

## Epreuve de Sciences Industrielles B

Durée 06 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

064

**L'usage de calculatrices est interdit.**

**Aucun document n'est autorisé**

### Composition du sujet :

- 1 cahier de **23** pages de texte, numérotées de **T 1/23** à **T 23/23**.
- **19** pages de documents annexes, numérotées **DA 1/19** à **DA 19/19**.
- 1 livret intitulé « **Cahier Réponse DR1/6 à DR6/6** » à rendre en fin d'épreuve.
- 1 feuille de calque format A3, pré imprimé, à rendre en fin d'épreuve.

**Remarque :** A la fin de ce cahier de 23 pages (pages T22/23 et T23/23), se trouve un tableau récapitulatif des données et des notations principales utilisées dans l'épreuve.

**Matériel autorisé :** tous instruments usuels du dessinateur.

**TOUTES LES CALCULATRICES SONT INTERDITES, QUEL QU'EN SOIT LE TYPE, AINSI QUE LES AGENDAS ELECTRONIQUES ET LES TELEPHONES PORTABLES**

**« LA PRESENTATION, LA LISIBILITE, L'ORTHOGRAPHE, LA QUALITE DE LA REDACTION, LA CLARTE ET LA PRECISION DES RAISONNEMENTS ENTRERONT POUR UNE PART IMPORTANTE DANS L'APPRECIATION DES COPIES. »**

### Gestion du temps :

En admettant une durée d'une demi-heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2 h 00 et 2 h 30 au maximum à la réponse aux questions de la notice et 2 h 30 à 3 h au tracé des dessins.

**Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.**

**Tournez la page S.V.P**

# Conception d'un chariot sur une chaîne de conditionnement de bobines de films plastiques

## A- Cahier des Charges Fonctionnel (extraits)

### A.1 - Le contexte

Les secteurs du Génie Civil et du Bâtiment sont de gros consommateurs de géo membranes. Ces films minces, souples, continus, étanches aux liquides mêmes sous des sollicitations de service sont utilisés pour réaliser une étanchéité entre deux substrats lors de terrassement, de bassins de rétention, d'ouvrages routiers, ferroviaires,...

Ces géo membranes sont généralement fabriquées en polyéthylène, haute et basse densités (HDPE, VFPE), en bitume élastomère, en polypropylène (PP) ou en chlorure de polyvinyle (PVC). Elles sont conditionnées en bobines de différentes longueurs et de différents diamètres.



Fig. 1 - Pose de géomembrane

### A.2 - Le produit à concevoir



Fig. 2 - Stockage de bobines

Le processus de réalisation de ces bobines de géo membranes comprend une étape de fabrication et une étape de conditionnement pendant laquelle la bobine est emballée dans un film plastique protecteur.



Fig. 3 - Conditionneuse

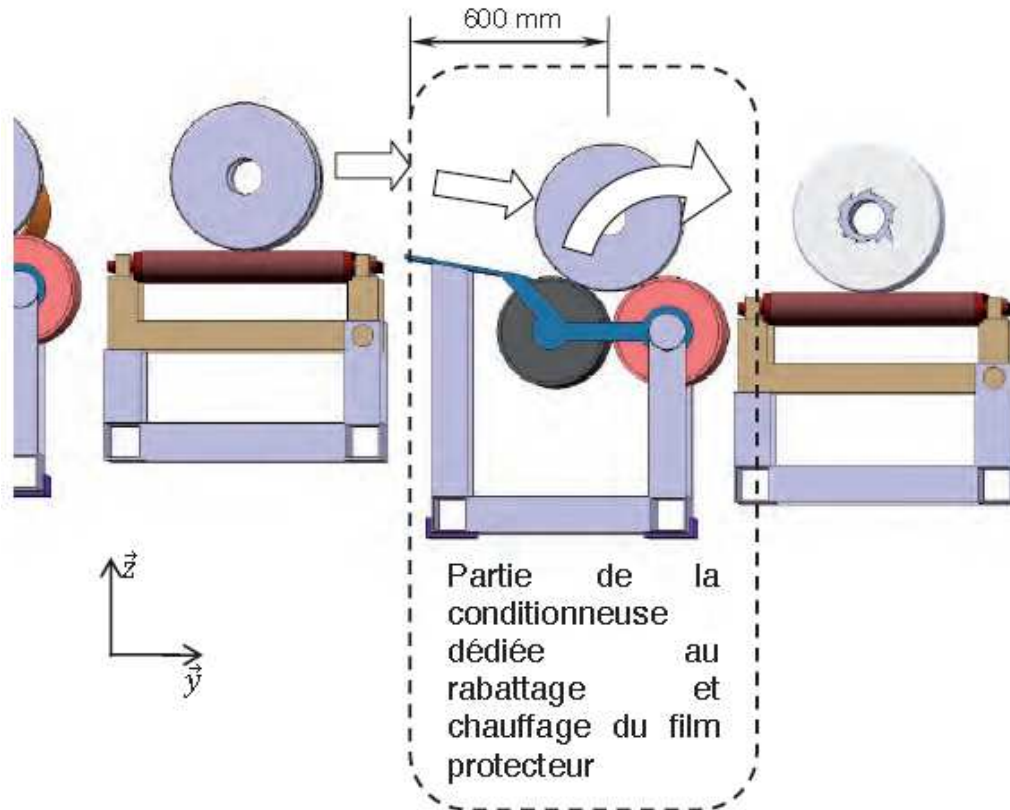
Cette étape de conditionnement est réalisée sur une machine spéciale appelée conditionneuse. Elle comprend plusieurs phases :

- Découpe du film protecteur d'emballage aux dimensions fonction de la taille de la bobine à emballer,
- Enroulage du film protecteur autour de la bobine,
- Rabattage et chauffage des extrémités du film protecteur afin de finaliser la protection de la bobine,
- Marquage de la bobine (traçabilité),
- Evacuation vers l'aire de stockage avec expédition.



Fig. 4 – Film protecteur rabattu

Les fortes cadences de production (plus d'un milliard de m<sup>2</sup> de géo membrane produits à ce jour) imposent des modifications sur la ligne de conditionnement. De ce fait, l'objet de l'étude porte sur la conception d'un sous-système de la conditionneuse, et plus particulièrement pendant la phase de rabattage et chauffage des extrémités du film protecteur.



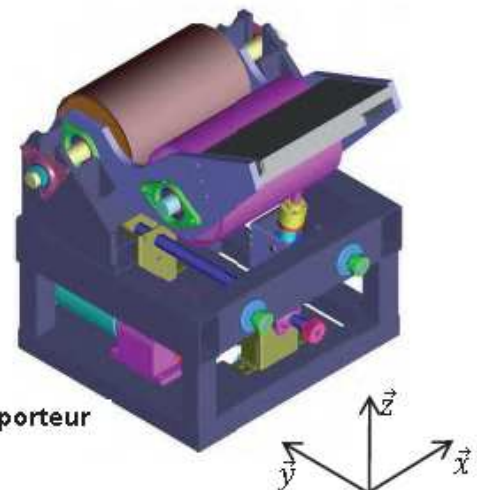
**Fig. 5 - Vue partielle de la conditionneuse**

La solution retenue pour la partie de la conditionneuse dédiée à cette phase est illustrée figure **A1 document DA 2/19**. On y distingue la bobine de géo membrane enroulée dans son film protecteur et supportée par 2 des 3 chariots porteurs. On y distingue également, de chaque côté de la bobine, les deux têtes de rabattage-chauffage.

Afin de pouvoir s'adapter à différentes longueurs de bobines, les 3 chariots porteurs et les deux têtes de rabattage-chauffage sont mobiles en translation d'axe horizontal.

Afin de pouvoir s'adapter aux différents diamètres de bobines et de ne pas entrer en collision avec les chariots porteurs, les deux têtes de rabattage-chauffage sont également mobiles en translation vertical.

