

épreuve d'automatique - informatique industrielle

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique - à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits

Le candidat doit obligatoirement traiter les **quatre parties** sur des **copies distinctes**, en précisant bien sur chaque copie le titre, le repère et la partie de l'épreuve traitée.

Équipement d'une machine de forage des sols

Remarque préliminaire

Le sujet commence par une présentation générale de la machine étudiée, qui contient des informations nécessaires pour les 4 parties A, B, C et D à traiter.

Ces parties sont indépendantes. Elles doivent être traitées sur des copies séparées.

Figures

Figure 1 : machine de forage, flèche verticale.

Figure 2 : machine de forage, flèche horizontale

Figure 3 : tête de rotation

Figure 4 : freins de tube

Figure 5 : implantation du codeur et des capteurs de force dans la chaîne de translation

Figure 6 : structure actuelle du système de poussée

Figure 7 : structure cible du système de poussée

Figure 8 : circuit hydraulique de translation

Figure 9 : diagramme de réglage de la poussée

Figure 10 : diagramme de fonctionnement du moteur hydraulique de translation

Figure 11 : Schéma de principe du système de translation

Figure 12 : diagramme bloc de l'asservissement de l'effort de poussée

Figure 13 : réponse à une variation de la contre-pression

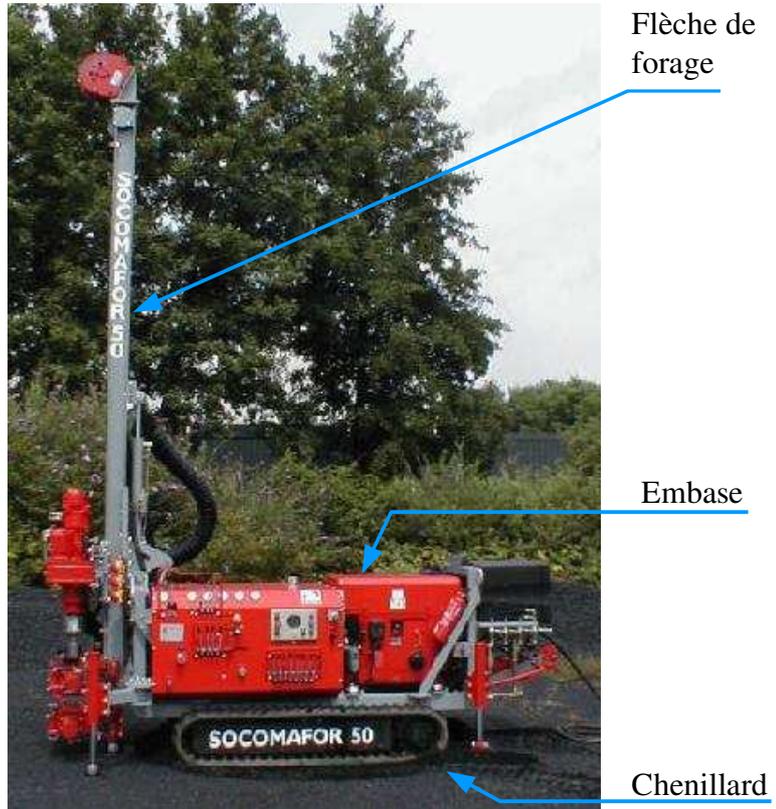
Figure 13 : début du cycle de commande d'un essai

Présentation de la machine de forage

Description générale

La machine étudiée est une machine de forage qui sert à forer des trous dans le sol. Elle comporte une embase montée sur un chenillard, et une flèche de forage. Le chenillard permet de déplacer la machine sur la zone de forage, et d'assurer son chargement et son déchargement de la remorque de transport. La flèche de forage supporte les éléments actifs de la machine. Elle travaille en position verticale, comme sur la *figure 1*. L'embase accueille les autres composants de la machine : moteur, pompes, réservoirs, organes de commande etc.

Figure 1 : machine de forage, flèche verticale.



La flèche de forage doit être basculée en position horizontale pour réduire l'encombrement de la machine pendant les phases de transport de la machine sur remorque.

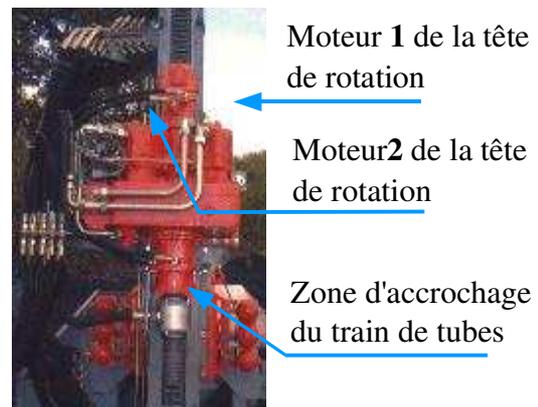
Figure 2 : machine de forage, flèche horizontale

L'énergie mécanique est délivrée par un moteur thermique, qui entraîne des pompes hydrauliques. C'est ensuite principalement l'énergie hydraulique qui est distribuée aux différents composants de la machine.

Le forage est assuré par une tête de forage constituée d'un outil adapté au type de trou et à la nature du terrain. Le mouvement de coupe (rotation d'axe vertical) est transmis à la tête de forage par un train de tubes. La tête de rotation est constituée de deux moteurs hydrauliques à engrenages.

Figure 3 : tête de rotation

La tête de rotation est montée sur un chariot, lui-même



guidé en translation sur la flèche. Le mouvement d'avance est constitué par la descente de ce chariot. Il est transmis à la tête de forage par la tête de rotation et le train de tubes. Ce mouvement de translation est généré par un moto-réducteur hydraulique avec frein par manque de pression, associé à une transmission par chaîne et pignons. Au fil du forage, le poids propre du train de tubes augmente. Pour conserver un effort de poussée constant sur la tête de forage, il faut équilibrer le circuit hydraulique agissant sur la contre-pression.

En phase de forage, lorsque la tête de rotation arrive en position basse, il est nécessaire rajouter un tube au train de tubes déjà enfoncé dans le sol. Pour cela, il faut bloquer le train de tubes, le désolidariser la tête de rotation, et remonter cette tête pour pouvoir rajouter le nouveau tube. On utilise pour bloquer le train de tube enfoncé dans le sol, un frein de tubes. Ce frein de tubes est situé à l'extrémité inférieure de la flèche de forage. Le blocage est obtenu par serrage radial du train de tubes par deux vérins hydrauliques. En phase de remontée du train de tubes, il faut effectuer la manoeuvre en sens inverse.

Il est possible de rajouter au dessus du premier frein de tube, un second frein de tube qui dispose d'un mouvement de rotation d'axe vertical additionnel. La combinaison des deux freins de tube permet de dévisser automatiquement le dernier tube du train de tubes en phase de remontée.

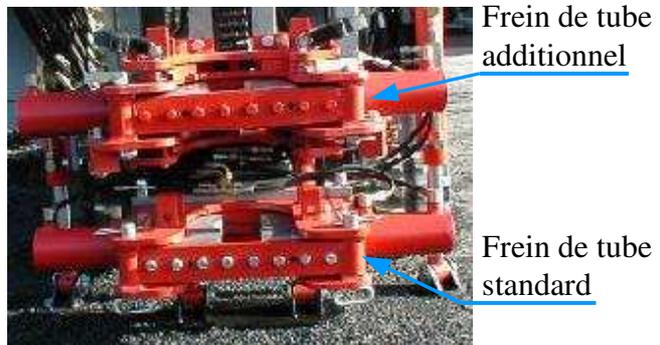


Figure 4 : freins de tube

Une pompe d'injection injecte des boues de forage dans le train de tube pour faire remonter les débris de forage. Cette pompe d'injection est entraînée par un moteur hydraulique lui-même alimenté par une pompe hydraulique.

En phase de forage, la machine est en appui sur quatre vérins de stabilisation positionnés aux quatre coins de l'embase. Ces vérins sont commandés séparément.

