

BTS MAINTENANCE ET APRÈS-VENTE DES ENGINS DE TRAVAUX PUBLICS ET DE MANUTENTION

ÉLÉMENTS DE CORRECTION

MODÉLISATION ET ÉTUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES

SESSION 2017

Le sujet vise à prédire le comportement de la pelle hydraulique en fonction du mode de travail sélectionné pour réaliser la pente d'un talus.

Le sujet est constitué de 5 parties, avec des sous-parties totalement indépendantes. Toutefois il est préférable de les traiter dans l'ordre du sujet afin de comprendre la cohérence de l'ensemble.

Dans chacune des sous-parties, la plupart des questions sont indépendantes.

PARTIE A - ANALYSE DES CARACTÉRISTIQUES DU MOTEUR THERMIQUE

Cette partie vise à justifier les choix des régimes moteur dans les différents modes de travail.

Question 1 : à partir des courbes caractéristiques du moteur thermique, compléter le tableau du document réponse DR1.

Voir DR1

Question 2 : à partir des caractéristiques du moteur thermique montrer l'intérêt d'utiliser celui-ci à 1 700 tr·min⁻¹ plutôt qu'à 1 800 tr·min⁻¹.

Pour une même puissance la consommation spécifique est réduite. Moins de consommation de carburant à puissance identique.

Question 3 : déterminer la consommation horaire, en litre/h, aux puissances maximales du moteur (1 700 tr·min⁻¹ et 1 800 tr·min⁻¹).

$$\begin{aligned} \text{Ch}_{\text{kg/h}} &= \text{Cs}_{\text{kg/kW.h}} * \text{P}_{\text{kW}} & \text{Ch (1700)}_{\text{kg/h}} &= 0,225_{\text{kg/kW.h}} * 130_{\text{kW}} = 29,25_{\text{kg/h}} \\ & & \text{Ch (1700)}_{\text{l/h}} &= \frac{29,25}{0,830} = \underline{35,25 \text{ l/h}} \\ & & \text{Ch (1800)}_{\text{kg/h}} &= 0,236_{\text{kg/kW.h}} * 130_{\text{kW}} = 30,68_{\text{kg/h}} \\ & & \text{Ch (1800)}_{\text{l/h}} &= \frac{30,68}{0,830} = \underline{36,96 \text{ l/h}} \end{aligned}$$

PARTIE B - ANALYSE DES CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES

Question 4 : calculer le couple consommé (en N.m) sur le moteur thermique par les pompes hydrauliques de servocommande et d'entraînement du ventilateur (les rendements sont négligés pour cette question).

$$C_{\text{pompes N.m}} = \frac{q_{\text{serv-com (cm}^3/\text{tr})} * P_{\text{serv-com (bar)}}}{20 * \pi} + = \frac{q_{\text{vent (cm}^3/\text{tr})} * P_{\text{vent (bar)}}}{20 * \pi}$$

$$C_{\text{pompes N.m}} = \frac{(22 * 34) + (20 * 120)}{20 * \pi} = 50.1 \text{ N.m}$$

$$C_{\text{moteur n.m}} = 50.1 * 1.25 = \underline{62.62 \text{ N.m}}$$

Question 5 : ce couple consommé est-il dépendant du régime moteur ? Justifier votre réponse.

Le couple dépend seulement de la cylindrée et de la pression.

Question 6 : en considérant un couple constant de 100 Nm absorbé, sur le moteur thermique, par les pompes (servocommande et ventilateur) et les équipements annexes (climatisation, alternateur...). Calculer la puissance consommée par ces éléments au régime moteur de 1 700 tr/min et en déduire la puissance restant disponible pour les pompes de travail.

$$\text{Puissance consommée} = 100 \text{ N.m} * 1700 \text{ tr.min}^{-1} * \frac{2\pi}{60} = 17802.4 \text{ W} \quad \text{soit} \quad \underline{17.8 \text{ kW}}$$

$$\text{La puissance disponible pour les pompes de travail est de } 130 \text{ kW} - 17.8 \text{ kW} = \underline{112.2 \text{ kW}}$$

Question 7 : en fonction de la donnée de la question précédente et des résultats obtenus, tracer sur DR1 les courbes de couple et de puissance disponibles pour les pompes de travail.

Voir DR1

Question 8 : dans l'hypothèse où les deux pompes de travail nécessitent le même couple. Calculer le couple maximum disponible sur chaque pompe de travail à 1 700 tr.min⁻¹.

$$\text{Couple disponible par pompe de travail :} \quad \frac{637}{2} = \underline{318.5 \text{ N.m}}$$

Question 9 : à la pression maximale du circuit de travail, déterminer la cylindrée (q en cm³/tr) de la pompe pour que celle-ci n'absorbe pas plus de 315 N.m.

$$\text{Cylindrée} = \frac{315 * 20 * \pi}{380} = \underline{52 \text{ cm}^3/\text{tr}}$$

Question 10 : montrer que pour ne pas dépasser le couple disponible de 315 N.m, la cylindrée de la pompe (q en cm³/tr) doit évoluer en fonction de la pression (p en bar) suivant la relation :

$$q = \frac{315 * 20 * \pi}{p} \quad q = \frac{6300 * \pi}{p}$$

BTS MAVETPM – Éléments de correction	Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code: MME4ME Page: 2/16

Question 11 : en fonction de la relation fournie à la question précédente, tracer sur DR 2 :

- les limites de pression et de cylindrée définies par le constructeur ;
- la courbe d'évolution de la cylindrée -en fonction de la pression ;
- par des hachures les zones de travail non exploitables (dépassement des limites).

PARTIE C - RÉGULATION DES POMPES DE TRAVAIL

La partie B a permis de montrer que les pompes de travail devaient adapter leur débit en fonction de la pression pour ne pas surcharger le moteur thermique. Cette régulation est décrite pages 5 et 6.

