

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

MODÉLISATION ET ÉTUDE PRÉDICTIVE DES SYSTÈMES

SESSION 2017

Durée : 6 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé :

toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique sous réserve que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire N°99-186, 16/11/1999).

Tout autre matériel est interdit.

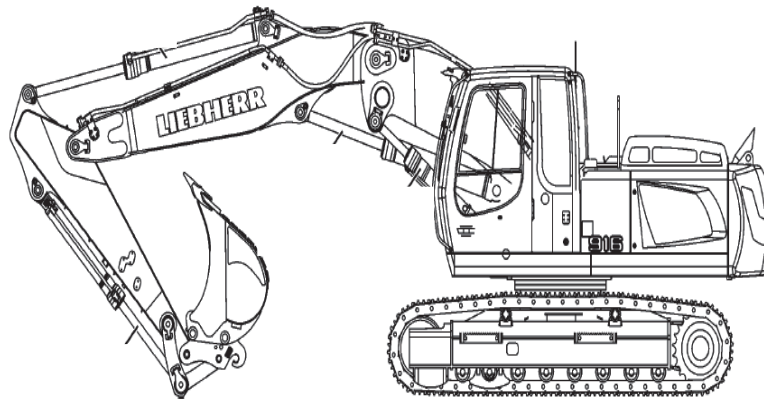
Documents réponses à rendre avec la copie :

DR 1 à DR 9 pages 14/22 à 22/22

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 22 pages numérotées de 1/22 à 22/22.

BTS MAVETPM		Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code : MME4ME	Page : 1/22

DOSSIER TECHNIQUE



Dossier technique

Dossier technique DT1 caractéristiques techniques de la machine pages 2 à 3
 Dossier technique DT2 caractéristiques du moteur thermiquepage 4
 Dossier technique DT3 caractéristiques du circuit hydraulique pages 4 à 8

La machine dispose de quatre modes de fonctionnement

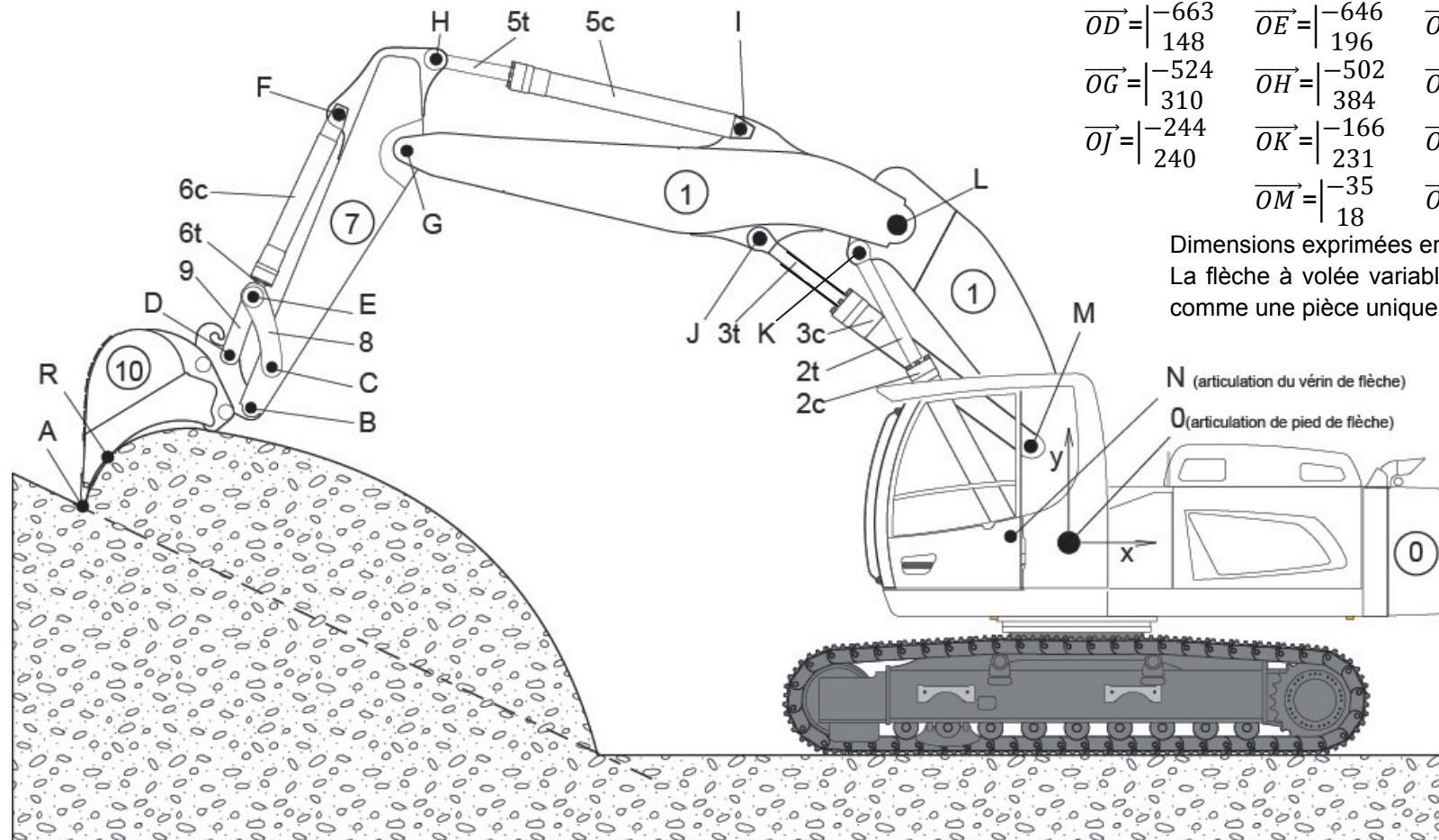
Mode éco (E)	Pour une production faible à moyenne, le régime moteur est limité à 1700 tr/min et la puissance hydraulique est également limitée.
Mode power (P)	Pour une production optimale.
Mode sensitive (S)	Pour des travaux de manutention de charges ou de finition, le régime moteur est limité à 1700 tr/min et la puissance hydraulique est également limitée.
Mode power plus (P+)	Lorsqu'une production maximale est attendue, le régime moteur est maximum à 1800 tr/min et la puissance hydraulique est maximale.

Nota : au démarrage de la machine, le mode éco (E) est toujours présélectionné automatiquement.
 Les autres modes doivent être sélectionnés manuellement.

DT1 - CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA MACHINE

Généralités		
Masse en ordre de marche	kg	24 800
Longueur sans équipement	mm	5 275
Largeur	mm	2 750
Hauteur sans équipement	mm	3 057
Rayon de giration	mm	2 940
Garde au sol	mm	460
Force de pénétration aux dents	kN	130
Force de cavage aux dents	kN	180
Traction totale maxi.	kN	226