La machine dispose de fonctions additionnelles : percussion hydraulique, frappe au retrait, vérin de détubage, rotation auréolaire et treuil. Ces fonctions ne rentrent pas dans le cadre de l'étude et ne seront pas détaillées.

Présentation du cahier des charges de l'étude

Outre le forage simple de trous, cette machine est capable de réaliser un certain nombre d'essais normalisés relatifs à la mécanique des sols. L'essai qui nous intéresse est l'essai dit « **essai destructif enregistré** ». Cet essai consiste à réaliser un forage à **effort de poussée** et **couple de rotation** sur la tête de forage **constants**. On fore un trou d'un **diamètre donné** à une **profondeur donnée** en souhaitant enregistrer à chaque instant :

- la position de l'outil,
- la vitesse de descente de la tête de forage,
- l'effort de poussée sur la tête de forage,
- le couple de rotation sur la tête de forage,
- la pression d'injection des boues de forage.

A partir de ces informations, les géotechniciens sont capables de déterminer certaines caractéristiques mécaniques du sol aux différentes profondeurs. Le suivi de la pression d'injection des boues de forage permet de détecter les cavités rencontrées. En effet, les boues de forage se répandent dans ce cas dans la cavité, et la pression d'injection chute alors brutalement.

Actuellement, le suivi de la position de la tête de forage est assuré par un capteur à fil déroulant. Le capteur est installé à l'extrémité supérieure de la flèche. Le fil est fixé sur le chariot supportant la tête de rotation. Le fil se déroule à mesure de la descente du chariot. Il faut réinitialiser ce capteur à chaque ajout de tube, et cumuler la longueur des différents tubes déjà enfoncés dans le sol.

L'effort de poussée et le couple de rotation ne sont suivis qu'au travers des pressions en sortie des pompes d'alimentation des circuits hydrauliques respectifs de translation et de rotation, ainsi que du suivi de la pression d'équilibrage pour la translation. Ces pressions, prises en début de chaîne de transmission de puissance, sont suivies sur des manomètres, et c'est l'opérateur de la machine qui ajuste les débits dans les différents circuits pour les stabiliser .

La pression d'injection des boues de forage est mesurée directement par un capteur de pression.

Le projet d'équipement de la machine de forage consiste à implanter sur le système existant :

- un codeur au niveau du moteur hydraulique de translation,
- deux capteurs de force dans la chaîne du système pignons/chaînes qui entraîne le chariot en translation,
- deux capteurs de force entre le chariot et la platine support des moteurs de rotation de la tête de forage.

Ces capteurs vont servir à mieux maîtriser les paramètres de forage de l'essai, voire à asservir ces paramètres.

Implantation et rôle des capteurs

Le codeur, monté en bout d'arbre du moteur hydraulique de translation, va servir à simplifier le suivi de la profondeur forée. Son utilisation sera étudiée en partie D.

Le premier jeux de capteurs de force sont insérés dans la chaîne d'entraînement du chariot en translation, au dessus et en dessous de ce chariot. Ils servent à mesurer l'effort de traction entre la chaîne et le chariot, respectivement en phase de remontée du train de tubes et en phase de forage.

Un autre capteur de force est intégré entre le chariot de translation et la platine support des deux moteurs hydrauliques de rotation. Ils sert à mesurer couple exercé par le système hydraulique de rotation sur le train de tubes.

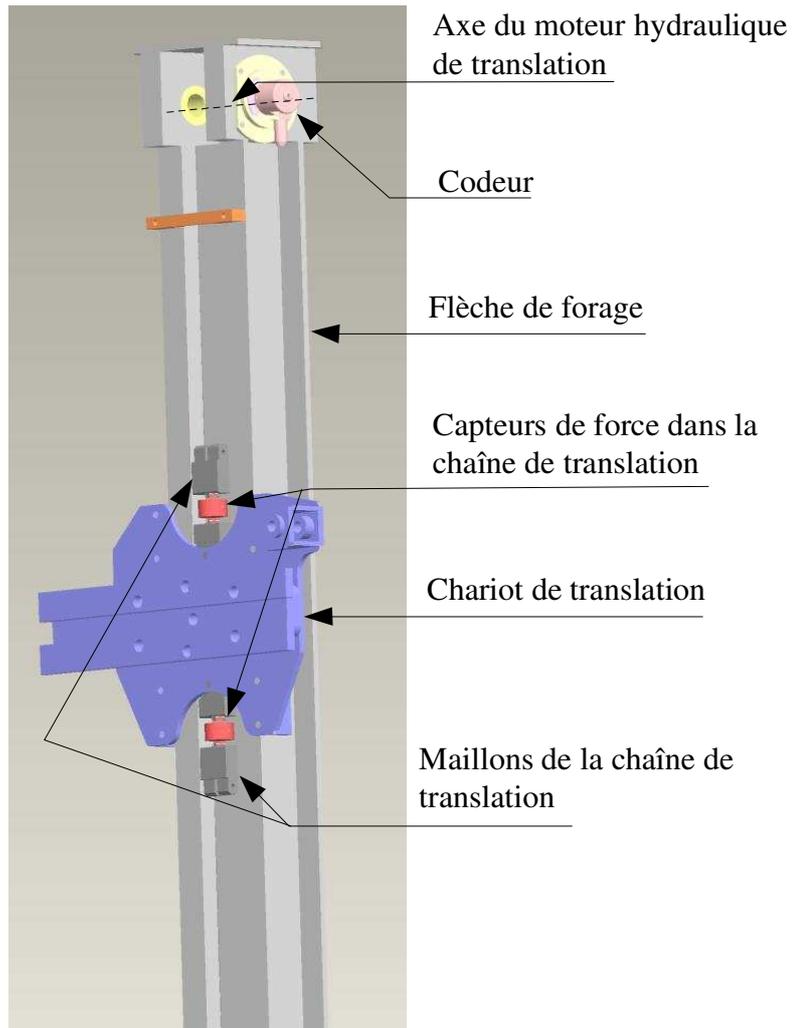


Figure 5 : implantation du codeur et des capteurs de force dans la chaîne de translation

L'implantation du capteur servant à déterminer le couple de rotation exercé sur le train de tube n'est pas détaillée dans cette étude, car l'asservissement de cette grandeur n'y est pas étudiée.

La structure actuelle du système de poussée sur la tête de forage est la suivant :

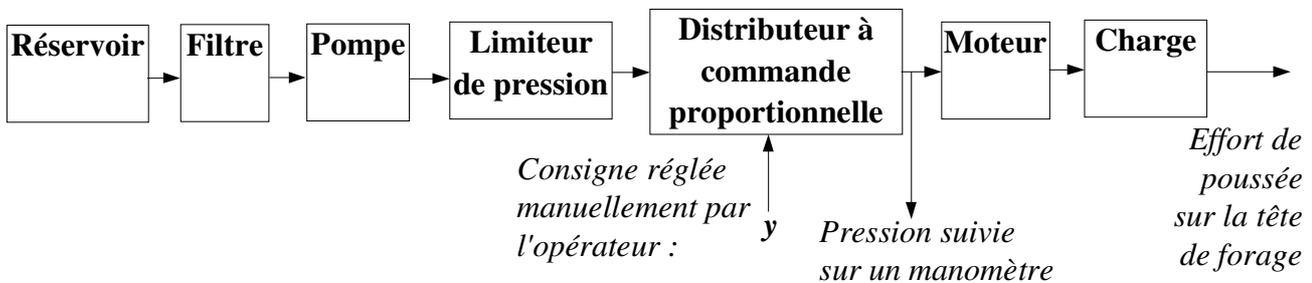


Figure 6 : structure actuelle du système de poussée

La **partie A** traite de l'étude de la structure actuelle.

On souhaite en équipant la machine améliorer la maîtrise de l'effort de poussée en mesurant une grandeur caractéristique de cet effort plus loin dans la chaîne de transmission de puissance : l'effort entre la chaîne et le chariot, et en contrôlant cet effort.