Hypothèses :

Les frottements et les masses sont négligés ;

Les ressorts R_1 et R_3 produisent des efforts constants notés respectivement F_{R1} et F_{R3} ;

Le ressort R_2 produit un effort variable en fonction de la cylindrée (q) de la pompe, une constante (F_{R20}) représente le tarage initial de R_2 à la cylindrée mini et une autre constante (a) caractérise la géométrie des pièces entre le plateau de pompe et le ressort ;

Ce qui donne la relation : $F_{R2} = F_{R20} - (a \cdot q)$.

$S_1 = S_2 = 4.4 \text{ mm}^2$; $S_3 = 60 \text{ mm}^2$ et $S_4 = 110 \text{ mm}^2$

Les pressions seront notées suivant le repère de la conduite (exemple p_{11} pour la pression dans la conduite X_{11}).

Question 12 : noter sur le document réponse DR3 les repères des composants hydrauliques (page 7) qui sont en lien avec les conduites des pistons de régulation (P_1 est complété à titre d'exemple).

Voir DR3

Question 13 : sur le document réponse DR3 représenter et nommer les actions mécaniques qui agissent sur l'ensemble piston 68 et tiroir 92 (les pistons 68 et 67 ne sont pas en contact sur la face d'appui).

Voir DR3

Question 14 : à partir de l'équilibre de l'ensemble (68+92), les sections étant exprimées en cm^2 , les pressions en bar et les efforts en daN, montrer que :

$$F_{R2} = (0,6 \cdot p_{31}) + 0,044 (p_{71} + p_{72}) - F_{R1}$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$$

$$\vec{FR1} + \vec{FR2} + \vec{Fp71} + \vec{Fp72} + \vec{Fp31} = \vec{0}$$

$$F_{R1} + F_{R2} + (0.044 \cdot p_{71}) + (0.044 \cdot p_{72}) + (0.6 \cdot p_{31}) = 0$$

D'où :

$$F_{R2} = (0,6 \cdot p_{31}) + 0,044 (p_{71} + p_{72}) - F_{R1}$$

Question 15 : dans la situation où les 2 pompes sont soumises à la même pression (en bar), la cylindrée (q en cm^3/tr) de la pompe est obtenue à partir de l'équation:

$$q = \frac{48 - [(0,6 \cdot p_{31}) + (0,088 \cdot p_{71})]}{0,30}$$

BTS MAVETPM – Éléments de correction		Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code: MME4ME	Page: 3/16

Sur le document réponse DR 2 (même graphique que la question 11), en fonction de l'équation ci-dessus:

- tracer les 2 courbes d'évolution de la cylindrée (q) pour les modes P et ECO (en fonction des données du document technique page 6) ;
- griser ou colorier les zones inexploitablees en raison du système de régulation ;
- conclure sur le système de régulation et son réglage.

Voir DR2

PARTIE D - MÉCANIQUE

Le conducteur doit réaliser un talus dont la pente est de 40 % (représentée page 3). Pour respecter cette pente, les dents du godet doivent tangenter le profil attendu ; pour cela le conducteur contrôle la trajectoire et la vitesse du godet au moyen du vérin de balancier (5t+5c) et des deux vérins de flèche (2t+2c). Lors de la réalisation de ce travail, la vitesse au niveau de la dent du godet sera de 1 m/s et l'effort résistant du sol s'appliquera au point R avec une intensité de 3 000 daN. Cet effort est parallèle à la pente attendue.

Dans cette situation de travail, les autres équipements hydrauliques ne sont pas actionnés (godet, volée variable...). La tourelle (0) ne bouge pas, elle est le solide de référence.

Partie D₁ CINÉMATIQUE

Cette étude vise à déterminer les besoins en débit au niveau des vérins afin de réaliser l'opération décrite ci-dessus.

Question 16 : dans la situation de travail énoncée ci-dessus, donner littéralement la composition de vitesse au point A afin d'obtenir $\overrightarrow{VA \in 7/0}} = 1\text{m/s}$ dans la direction de la pente attendue.

$$\overrightarrow{VA \in 7/0}} = \overrightarrow{VA \in 7/1}} + \overrightarrow{VA \in 1/0}}$$

Question 17 : sur le document réponse DR 4, tracer la composition de vitesse au point A afin d'obtenir $\overrightarrow{VA \in 10/0}} = 1\text{m/s}$ et en déduire les vitesses $\overrightarrow{VA \in 7/1}}$ et $\overrightarrow{VA \in 1/0}}$.

Voir DR4

Question 18 : indiquer le sens des mouvements des tiges des vérins de balancier et de flèche.

Les tiges des vérins sont en mouvement de sortie (flèche et balancier)

Question 19 : pour une vitesse $\overrightarrow{VA \in 1/0}} = 0.5\text{ m/s}$, calculer $\omega_{1/0}$.

$$OA = \sqrt{785^2 + 30^2} = 785.6\text{ cm} \quad \omega = \frac{0.5}{7.856} = 0.064\text{ rd/s}$$

Question 20 : écrire la composition de vitesse au point H $\overrightarrow{VH \in 5t/5c}}$.

$$\overrightarrow{VH \in 5t/5c}} = \overrightarrow{VH \in 5t/7}} + \overrightarrow{VH \in 7/1}} + \overrightarrow{VH \in 1/5c}}$$

BTS MAVETPM – Éléments de correction		Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code: MME4ME	Page: 4/16

Question 21 : pour une vitesse $\overline{|\overline{VA} \in 7/1|} = 1.2 \text{ m/s}$, déterminer graphiquement sur DR 5 la vitesse de sortie de tige du vérin.

Voir DR5

Question 22 : le vérin de balancier ayant une vitesse de sortie de tige de 0.2 m/s, déterminer quel est le débit d'alimentation de celui-ci (en l/min).

$$Q_{l/min} = 6 * S_{cm^2} * V_{m/s} \quad Q_{l/min} = 6 * \frac{\pi \cdot 14^2}{4} * 0.2 = 184.6 \text{ l/min}$$

Partie D2 STATIQUE

Cette partie vise à déterminer les pressions nécessaires pour mouvoir le vérin de balancier et de flèche dans les conditions énoncées dans le préambule de la partie D.

