ans avec l'utilisation du système Stop & Go.

L'économie de carburant est de $Vol_{gazole} = 800 \cdot 5 \cdot (8,055 - 7,575) = 1920 \text{ l}$

Soit une réduction de $Masse_{CO_2} = 1920 \cdot 2,6 = 4992 \text{ kg de CO}_2$.

Q4. Conclure, en quelques lignes, sur la pertinence de l'option Stop & Go d'un point de vue économique et environnemental.

L'économie de carburant (1 740 €), le gain à la revente (721 €) et l'économie au niveau de l'entretien (3 600 €) permettent l'amortissement de l'investissement de l'option Stop & Go au bout de 5 ans. La diminution des rejets de CO₂ reste un critère important dans le contexte de réchauffement climatique qui justifie aussi cet effort financier lors de l'achat.

Q5. Justifier la nécessité de l'utilisation d'une roue libre dans la chaîne de transmission de puissance.

La roue libre permet la séparation de la transmission lorsque le moteur thermique tourne seul et que le moteur hydraulique n'est plus moteur.

Q6. En exploitant le tracé de la tangente à l'origine de la vitesse de rotation du moteur (figure 4), **déterminer** l'accélération angulaire nécessaire au démarrage en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$.

la tangente à l'origine présente une pente $\frac{d\omega}{dt} = \frac{900 \cdot 2\pi}{0,4 \cdot 60} = 235,6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$.

Q7. Appliquer l'équation du moment dynamique au point O à l'ensemble 1 (volant d'inertie, moteur, vilebrequin, partie tournante du démarreur) pour **déterminer** le couple C_{dem} que le démarreur hydraulique doit produire afin d'obtenir l'accélération voulue.

Le solide 1 est en mouvement de rotation sur l'axe O, \vec{z} . Le théorème du moment dynamique se pose ainsi : $\sum \overrightarrow{M_{O, \vec{1}-1}} = J_{1, \vec{z}} \frac{d\omega}{dt} \vec{z}$.

Seuls les moments en O des actions sur 1, projetés sur \vec{z} nous intéressent, soit $\sum \overrightarrow{M_{O, \vec{1}-1}} \cdot \vec{z} = J_{1, \vec{z}} \frac{d\omega}{dt}$.

A partir des actions qui s'appliquent sur 1 nous obtenons l'équation suivante : $C_{dem} - 60 = J_{1, \vec{z}} \frac{d\omega}{dt}$ soit $C_{dem} = 60 + 1,9 \cdot 235,6 = 507,6 \text{ N} \cdot \text{m}$

Q8. À partir de l'étude de l'équilibre de la pièce 2 (partie statique du démarreur) et en appliquant l'équation des moments au point O (figure 6 page 7), **déterminer** la force appliquée au point A lorsque le couple C_{dem} est maximal.

La pièce 2 est soumise à l'action

- du couple de démarrage $\vec{C}_{1-2} = -C_{dem} \vec{z}$
- de la liaison en A $\left\{ \mathcal{A}_{0-2} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{O}_{0-2} \\ \vec{M}_{A,0-2} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} F_A \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}$ soit en O
 $\left\{ \mathcal{A}_{0-2} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{O}_{0-2} \\ \vec{M}_{O,0-2} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} F_A \vec{x} \\ -0,207 \cdot F_A \vec{z} \end{array} \right\}$
- de la liaison en O $\left\{ \mathcal{O}_{1-2} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{O}_{1-2} \\ \vec{M}_{O,1-2} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} -X_{O'} \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}$

La pièce 2 est immobile, l'application du PFD en O nous donne pour l'équation des moments projetés sur z :

$$-C_{dem} - 0,207 \cdot F_A = 0 \text{ Soit } F_A = \frac{-C_{dem}}{0,207} = \frac{-507,6}{0,207} = -2452,1 \text{ N}$$

Remarque : En utilisant la courbe de la figure 7 et en approximant le couple de démarrage à 500 N·m, on obtient pour $F_A = \frac{-C_{dem}}{0,207} = \frac{-500}{0,207} = -2415,5 \text{ N}$

Q9. **Déterminer** la zone la plus sollicitée de la pièce et **préciser** à quel(s) type(s) de sollicitation(s) elle est soumise.