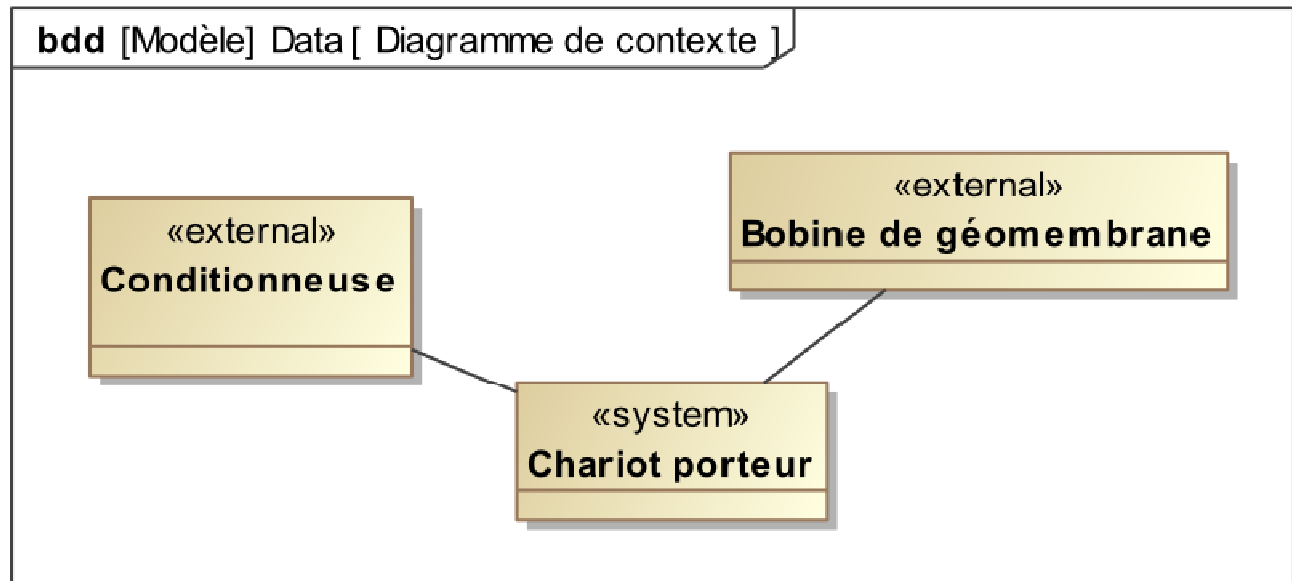
L'étude qui vous est confiée est limitée à la conception des trois chariots porteurs, tous identiques.

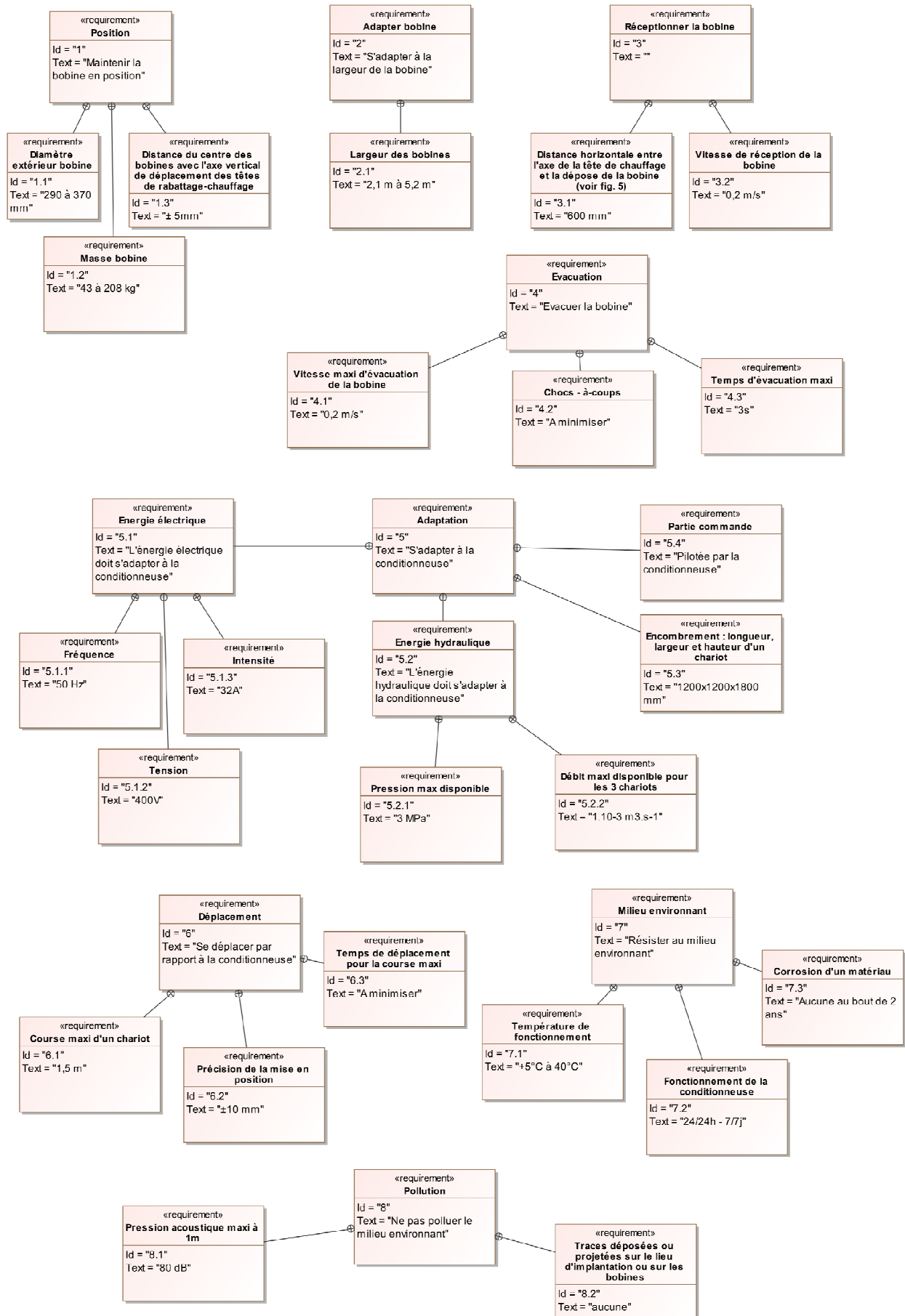


**Fig. 6 – Chariot porteur**

#### A.4 - Diagramme d'exigence

Pendant la phase de fonctionnement normal, le diagramme de contexte et le diagramme d'exigences permettent de spécifier les principales performances attendues par un chariot porteur.





## **B- Etudes et éléments de solutions proposés**

### **B.1 - Architecture générale**

Dans la phase de conception préliminaire, l'architecture retenue pour les chariots porteurs est représentée sur la figure **A2 page DA 3/19** et les trois états particuliers du chariot sont représentés sur la figure **A4 page DA4/19**.

Cette architecture peut répondre globalement aux différentes fonctions énoncées précédemment (FP1 et FC1 à FC7).

La fonction principale FP1, maintenir la bobine en position, est assurée par deux rouleaux (**5** et **6**), libres en rotation, permettant :

- de centrer la bobine par rapport aux têtes de rabattage-chauffage quel que soit le diamètre de la bobine
- de dissiper une partie de l'énergie cinétique de rotation des bobines pendant les phases de réception et d'évacuation de la bobine.

La fonction contrainte FC2, réceptionner la bobine, est assurée par le plateau de réception **4**, incliné de 7° qui permet à la bobine de rouler jusqu'à ce qu'elle vienne en contact avec le rouleau réceptionneur **6** (voir également figure 5).

La fonction contrainte FC3, évacuer la bobine, est assurée par l'ensemble évacuateur, composé principalement de deux bras **2** et **3**, du plateau de réception **4** et du rouleau évacuateur **5**. Cet ensemble est articulé autour de l'axe du rouleau réceptionneur **6** et est mis en mouvement par l'intermédiaire du vérin **{12,13}** jusqu'à ce que par gravité, la bobine roule vers le poste de marquage des bobines.

La fonction contrainte FC5, se déplacer en translation horizontale par rapport à la conditionneuse (se reporter également à la figure **A6 page DA 6/19**), est assurée par :

- quatre galets **14** qui roulent dans des rails solidaires de la conditionneuse,
- le pignon moteur **19**, solidaire de l'arbre de sortie du motoréducteur **17**, qui entraîne l'arbre de transmission **25** et ses 2 pignons de crémaillère **16**. Ces deux pignons de crémaillère **16** engrènent avec les crémaillères fixées sur le banc de la conditionneuse.

Les rails et les crémaillères sont intégrés au banc. Ils sont communs aux trois chariots porteurs.

Certaines dimensions de cette architecture et le nombre de chariots porteurs (trois) permettent de répondre aux fonctions FC2 et FC4.

### **B.2 - Problématique**

Dans la phase de conception détaillée il va falloir s'assurer que les composants choisis, ainsi que leur implantation, respectent le cahier des charges. Il s'agit notamment de :

- Choisir et implanter le vérin **{12,13}**,
- Choisir et implanter les pignons de crémaillère **16**,
- Choisir et implanter les guidages du rouleau réceptionneur **6**,
- Spécifier les supports galets **15**.

Ces différentes études constituent la trame du travail à fournir dans ce sujet.