Hypothèses de résolution :

- Le problème est considéré comme plan ;
- Les frottements et les masses sont négligés.

Question 23 : déterminer l'angle d'inclinaison de la pente du talus.

$$\alpha = \tan^{-1} 0.4 = 21.8^\circ$$

Question 24 : montrer que les coordonnées de l'effort en R (en daN) sont proches de

$$\overrightarrow{R_{sol/10}} = \begin{pmatrix} -2800 \\ 1120 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{R_{sol/10}} = \begin{pmatrix} -3000 \cdot \cos 21.8 \\ 3000 \cdot \sin 21.8 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2785.5 \\ 1114 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Question 25 : sur le document réponse DR 6, entourer l'ensemble à isoler pour déterminer la force produite par le vérin de balancier puis représenter et nommer les actions mécaniques qui agissent sur cet ensemble.

Voir DR6

Question 26 : déterminer l'angle d'inclinaison du vérin de balancier par rapport à l'horizontale.

$$\|\overline{IH}\| = \|\overline{IO}\| + \|\overline{OH}\| = -\left| \frac{-262}{327} \right| + \left| \frac{-502}{384} \right| = \left| \frac{-240}{57} \right|$$

$$\text{Inclinaison du vérin : } \beta = \tan^{-1} \frac{57}{240} = 13.4^\circ$$

Question 27 : pour une inclinaison du vérin de balancier de 13°, écrire le bilan des actions mécaniques résultant de l'isolement effectué.

$$\overrightarrow{R_{sol/10}} = \begin{pmatrix} -2800 \\ 1120 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{H5t/7} = \begin{pmatrix} -H5t/7 * \cos 13^\circ \\ H5t/7 * \sin 13^\circ \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{G1/7} = \begin{pmatrix} X G 1/7 \\ Y G 5t/7 \\ 0 \end{pmatrix}$$

BTS MAVETPM – Éléments de correction		Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code: MME4ME	Page: 5/16

Question 28 : appliquer le PFS et déterminer analytiquement $\left\| \overrightarrow{H_{5t/7}} \right\|$.

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \quad /Ox : \quad -2800 - H_{5t/7} \cdot \cos 13^\circ + XG_{1/7} = 0$$

$$/Oy : \quad 1120 + H_{5t/7} \cdot \sin 13^\circ + YG_{1/7} = 0$$

$$\sum \overrightarrow{MF_{ext}} = \vec{0}$$

$$/Gz : \quad -(GRx \cdot 1120) - (GRy \cdot 2800) + (GHx \cdot H_{5t/7} \cdot \sin 13^\circ) + (GHy \cdot H_{5t/7} \cdot \cos 13^\circ) = 0$$

$$\text{Avec } \left\| \overrightarrow{GR} \right\| = \left\| \overrightarrow{GO} \right\| + \left\| \overrightarrow{OR} \right\| = - \left| \frac{-524}{310} \right| + \left| \frac{-764}{65} \right| = \left| \frac{-240}{-245} \right|$$

$$\text{et } \left\| \overrightarrow{GH} \right\| = \left\| \overrightarrow{GO} \right\| + \left\| \overrightarrow{OH} \right\| = - \left| \frac{-524}{310} \right| + \left| \frac{-502}{384} \right| = \left| \frac{22}{74} \right|$$

$$- (240 \cdot 1120) - (245 \cdot 2800) + (22 \cdot H_{5t/7} \cdot \sin 13^\circ) + (74 \cdot H_{5t/7} \cdot \cos 13^\circ) = 0$$

$$H_{5t/7} = \frac{954\,800}{77.05} = 12\,391 \text{ daN}$$

Question 29 : pour $\left\| \overrightarrow{H_{5t/7}} \right\| = 12\,000 \text{ daN}$, déterminer quelle est la pression dans le vérin de balancier.

$$p = \frac{F \text{ daN}}{S \text{ cm}^2} = \frac{12\,000}{\frac{\pi \cdot 14^2}{4}} = 80 \text{ bar}$$

Question 30 : sur le document réponse DR 7, déterminer graphiquement l'effort global produit par les deux vérins de flèche.

Voir DR7

Question 31 : quelle est la chambre du vérin de flèche en pression.

C'est la petite chambre

Question 32 : en tenant en compte des masses, l'effort résiduel qui tend à faire sortir les vérins de flèche est de 15 000 daN. Déterminer la pression dans chaque vérin de flèche.

$$p = \frac{F \text{ daN}}{S \text{ cm}^2} = \frac{15\,000/2}{\frac{\pi (12.5^2 - 8.5^2)}{4}} = 113.68 \text{ bar}$$

PARTIE E - COMPORTEMENT HYDRAULIQUE

Cette partie vise à déterminer les pressions et les débits dans le circuit hydraulique lorsque la machine réalise le talus dans les conditions de la partie précédente.

Quels que soient les résultats trouvés aux questions précédentes, prendre les données suivantes.

- Vérin de balancier :
 - Alimenté côté grande chambre avec un débit de 180 l.min⁻¹ ;
 - La pression dans la grande chambre est de 80 bar.