La structure cible du système de transmission de puissance est donc :

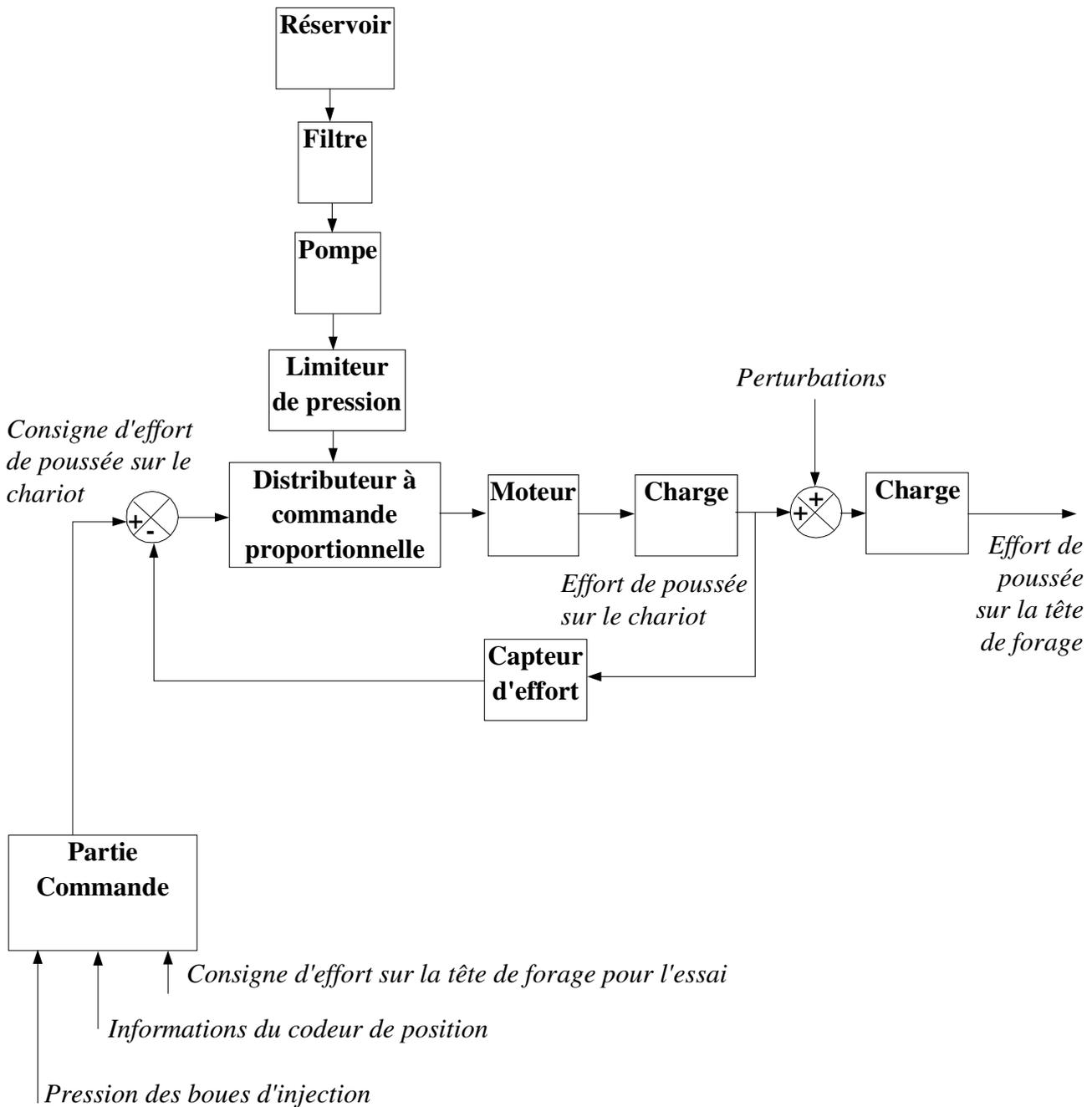


Figure 7 : structure cible du système de poussée

La **partie B** traite de la modélisation de la structure cible.

La **partie C** étudie la boucle d'asservissement de l'effort sur le chariot.

La **partie D** conduit à spécifier la partie commande pour piloter l'ensemble de l'essai et en enregistrer les résultats.

Partie A – Analyse de la structure actuelle

La translation du chariot est assurée par un moteur hydraulique, alimenté par une pompe à cylindrée fixe. Cette pompe est elle même entraînée par le moteur thermique. Le schéma simplifié de ce circuit hydraulique est donné figure 8.

En fonctionnement normal, le moteur thermique tourne à vitesse constante et la pompe hydraulique débite 30l/min. Une partie de ce débit est orienté vers le moteur hydraulique grâce à un distributeur proportionnel à commande manuelle.

On fait l'hypothèse pour la suite de cette partie A que le sol est parfaitement homogène au cours du forage. Par conséquent, la vitesse de descente de la tête de forage est constante pour un effort de poussée et un couple de rotation constants.

Système réducteur + pignons/chaîne entraînant le chariot en translation

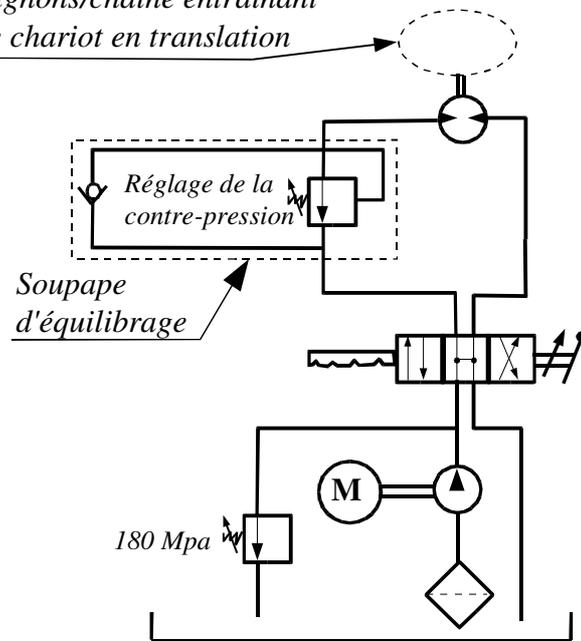


Figure 8 : circuit hydraulique de translation

Q 1 - Expliquer brièvement le rôle de la soupape d'équilibrage dans ce type de circuit.

Q 2 - Indiquer sur le document réponse **DR1**, cadre **Q2**, la correspondance entre le sens de circulation du fluide dans le moteur et les phases de **forage** et de **remontée** du train de tubes.

L'opérateur peut lire sur des manomètres la valeur de la pression en entrée de moteur hydraulique, et la valeur de la contre-pression en sortie de ce moteur. L'essai devant se réaliser à effort de poussée sur la tête de forage constant, le protocole de réglage lui indique de régler le distributeur de manière à obtenir une pression en entrée de moteur hydraulique conforme à la pression correspondant à la poussée objectif sur le diagramme de la figure 9.

Sur cette abaque de réglage de la machine, la poussée est proportionnelle à la pression. La courbe est une droite de pente 16,6 Kg/bar

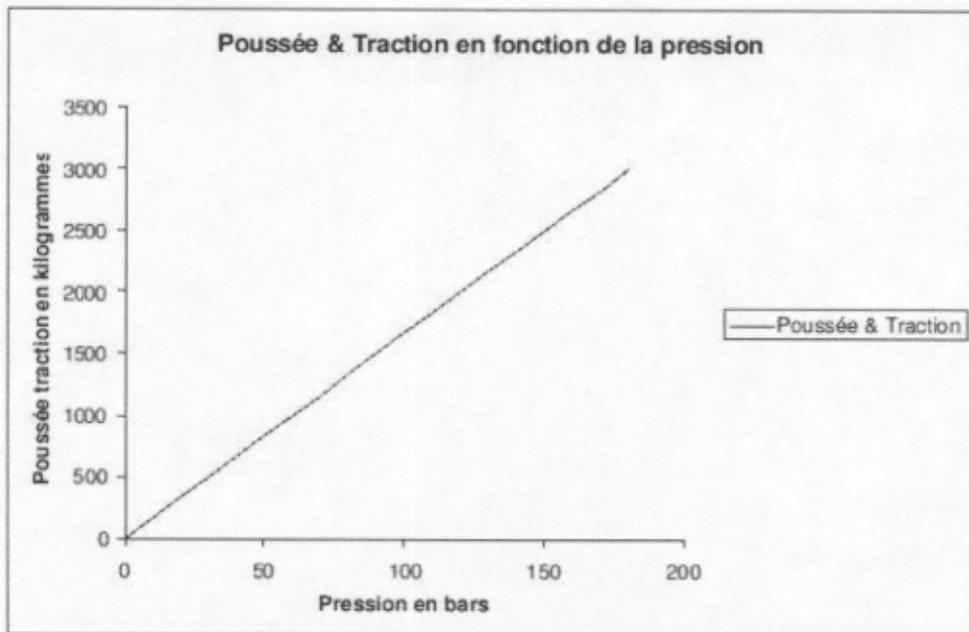


Figure 9 : diagramme de réglage de la poussée

Le diagramme de fonctionnement du moteur hydraulique est donné dans la figure suivante :