## C- Etude de conception en construction mécanique

### C.1 - Présentation du travail à rendre

Comme indiqué plus haut en **page T1/23**, en admettant une durée d'une demi-heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2 h 30 et 3 h au maximum à la réponse aux questions de la notice et 2 h 30 à 3 h au tracé des dessins.

**Les réponses seront fournies uniquement sur les deux documents présentés ci-dessous.**

#### C.1.1. Notice justificative (50 % de la note globale)

Fournir les réponses sur **le cahier réponse**, de format A3 horizontal, plié, pré-imprimé recto verso.

**Les réponses sur feuilles de copies additionnelles ou sur papier de brouillon ne seront pas acceptées.**

#### C.1.2. Dessin d'étude de construction mécanique (50 % de la note globale)

Il est à tracer sur le calque pré imprimé de format A3 horizontal, joint au sujet, et qui sera à rendre non plié.

### C.2 - Notice justificative

#### Consignes spécifiques

Sur le cahier réponse, les réponses seront fournies dans les limites des cadres prévus pour chaque question.

Compte tenu de l'interdiction d'utiliser toute calculatrice, les calculs seront réalisés de manière approchée.

Il sera tenu compte, dans la notation, de la clarté et de la concision des réponses. Les schémas doivent être lisibles, précis, et respecter la normalisation en vigueur.

Les écritures au crayon ne seront pas acceptées. La qualité de l'écriture, de l'orthographe et de la syntaxe sera prise en compte dans l'évaluation.

#### C.2.1. Détermination de la course du vérin (fonctions FC2 et FC3)

##### Objectif :

Afin de choisir et d'implanter le vérin **12+13**, il convient de déterminer sa course, son diamètre, et choisir et dimensionner ses liaisons avec les pièces voisines. Dans cette partie il s'agit de déterminer la course du vérin **12+13**.

**Notation :** (se reporter au cahier réponse page **DR1** cadre R1 et figure A4 page **DA 4/19**)

On notera  $\theta$  l'angle définissant la position de l'évacuateur {**2**, **3**, **4**} par rapport à l'horizontale.

Pour les différents points on utilisera les indices :

- R (réception) pour la position réception du rouleau de géotextile (plan passant par l'axe du rouleau de réceptionneur 6 et l'axe du rouleau évacuateur 5 incliné de  $\theta_R = -15^\circ$ ). C'est la position de la figure du document réponse, position pour laquelle la tige du vérin est totalement rentrée.
- T (Travail) pour la position travail, le plan passant par l'axe du rouleau réceptionneur 6 et l'axe du rouleau évacuateur 5 est horizontal ( $\theta_T = 0^\circ$ ).
- Em (Evacuation mini) pour la position définie par l'inclinaison minimum  $\theta_{Em}$  de l'évacuateur 2+3+4 permettant d'évacuer toutes les bobines de géotextile par gravité.
- E (Evacuation) pour la position définie par la course du vérin choisi (tige de vérin totalement sortie).
- GB (grosses bobines) pour les bobines de géotextile de plus grand diamètre et PB (petites bobines) pour celles de plus petit diamètre.

**Q1** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R1** du cahier réponse

**En position travail, tracez les points BT, CT, GPB-T et GGB-T.**

**Q2** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R2** du cahier réponse

**Quel critère du cahier des charges, la position des deux points  $G_{PB-T}$  et  $G_{GB-T}$ , vérifie-t-elle ?**

**Q3** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R3** du cahier réponse

**Lors de la phase d'évacuation, à partir de quelle condition sur la position du centre de gravité  $G_B$  d'une bobine, celle-ci sera évacuée par gravité ?**

**Q4** Inscrivez votre réponse dans les cadres **R1** et **R4** du cahier réponse

**L'évacuateur doit être capable d'évacuer des grosses et des petites bobines. Quel type de bobine (grosse ou petite), permet de déterminer l'angle d'inclinaison minimum d'évacuation  $\theta_{Em}$  permettant d'évacuer aussi bien des grosses que des petites bobines? Justifiez votre réponse dans le cadre R1 en traçant les angles  $\theta_{Em-GB}$  et  $\theta_{Em-PB}$  correspondant au débattement angulaire minimum permettant l'évacuation des petites et grosses bobines.**

**Q5** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R5** du cahier réponse

**En position inclinaison minimum d'évacuation, tracer le point  $C_{Em}$ .**

**Q6** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R6** du cahier réponse

**Quelle est la course minimum du vérin 12+13 ( $course_{13 \min}$ ) qui permet l'évacuation de tout rouleau de géotextile ?**

Quelle que soit la réponse précédente, le vérin choisi aura une course normalisée de 400mm.

**Q7** Inscrivez votre réponse dans les cadres **R1** et **R7** du cahier réponse

**En position « tige de vérin totalement sortie », tracez l'angle  $\theta_E$ - En déduire le débattement angulaire total de l'évacuateur.**



### C.2.2. Choix du type de liaison du vérin et de ses pièces voisines (fonctions FP1, FC2 et FC3)

#### Objectif :

Faire un choix de type de liaison cinématique entre le vérin {12,13} et l'évacuateur {2, 3, 4}, et entre le vérin {12,13} et le châssis 1.

#### Contexte :

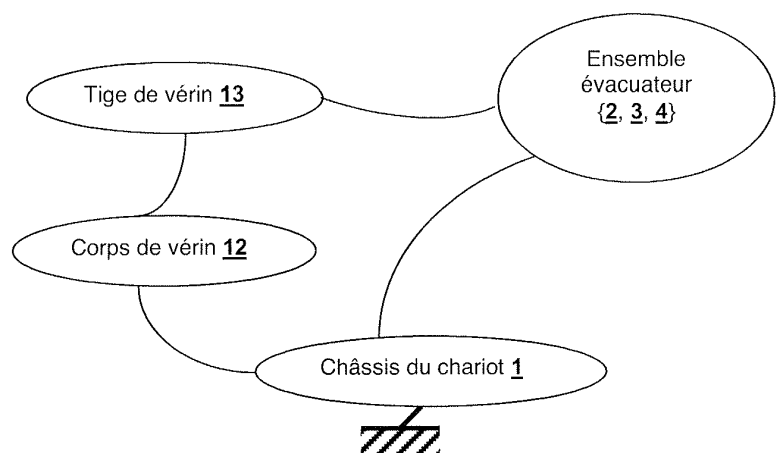
Lorsque l'on choisit un vérin chez un constructeur, il faut choisir les solutions technologiques retenues pour lier le corps du vérin à son support, et la tige du vérin à la pièce avec laquelle elle est liée. Les différentes solutions technologiques possibles autorisent ou non certaines mobilités.

#### Démarche retenue :

Définir la mobilité souhaitée du système, proposer différentes combinaisons de liaisons cinématiques permettant de respecter la mobilité définie, faire un choix justifié.

#### Système étudié :

Le système étudié est constitué du châssis du chariot 1, de l'évacuateur {2, 3, 4}, du corps de vérin 12, de la tige de vérin 13. Le mouvement souhaité est une rotation d'axe (A,x) de l'évacuateur {2, 3, 4} par rapport au châssis 1. Le graphe des liaisons mécaniques incomplet est donné **figure 7** ci-contre.



**Fig. 7 - Graphe incomplet des liaisons mécaniques**

#### Hypothèses :

Les liaisons sont considérées comme parfaites.

Le guidage de l'évacuateur {2, 3, 4}, par rapport au châssis 1 est modélisée par une liaison pivot d'axe  $\vec{x}$ .

#### Notation :

On notera  $Li/j$  la liaison cinématique entre la classe d'équivalence  $i$  et la classe d'équivalence  $j$ .

On notera  $D Li/j$  le degré de liaison (nombre de paramètres non nuls du torseur des efforts transmissibles) de la liaison  $Li/j$ .

**Q8** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R8** du cahier réponse

**Définissez le nombre de mobilités utiles souhaitées  $m_u$  du système étudié.**

**Q9** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R9** du cahier réponse

**Il est préférable que le système soit isostatique, pour quelles raisons ?**

**Q10** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R10** du cahier réponse

**Donnez la relation exprimant le degré d'hyperstatisme  $h$  en fonction du nombre de pièces en mouvement  $n_p$ , des différents degrés de liaison, du nombre de mobilités utiles  $m_u$  et du nombre de mobilités internes  $m_i$ .**

**Q11** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R11** du cahier réponse

**Pour cette étude, par quel type de liaison modélise-t-on la liaison  $L_{12/13}$  ? Donnez la valeur de  $DL_{12/13}$ .**

**Q12** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R12** du cahier réponse

**Chaque ligne du tableau du document réponse DR2/6 répertorie une combinaison de liaisons permettant le fonctionnement du système. Complétez le tableau en :**

- reportant les réponses des questions Q8 et Q11 dans les cases marquées « \* »,
- complétant les cases non grisées de chaque ligne du tableau,
- complétant les schémas cinématiques minimaux.