DT1 (suite) - CARACTÉRISTIQUES DIMENSIONNELLES DE LA MACHINE AU TRAVAIL

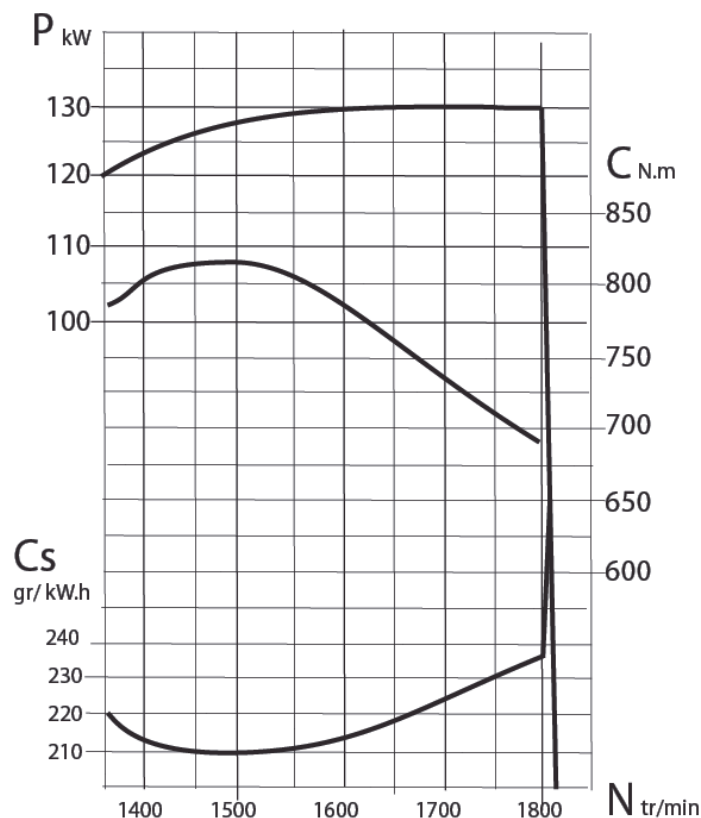


$$\begin{aligned}\overrightarrow{OA} &= \begin{pmatrix} -785 \\ 30 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OB} &= \begin{pmatrix} -646 \\ 104 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OC} &= \begin{pmatrix} -633 \\ 140 \end{pmatrix} \\ \overrightarrow{OD} &= \begin{pmatrix} -663 \\ 148 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OE} &= \begin{pmatrix} -646 \\ 196 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OF} &= \begin{pmatrix} -577 \\ 384 \end{pmatrix} \\ \overrightarrow{OG} &= \begin{pmatrix} -524 \\ 310 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OH} &= \begin{pmatrix} -502 \\ 384 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OI} &= \begin{pmatrix} -262 \\ 327 \end{pmatrix} \\ \overrightarrow{OJ} &= \begin{pmatrix} -244 \\ 240 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OK} &= \begin{pmatrix} -166 \\ 231 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OL} &= \begin{pmatrix} -135 \\ 253 \end{pmatrix} \\ & & \overrightarrow{OM} &= \begin{pmatrix} -35 \\ 18 \end{pmatrix} & \overrightarrow{OR} &= \begin{pmatrix} -764 \\ 65 \end{pmatrix}\end{aligned}$$

Dimensions exprimées en cm.

La flèche à volée variable est considérée comme une pièce unique (repérée 1).

DT2 - CARACTÉRISTIQUES DU MOTEUR THERMIQUE



Type	Quatre cylindres diesel
Alésage	122 mm
Course	150 mm
Cylindrée	7 litres
Puissance maxi.	130 kW
Régime nominal	1 800 tr/min
Régime maxi. à vide	1 820 tr/min
Couple maxi. (1500 _{tr/min})	820 N.m
Masse volumique gazole	830 kg/m ³
PCi du gazole	36 000 kJ/l

DT3 - CARACTÉRISTIQUES DU CIRCUIT HYDRAULIQUE

Pompes de travail	Type	Double à cylindrée variable
Entraînement par multiplicateur de vitesse	rapport	1,25
Cylindrée maxi. (par pompe)	cm ³ /tr	108
Débit maxi. (à 1 700 tr·min ⁻¹ moteur)	l·min ⁻¹	230
Cylindrée mini. (par pompe)	cm ³ /tr	33
Débit min (à 1 700 tr·min ⁻¹ moteur)	l·min ⁻¹	70
Pression maxi.	bar	380
Pompe hydraulique de servo-commande	type	Pompe à engrenages
Cylindrée	cm ³ /tr	22
Pression maxi	bar	34
Pompe hydraulique du ventilateur	type	Pompe à engrenages
Cylindrée	cm ³ /tr	20
Pression maxi	bar	120
Vérins	type	Double effet
Flèche (quantité) Ø piston / Ø tige	mm	(2) 125 / 85
Balancier (quantité) Ø piston / Ø tige	mm	(1) 140 / 95
Godet (quantité) Ø piston / Ø tige	mm	(1) 125 / 85

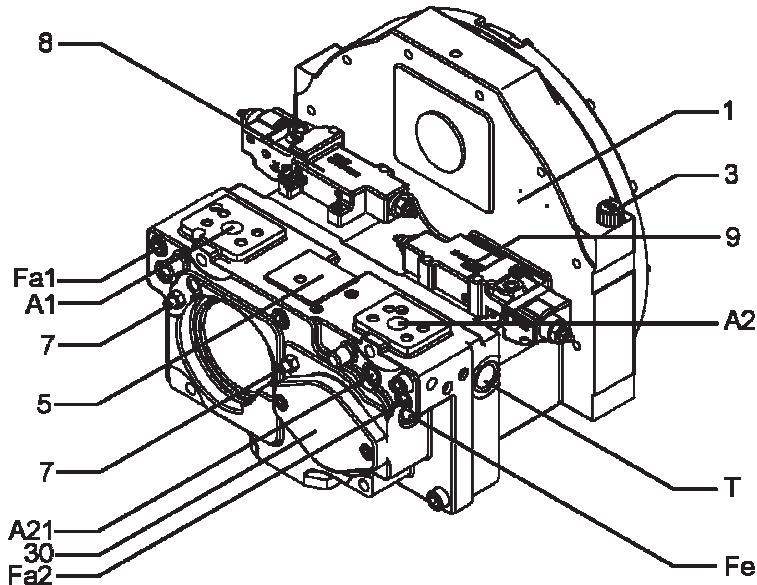
Description du groupe pompe de travail

Les deux pompes principales, à pistons axiaux et cylindrée variable, sont entraînées par un multiplicateur de vitesse ($R = 1,25$).

Chaque pompe elle est équipée de son propre système de régulation.

Pour la régulation par la somme des puissances, le signal de haute pression est transmis en permanence au régulateur de la pompe opposée. Une pompe à engrenage montée en bout de la pompe P_1 fournit la pression de servocommande (non représentée ci-dessous).

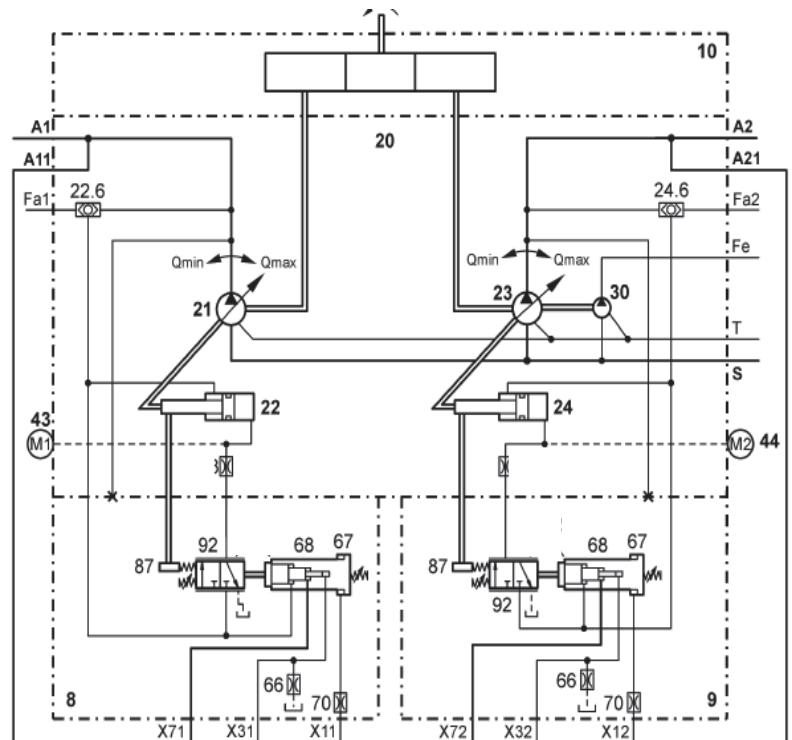
Les fuites des pompes retournent dans le réservoir par le branchement de retour T .