BTS MAVETPM – Éléments de correction		Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code: MME4ME	Page: 6/16

- *Vérins de flèche :*
 - *Alimentés individuellement par un débit 30 l.min⁻¹ côté grande chambre ;*
 - *La pression dans la petite chambre est de 110 bar.*
- *La machine est en mode éco.*
- *Le conducteur contrôle la position des tiroirs de distributeurs afin d'obtenir les vitesses souhaitées. De ce fait, le calculateur gère le courant sur les électrovannes Y₅₁ (200 mA) et Y₅₂ (150 mA).*
- *La perte de charge au passage des distributeurs actionnés est de 5 bar.*
- *Le débit de la pompe P1 est de 200 l/min*
- *Le débit de la pompe P2 est de 70 l/min*

Question 34 : *compléter sur les documents réponses DR 8 et DR 9, aux différents points indiqués par des flèches, les pressions et les débits (certaines valeurs peuvent être à calculer ou à estimer).*

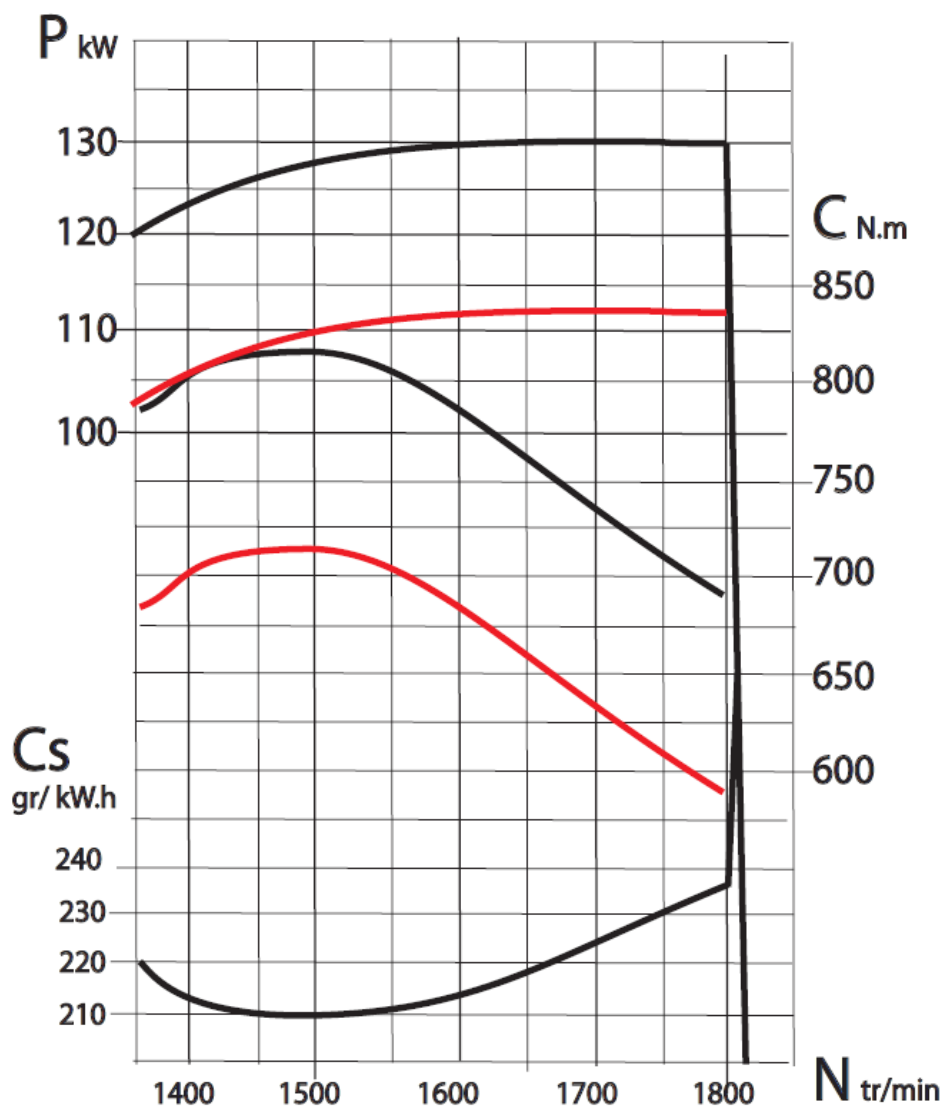
BTS MAVETPM – Éléments de correction		Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code: MME4ME	Page: 7/16

DR 1 (document réponse à rendre avec la copie)

Question 1 : à partir des courbes caractéristiques du moteur thermique, compléter le document réponse.

	1 800 tr·min ⁻¹	1 700 tr·min ⁻¹	1 500 tr·min ⁻¹
Puissance	130	130	128
Couple	680-690	730-740	810-820
Consommation spécifique	237	225	210

Question 7 : en fonction de la donnée de la question précédente et des résultats obtenus, tracer sur



DR1 les courbes de couple et de puissance disponibles pour les pompes de travail.

DR 2 (document réponse à rendre avec la copie)

Question 11 : en fonction de la relation fournie à la question précédente tracer sur le document réponse DR 2 :