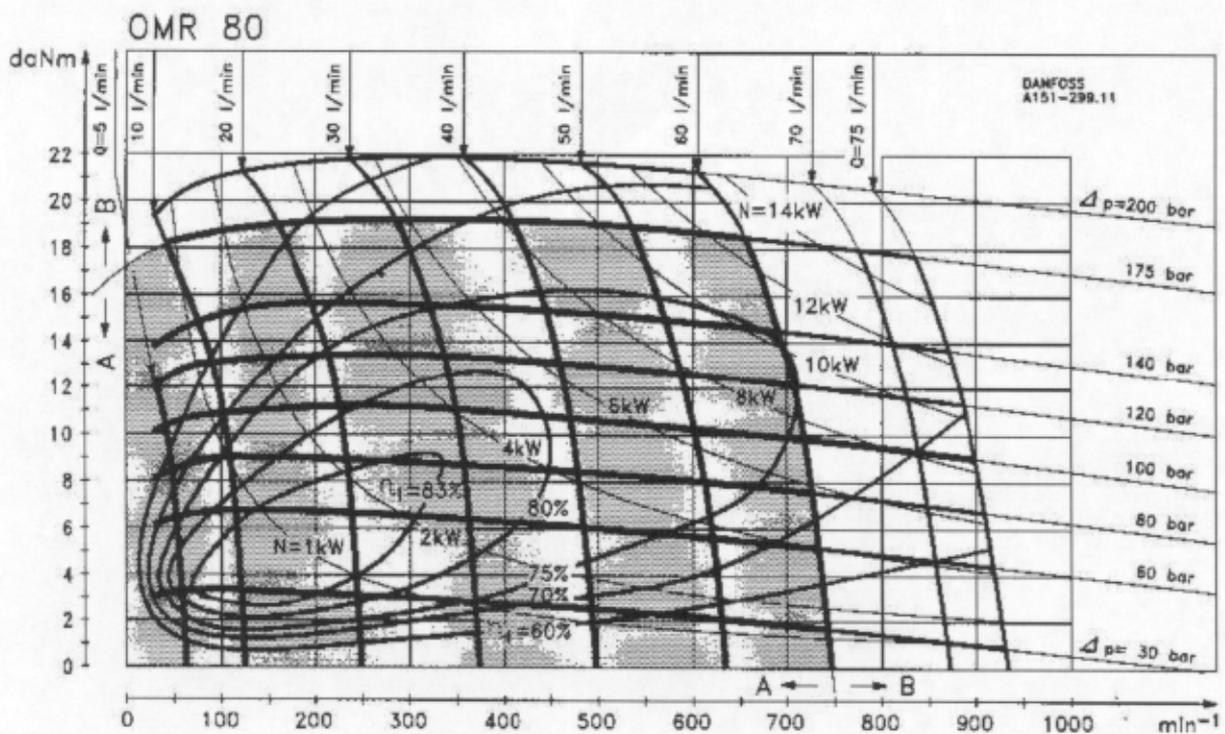


Figure 10 : diagramme de fonctionnement du moteur hydraulique de translation

Q 3 - On suppose que la vitesse de descente de la tête de forage correspond à un débit Q de 30l/min en sortie de moteur. Construire **en rouge** sur le document réponse DRI, dans le cadre Q3 reprenant ce diagramme de fonctionnement, le **point de fonctionnement** correspondant à un réglage de pression de 100 bar (on **néglige la contre-pression**).

Q 4 - Quelles sont dans ce cas les valeurs du couple C_m fourni par le moteur hydraulique, et de la vitesse de rotation Ω_m ?

Le rapport de réduction r du réducteur placé après le moteur hydraulique est de $1/3,8$. Le diamètre du pignon qui entraîne la chaîne est $\phi_p = 50 \text{ mm}$.

Q 5 – Calculer l'effort de poussée F_p sur le chariot de translation à partir de C_m, r et ϕ_p (on négligera les frottements dans le système de transmission).

Q 6 – Déterminer l'écart (en pourcentage) entre l'effort de poussée F_p calculé à la question Q5, et celui fourni par l'abaque de la figure 9.

Au fil de la progression du forage, on rajoute des tubes, et le poids propre du train de tubes augmente. Il est nécessaire de réduire l'effort de poussée généré par le moteur de translation sur le chariot de translation dans les mêmes proportions, pour conserver une poussée constante sur la tête de forage.

Q7 - Sur quel paramètre l'opérateur doit-il agir pour traiter ce phénomène, en conservant une pression en sortie de pompe identique ?

Au fil du temps, l'usure a pour effet de diminuer le rendement volumique η_m du moteur.

Q 8 – Quels paramètres de l'essai varieraient , et dans quel sens si on effectuait le même essai, avec le même protocole de réglage et dans le même terrain mais avec une machine plus usée ?

Q 9 – Le terrain serait-il alors jugé plus résistant, ou moins résistant ?

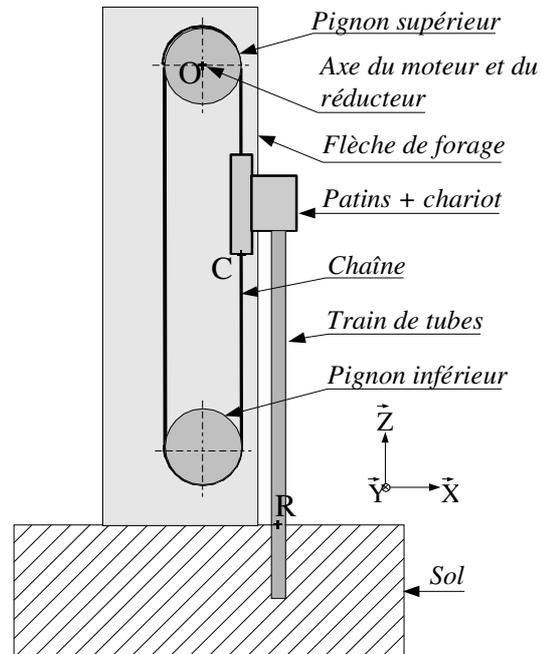
Partie B – Modélisation de la structure cible

La translation du chariot est assurée par un moteur hydraulique, associé à un réducteur (de rapport de réduction r et de rendement $\eta_r=0,95$), suivi d'une transmission par pignons (de diamètre primitif ϕ_p et de rendement $\eta_c=0,98$) et chaîne. Le chariot, entraîné par la chaîne, est guidé en translation sur la flèche de forage par l'intermédiaire de patins. Le chariot pousse le train de tube, dont une partie est émergée, et une partie enfoncée dans le sol.

Le moteur est alimenté par un distributeur électro-hydraulique proportionnel **en pression**, dont la fonction de transfert entre l'intensité i du signal pilotant ce distributeur, et la pression en sortie du distributeur est assimilée pour l'étude à un second ordre de fréquence propre $f_s=140\text{ Hz}$ et de coefficient d'amortissement $Z_s=0,8$. La pression maxi est de 180 bars pour une intensité de 20 mA.

Le capteur de force placé entre la chaîne et le chariot envoie une tension de 10V pour un effort de 3000 daN.