1	Carter de pompe
3	Jauge du multiplicateur
5	Carter de raccordement
7	Vis de réglage
8	Régulateur pompe P_1
9	Régulateur pompe P_2
A1	Sortie pompe P_1
A2	Sortie pompe P_2
A21	Prise de pression P_1
Fa1	Connexion de servocommande P_1
Fa2	Connexion de servocommande P_2

Représentation schématique

8	Régulation pompe P_1
9	Régulation pompe P_2
10	Mécanisme d'entraînement
20	Groupe pompe double
21 et 23	Pompes de travail (P_1 et P_2)
22 et 24	Pistons de positionnement
22.6 et 24.6	Sélecteurs de circuit
30	Pompe de servo-commande
43 et 44	Prises de pression
66 et 70	Étranglement
67 et 68	Pistons de régulation
87	Retour d'information position plateau pompe
92	Tiroir de régulation



Système de régulation des pompes de travail

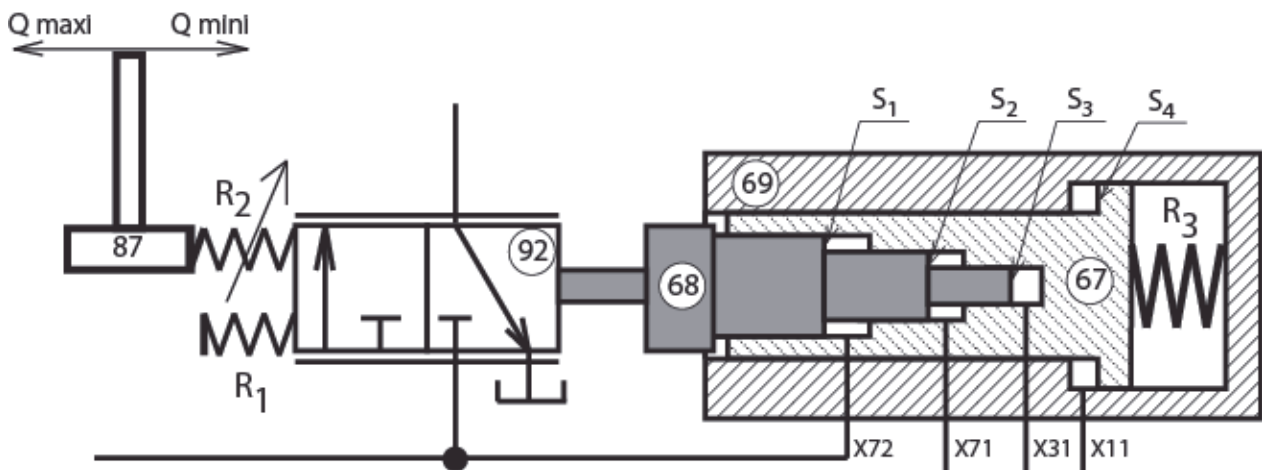
Le système se compose ainsi :

- d'une régulation de la puissance maximale en fonction des pressions du circuit par cumul des pressions des pompes P_1 et P_2 (conduites X_{71} et X_{72}).

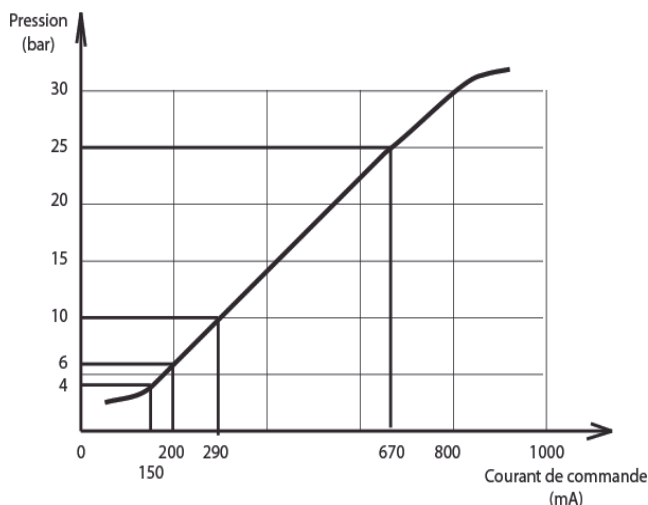
Le niveau de puissance est modulé en fonction du mode de travail présélectionné, le calculateur commande l'électrovanne Y_{50} afin d'agir sur le système de régulation de pompe par la conduite X_{31} . La pompe adapte ainsi la puissance maximale consommée par les pompes hydrauliques en fonction du mode de travail présélectionné et de la puissance disponible au moteur thermique ;

- d'une adaptation du débit des pompes à la demande du conducteur « positiv control ». Les capteurs repérés de B160 à B175 (sur le schéma hydraulique partie 2) détectent la valeur de pression de pilotage des distributeurs. L'information est traitée par le calculateur qui commande le(s) électrovanne(s) Y_{51} ou/et Y_{52} afin d'agir sur le(s) système(s) de régulation de(s) pompe(s) par la conduite X_{11} ou/et X_{12} . Le débit de la pompe est ainsi adapté au besoin. Il n'y a pas de consommation d'énergie inutile.

Régulateur de la pompe P1



Caractéristiques des électrovannes Y_{50} , Y_{51} et Y_{52}



Le courant de commande sur l'électrovanne Y_{50} est de :

- 150 mA en mode P ;
- 200 mA en mode P+ ;
- 290 mA en mode Éco ;
- 670 mA en mode sensitif.

Sur les électrovannes Y_{51} et Y_{52} , le courant varie entre 150 à 670 mA en fonction de la demande débit détectée sur les distributeurs (670 mA pour le maximum de débit).

SCHÉMA HYDRAULIQUE (PARTIE 1)

Le passage du schéma hydraulique de la partie 1 à la partie 2 s'effectue en utilisant les repères qui s'interprètent ainsi :
 100 / p1 ← raccordé à la conduite p1 du bloc hydraulique 100 de la du schéma hydraulique (partie 2).

