

## 1<sup>ère</sup> Partie : Gain de temps sur l'exploitation d'un portique

Une partie du cahier des charges impose un temps de verrouillage du Spreader sur le conteneur de 0,5s. Cette première partie vise à la validation de ce temps.

### 1.1 Evaluation du gain de productivité par amélioration du temps de verrouillage (DT 3).

Le tableau du document **DT 3** décompose la durée d'un cycle standard de chargement.

Le temps de centrage + verrouillage conteneur au sol (**5s**) se décompose en deux phases :

- Centrage du Spreader sur le conteneur (à l'aide des pelles) : **2s**
- Verrouillage : **3s**

La différence de temps mesurée par rapport au cahier des charges est due au rebond du Spreader sur le conteneur au moment de l'impact. En effet, lorsque l'opérateur « lâche » le Spreader, celui-ci rebondit en heurtant le conteneur avant de se stabiliser. Le temps de verrouillage s'en trouve ainsi augmenté.

Une évolution du Spreader en cours d'étude permettra de respecter le temps de verrouillage de **0,5s**.

**1.1.1** Déterminer en secondes le temps d'un cycle standard complet avant évolution, noté  $t_{cy}$ .

**1.1.2** Donner le gain de temps lié au respect du cahier des charges, noté  $t_g$ .

**1.1.3** En déduire en secondes le temps d'un cycle standard après évolution, noté  $t_{ev}$ .

Le trafic de conteneurs au port du Havre en 2002 est estimé à environ 1 000 000 de cycles de conteneurs pour les 24 portiques.

**1.1.4** Evaluer en jours et heures le gain de temps qu'occasionne cette évolution de produit.  
(ex : 2 jours et 10 heures)

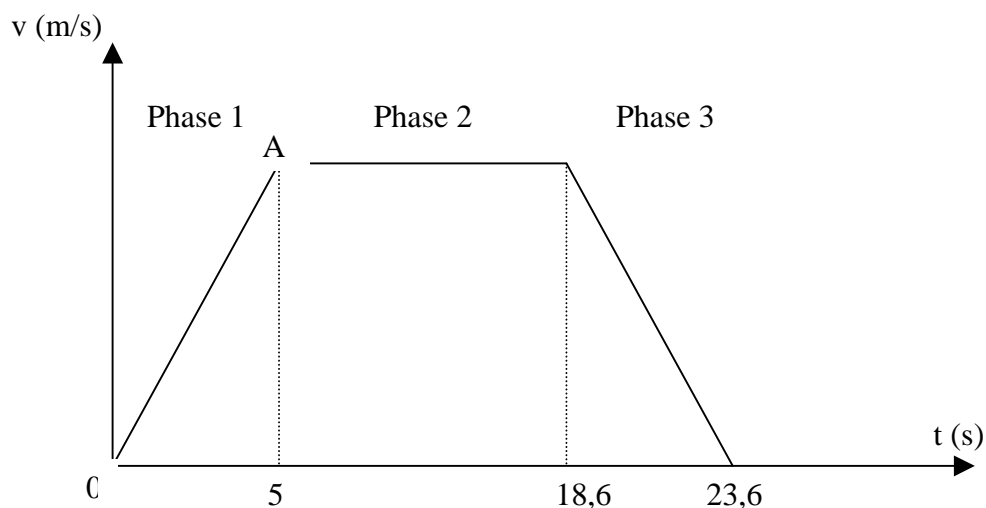
**1.1.5** Ce gain de temps justifie-t-il, selon vous, une modification du Spreader ? Justifier.

### 1.2 Validation de la sécurité au balancement (DT 3).

Une des conditions de test (voir **DT 3**) impose une vitesse de translation du conteneur inférieure à 210 m/min.

Soit le graphe des vitesses, incomplet, ci-dessous. Il indique les différentes phases de déplacement de la charge vers le bateau (voir tableau **DT 3**).