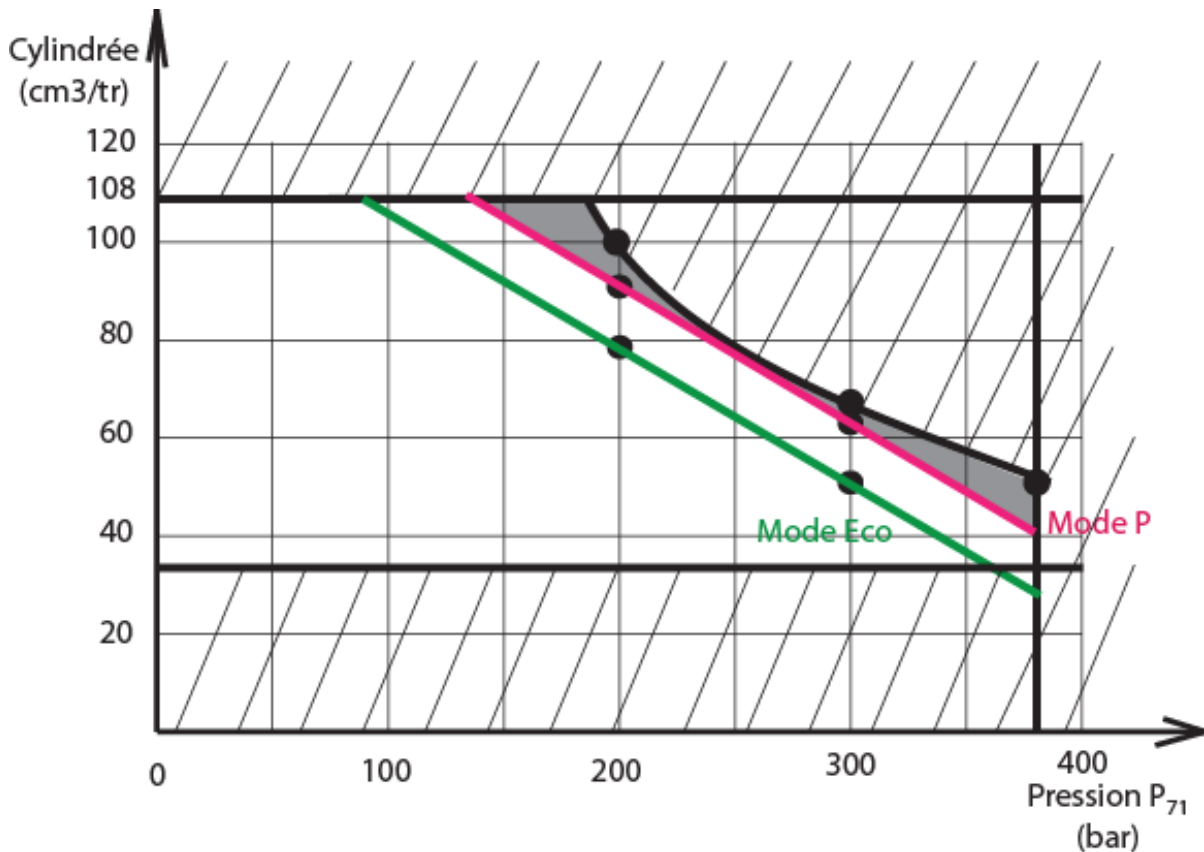
- les limites de pression et de cylindrée définies par le constructeur ;
- la courbe d'évolution du débit en fonction de la pression ;
- par des hachures les zones de travail non exploitables.

Question 15 : dans la situation où les 2 pompes sont soumises à la même pression, l'application numérique de l'équation de la question 13 s'écrit :

$$q = \frac{48 - [(0,6 * p_{31}) + (0,088 * p_{71})]}{0,30}$$

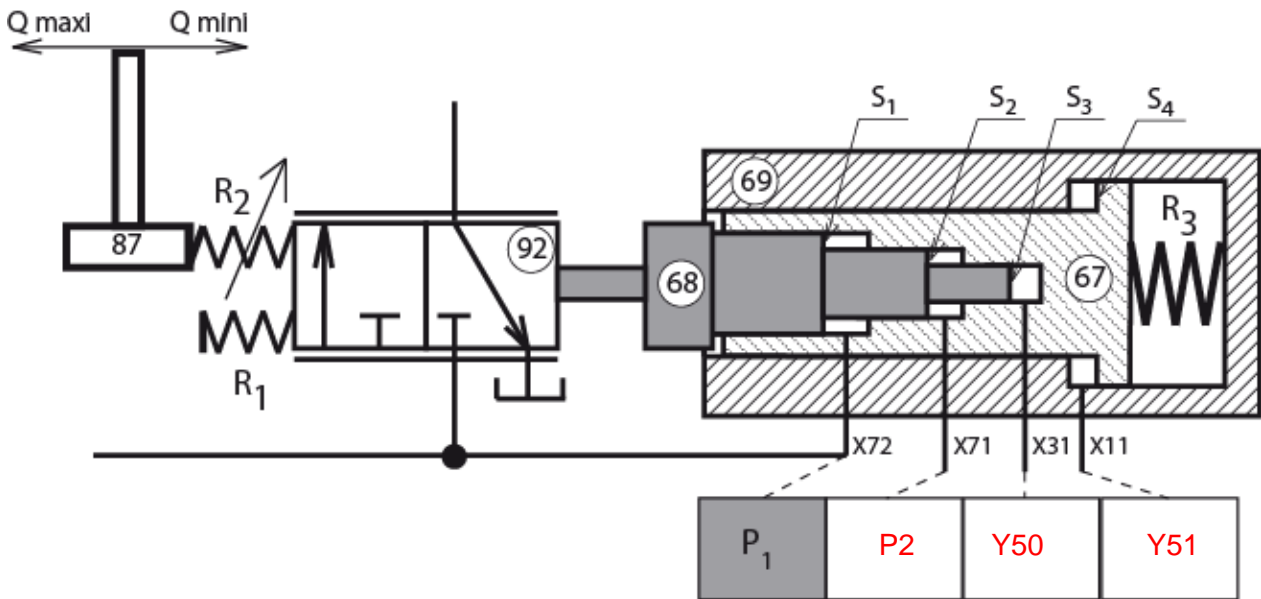
Sur le document réponse DR 2 (même graphique que la question 11) :

- tracer les 2 courbes d'évolution de la cylindrée (q) pour les modes P et ECO ;
- griser ou colorier les zones inexploitablees en raison du système de régulation ;
- conclure sur le système de régulation et son réglage (en bas de cette page).

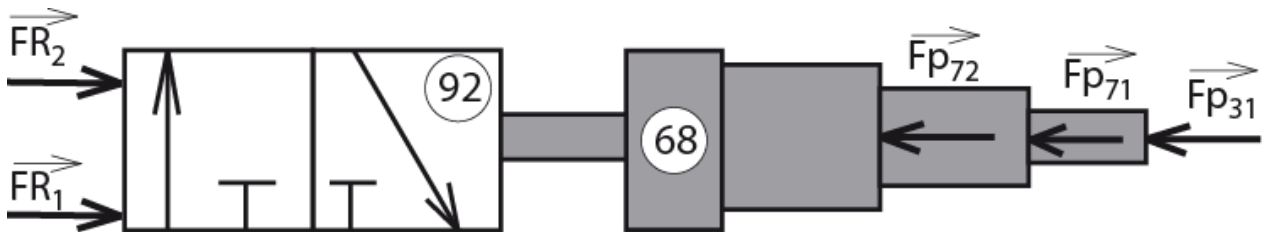


Le système de régulation est bien réglé. En mode P il utilise bien le couple disponible pour la pompe. Une régulation hyperbolique aurait permis d'exploiter au mieux le couple disponible en suivant la courbe d'iso couple.