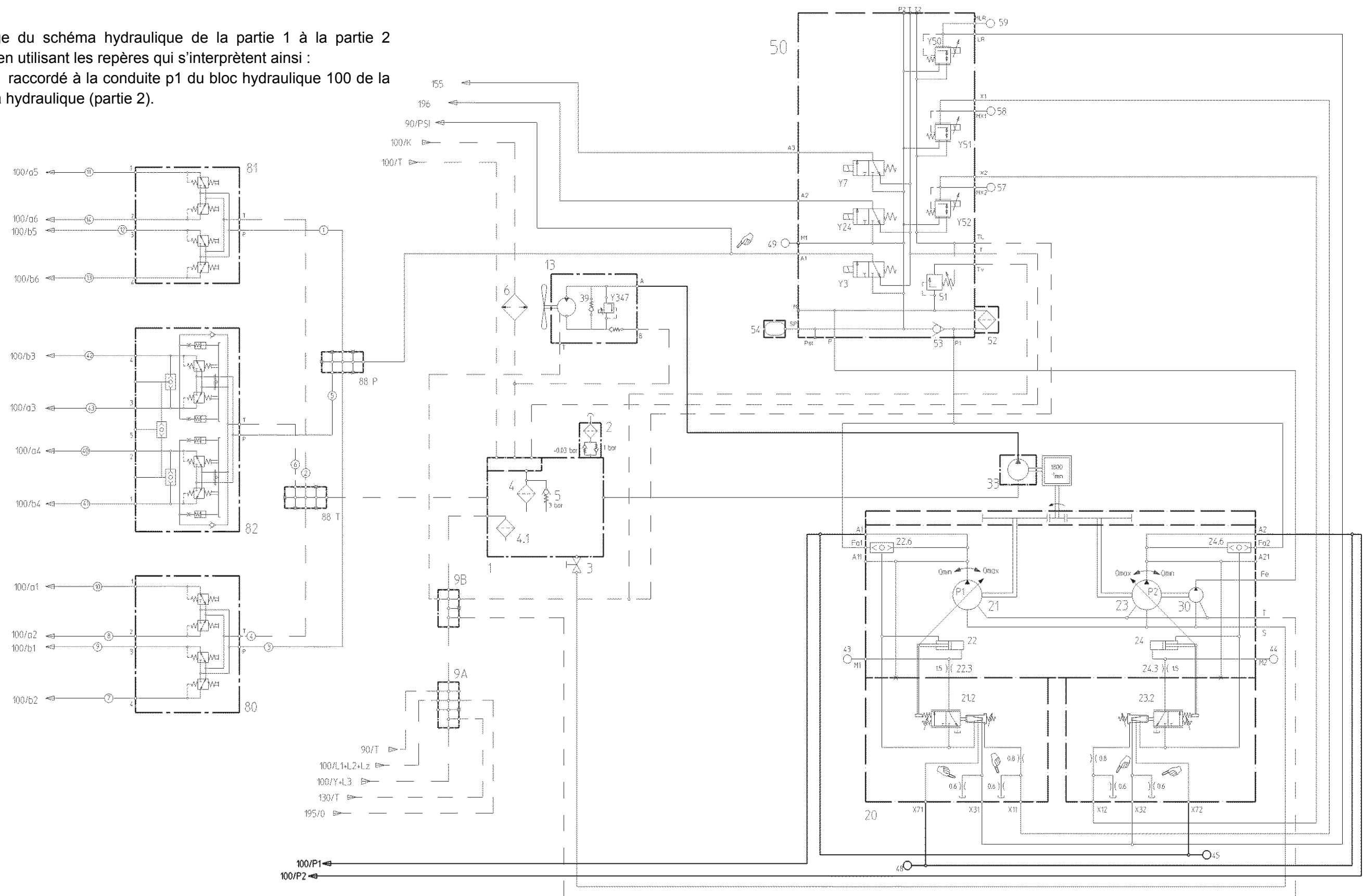
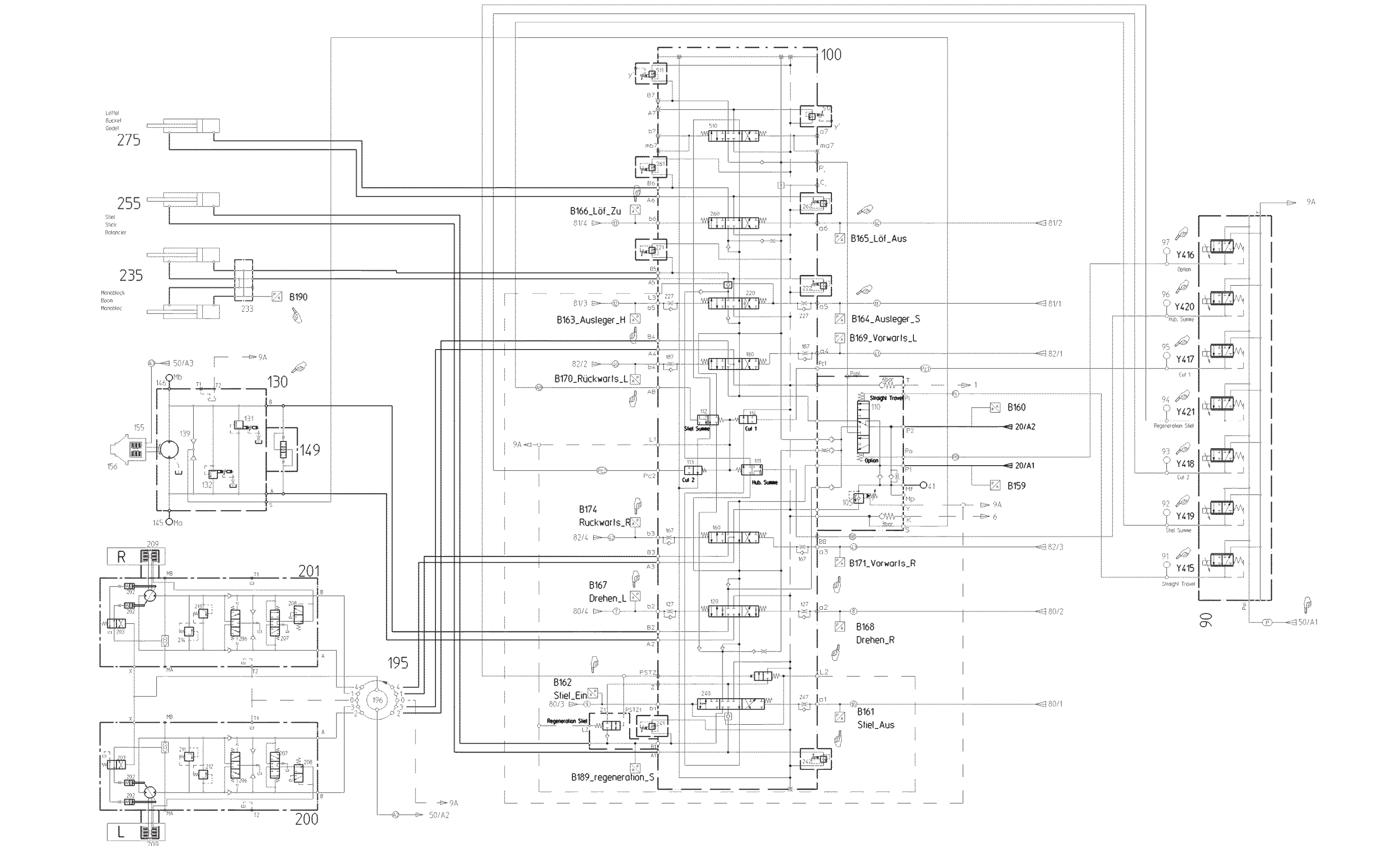


SCHÉMA HYDRAULIQUE (PARTIE 2)



TRAVAIL DEMANDÉ

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 cinq 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.
- Question 2 :** à partir des caractéristiques du moteur thermique montrer l'intérêt d'utiliser celui-ci à $1\,700\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ plutôt qu'à $1\,800\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$.
- Question 3 :** déterminer la consommation horaire, en litre par heure (l/h), aux puissances maximales du moteur ($1\,700\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ et $1\,800\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$).

PARTIE B - ANALYSE DES CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES

Cette partie vise à montrer que les pompes de travail doivent adapter leur débit en fonction de la pression pour ne pas surcharger le moteur thermique.

- Question 4 :** calculer le couple consommé (en N.m) sur le moteur thermique par les deux pompes hydrauliques (servocommande et d'entraînement du ventilateur). Les rendements sont négligés.
- Question 5 :** ce couple consommé est-il dépendant du régime moteur ? Justifier votre réponse.
- Question 6 :** les pompes (servocommande et ventilateur), d'une part et les équipements annexes (climatisation, alternateur...) d'autre part absorbent 100 N.m. Calculer la puissance consommée par ces éléments à $1\,700\text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ puis en déduire la puissance restant disponible pour les pompes de travail.
- 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 restant disponibles pour les pompes de travail.
- 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 $1\,700\text{ tr/min}$.

Question 9 : à la pression maximale du circuit de travail, déterminer la cylindrée (q en cm^3/tr) de la pompe pour que celle-ci n'absorbe pas plus de 315 N.m.

Question 10 : montrer que pour ne pas dépasser le couple disponible de 315 N.m, la cylindrée de la pompe (q en cm^3/tr) doit évoluer en fonction de la pression (p en bar) suivant la relation :

$$q = \frac{6300 \cdot \pi}{p}.$$

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 ;
- des hachures pour représenter les zones de travail non exploitables (dépassement des limites).

PARTIE C - RÉGULATION DES POMPES DE TRAVAIL

Cette partie vise à montrer l'action de la régulation qui 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 (F_{R2} en daN) en fonction de la cylindrée (q en cm^3/tr) de la pompe, une constante F_{R20} (en daN) 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 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 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).