Figure 11 : Schéma de principe du système de translation



Q 10 – Justifier l'utilisation d'une servovalve en **pression**.

On modélise les efforts entre les différents solides en présence, et qui influent sur le mouvement de translation par :

- $C_m * \vec{y}$: couple moteur exercé par le moteur hydraulique sur le réducteur au point O ,
- $-F_p * \vec{z}$: effort de poussée exercé au point C par la chaîne sur l'ensemble chariot+patins+train de tubes,
- $F_r * \vec{z}$: projection sur \vec{z} et au point R de la réaction du sol sur la partie du train de tube enfoncée dans le sol. On a $F_r = F_t + F_f$, avec F_t la réaction du sol sur la tête de forage, et F_f la réaction du sol sur le flanc des tubes enfoncés.

Soit M la masse de l'ensemble chariot+patins+train de tubes (on considère le système dans une configuration où cet ensemble pèse 450 Kg), et Ω_m la fréquence de rotation du moteur hydraulique.

Q 11 – Exprimer littéralement F_p en fonction de C_m, r, ϕ_p, η_r et η_c sous la forme $F_p = \lambda_1 * C_m$. **Calculer** ensuite la valeur numérique de λ_1 en unité SI (équation 1)

Comme l'objectif de l'étude est d'asservir F_p , on va tout d'abord étudier le comportement de l'ensemble chariot+patins+train de tubes. On néglige les frottements entre les patins et la flèche, devant les autres efforts.

Q 12 – En appliquant le principe fondamental de la dynamique à l'ensemble chariot+patins+train de tubes, **exprimer** littéralement $\frac{d\Omega_m}{dt}$ en fonction de F_p, F_r, M et ϕ_p , sous la forme suivante : $\frac{d\Omega_m}{dt} = \lambda_2 * (F_p - F_r) + \lambda_3 * g$. **Calculer** ensuite la valeur numérique de λ_2 et λ_3 en unité SI (équation 2).

Nous allons maintenant caractériser le comportement du moteur hydraulique de translation. Sa cylindrée est de $Cyl = 80,3 \text{ cm}^3/tr$. La cylindrée ramenée à 1 rad est appelée C . L'inertie de l'arbre moteur, du réducteur et des pignons du système pignon/chaînes est $J_m = 30 * 10^{-4} \text{ Kg.m}^2$ ramenée sur l'arbre moteur. Le coefficient de frottement visqueux dans le moteur est $f = 0,018 \text{ Nms}$.

Pour simplifier l'étude, on considérera que ce moteur est symétrique, c'est à dire qu'à chaque instant, le volume à l'admission est égal au volume au refoulement, et que le débit entrant Q est égal au débit sortant, avec $Q = \frac{dV}{dt} = \frac{Cyl}{2 * \pi} * \Omega = C * \Omega$.

Le débit de fuite entre les différents volumes est $\mu = 2,5 \text{ l/min pour } 100 \text{ bars}$. Le coefficient de compressibilité isotherme du fluide est $B = 10^9 \text{ Nm}^{-2}$.

Q 13 – **Exprimer** littéralement le **couple moteur** en fonction de la **chute de pression** à l'intérieur du moteur Δp et de C (équation 3). **Calculer** ensuite la valeur numérique de C en unités SI. **Calculer** le pourcentage d'erreur entre cette valeur et celle que l'on peut tirer du **diagramme de fonctionnement** du moteur donné en figure 10.

Q 14 – **Exprimer** littéralement l'**inertie équivalente du système** ramenée sur l'**arbre moteur** en fonction de J_m, ϕ_p, M et r . **Calculer** ensuite la valeur numérique de J_{eq} .

Q 15 – En appliquant le principe fondamental de la dynamique à l'ensemble **moteur+réducteur+pignons**, **exprimer** littéralement Δp en fonction de $J_{eq}, \Omega_m, \frac{d\Omega_m}{dt}, C, f, \phi_p, \eta_r, \eta_c, r$, et F_p (équation 4).

Q 16 – A partir des équations des débits entrants et sortants, **exprimer** littéralement Q en fonction de $\Omega_m, C, \Delta p, \frac{d\Delta p}{dt}, \mu, V$ et B (équation 5).

A ce stade de l'étude, nous travaillerons en utilisant la transformée de Laplace des relations établies auparavant (variable de Laplace : s)

Q 17 – A partir de la transformée de Laplace des équations 4 et 5, **exprimer littéralement** Q sous la forme $Q(s) = F_1(s) * \Omega(s) + F_2(s) * F_p(s)$

Q 18 – Sur le document réponse **DR2**, **indiquer les grandeurs physiques en entrée et sortie de chaque bloc.**

Q 19 – **Exprimer littéralement, ou le cas échéant numériquement, les fonctions de transfert $K_i(s)$ du diagramme bloc représenté sur le document réponse DR2.**

Partie C – Étude de l'asservissement de l'effort sur le chariot de translation

On étudie dans cette partie le comportement de la structure cible du système. On se place dans une phase de forage, en régime stabilisé. Cela signifie que si le terrain était parfaitement homogène, la vitesse de descente du train de tubes et le débit Q dans le circuit hydraulique seraient constants.

Mais le terrain n'est pas homogène. Le mouvement de descente du train de tubes est perturbé par les variations de résistance à la pénétration de la tête de forage, du terrain rencontré. Pour le mouvement de translation du train de tige, cela se traduit par une variation de l'effort résistant $-F_r * \vec{z}$ exercé par le sol sur le train de tube. (voir Figure 11, partie B).

Q 20 – Si F_r *augmente* (terrain plus dur), *indiquer le sens de variation de Q , de la contre-pression, et de l'effort de poussée sur le chariot. Justifiez brièvement chacune de vos réponses.*

Q 21 – Si F_r *diminue* (terrain plus tendre), *indiquer le sens de variation de Q , de la contre-pression, et de l'effort de poussée sur le chariot. Justifier brièvement chacune de vos réponses.*

On a étudié le comportement de l'asservissement de l'effort de poussée suite aux variations de la contre-pression. Le système est modélisé par le circuit de commande suivant (on utilise s comme variable de Laplace):

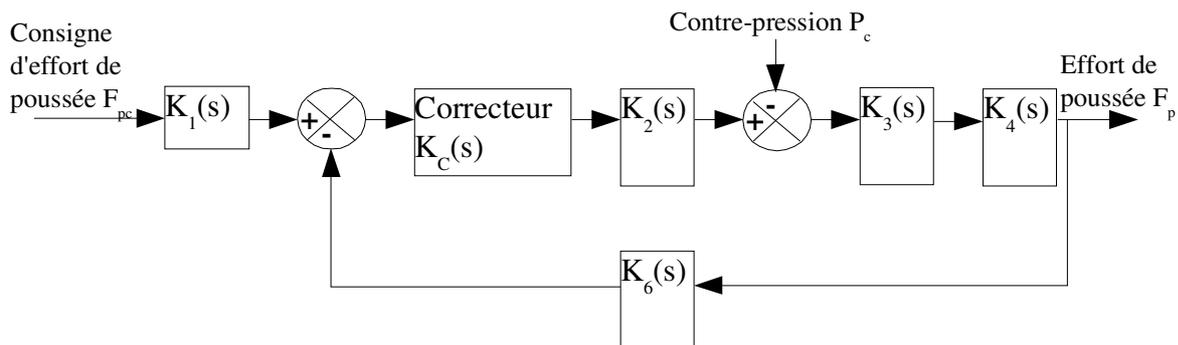


Figure 12 : diagramme bloc de l'asservissement de l'effort de poussée

Q 22 – *Quelle hypothèse faut-il faire pour justifier que l'on étudie la réponse du système à une perturbation de la contre-pression P_c indépendamment du point de fonctionnement auquel on se trouve ?*

Q 23 – Exprimer F_p en fonction de $F_{pc}, P_c, K_C(s), K_1(s), K_2(s), K_3(s), K_4(s)$ et $K_6(s)$.

Q 24 – Exprimer la réponse F_{pp} à une perturbation P_{cp} de la contre-pression en fonction de $K_C(s), K_1(s), K_2(s), K_3(s), K_4(s)$ et $K_6(s)$.