Question 12 : noter sur le document réponse DR3 les repères des composants hydrauliques qui sont en lien avec les conduites des pistons de régulation (P_1 est complété à titre d'exemple).

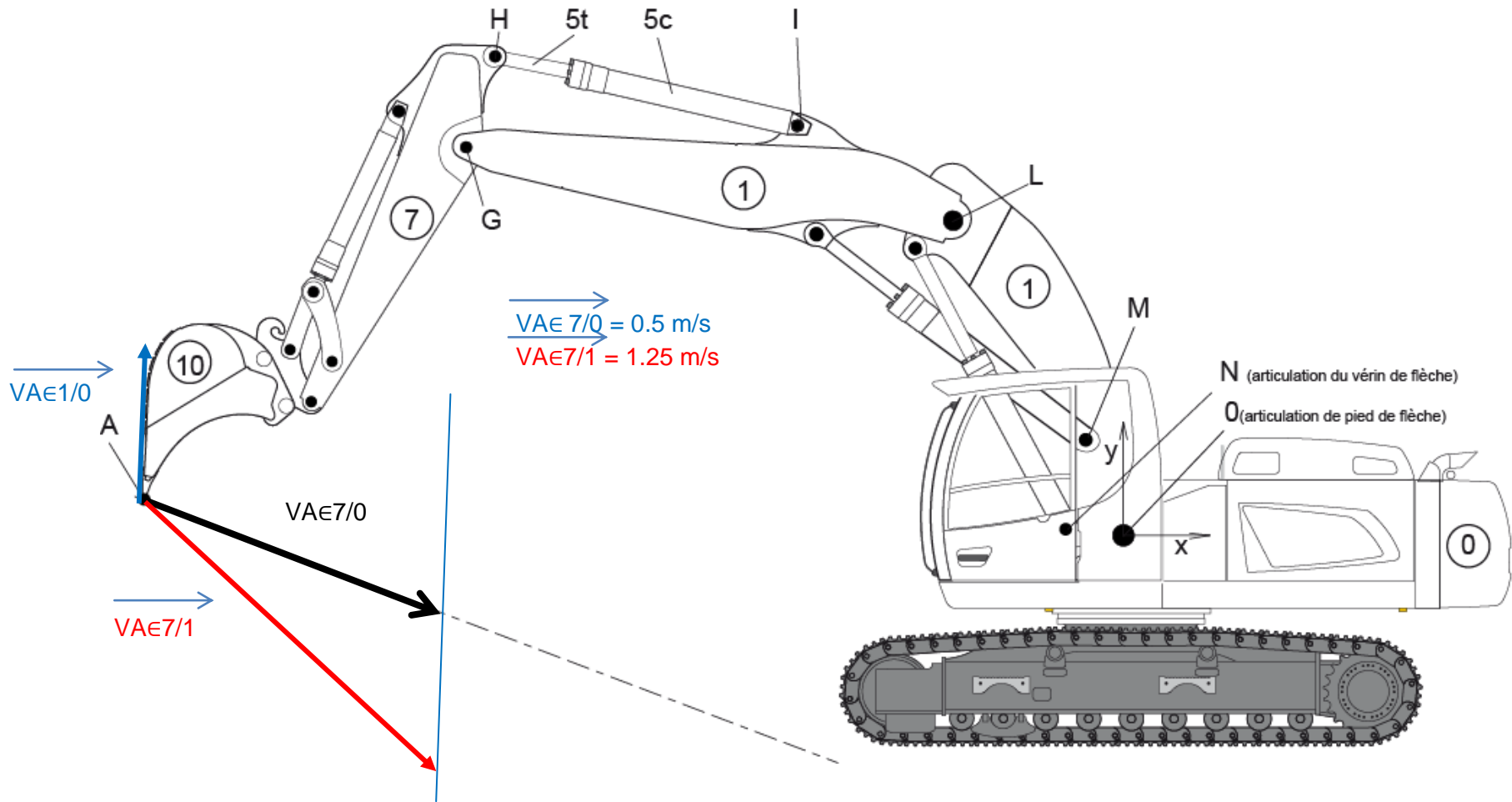


Question 13 : sur le document réponse DR 3 représenter et nommer les actions mécaniques qui agissent sur l'ensemble piston 68 et tiroir 92 (les pistons 68 et 67 ne sont pas en contact sur la face d'appui).