La zone la plus sollicitée est au niveau du point D (moment maximum). La contrainte normale de flexion maximum est comprise entre 179 MPa < σ_{max} < 214 MPa .

La languette est sollicitée en flexion simple.

Q10. **Déterminer** si la contrainte de résistance pratique à l'extension R_{pe} est respectée, en **déduire** si la nervure de renfort présente sur la pièce, figure 3 page 5, est justifiée.

$$R_{pe} = \frac{R_e}{S} = \frac{235}{1,3} = 180 \text{ Mpa} \text{ La contrainte de } 214 \text{ Mpa dépasse la limite } R_{pe}.$$

La présence de la nervure est donc justifiée.

Q11. **Compléter** les cadres grisés du document DR1 page 20 en précisant les composants ou les fonctions techniques manquantes.

Voir document réponse DR1 page 20.

Q12. À partir du document DT2 page 19, **compléter** le chronogramme du document DR2 page 21 en indiquant l'état de pilotage (0 ou 1) à imposer aux électro-vannes VS1 et VS2 correspondant à la situation décrite.

Voir document réponse DR2 page 21,

Q13. Sur les deux schémas hydrauliques du document DR3 page 22, **colorier** les cases actives des électro-vannes. **Surligner** en rouge les conduites sous pression et en bleu les conduites basse pression. **Indiquer** par des flèches le sens de circulation du fluide.

Voir document réponse DR3

Q14. Sur le document DR4 page 23, **définir** dans le tableau, les variables effort et flux d'énergie, ainsi que leur unité, aux différents points repérés (1, 2, 3, 4, 5, 6) sur les figures 13 et 14. **Donner** l'expression de la puissance en ces points.

Voir document réponse DR4

Q15. À partir des relations données, **déterminer** l'expression de la pression p en fonction du couple C_{dem} à fournir en prenant en compte le rendement. **En déduire** si la pression maximale prévue pour l'accumulateur (250 bars) permet de produire le couple de démarrage nécessaire de 500 N m .

La relation entre Q et ω est : $Q = \frac{Cyl}{2 \cdot \pi} \omega$ On en déduit la relation entre P et C en utilisant le bilan des puissances avec $P_{hyd} = Q \cdot P$ et $P_{mec} = C_{dem} \omega$.

$P_{mec} = \eta P_{hyd}$ soit $P = \frac{2\pi \cdot C}{Cyl \cdot \eta} = C \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{147,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,9} \right) = 47331 \cdot C$ Pour un couple de 500 Nm, il faut une pression de $P = 47331 \cdot 500 = 2366550 Pa$, soit 236 bars. Donc 250 bars permettent de produire un couple supérieur à celui nécessaire.

Q16. **Déterminer** l'écart entre la durée de lancement du moteur mesurée et celle issue de la simulation.

Le moteur atteint 95% de la valeur finale en 0,8 s pour la mesure et en 0,6 s en simulé soit 0,2 s d'écart.

Q17. **Déterminer** la durée du lancement électrique du moteur et **conclure** sur le choix du constructeur.

Le moteur atteint 900 tr.min⁻¹ en 0,42 secondes, mais se stabilise (95% de la valeur finale) à 0,8 s. La contrainte de démarrage en 0,5 s n'est pas satisfaite. L'objectif de démarrer plus rapidement qu'avec un démarreur électrique est cependant atteint car il faut 1,5 s pour démarrer normalement, soit presque 2 fois plus.

Q18. Déterminer les consommations électriques (en A) pour chaque situation extrême. **En déduire** l'autonomie de la batterie plomb-acide standard de 110 A·h en phase de Stop pour les deux situations extrêmes.

Consommation de 2,33 A pour le cas le plus favorable, chantier estival.