**Parmi les 8 solutions du tableau, lesquelles préconisez-vous ? Justifiez votre réponse.**

### **C.2.3. Détermination du diamètre du vérin (fonction FP1)**

#### **Cycle de fonctionnement : (se reporter figure A4 page DA 4/19)**

Les bobines de géotextile reposent sur deux ou trois chariots, en fonction de leur longueur.

Les évacuateurs (des deux ou trois chariots) sont en position « réception » (vérins totalement rentrés). La bobine de géotextile arrive depuis l'arrière de la conditionneuse.

Une fois que la bobine repose sur les rouleaux récepteurs **5** et évacuateurs **6**, les tiges des vérins **12+13** sortent pour amener la bobine de géotextile en position travail ( $\theta_T = 0^\circ$ ).

Lorsque les têtes de rabattage-chauffage ont terminé leur tâche, les tiges des vérins **12+13** terminent leur course pour mettre l'ensemble évacuateur **{2+3+4+5+6+7+8+10+11}** en position évacuation (vérin totalement sorti).

Les positions extrêmes (réception et évacuation) sont obtenues en rentrant et en sortant totalement la tige du vérin. La position travail est obtenue par blocage du fluide dans le vérin.

#### **Notations :**

L'effort du solide **1** sur le solide **2** appliqué au point A sera noté  $\overrightarrow{A_{1/2}}$ .

Le centre de gravité de l'ensemble évacuateur est le point  $G_{\text{évac R}}$ .

Le centre de gravité de la bobine de géotextile est noté  $G_{\text{GB-R}}$ .

#### **Données :**

L'ensemble évacuateur **{2+3+4+5+6+7+8+10+11}** d'un chariot a une masse  $m_{\text{évac}}$  de 280 kg.

La bobine de géotextile la plus lourde a une masse  $m_{\text{rg}}$  de 210kg. Cette bobine repose sur 3 chariots.

La pression d'alimentation du système est de 2 MPa.

### Hypothèses :

L'étude sera considérée comme un problème plan.

Le poids du vérin est négligé.

Les liaisons sont considérées comme parfaites.

L'accélération de la pesanteur a pour norme  $10\text{m.s}^{-2}$ .

Le poids de la bobine est réparti équitablement sur les rouleaux qui la soutiennent.

**Q13** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R13** du cahier réponse

**Afin de respecter la fonction FP1 du cahier des charges, et en considérant le cycle de fonctionnement, faut-il choisir un vérin pneumatique ou un vérin hydraulique ? Justifiez.**

**Q14** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R14** du cahier réponse

**Déterminez la masse  $m_{\text{globale}}$  de l'ensemble évacuateur et de la part de bobine de géotextile à soulever par le vérin d'un chariot. Après avoir déterminé par la méthode de votre choix la position du centre de gravité  $G_{\text{global}}$  de cet ensemble, tracez ce point  $G_{\text{global}}$  sur la figure et tracez le vecteur correspondant au poids de cet ensemble  $P_{\text{global}}$  (échelle :  $10\text{mm} \rightarrow 500\text{N}$ ).**

**Q15** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R15** du cahier réponse

**Déterminez la direction de l'effort  $\overrightarrow{C_{13/2}}$ . Précisez votre démarche (Théorème, isolement...).**

**Q16** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R16** du cahier réponse

**Après avoir isolé l'ensemble évacuateur + la bobine de géotextile, complétez le tableau « bilan des actions mécaniques ». Lorsque la grandeur est inconnue avant résolution, mettez « ? ».**

**Q17** Inscrivez votre réponse dans les cadres **R14** et **R17** du cahier réponse

**Par une méthode graphique, déterminez la norme de l'effort  $\overrightarrow{C_{13/2}}$ .**

En prenant en compte une marge de sécurité, on souhaite obtenir un effort de 3000N pour le vérin.

**Q18** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R18** du cahier réponse

**Calculez de manière approchée le diamètre minimum  $\Phi D_{\text{piston min}}$  du piston du vérin.**

**Q19** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R19** du cahier réponse

**Choisissez le diamètre du vérin  $\Phi D_{\text{piston}}$  dans le catalogue constructeur page DA 5/19.**

### **C.2.4. Implantation du vérin (fonctions FP1, FC2 et FC3)**

#### Objectif :

Dimensionner quelques grandeurs de la chape à l'extrémité de la tige de vérin.

#### Contexte :

L'effort maximal développé par le vérin {12,13} étant déterminé par une étude statique, le choix de la solution technologique définissant la liaison tige 13 / évacuateur étant réalisé, il convient à présent de déterminer le diamètre de l'axe 24 et des dimensions de la chape du bras gauche 3.

### Démarche retenue :

Identifier les zones fortement sollicitées sur les deux pièces, écrire les conditions de résistance de ces zones, puis proposer des matériaux résistant aux conditions d'utilisation, ou, déterminer certaines dimensions en fonction de matériaux imposés.

L'articulation simplifiée est représentée dans le cadre **R20** du cahier réponse dans la position pour laquelle l'effort du vérin {12,13} est maximal. Pour ce type de liaison, il convient de vérifier le non-cisaillement de l'axe **24** et le non-matage de la chape du bras gauche **3**. Ces deux critères sont les critères prépondérants dans notre cas.

### Données :

Quels que soient les résultats précédents, l'effort maximal développé par le vérin est :

$$F_{\text{vérin max}} = 4000 \text{ N}$$

Le choix de l'extrémité standard de la tige de vérin impose pour le diamètre de l'axe **24** :

$$d_{24} = 20 \text{ mm}$$

Le matériau retenu pour la chape **3** a pour désignation S235. Certaines de ses caractéristiques sont données ci-dessous :

Résistance à la rupture	$R_r$	340	Mpa
Limite d'élasticité en traction	$R_e$	235	Mpa
Résistance au glissement	$R_a$	120	Mpa
Pression admissible au matage	$P_{\text{adm\_mat}}$	100	Mpa

Le coefficient de sécurité retenu pour l'articulation est  $s = 3$ .

**Q20** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R20** du cahier réponse

**Sur les 4 vues, tracez en rouge les sections cisillées de l'axe 24 et en bleu des surfaces matées de la chape 3. Mettez en place sur cette figure les paramètres géométriques permettant de calculer ces surfaces.**

**Q21** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R21** du cahier réponse

**Dans les sections cisillées de l'axe 24, écrivez la relation liant la contrainte de cisaillement maximale  $\tau_{\text{max}}$  en fonction du diamètre  $d_{24}$  de l'axe 24 et de l'effort  $F_{\text{vérin\_max}}$ .**

**Q22** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R22** du cahier réponse

**Proposez une famille de matériaux pour l'axe 24 en justifiant votre choix par un calcul.**

### Modèle retenu:

Le calcul de résistance au matage s'effectuera avec l'hypothèse d'une répartition uniforme de pression sur la surface projetée.

**Q23** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R23** du cahier réponse

**Pour les surfaces matées de la chape 3, écrire la relation liant la pression de matage maximale  $P_{\text{mat\_max}}$  en fonction des paramètres géométriques et de l'effort  $F_{\text{vérin\_max}}$ .**

**Q24** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R24** du cahier réponse

**Quelle dimension peut-on déterminer à présent ? Donnez la relation permettant de calculer sa valeur minimale, et donnez celle-ci. Commentez ce résultat.**

### C.2.5. Etude de la transmission de puissance permettant la translation des chariots porteurs (fonction FC1, FC4 et FC5). Se référer aux figures A6 et A7 documents DA 6/19 et DA 7/19.

#### Objectif :

Il s'agit de choisir un motoréducteur parmi 8 propositions ainsi que le module et le nombre de dents des pignons de crémaillère 16.

#### Démarche retenue :

Les nombreux paramètres étant interdépendants et certains discrets, il s'agit d'établir les relations les liant, de renseigner une feuille de calcul avec ces relations, et d'utiliser cette feuille de calcul afin de faire un choix optimum.

#### Notations

$N_N$  : Fréquence de rotation nominale en sortie du moto-réducteur 17.

$C_N$  : Couple nominal en sortie du moto-réducteur 17.

$V_N$  : Vitesse nominale de translation du chariot.

$C_D$  : Couple de démarrage en sortie du moto-réducteur 17.

$R_r$  : Rapport de réduction du réducteur 17.