L'accélération dans la phase 1 est de **0,625 m/s<sup>2</sup>**



- 1.2.1** Donner le nom des différents mouvements dans les phases 1, 2 et 3.
- 1.2.2** Calculer la vitesse du conteneur à la fin de la phase 1.
- 1.2.3** Conclure sur cette vitesse par rapport à la condition de sécurité vis à vis du balancement.

## **2<sup>ème</sup> Partie : Modification du verrou de Spreader pour une meilleure tenue à la fatigue**

*La première partie a permis de mettre en évidence une perte de productivité liée à un phénomène de rebond lors du contact entre le Spreader et le conteneur.*

*Ce phénomène engendre également une maintenance accrue du système de verrouillage.*

*En effet, les chocs répétés du Spreader fragilisent les verrous.*

*Deux améliorations ont été apportées aux verrous pour augmenter leur résistance à ces chocs :*

- Montage flottant
- Optimisation des formes

*Une maintenance préventive est prévue tous les 100 000 cycles. Les verrous seront changés à cette occasion.*

### **2.1 Etude du montage flottant des verrous (DR 1, DT 5 et 6).**

Deux coupelles mâle et femelle (voir **DT 6**) permettent au système de verrouillage de s'auto centrer par rapport au logement usiné dans le conteneur.

- 2.1.1** Identifier la forme des surfaces de contact entre les 2 coupelles et donner le nom de la liaison permettant le montage flottant du verrou.
- 2.1.2** Compléter le schéma cinématique du document **DR 1** En faisant apparaître les liaisons en **O**, **A** et **B**.
- 2.1.3** Justifier la nécessité des liaisons choisies en **A** et **B**.

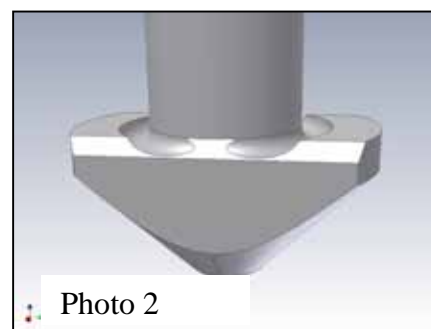
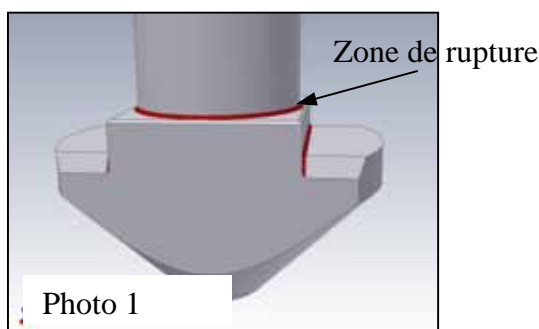
### **2.2 Etude de l'optimisation des formes du verrou (DT 7, DR 2).**

Dans la configuration la plus défavorable la charge maxi à soulever est de 400 kN. La norme prévoit pour les verrous un dimensionnement à la traction avec un coefficient de sécurité de 4 soit une charge de 400 kN par verrou.

De plus, le cahier des charges impose une tenue à la fatigue sur une durée de 100 000 cycles.

Dans sa première version, on a constaté une rupture du verrou à la fatigue avant 100 000 cycles.

Cette rupture se produit dans la partie basse du verrou (voir photo 1 ci-dessous).



La solution retenue pour palier à ce problème de rupture à la fatigue est proposée sur la photo 2.

- 2.2.1** Quel est l'intérêt de cette modification de forme au niveau des contraintes que subit le verrou ?
- 2.2.2** Le document **DR 2** propose un arbre de construction du verrou défini à l'aide d'un modèle volumique. Compléter le document **DR 2** en répondant uniquement dans les cases prévues à cet effet

### 2.3 Maintenance préventive, étude d'une fiche de montage (DT 6 et DR 2).

Les chocs répétés sur le verrou et les cycles de levage imposent le remplacement des verrous tous les 100000 cycles environ.