Consommation de 70,18 A pour le cas le plus défavorable, chantier hivernal.

La capacité utilisée réduite à 10 % représente donc $110 \cdot 0,1 = 11$ Ah

Dans ces conditions, l'autonomie dans les deux cas est :

$$\Delta T = \frac{11}{2,33} = 4,72 \text{ h dans le 1}^{\text{er}} \text{ cas}$$

$$\text{et } \Delta T = \frac{11}{70,18} = 0,15 \text{ h soit 9 minutes et 25 secondes dans le 2}^{\text{ème}} \text{ cas.}$$

Q19. Déterminer, la capacité effective de la batterie plomb-acide standard si on tient compte de l'effet Peukert. **Indiquer** de combien est réduite l'autonomie de la batterie.

La lecture sur le graphe donne une capacité effective de 85AH (environ) pour 12A.

L'autonomie est donc réduite de 23 % soit 42,5 minutes. $\Delta T = \frac{(85 \cdot 0,1)}{12} = 0,71 \text{ h}$

Q20. À raison de 100 jours d'utilisation par an, **déterminer** la durée de vie de la batterie plomb-acide standard en années à l'aide de la figure 19. **Analyser** l'écart avec la durée de vie attendue (3 ans) et **conclure** sur le maintien de la batterie plomb-acide standard de 110 A·h sur les chariot avec option Stop&Go

La batterie possède une durée de vie de 650 cycles pour une profondeur de décharge de 10 %. Elle effectue en moyenne 300 cycles par an, soit une durée de vie très légèrement supérieure à 2 années, inférieure d'une année à l'espérance de vie attendue.

La batterie de 110 Ah n'est pas adaptée à l'usage de l'option Stop & Go.

Q21. Conclure sur la pertinence de ce choix à l'aide de la figure 19 selon les critères d'autonomie et de durée de vie.

La batterie standard de 180 Ah, d'une capacité supérieure de 50 % au modèle de base, offrira la durée de vie préconisée car la profondeur de décharge est moindre.

Le choix d'une batterie de technologie AGM permettrait aussi de répondre au besoin.