Nombre de dents des pignons de crémaillère 16 :  $Z_{16}$

Module des pignons de crémaillère 16 :  $m_{16}$

Angle de pression des pignons 16 :  $\alpha_{16}$

Largeur des pignons de crémaillères 16 :  $b$  avec  $b = 7,5 \times m_{16}$

Effort tangentiel sur une dent d'un pignon 16 :  $F_{T16}$

Accélération du chariot pendant la phase  $i$  :  $\|\vec{a}_i\|$

Durée de la phase  $i$  :  $T_i$

Distance parcourue pendant la phase  $i$  :  $D_i$

Rendement d'un système :  $\eta_{\text{syst}}$

#### Caractéristiques du moteur de translation :

Le moteur a été choisi pour des critères de standardisation au sein de l'entreprise. Cela permet de limiter les stocks de pièces détachées pour l'ensemble des machines :

- Type : Moteur frein asynchrone triphasé à 2 paires de pôle.
- Référence : 112M/4

#### Caractéristiques des réducteurs

Le moteur 112/M4 est accouplé à un réducteur. L'entreprise dispose de huit moto réducteurs standards dont certaines caractéristiques sont données ci-contre.

référence motoréducteur	$N_s$ en $\text{min}^{-1}$	$C_N$ en N.m	$C_D/C_N$	$R_r$
SK 33 - 112/M4 $R_r = \dots$	94	406	1,2	15,6
	148	258	1,9	9,83
	210	182	2,3	6,9
	283	135	2,6	5,12
SK30-112/M4 $R_r = \dots$	359	106	2	3,96
	483	79	2	2,94
SK 25 - 112/M4 $R_r = \dots$	557	69	1,7	2,55
	729	52	1,6	1,92

### Données :

Masse en translation liée au chariot  $m_{\text{chariot}}$  : 900kg

Longueur moyenne de translation du chariot  $L_{\text{moy}}$  : 1,5m

Les pignons de crémaillères **16** sont en Cu Zn39 Pb2. ( $R_{pe16}=100\text{MPa}$ ). L'angle de pression  $\alpha_{16}$  est de  $20^\circ$ .

Afin de « standardiser » les stocks, tous les pignons **19**, **20** et **21** sont identiques. En conséquence, le système pignons-chaîne a un rapport de réduction de un.

Quel que soit le réducteur retenu, le couple de freinage  $C_f$  lorsque le moto-réducteur **17** n'est pas alimenté est de 60N.m.

### Hypothèses :

Les liaisons entre les 4 galets **14** et le chariot sont considérées comme parfaites. Il en est de même pour les liaisons entre les 4 galets **14** et les rails (résistance au roulement négligée).

Les pertes mécaniques du système pignons (**19**, **20** et **21**), chaîne (**23**), pignons (**16**) et crémaillères seront négligées ( $\eta=1$ ).

Les inerties des pièces en mouvement de rotation sont négligées.

Le couple de démarrage d'un moto-réducteur asynchrone **17** peut être considéré comme constant pendant toute la phase d'accélération.

L'évolution de la vitesse de translation du chariot est considéré comme trapézoïdale, ou triangulaire dans le cas où le moteur n'a pas le temps d'atteindre sa vitesse de rotation nominale (se référer à la figure **A8** document **DA 7/19**).

L'évolution de la vitesse de translation du chariot ne dépend donc que des choix du réducteur, du moteur et des paramètres du système pignon-crémaillère. Il s'agit d'optimiser le temps de déplacement des chariots, un gain de temps génère généralement un gain de productivité.

Les questions qui suivent ont pour objectif de déterminer les différentes « relations » à utiliser dans notre feuille de calcul.

**Q25** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R25** du cahier réponse

**On peut écrire que le couple sur l'arbre de transmission  $C_{20/25}$  est égal au couple en sortie du motoréducteur  $C_{17/19}$ . Quelles sont les deux hypothèses ou données qui permettent cette affirmation ?**

**Q26** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R26** du cahier réponse

**Après avoir précisé le système isolé, le théorème utilisé, l'axe sur lequel il est projeté, donnez la relation donnant  $F_{T16}$ , l'effort tangentiel sur une dent d'un pignon **16** en fonction du couple nominal  $C_N$  du motoréducteur **17**, du diamètre primitif  $D_{p16}$  des pignons **16** et du rapport  $C_D/C_N$ .**

**Q27** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R27** du cahier réponse

**En utilisant le principe fondamental de la dynamique appliqué à l'ensemble en translation rectiligne, exprimez la norme de l'accélération  $\|\vec{a}_I\|$  du chariot en fonction de sa masse  $m_{\text{chariot}}$ , du couple nominal  $C_N$  du motoréducteur **17**, du diamètre primitif  $D_{p16}$  du pignon **16** et du rapport  $C_D/C_N$ .**

**Q28** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R28** du cahier réponse

**Par analogie, pendant la phase de freinage, exprimez la norme de l'accélération  $\|\vec{a}_I\|$  du chariot en fonction de sa masse  $m_{\text{chariot}}$ , du couple de freinage  $C_f$  du motoréducteur et du diamètre primitif du pignon  $D_{p16}$ .**

**Q29** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R29** du cahier réponse

**Exprimez la durée  $T_1$  de la phase 1, en fonction de  $\|\vec{a}_1\|$  et  $V_N$ .**

**Q30** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R30** du cahier réponse

**Exprimez la distance  $X_1$  parcourue pendant la phase 1, en fonction de  $T_1$  et  $V_N$ .**

**Q31** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R31** du cahier réponse

**Exprimez la durée  $T_3$  de la phase 3, en fonction de  $\|\vec{a}_3\|$  et  $V_N$ .**

**Q32** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R32** du cahier réponse

**Exprimez la distance  $X_3$  parcourue pendant la phase 3, en fonction de  $T_3$  et  $V_N$ .**

**Q33** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R33** du cahier réponse

**Pour une évolution des vitesses triangulaire, exprimez  $V_{Nmax}$ , la vitesse nominale maximale théorique du chariot, en fonction de  $\|\vec{a}_1\|$ ,  $\|\vec{a}_3\|$  et  $L_{moy}$ .**

**Q34** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R34** du cahier réponse

**Exprimez  $V_N$ , la vitesse nominale de translation du chariot, en fonction de la fréquence de rotation  $N_N$  du motoréducteur et du diamètre primitif  $D_{p16}$  du pignon 16.**

Remarque : si  $V_N$  est supérieure ou égale à  $V_{Nmax}$ , alors  $V_N$  sera égale à  $V_{Nmax}$  et l'évolution des vitesses sera triangulaire. Dans le cas contraire, le moteur atteindra sa vitesse nominale à la fin de la phase d'accélération, précédant une phase de déplacement à vitesse constante (évolution des vitesses trapézoïdale)

**Q35** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R35** du cahier réponse

**Exprimez la distance  $X_2$  parcourue pendant la phase 2 en fonction  $X_1$ ,  $X_3$  et  $L_{moy}$ .**

**Q36** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R36** du cahier réponse

**Exprimez la durée  $T_2$  de la phase 2 en fonction de  $X_2$  et  $V_N$ .**

Il s'agit à présent de déterminer approximativement l'effort maximal admissible sur une dent des pignons 16 en utilisant la méthode de LEWIS (se reporter à la **figure A9** page **DA 8/19**)

Pour cela il faut déterminer les coefficients  $Y$  et  $K_v$ .

Le nombre de dents d'un pignon pour système pignon-crémaillère doit être supérieur ou égal à dix-huit pour éviter des problèmes d'interférences.

**Q37** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R37** du cahier réponse

**Quel est le nom usuel du matériau utilisé pour les pignons 16 ? Donnez sa composition. Quelle est la principale caractéristique qui a déterminé ce choix ?**

**Q38** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R38** du cahier réponse

**Exprimez le diamètre primitif  $D_{p16}$  du pignon en fonction du module  $m_n$  et du nombre de dents  $Z_{16}$ .**

**Q39** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R39** du cahier réponse

**En admettant que le nombre optimum de dents  $Z_{16}$  est inférieur à 30, énoncez une expression approchée (sous la forme  $V = c_1 + c_2 Z_{16}$ ) de la valeur du coefficient  $Y$  en fonction du nombre de dents  $Z_{16}$ .**

**Q40** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R40** du cahier réponse

**Exprimez le coefficient  $K_v$  en fonction de  $V_N$ .**

**Q41** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R41** du cahier réponse

**Exprimez la valeur de l'effort tangentiel maximum admissible  $F_{T16max adm}$  sur une dent en fonction de la Résistance pratique à l'extension  $R_{pe}$  du matériau du pignon 16 et de ses caractéristiques géométriques  $Y, b, m_{16}$ .**

Une feuille de calcul a été réalisée avec les relations établies précédemment. Cette feuille de calcul est exploitée en faisant varier  $Z_{16}$  et  $m_{16}$  pour 9 couples de valeurs (se reporter figures **A10**, **A11** et **A12** documents **DA 9/19** à **DA 11/19**).