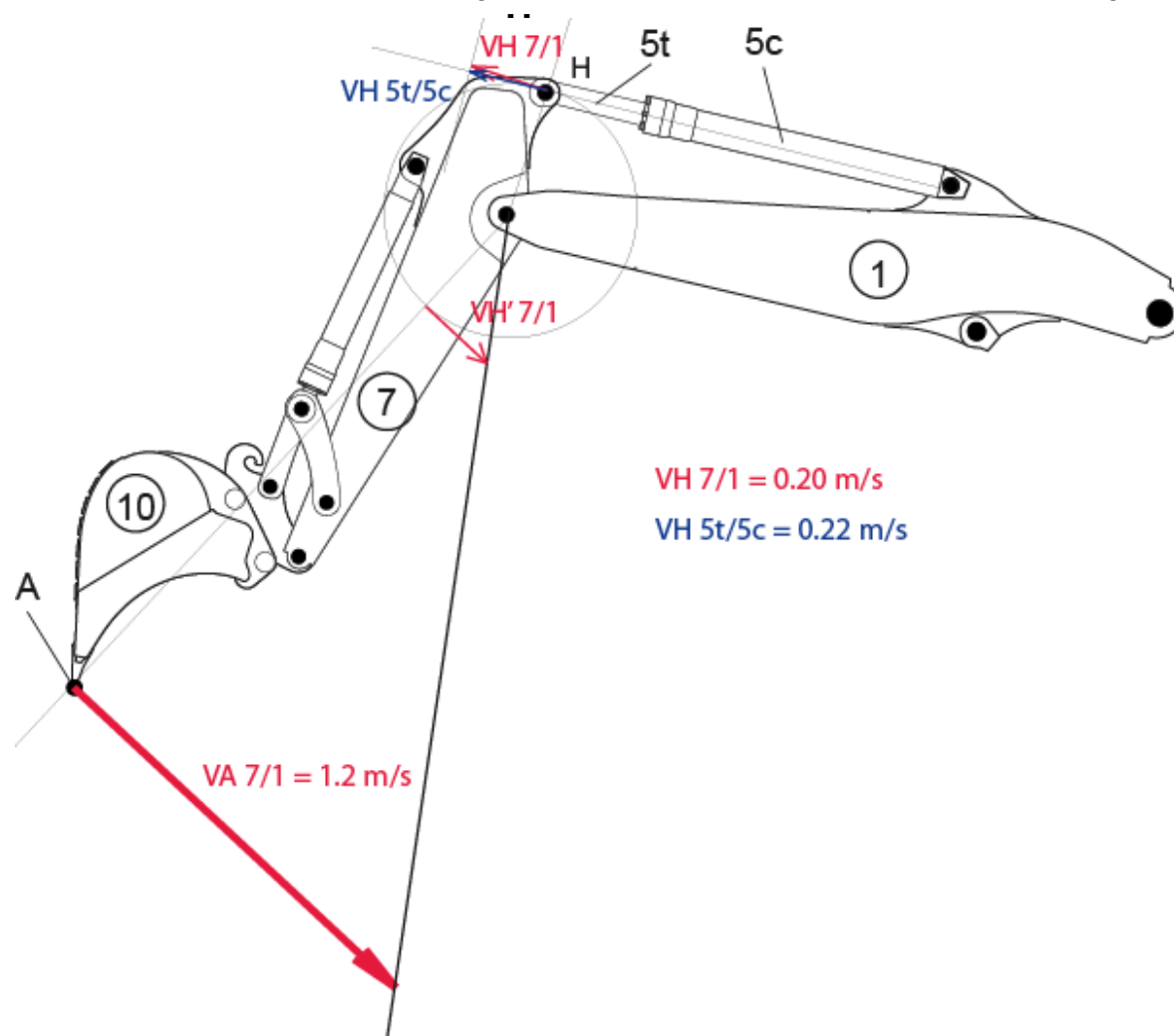
DR 4 (document réponse à rendre avec la copie)

Question 17 : sur le document réponse DR 4, tracer la composition de vitesse au point A afin d'obtenir $\|\overrightarrow{VA \in 7/0}\| = 1\text{m/s}$ et en déduire les vitesses $\|\overrightarrow{VA \in 7/1}\|$ et $\|\overrightarrow{VA \in 1/0}\|$
 (La flèche à volée variable est considérée comme une pièce unique repérée 1)



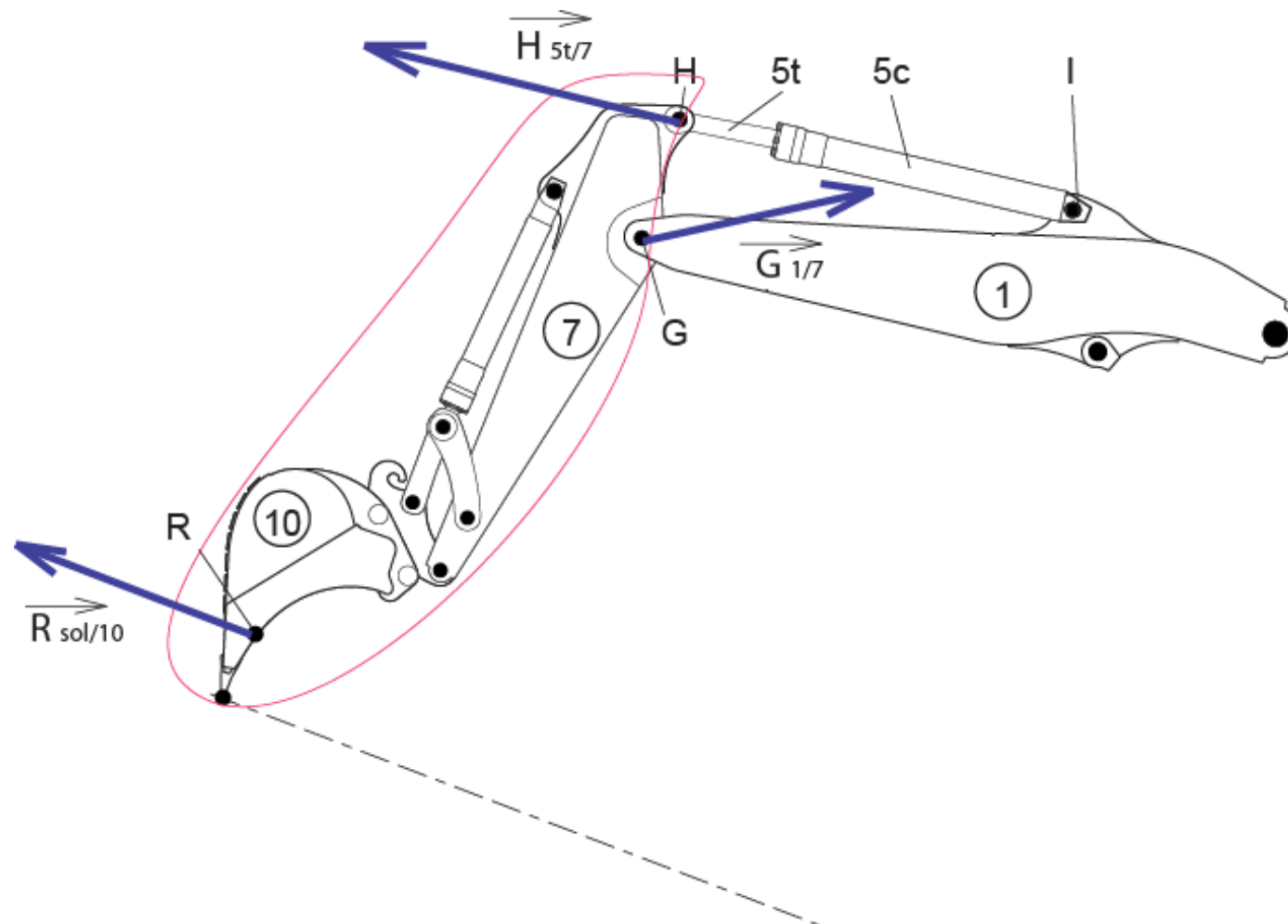
DR 5 (document réponse à rendre avec la copie)