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 :

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

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

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

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

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

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, etc.). La tourelle (0) dans ce cas ne bouge pas et donc elle est considérée comme 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 ($\overrightarrow{||VA \in 10/0||} = \overrightarrow{||VA \in 7/0||}$), 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.

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).

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

Question 19 : pour une vitesse $\overrightarrow{||VA \in 1/0||} = 0,5 \text{ m/s}$, calculer $\Omega_{1/0}$.

Question 20 : écrire la composition de vitesse au point H permettant d'obtenir $\overrightarrow{VH \in 5t/5c}$.

Question 21 : pour une vitesse $\overrightarrow{||VA \in 7/1||} = 1,2 \text{ m/s}$, déterminer graphiquement sur DR 5 la vitesse de sortie de tige du vérin.

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).

BTS MAVETPM		Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code: MME4ME	Page : 11/22

Partie D2 STATIQUE

Cette partie vise à déterminer les pressions nécessaires pour actionner le balancier et la 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.

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

$$\overrightarrow{R_{sol/10}} = \begin{pmatrix} -2\,800 \\ 1\,120 \\ 0 \end{pmatrix}$$

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.

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

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

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

Question 29 : pour $\left\| \overrightarrow{H_{5t/7}} \right\| = 14\,000$ daN, déterminer quelle est la pression dans le vérin de balancier.

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

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

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.
- 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.

BTS MAVETPM		Session 2017
Modélisation et étude prédictive des systèmes	Code: MME4ME	Page : 12/22

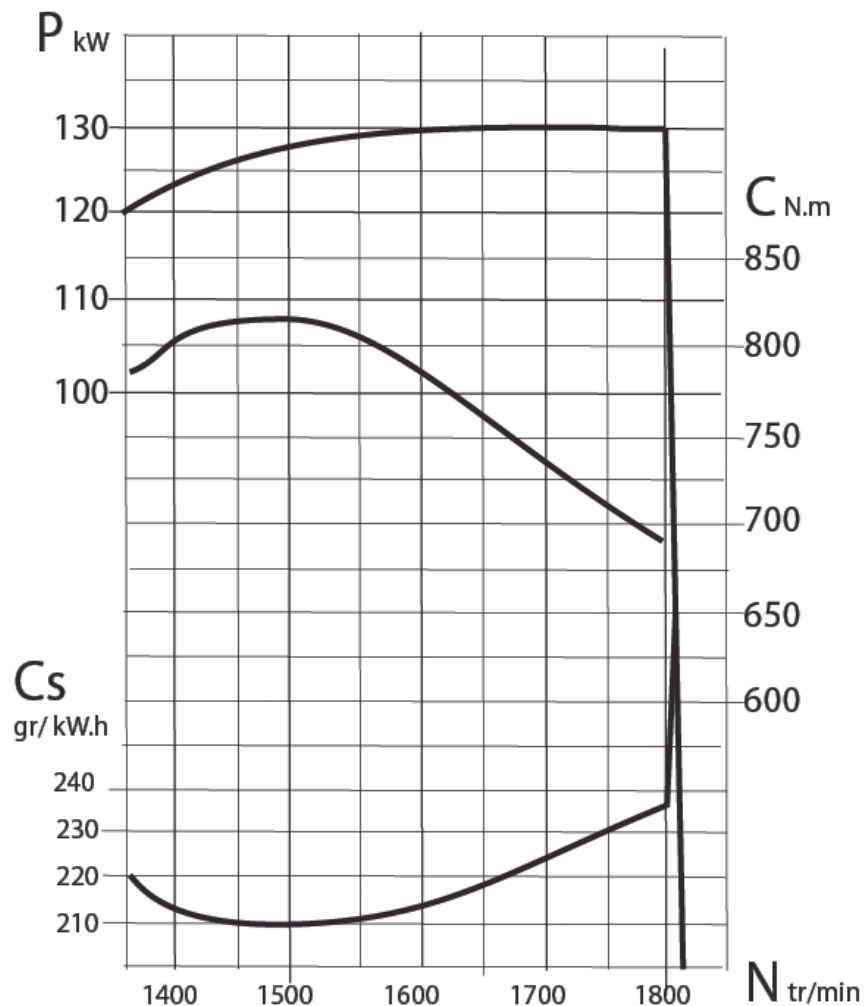
- La machine est en mode éco.
- Le conducteur contrôle la position des tiroirs de distributeurs afin d'obtenir les vitesses souhaitées. De ce fait, le calculateur gère le courant sur les électrovannes Y_{51} (200 mA) et Y_{52} (150 mA).
- La perte de charge au passage des distributeurs actionnés est 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 32 : 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).

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			
Couple			
Consommation spécifique			

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 restant 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 DR 2 :

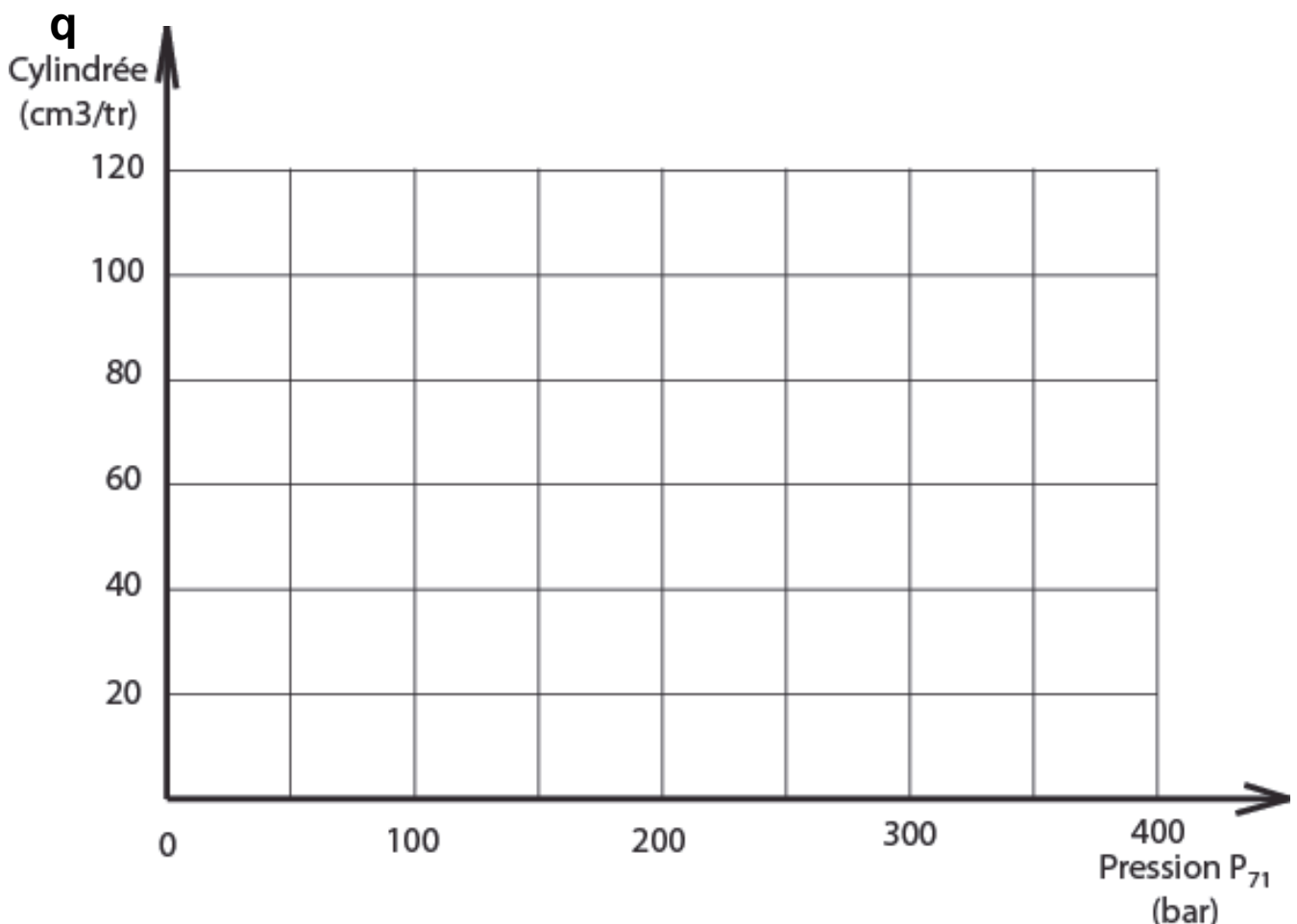
- les limites de pression et de cylindrée définies par le constructeur ;
- la courbe d'évolution de la cylindrée en fonction de la pression ;
- des hachures pour représenter les zones de travail non exploitables (dépassement des limites).