**Q42** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R42** du cahier réponse

**Le tableau du cadre réponse **R42** rassemble les différentes combinaisons possibles de nombres de dents  $Z_{16}$ , modules  $m_{16}$  et rapports de réduction  $R_r$  des 3 pages **DA 9/19** à **DA 11/19**. Entourez les cases du tableau pour lesquelles le réducteur convient.**

**Q43** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R43** du cahier réponse

**Parmi les solutions possibles, choisissez la solution optimisée en temps. Donnez la réponse sous la forme «  $Z_{16} - m_{16} - R_r$  ».**

### **C.2.6. Choix des différents paliers à roulement (fonctions FP1 et FC3)**

#### **Objectif:**

Justifier les choix des types de roulements utilisés, et des démarches de calculs utilisées.

#### **Contexte :**

Afin de faciliter la maintenance des équipements sur tout le site de production, les différents paliers à roulements ont été retenus dans un ensemble réduit de composants. Pour chaque guidage en rotation, un fournisseur propose un type et une dimension de roulement. Il s'agit de vérifier ses choix.

#### **Ressources :**

Les documents pages **DA 12/19** et **DA 13/19** rappellent :

- le principe de charge dynamique de base d'un roulement,
- le principe de charge statique de base d'un roulement,
- les principaux critères permettant de choisir un type de roulement.

#### **Données :**

Masse en translation liée au chariot  $m_{chariot}$  : 900kg.

Cadence moyenne : une bobine de géotextile toutes les 2 minutes.

Fréquence moyenne de changement de largeur de bobine : 2 changements de largeur de bobine par heure.

Paliers retenus pour chaque guidage en rotation (caractéristiques détaillées : se reporter aux documents pages **DA 13/19**, **DA 15/19**, **DA 16/19** et **DA 17/19**) :

Pièce	Liaison	Type de roulement
Galets <u>1</u>	Guidage chariot <u>1</u> / conditionneuse	THK-CFH20A
Paliers de bras <u>9</u>	Pivot bras <u>2</u> et <u>3</u> / axe <u>11</u>	SNR-ESFTE210
Paliers de rouleau évacuateur <u>7</u>	Pivot rouleau <u>5</u> / bras <u>2</u> et <u>3</u>	SNR-ESFLE212
Paliers de rouleau réceptionneur <u>8</u>	Pivot rouleau <u>6</u> / châssis <u>1</u>	SNR-ESFLE212



**Q44** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R44** du cahier réponse

**Pour les deux premières lignes du tableau réponse, dans la troisième colonne, précisez les critères prépondérants pour le choix de chaque type de roulement retenu (ne donnez que les lettres majuscules listées dans le tableau figure A14 page DA 13/19 comme pour les deux dernières lignes du tableau réponse déjà complétées).**

**Q45** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R45** du cahier réponse

**Dans les deux dernières colonnes du tableau réponse, précisez et justifiez, pour chaque roulement, quel est le calcul prépondérant à effectuer pour vérifier les dimensions retenues par votre collaborateur (rayer le mot inutile).**

**Q46** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R46** du cahier réponse

**Pour un galet 14 « with cage », calculez le coefficient de sécurité statique  $S_{0\_14}$ . Concluez quant au choix du roulement retenu.**

### **C.2.7. Dessin de définition du support galet 15 (fonction FC5)**

**Objectif :**

Faire le dessin de définition du support galet 15.

**Contexte :**

Le dessin d'ensemble du montage du galet étant défini, il convient de définir totalement les dimensions du support galet pour sa fabrication.

**Données :**

La série est de 12 pièces (4 pour chacun des trois chariots).

Le dessin d'ensemble du montage d'un galet 14 sur le châssis 1 est donné figure **A16** document **DA 14/19**.

Les caractéristiques des galets 14 THK - CFH20 A sont données documents **DA 13/19**.

**Q47** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R47** du cahier réponse

**Quel est la fonction de l'excentricité « e » des galets 14 ?**

**Q48** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R48** du cahier réponse

**Proposez un couple procédé-matériau pour le support galet 15. Justifiez votre choix.**

**Q49** Inscrivez votre réponse dans le cadre **R49** du cahier réponse

**Complétez la vue du dessin de définition du support galet 15 en spécifiant toutes les informations (dimensionnelles et géométriques) permettant sa fabrication.**

### C.3 - Dessin d'étude de construction mécanique

#### C.3.1. Présentation du support de travail

Pour cette partie de l'étude, il est demandé de définir graphiquement plusieurs sous-ensembles du mécanisme sur le calque format A3 fourni avec le sujet.

Le format A3 comporte quatre zones repérées **zone 1**, **2**, **2 bis** et **3**.

La **zone 1** du calque est destinée à l'étude de la liaison entre le pignon **16** et l'arbre de transmission **25** à l'échelle 1:1.

Les **zones 2** et **2bis** sont destinées à l'étude de la liaison pivot entre le corps du vérin **12** et le châssis **1** à l'échelle 1:1.

La **zone 3** est destinée à l'étude du rouleau récepteur **6** et des liaisons de celui-ci avec les bras **2** et **3** et le châssis **1** à l'échelle 1:2.

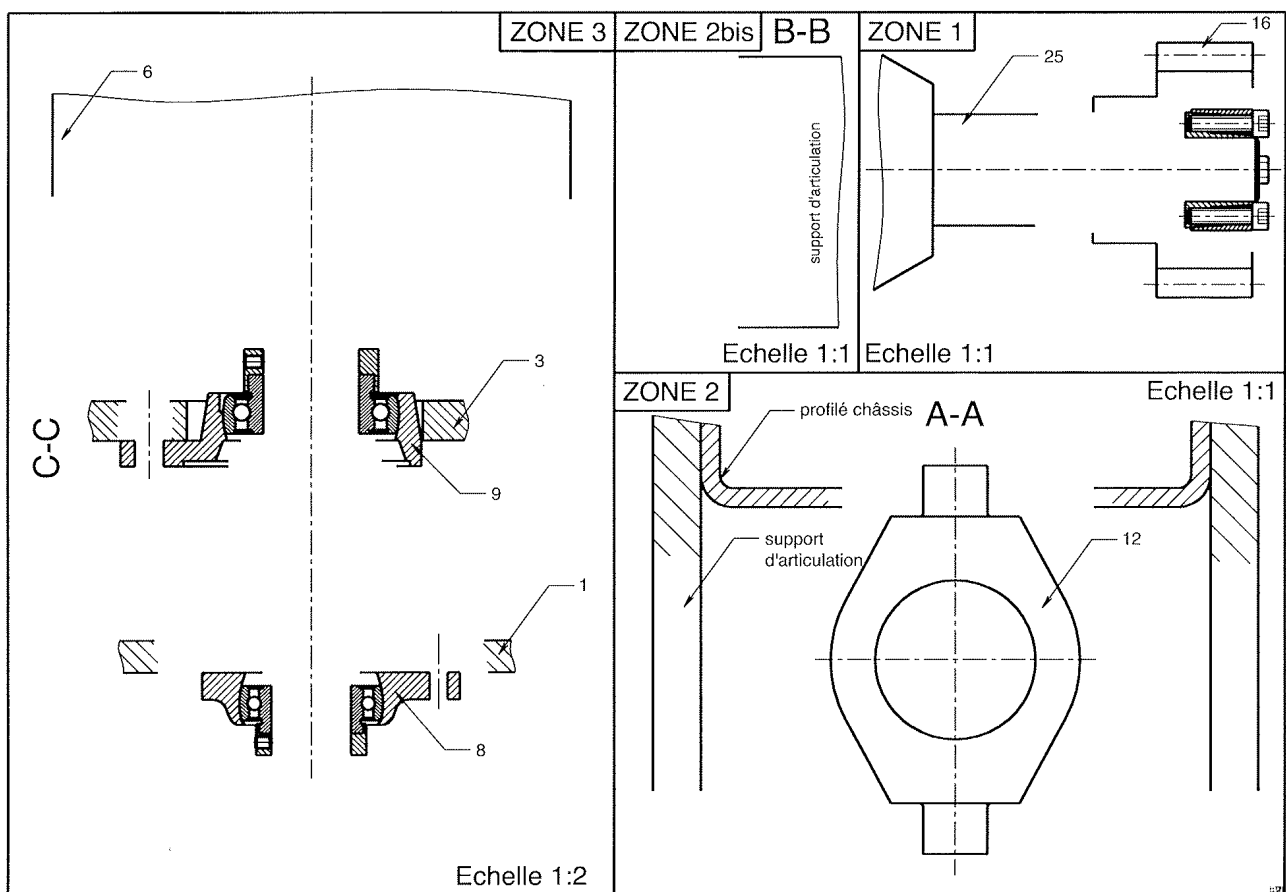


Fig. 8 - Zones du calque

### C.3.2. Consignes spécifiques aux travaux graphiques

Les dessins sont à exécuter aux instruments, avec pour l'essentiel mise au net au crayon respectant les épaisseurs de traits normalisées et les exigences d'une bonne lisibilité; seuls les axes et les écritures seront tracés à l'encre noire. Les tracés de couleur ne sont pas admis. Les normes AFNOR seront respectées.