Question 21 : pour une vitesse $\|\vec{V}_A \in 10/1\| = 1.2 \text{ m/s}$ déterminer graphiquement sur DR 5 la vitesse de sortie de tige du vérin $\vec{V}_H \in 5t/5c$.



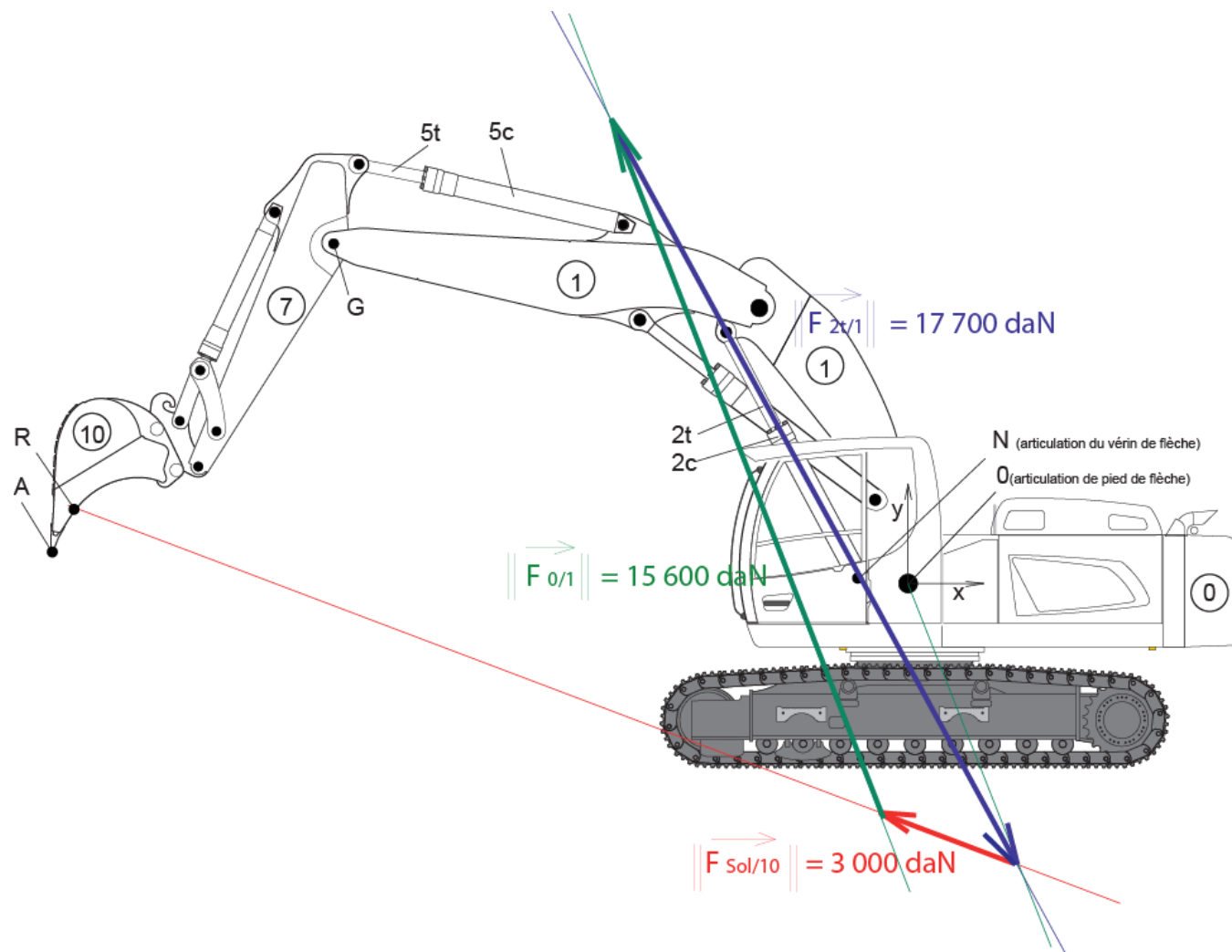
DR 6 (document réponse à rendre avec la copie)

Question 25 : sur le document réponse DR 6 entourer l'ensemble à isoler pour déterminer la force produite par le vérin de balancier puis représenter et nommer les actions mécaniques qui agissent sur cet ensemble.



DR 7 (document réponse à rendre avec la copie)

Question 30 : sur le document réponse DR 7, déterminer graphiquement l'effort global produit par les deux vérins de flèche.



DR 8 (document réponse à rendre avec la copie)

Question 34 : compléter sur les documents réponses DR8 et DR9 aux différents points indiqués par des flèches, les pressions et les débits (certaines valeurs peuvent être à calculer ou à estimer).