On suppose que cette réponse est de la forme suivante, quand le système n'est pas corrigé, c'est à dire lorsque $K_c(s)=1$:

$$F_{pp} = 3,32 * 10^{-6} * \frac{1 + s + \frac{s^2}{700}}{1 + 3,35 * 10^{-6} s} * P_{cp}$$

Figure 13 : réponse à une variation de la contre-pression

Q 25 – Calculer l'erreur statique de notre système pour une perturbation P_{cc} de la forme d'un échelon unitaire de 3 bar.

Q 26 – Comment annuler cette erreur ?

Partie D – Pilotage de l'essai

On s'intéresse dans cette partie au pilotage du cycle complet de l'essai. Il s'agit de coordonner les actions de la machine et du technicien réalisant l'essai.

On suppose que la machine est dans un état initial où la flèche de forage est en position de travail verticale, les vérins de stabilisation sont mis en place, le chariot de translation est en position haute et il n'y a pas de tube monté sur la tête de rotation.

Le cycle commence sur une demande de préparation de l'essai du technicien depuis le pupitre de commande : réceptivité « *préparer* ». L'étape 20 consiste à la saisie par le technicien des paramètres de l'essai :

- F_{pc} , C_{rc} et P_{ic} : respectivement les consignes d'effort de poussée, de couple de rotation et de pression d'injection des boues de forage,
- pf_M : profondeur maximale de forage à atteindre.

Le technicien indique la fin de cette étape à partir du pupitre de commande : réceptivité « *préparation OK* ». L'étape 30 consiste alors au montage par le technicien d'un nouveau tube. La Partie Commande étudiée indique ce état par l'allumage d'un voyant : « Montage tube ». Le technicien signale la fin du montage à partir du pupitre de commande : réceptivité « *tube monté* ». Le début du grafset de commande a donc la forme suivante :

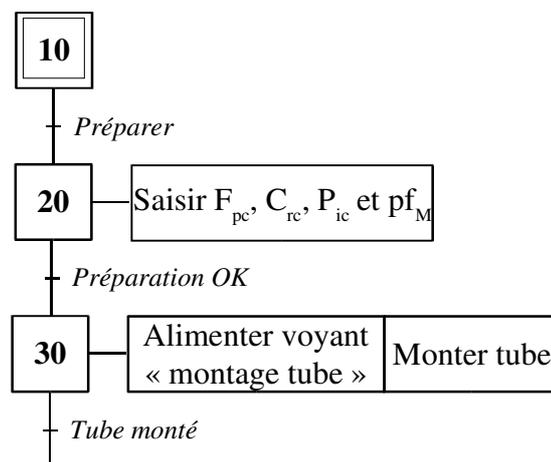


Figure 13 : début du cycle de commande d'un essai

à la fin de l'étape 30, la position du chariot de translation sur la flèche de forage fournie par le codeur est

Ct_1 . Dans cet état, le forage est prêt à démarrer. Pendant le forage, la position du chariot de translation sur la flèche de forage fournie par le codeur sera Ct_i . Lorsque le chariot est en position haute ou basse sur la flèche, cette position prend respectivement les valeurs Ct_h et Ct_b (on gère là des butées « soft »). L'étape 40 consiste à assurer le forage pour enfoncer le tube qui vient d'être monté. Soient les variables la partie commande :

- pf qui représente la profondeur totale déjà forée au cours de l'essai,
- N qui représente le nombre de tube du train de tube.

Q 27 – Dans quelle étape placer l'initialisation de N et de Ct_1 , et avec à quelle valeurs ?

Au cours de l'étape 40, on va commander les actions suivantes :

- « produire et contrôler F_p » (F_p est l'effort de poussée),
- « produire et contrôler C_r » (C_r est le couple de rotation),
- « produire et contrôler P_i » (P_i est la pression des boues d'injection),
- « calculer pf »,
- « enregistrer pf »,
- « calculer V_t », (V_t est la vitesse de descente),
- « enregistrer V_t ».

Q 28 – Exprimer la règle de mise à jour de pf à chaque cycle automate.

Q 29 – Coordonner les actions de l'étape 40 en considérant que 40 est une étape encapsulante (voir en annexe la structuration par étapes encapsulantes).

Le forage s'arrête si la position basse du chariot sur la flèche est atteinte (butée « soft »), ou si la profondeur pf_M est atteinte.

Dans le premier cas, il s'agit, en opération 50, de désolidariser le dernier tube de la tête de rotation (action opérateur) en indiquant cet état par allumage d'un voyant (désolidariser tête de rotation du train de tube »). Une fois ceci fait (réceptivité « désolidarisation OK »), l'étape 60 consiste à remonter le chariot en position haute. Le cycle peut alors continuer.

Dans le second cas, il s'agit de remonter le chariot en position haute étape 70, puis de dévisser le dernier tube (étape 80, action opérateur, ou Partie Commande si la machine est équipée d'un second frein de tige), puis de désolidariser la tête de rotation du dernier tube (étape 90) (action opérateur, indiquée par allumage d'un voyant « désolidariser tête de rotation du train de tube »).

Si il reste des tubes dans le train de tubes, il faut alors redescendre le chariot jusqu'au contact du tube suivant (étape 100), solidariser la tête de rotation avec le train de tube (étape 110), (action opérateur, indiquée par allumage d'un voyant « solidariser tête de rotation avec le train de tube »), et recommencer le cycle de remontée.

Si il ne reste plus de tubes, il reste alors à éditer l'enregistrement de l'essai (étape 120).

Q 30 – Compléter le graphe du document réponse DR3 pour décrire le cycle complet. Ne pas développer l'étape 40. Faire apparaître explicitement les actions de gestion de la variable N .

Q31 – Indiquer comment varie la pression d'injection des boues de forage P_i lorsque la tête de forage rencontre une cavité dans le sol.

On souhaite dans ce cas enregistrer les profondeurs de début et de fin de cavité

Q32 – Proposer un graphe gérant l'enregistrement d'une cavité.

Q33 – Ajouter ce graphe en couleur rouge sur le document réponse DR3.

7.3 Structuration par encapsulation

Il y a encapsulation d'un ensemble d'étapes, dites encapsulées, par une étape, dite encapsulante, si et seulement si, lorsque cette étape encapsulante est active, l'une, au moins, des étapes encapsulées est active. Le spécificateur peut utiliser l'encapsulation pour structurer de manière hiérarchique un grafcet (voir exemple à l'annexe B).