Question 15 : dans la situation où les deux pompes sont soumises à la même pression (en bar), la cylindrée de la pompe (q en cm³/tr) est obtenue à partir de l'équation :

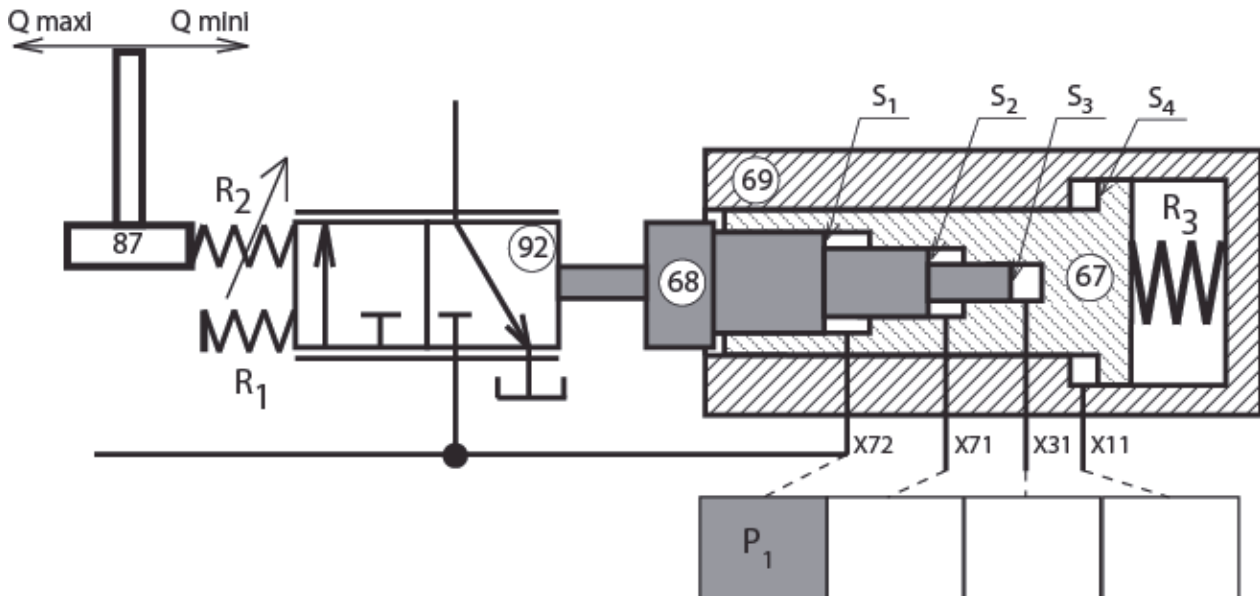
$$q = \frac{48 - [(0,6 * p_{31}) + (0,088 * p_{71})]}{0,30}$$

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

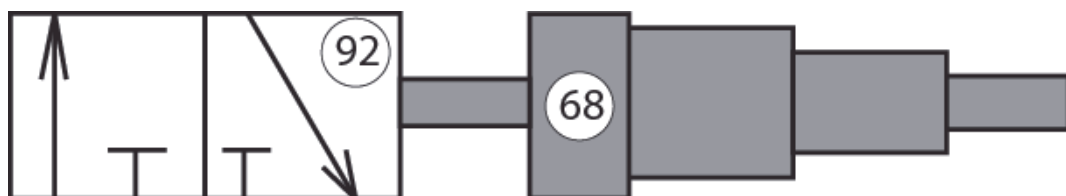
- tracer les 2 courbes d'évolution de la cylindrée (q) pour les modes P et ÉCO (page 6) ;
- griser ou colorier les zones inexploitablees en raison du système de régulation ;
- conclure sur le système de régulation et son réglage.



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).

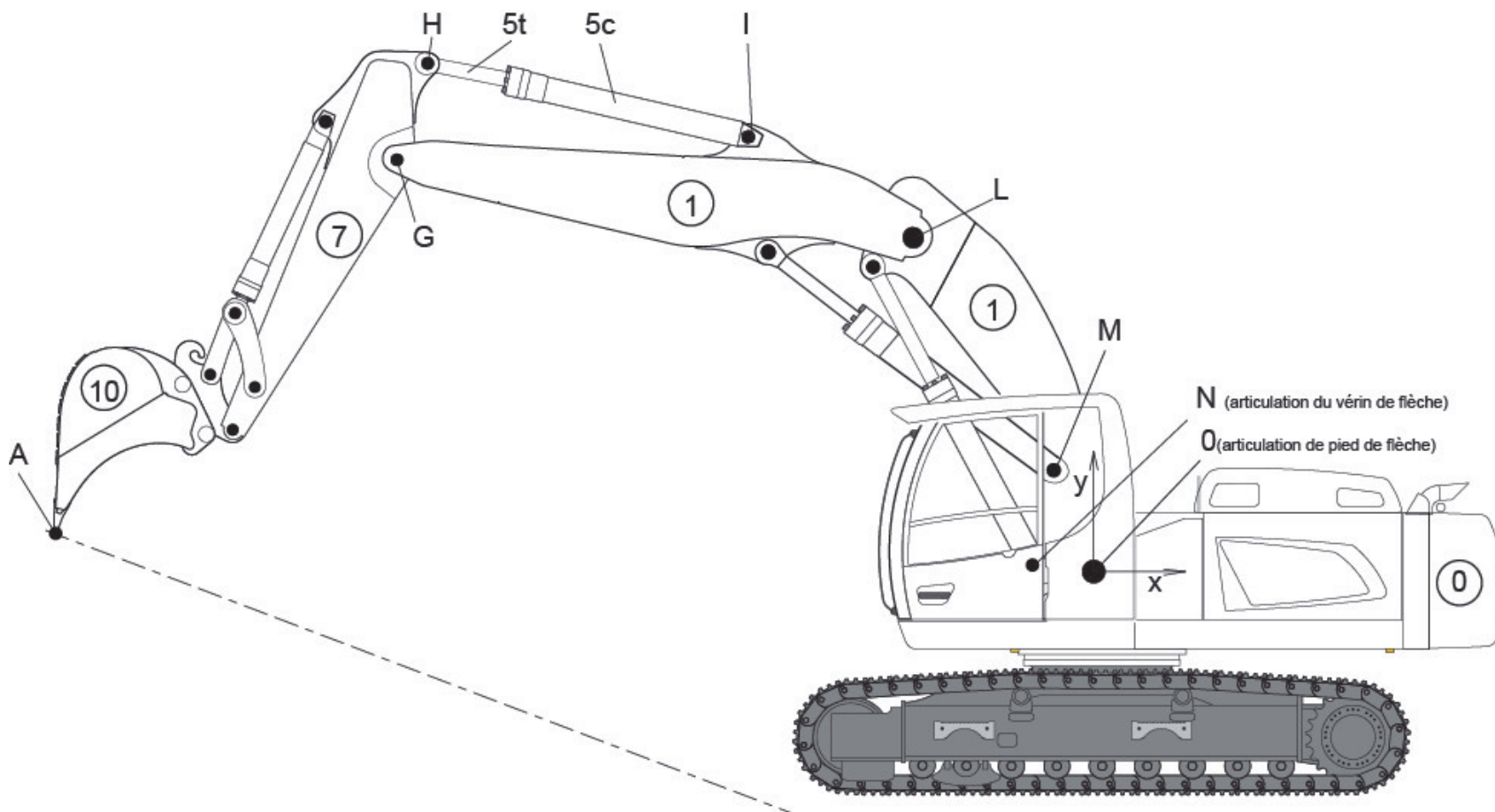


Question 13 : sur le document réponse DR3 représenter et nommer les actions mécaniques qui agissent sur l'ensemble piston 68 et tiroir 92 (les pistons 68 et 67 ne sont pas en contact sur la face d'appui).