Les principales conditions fonctionnelles relatives aux liaisons représentées seront clairement indiquées en respectant les règles normalisées AFNOR.

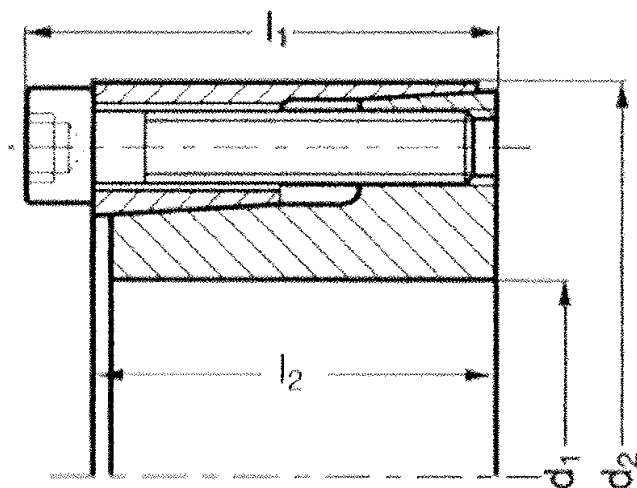
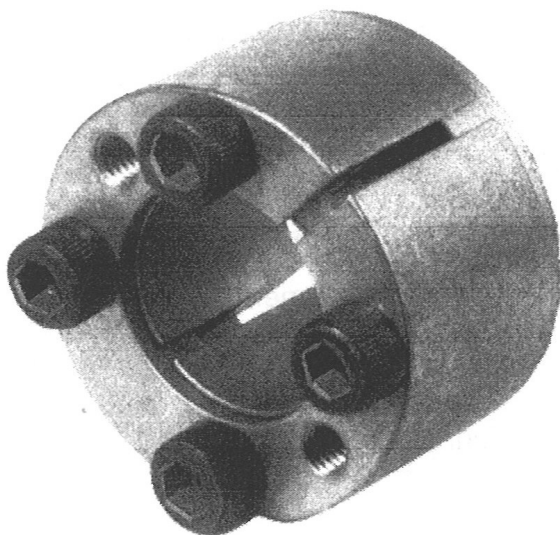
Les éléments normalisés utilisés par le candidat autres que ceux fournis dans le sujet, seront dessinés approximativement en respectant au mieux leurs proportions.

#### C.3.2.1 Conception de la liaison complète entre le pignon 16 et l'arbre de transmission 25 (fonction FC5).

##### Données :

La liaison entre le pignon 16 et l'arbre de transmission 25 doit réaliser plusieurs fonctions :

- Mise en position du pignon 16 par rapport l'arbre de transmission 25 : centrage long et arrêt en translation.
- Transmission du couple moteur par adhérence à l'aide d'un moyeu expansible, déjà représenté sur le calque.
- Réglage de la position angulaire du pignon (calage des dents du pignon 16 par rapport à la crémaillère). Ce réglage est obtenu grâce au moyeu expansible ci-dessous et document **A21** page **DA 18/19**.



Toutes les pièces ou parties de pièces déjà dessinées ne doivent pas être modifiées.

##### Position de représentation :

Le mécanisme sera dessiné dans la position suivante :

- Vue en coupe passant par l'axe de l'arbre de transmission 25.
- Seule la partie encadrée en pointillé est représentée sur le calque (voir Fig. 10 page suivante).

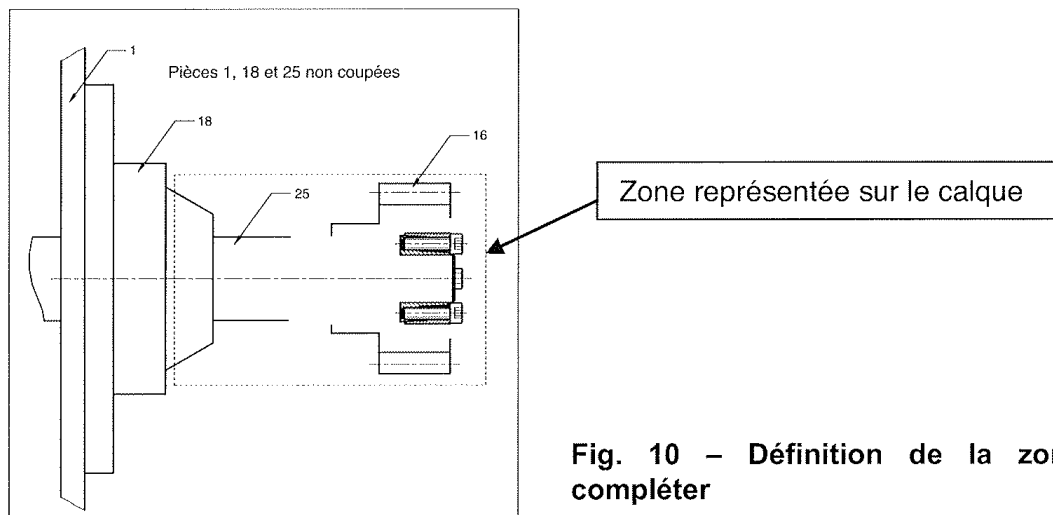


Fig. 10 – Définition de la zone à compléter

**Q50** Représentez votre solution sur le calque A3 dans la zone 1 à l'échelle 1:1

**Complétez la vue en coupe du montage du pignon 16 sur l'arbre de transmission 25. Complétez les formes du pignon 16 et de l'arbre de transmission 25. Mettez en place sur le dessin la cotation nécessaire à la mise en position du pignon 16 sur l'arbre de transmission 25, ainsi que les cotes préconisées par le constructeur du moyeu expansible (référez-vous figure A21 page DA 18/19).**

### C.3.2.2 Conception de la liaison pivot entre le corps du vérin 12 et le châssis 1 (fonctions FP1, FC2 et FC3)

#### Description de la solution retenue (se référer aux figures A20 page DA 18/19):

Le vérin utilisé possède une bague soudée sur son corps, et munie de deux tourillons. La liaison pivot entre le corps du vérin 12 et le châssis 1 est réalisée par deux coussinets à collerette en bronze de marque METAFRAM®. Un coussinet est monté sur un des profilés du châssis et l'autre sur la plaque d'articulation à définir. Cette plaque d'articulation est fixée sur deux supports d'articulation partiellement définis. Ces deux supports sont soudés sur un profilé du châssis 1. Lors de la fabrication, certaines opérations d'usinage peuvent être réalisées sur un système partiellement soudé ou assemblé. L'éventuel remplacement du vérin ou des coussinets à collerette doit s'effectuer avec démontage mais sans réglage.

#### Données :

Les caractéristiques des coussinets METAFRAM® sont donnés fig **A22** page **DA 19/19**.

#### Position de représentation :

Les plans de coupe sont définis sur la figure **A20** page **DA 18/19**.

**Q51** Représentez votre solution sur le calque A3 dans la zone 2 et la zone 2bis à l'échelle 1:1

**Complétez la vue en coupe A-A afin de définir la liaison pivot entre le corps du vérin 12 et le châssis 1. Pour cela :**

- Choisissez sur le document constructeur les coussinets à collerette.
- Définissez les formes de la plaque d'articulation.
- Spécifiez les ajustements préconisés par le constructeur des coussinets à collerette.

**- Définissez la liaison complète entre la plaque d'articulation et les supports d'articulation. La définition de cette liaison sera représentée également en coupe B-B de la zone 2bis.**

### C.3.2.3 Conception du rouleau récepteur 6 et des liaisons de celui-ci avec les bras 2 et 3 et le châssis 1. (fonctions FP1, FC2 et FC3)

**Description de la solution retenue** (se référer à la figure 11 ci-contre) :

Le rouleau récepteur 6 est constitué de deux disques en tôles (flasques), d'un tube et d'un axe. L'épaisseur des tôles et du tube est au minimum de 8mm. L'axe a un diamètre de 60mm. L'ensemble est mécano soudé.