Tableau 10 – Etapes encapsulantes

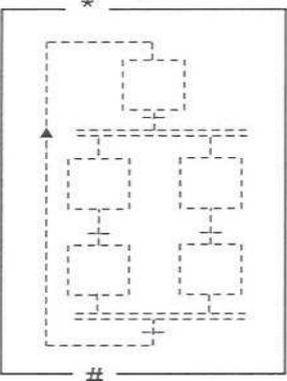
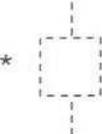
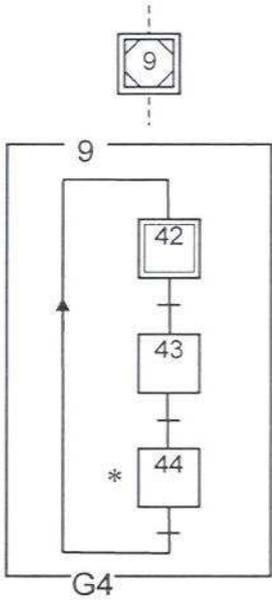
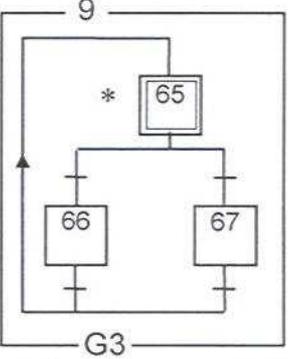
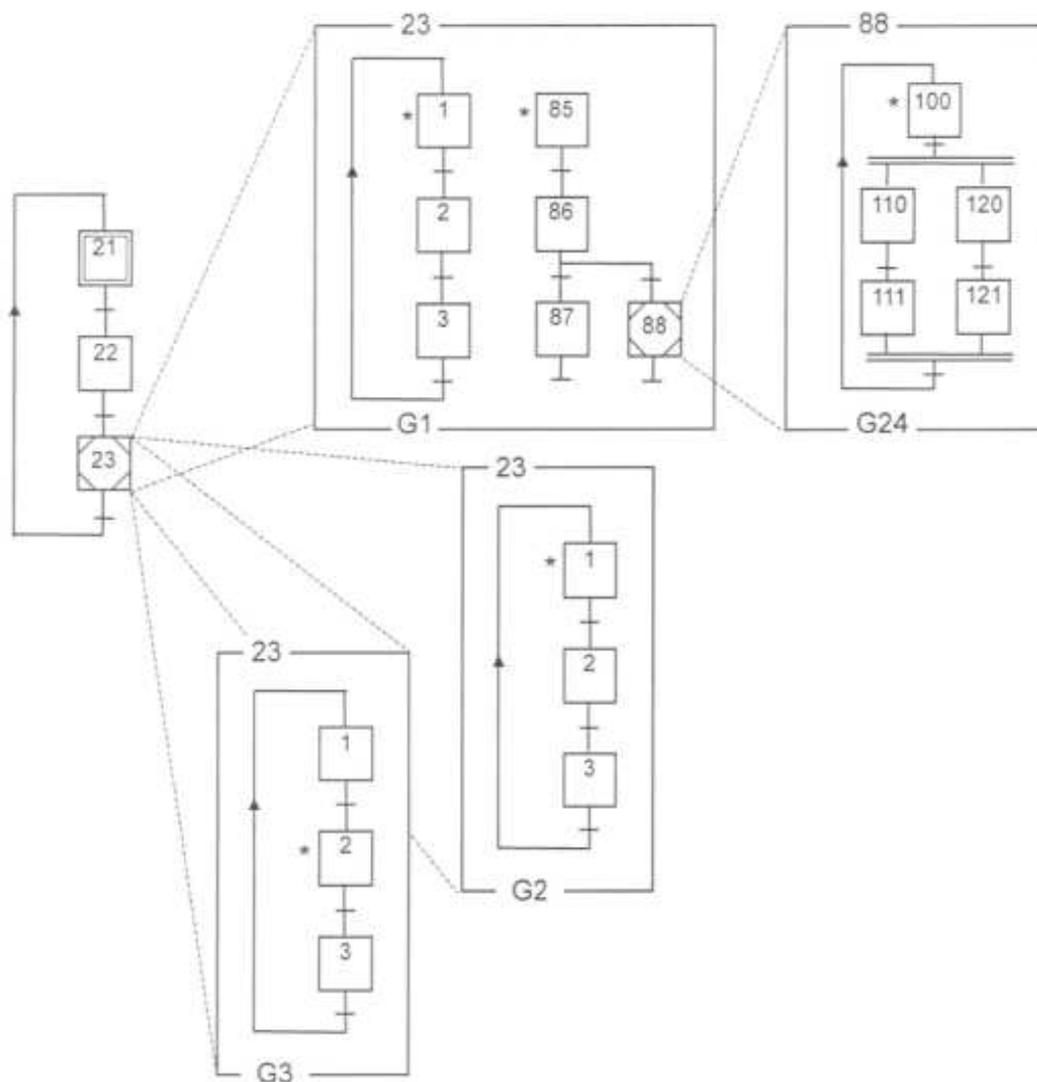
N°	Symbole	Description
[4]		<p>Étape encapsulante (rappel du symbole 4):</p> <p>Cette notation indique que cette étape contient d'autres étapes dites encapsulées dans une ou plusieurs encapsulations de cette même étape encapsulante.</p> <p>L'étape encapsulante possède toutes les propriétés de l'étape, il convient que l'astérisque soit remplacé par le repère d'étape.</p> <p>Une étape encapsulante peut donner lieu à une ou plusieurs encapsulations possédant chacune au moins une étape active lorsque l'étape encapsulante est active, et ne possédant aucune étape active lorsque l'étape encapsulante est inactive.</p>
[39]		<p>Représentation graphique d'une encapsulation:</p> <p>Une encapsulation # d'une étape encapsulante * peut être représentée par le grafcet partiel des étapes encapsulées, ceint d'un cadre sur lequel est placé en haut à gauche le nom * de l'étape encapsulante, et en bas à gauche le repère # de l'encapsulation représentée.</p> <p>Dans une encapsulation, il convient que l'ensemble des étapes encapsulées constitue un grafcet partiel dont le nom peut servir de repère à l'encapsulation correspondante.</p>
[40]	$X^*/G\#$	<p>Désignation globale d'une encapsulation:</p> <p>Une encapsulation # d'une étape encapsulante * peut être décrite globalement par une expression littérale dans laquelle l'étape encapsulante * est désignée par la variable d'étape X*, l'encapsulation par le symbole /, et les étapes encapsulées par le nom du grafcet partiel G# auquel elles appartiennent.</p> <p>NOTE Cette représentation suppose que le grafcet partiel désigné ait été préalablement défini.</p>
[41]	$X^*/X\#$	<p>Désignation élémentaire d'une encapsulation:</p> <p>On peut indiquer par une expression littérale qu'une étape # est encapsulée dans une étape encapsulante * en utilisant les variables d'étape et sans nommer l'encapsulation.</p> <p>NOTE Cette notation convient pour désigner une suite hiérarchique d'étapes encapsulées les unes dans les autres, elle permet également une identification relative des étapes par niveau d'encapsulation.</p> <p>EXEMPLE: X4/X25/X12 désigne l'encapsulation de l'étape 12 dans l'étape 25, elle-même encapsulée dans l'étape 4.</p>

Tableau 10 – (suite)

N°	Symbole	Description
[5]		<p>Etape encapsulante initiale (rappel du symbole 5):</p> <p>Cette représentation indique que cette étape participe à la situation initiale. Dans ce cas, l'une, au moins, des étapes encapsulées dans chacune de ses encapsulations doit être également une étape initiale.</p>
[42]		<p>Lien d'activation, symbole général.</p> <p>Représenté par un astérisque à gauche des symboles d'étapes encapsulées, le lien d'activation indique quelles sont les étapes encapsulées actives à l'activation de l'étape encapsulante.</p> <p>Il ne faut pas confondre le lien d'activation avec l'indication des étapes initiales qui peuvent être encapsulées. Il est toutefois possible qu'une étape initiale encapsulée possède également un lien d'activation.</p> <p>La désactivation d'une étape encapsulante a pour conséquence la désactivation de toutes ses étapes encapsulées. Cette désactivation est souvent le fait du franchissement d'une transition aval de l'étape encapsulante, mais peut également résulter de tout autre moyen de désactivation (forçage ou encapsulation de niveau supérieur).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: center;">G4</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>EXEMPLE:</p> <p>L'étape encapsulante 9 est nécessairement une étape initiale, car elle encapsule l'étape initiale 42.</p> <p>L'encapsulation G4 de l'étape encapsulante 9 contient les étapes 42, 43 et 44.</p> <p>L'étape initiale 42 participe à la situation initiale, elle est donc active à l'instant initial. Par contre, à chaque activation de l'étape 9, consécutive à l'évolution du grafcet, l'étape 44 est activée.</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div style="width: 45%;">  <p style="text-align: center;">G3</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>L'encapsulation G3 de l'étape encapsulante 9 contient les étapes 65, 66 et 67.</p> <p>L'étape initiale 65 participe à la situation initiale, elle est donc active à l'instant initial. Elle est aussi activée à chaque activation de l'étape 9 consécutive à l'évolution du grafcet.</p> </div> </div>



EXEMPLE: Structuration par encapsulation:

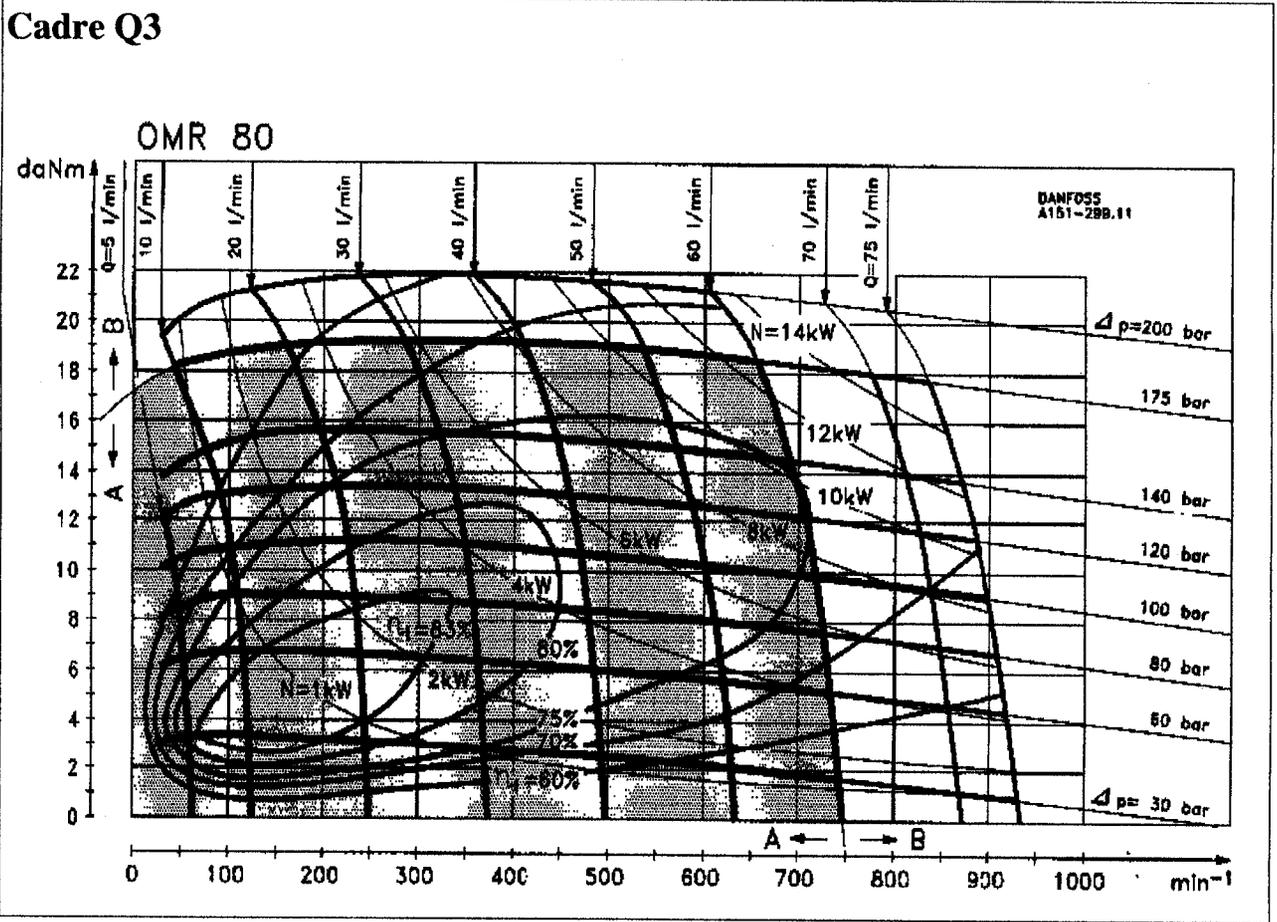
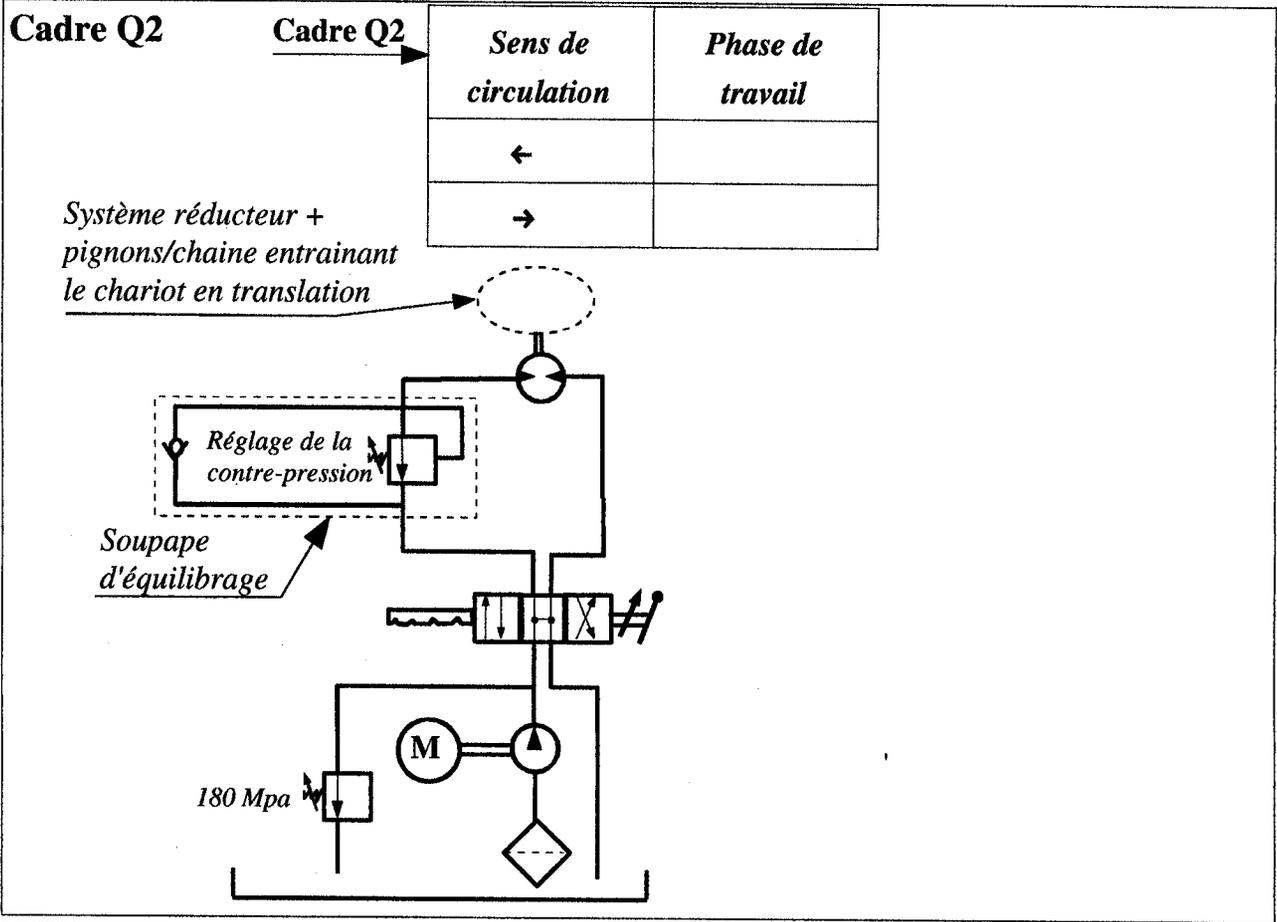
L'étape encapsulante 23 possède 3 encapsulations représentées par les grafjets partiels 1, 2 et 3. Le grafjet partiel 24 est encapsulé dans l'étape 88 du grafjet partiel 1. Lorsque l'étape encapsulante 23 est activée, les étapes 1 et 85 de G1 sont également activées (de même pour les autres encapsulations de 23: G2 et G3).

Lorsque l'étape encapsulante 88 est activée, l'étape 100 de G24 est également activée.

La désactivation de l'étape 88 provoque celle de toutes les étapes de G24.

La désactivation de l'étape 23 provoque celle de toutes les étapes de G1, G2, G3, et de toutes celles de G24 (si l'étape 88 était active).

Document réponse DR1 - (à joindre à la copie relative à la partie A)



Document réponse DR2 - (à joindre à la copie relative à la partie B)