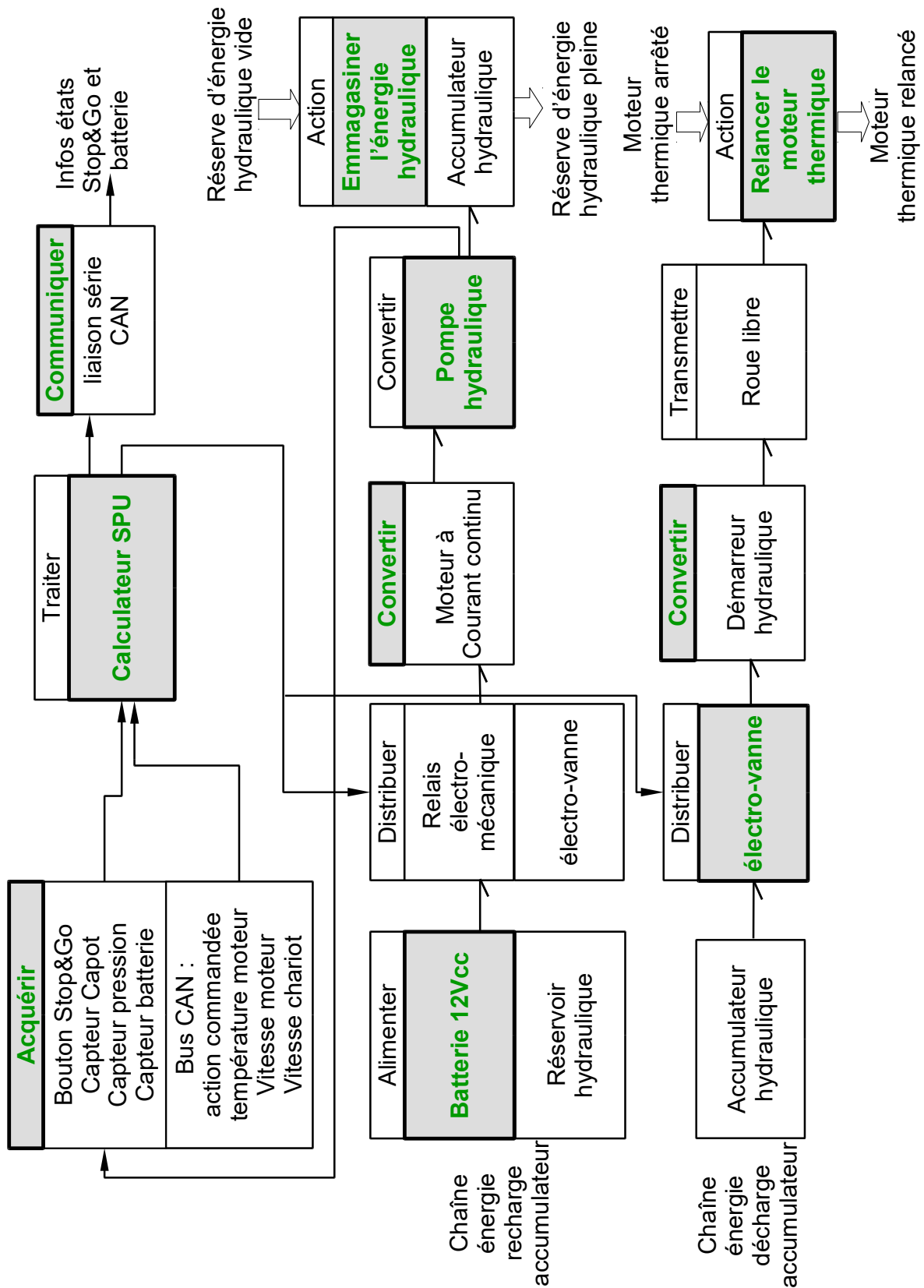
En hiver la consommation maximum est de 70 A, ce qui diminue fortement l'autonomie de la batterie, donc ce mode est déconseillé en hiver.

Q22. En reprenant les points étudiés dans le sujet, **énumérer** les avantages et les inconvénients du système Stop & Go. **Conclure** sur la pertinence du choix de cette option.