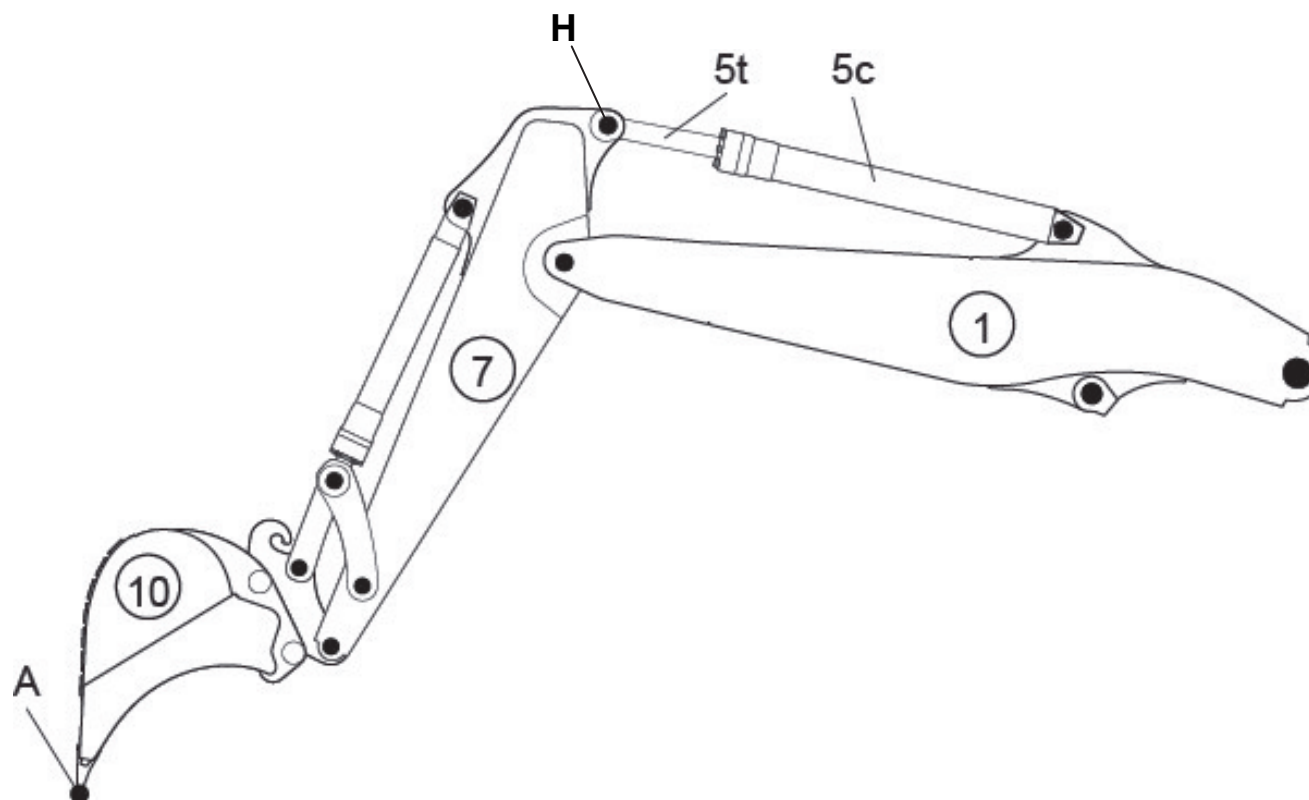
DR 4 (document réponse à rendre avec la copie)

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



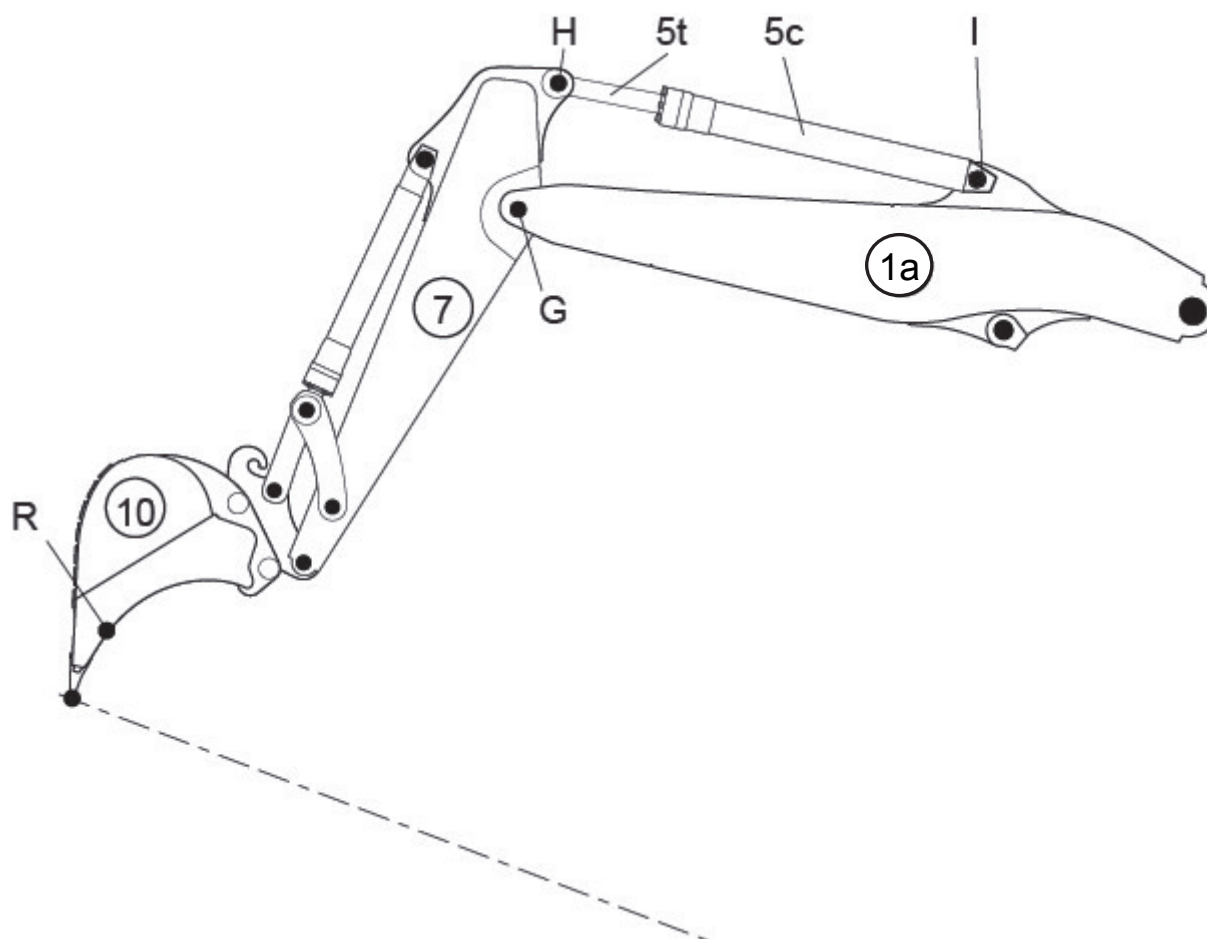
DR 5 (document réponse à rendre avec la copie)

Question 21 : pour une vitesse $\|\vec{V}_{A \in 7/1}\| = 1,2 \text{ m/s}$ déterminer graphiquement sur DR 5 la vitesse de sortie de tige du vérin $\vec{V}_{H \in 5t/5c}$.