L'axe du rouleau récepteur 6 est en liaison pivot par rapport au châssis 1. Cette liaison pivot est réalisée par deux paliers appliques 8. L'axe est également en liaison pivot par rapport au bras 2 et 3 de l'évacuateur. Cette liaison pivot est réalisée par deux paliers appliques 9.

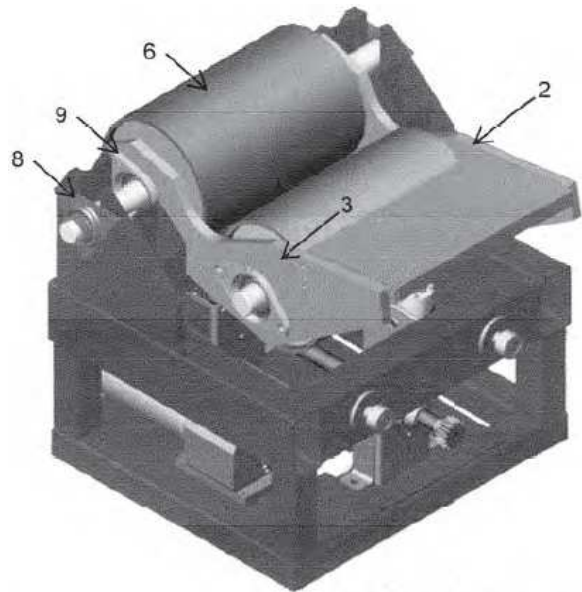


Fig. 11 - Chariot porteur

#### **Données :**

Les caractéristiques des paliers appliques 8 et 9 sont données pages DA 16/19 et DA 17/19.

Les conditions de montages de ces paliers sont données page DA 15/19

Ces paliers appliques sont équipés d'une bague excentrique ayant pour fonction de créer une liaison complète démontable par adhérence entre l'arbre et la bague intérieure du roulement.

#### **Position de représentation :**

Le plan de coupe C-C et la position de l'évacuateur sont définis sur la figure 12 ci-contre. Cette position ainsi que ce plan de coupe, permettent de représenter une vis de fixation pour chacun des paliers appliques 8 et 9.

Le rouleau récepteur 6 ainsi que les liaisons qui le lient au châssis 1 et aux bras 2 et 3, forment un ensemble symétrique. Seule la représentation du côté gauche sera donc à définir.

Sur le calque zone 3, les paliers 8 et 9 sont déjà représentés.

L'extérieur du rouleau récepteur 6 est esquissé.

Le châssis et le bras gauche 3 sont partiellement représentés.

Ne pas effacer les parties déjà représentées.

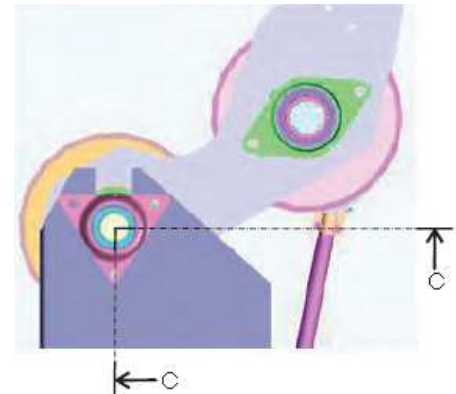


Fig. 12 – Définition des plans de coupe

**Q52** Représenter votre solution sur le calque A3 dans la zone 2 à l'échelle 1:2

**Complétez la vue en coupe C-C et définissez :**

- la liaison pivot entre rouleau récepteur 6 et le châssis 1.
- la liaison complète entre le palier 8 et le châssis 1.
- la liaison pivot entre rouleau récepteur 6 et le bras gauche 3.
- la liaison complète entre le palier 9 et le bras gauche 3.
- les formes du rouleau récepteur 6.

## D- Tableau récapitulatif des données et des notations principales du sujet

Notation	Désignation	valeur	unité
$\Theta$	angle définissant la position de l'évacuateur { <u>2</u> , <u>3</u> , <u>4</u> } par rapport à l'horizontale	variable	degré
$\Theta_R$	position de l'évacuateur { <u>2</u> , <u>3</u> , <u>4</u> } par rapport à l'horizontale en position réception	-15	degré
$Li/j$	liaison cinématique entre la classe d'équivalence i et la classe d'équivalence j		sans
$DLi/j$	degré de liaison de la liaison $Li/j$		sans
$m_u$	nombre de mobilités utiles du système	?	sans
$n_p$	nombre de pièces en mouvement	?	sans
$m_i$	nb de mobilités internes du système	?	sans
$h$	degré d'hyperstatisme	?	sans
$m_{\text{évac}}$	masse de l'évacuateur { <u>2</u> + <u>3</u> + <u>4</u> + <u>5</u> + <u>6</u> + <u>7</u> + <u>8</u> + <u>10</u> + <u>11</u> } d'un chariot	280	kg
$m_{rg}$	masse de la bobine de géotextile le plus lourd	210	kg
$m_{\text{globale}}$	masse de l'ensemble évacuateur et de la part de bobine de géotextile à soulever par le vérin d'un chariot	?	kg
	pression d'alimentation du système	2	MPa
$\Phi D_{\text{piston min}}$	diamètre minimum du piston du vérin	?	mm
$\Phi D_{\text{piston}}$	diamètre du piston du vérin	?	mm
$F_{\text{vérin max}}$	force maximale développée par le vérin	4000	N
$s$	coefficient de sécurité retenu pour l'articulation en chape	3	sans
$d_{24}$	diamètre de l'axe <u>24</u>	20	mm
$\tau_{\text{max}}$	contrainte de cisaillement maximale dans l'axe <u>24</u>	?	MPa
$P_{\text{mat max}}$	pression de matage maximale de la chape <u>3</u>	?	MPa
$N_{19}$	fréquence de rotation en sortie du moto-réducteur <u>17</u>		tr.min <sup>-1</sup>
$N_N$	fréquence de rotation nominale en sortie du moto-réducteur <u>17</u> .		tr.min <sup>-1</sup>
$C_{19}$	couple en sortie du moto-réducteur <u>17</u>		N.m
$C_N$	couple nominal en sortie du moto-réducteur <u>17</u>		N.m
$C_D$	couple de démarrage en sortie du moto-réducteur <u>17</u>		sans
$C_f$	couple de freinage moto-réducteur <u>17</u> non alimenté	60	N.m
$R_t$	rapport de réduction du réducteur <u>17</u>		sans
$m_{\text{chariot}}$	masse en translation liée au chariot	900	kg
$M_{\text{moy}}$	longueur moyenne de translation du chariot	1,5	m

Notation	Désignation	valeur	unité
$R_{pe16}$	résistance pratique à l'extension des pignons <b>16</b>	100	MPa
$Z_{16}$	nombre de dents des pignons de crémaillère <b>16</b>		sans
$m_{16}$	module des pignons de crémaillère <b>16</b>		mm
$\alpha_{16}$	angle de pression des pignons <b>16</b>	20	degré
$D_{p16}$	diamètre primitif des pignons <b>16</b>		mm
$b$	largeur des pignons de crémaillères <b>16</b>		mm
$F_{T16}$	effort tangentiel sur une dent d'un pignon <b>16</b>		
$\ \vec{a}_i\ $	accélération du chariot pendant la phase i		m.s <sup>-2</sup>
$T_i$	durée de la phase i		s
$D_i$	distance parcourue pendant la phase i		m
$V_{Nmax}$	vitesse nominale maximale théorique de translation du chariot		m.s <sup>-1</sup>
$V_N$	vitesse nominale de translation du chariot		m. s <sup>-1</sup>
$\eta_{syst}$	rendement d'un système		sans
Y et $K_V$	coefficients utilisés dans la méthode de Lewis		sans
$S_{0-14}$	coefficient de sécurité statique du galet <b>14</b>		sans

## E- Table des illustrations

Fig. 1 - Pose de géo membrane .....	2
Fig. 2 - Stockage de bobines .....	2
Fig. 3 - Conditionneuse .....	2
Fig. 4 - Film protecteur rabattu .....	2
Fig. 5 - Vue partielle de la conditionneuse .....	3
Fig. 6 - Chariot porteur .....	3
Fig. 7 - Graphe des liaisons mécaniques incomplet .....	9
Fig. 8 - Zones du calque .....	18
Fig. 9 - Moyeu expansible retenu .....	19
Fig. 10 - Définition de la zone à compléter .....	20
Fig. 11 - Chariot porteur .....	21
Fig. 12 - Définition des plans de coupe .....	21