Le système Stop & Go permet de limiter la consommation tout en réduisant les émissions de CO2. Il offre une réactivité qui n'impacte pas la productivité tout en réduisant le niveau sonore sur un chantier. Le coût de l'option, bien qu'important, est compensé principalement par les frais de maintenance et cette dernière s'avère économiquement favorable.

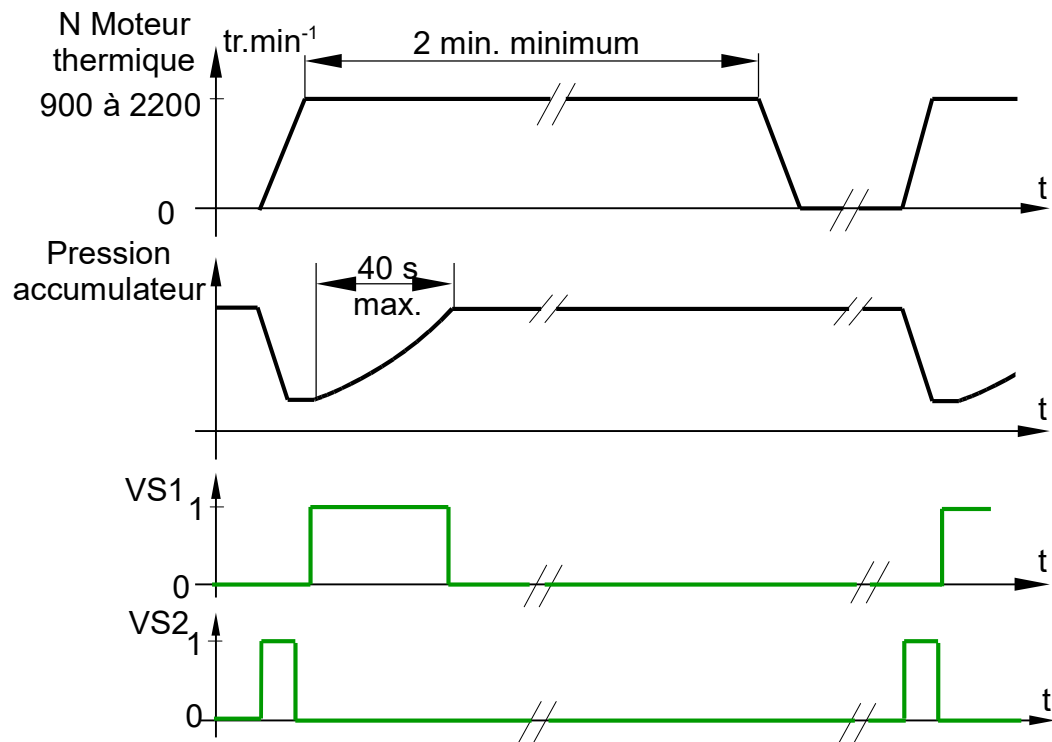
Document réponse DR1. Chaîne d'information et d'énergie