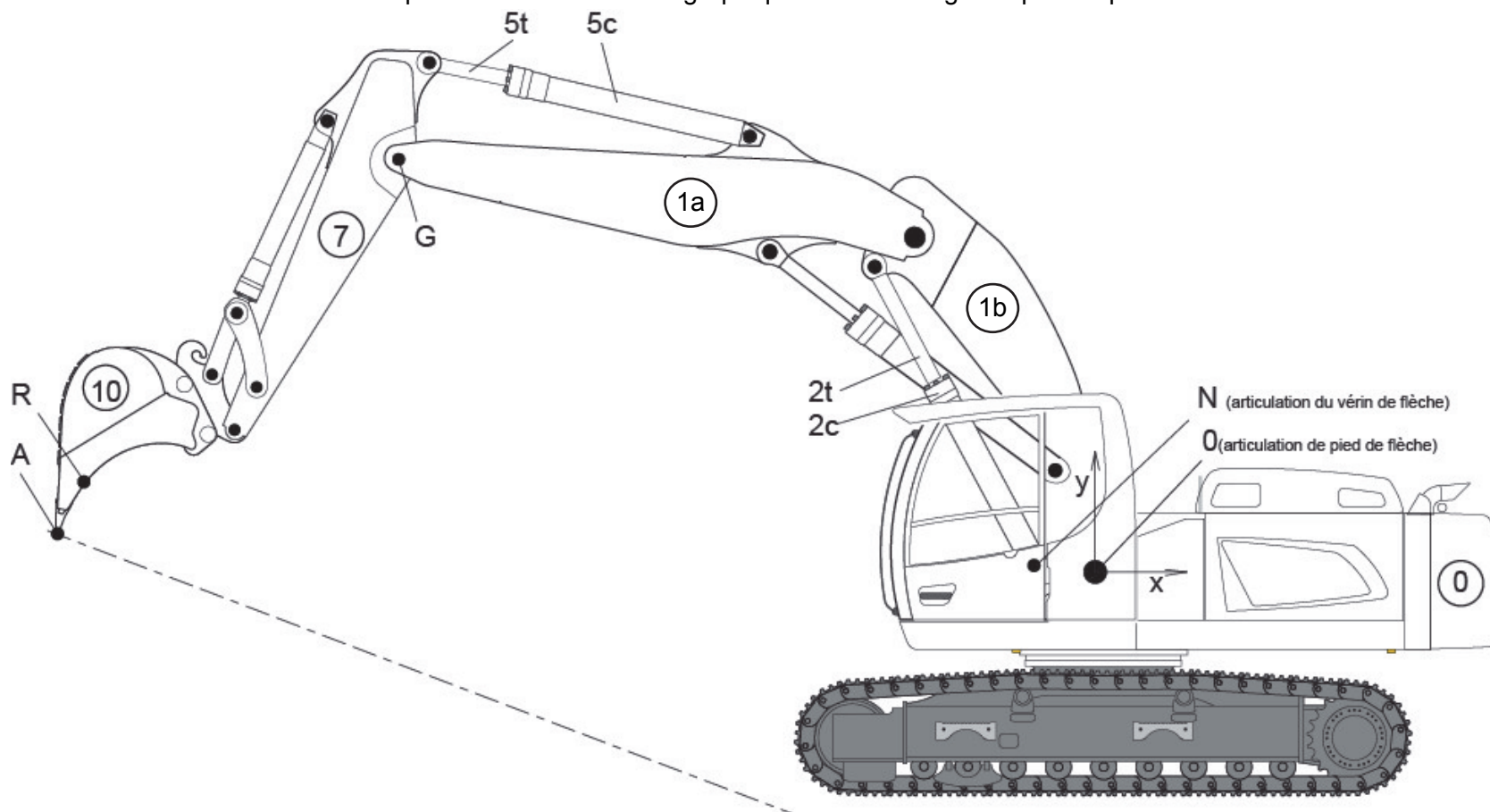
DR 6 (document réponse à rendre avec la copie)

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.

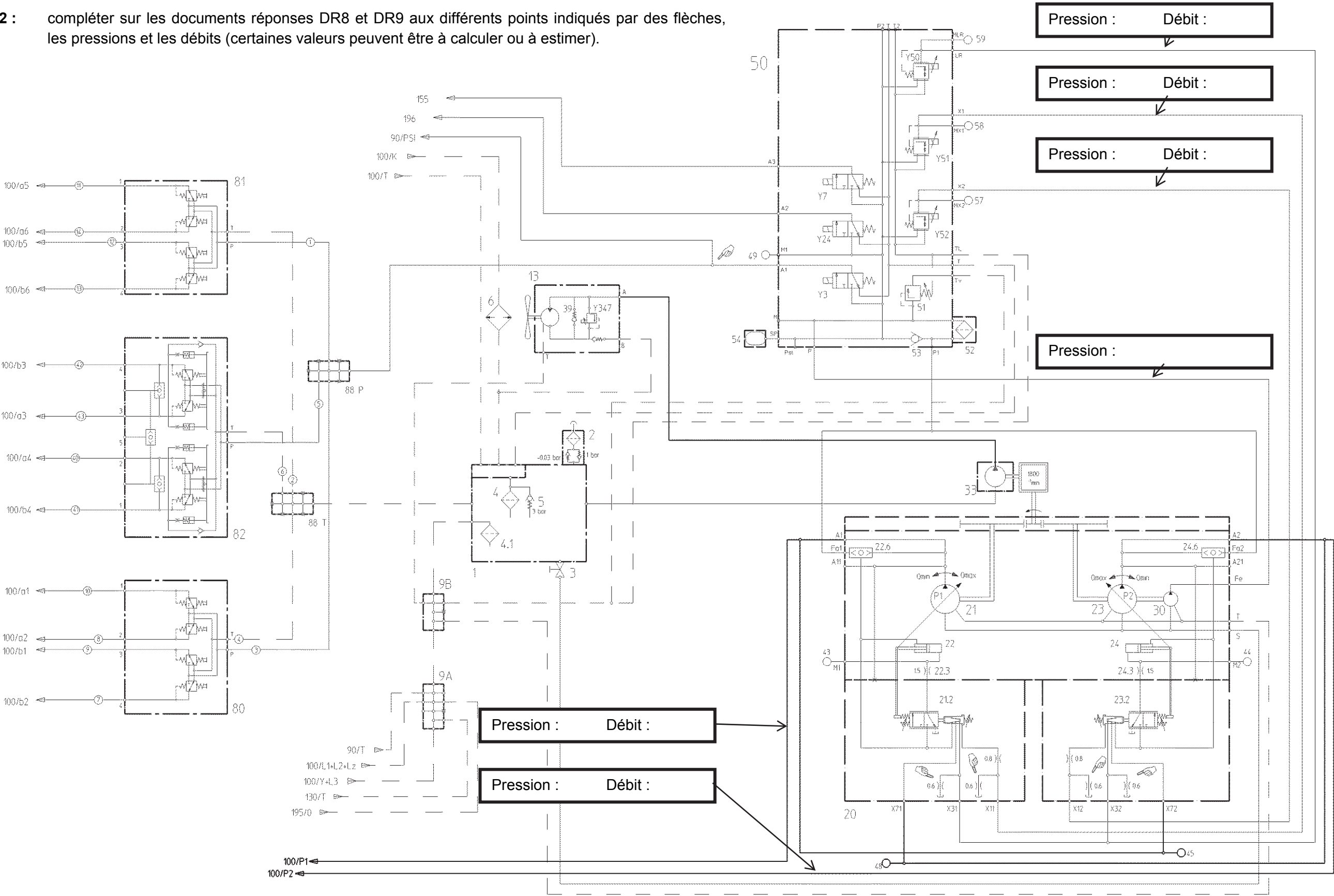


DR 7 (document réponse à rendre avec la copie)

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



Question 32 : 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).



Question 32 : 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).