Question 11



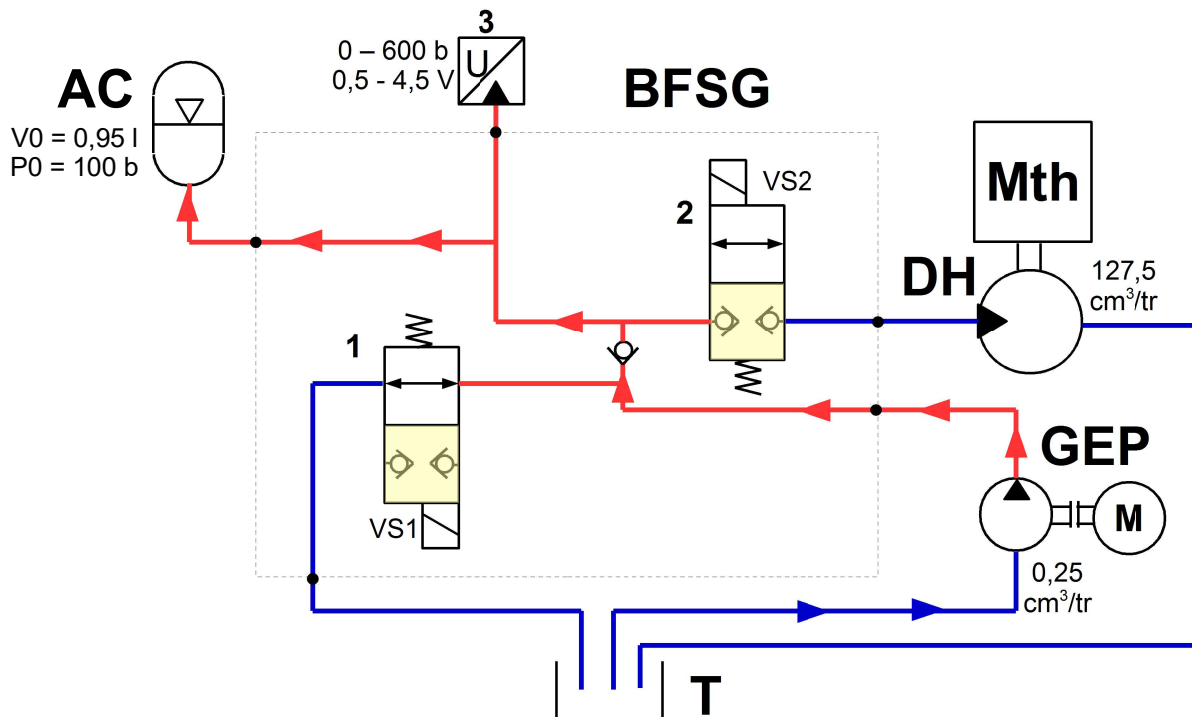
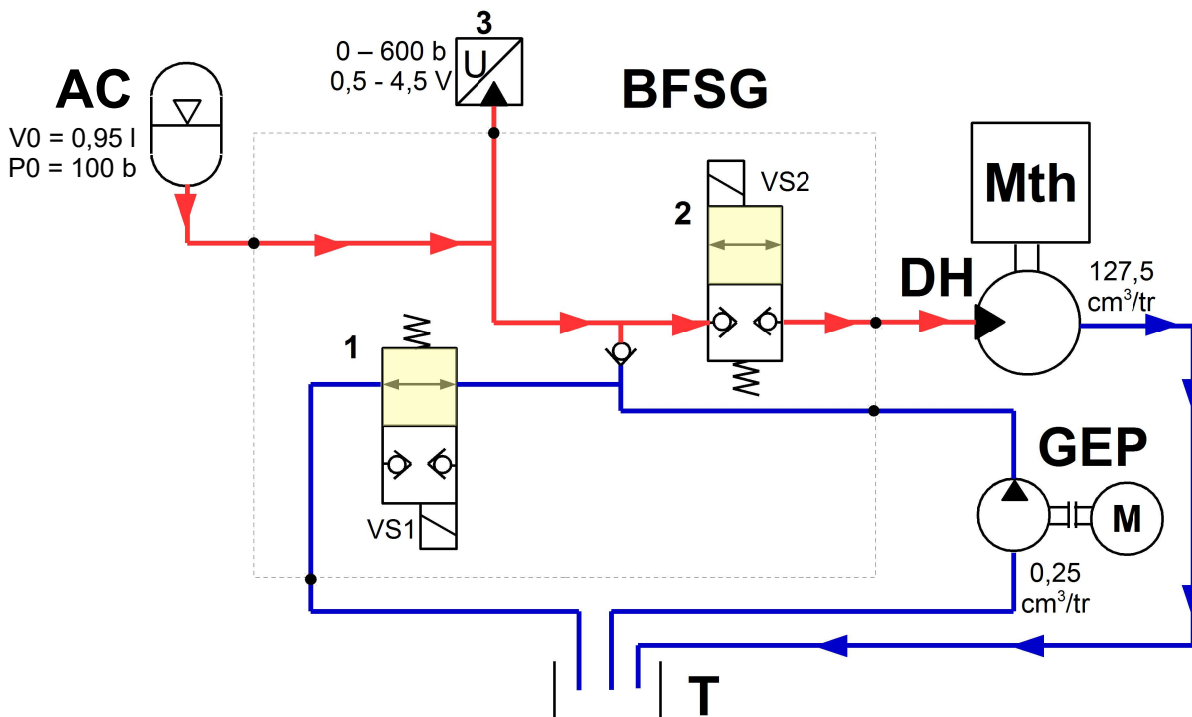
Document réponse DR2. Circulation hydraulique

Question 12 - Chronogramme de pilotage des électrovannes VS1 et VS2.



Document réponse DR3.

Question 13

a - Circulation du fluide en **recharge** de l'accumulateurb - Circulation du fluide en phase de **décharge** de l'accumulateur

Document réponse DR4.

Question 8 – Caractérisation des flux d'énergie.

point	1	2	3	4	5
Puissance	$P1=U \cdot I$	$P2=C \cdot \omega$	$P3=P \cdot Q$	$P4=P \cdot Q$	$P5=C \cdot \omega$
Effort e(t)	U :Tension(V)	C :couple (N.m)	P : Pression (Pa)	P : Pression (Pa)	C :couple (N.m)
Flux f(t)	I : Courant (A)	ω : Vitesse ($rad \cdot s^{-1}$)	Q : Débit ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Q : Débit ($m^3 \cdot s^{-1}$)	ω : Vitesse ($rad \cdot s^{-1}$)