Afin de minimiser le temps d'intervention pour ce remplacement, une fiche de montage destinée aux ouvriers de maintenance est en projet.

Hypothèses : Le système de verrouillage, voir **DT 6** (repère **1** à **10**) est totalement désolidarisé de la biellette de liaison en **A**.

Compléter, sur le **DR 2**, le graphe de montage d'un système de verrouillage.

- chaque repère de pièce sera inscrit dans une case.
- des sous-ensembles peuvent être créés (la pièce **9** est montée sur **10**, puis ce sous-ensemble est monté sur la poutre transversale).
- des indices donneront l'ordre de montage (voir indices 1 et 2 sur **DR 2**).

### 3<sup>ème</sup> partie : Suppression du phénomène de rebond

*Un projet est actuellement à l'étude pour supprimer le rebond du Spreader lors de son contact avec le conteneur. La photo du **DR 3** définit l'architecture générale de la solution technologique proposée. Elle consiste à implanter sur les 2 poutres transversales, 2 systèmes identiques, composés :*

- d'un amortisseur.
- d'un bec (l'extrémité du bec (voir **DR 3**) entre en contact avec le conteneur, ce qui provoque le mouvement de la tige de l'amortisseur et donc l'amortissement).

Fonctionnement : Lors du contact du Spreader sur le conteneur, l'énergie potentielle emmagasinée par le Spreader est absorbée par l'amortisseur. On supprime ainsi le rebond.

Hypothèses de conception :

- amortisseur / poutre transversale : Liaison pivot (non visible sur la photo).
- amortisseur / bec : Liaison rotule.

#### Travail de conception sur le document DR 3 :

- 3.1** Concevoir l'assemblage entre un amortisseur et un bec (liaison rotule), en :
- complétant, en coupe A-A, l'implantation de l'embout rotule (**DT 9**) dans l'amortisseur et en représentant l'écrou (voir extrait de norme sur **DR 3**).
  - concevant, sur les deux vues, une liaison démontable entre le bec et l'embout rotule.

**N.B :**

- Le dessin se fera de préférence aux instruments.
- Pas de cotation.

- 3.2** Quel est le double rôle de l'écrou hexagonal vissé sur l'embout rotule et en contact avec l'amortisseur ?

*La partie haute du verrou dans sa nouvelle version possède deux gorges usinées. Initialement une seule gorge permettait la liaison du verrou avec l'embase de rotation (voir **DT 6**).*



*Cette modification a été réalisée pour la raison suivante :*

*Lors de la rupture de la gorge, le verrou se désolidarisait de l'embase de rotation et le conteneur n'était plus soulevé que sur trois points (3 verrous).*

*Le verrou à double gorge est dimensionné pour que la rupture se fasse sur la gorge supérieure.*

#### **4.1 Intérêt de la double gorge (DT 6).**

**4.1.1** Expliquer en quoi la modification géométrique du verrou empêche celui-ci de tomber en cas de rupture de la gorge supérieure.

**4.1.2** A quel moment l'opérateur s'aperçoit-il de la rupture du verrou ?

#### **4.2 Etude de la résistance mécanique du verrou (DR 1, DT 4 et 6).**

Le verrou **2** est soumis à 2 Actions Mécaniques modélisables par des glisseurs :

- L'Action Mécanique du conteneur en **D**.
- L'Action Mécanique des 2 demi noix au niveau de la gorge inférieure en **E**.

**4.2.1** Sur le document **DR 1**, colorier en surlignant :

- la surface de contact entre le conteneur et le verrou.
- la surface de contact entre les 2 demi noix et le verrou après cassure.

**4.2.2** Mettre en place, sur le **DR 1**, les 2 résultantes de ces Actions Mécaniques en **D** et **E**. Nommer ces 2 Actions (repères des pièces sur **DT 6**, le conteneur sera nommé : **c**)

**4.2.3** En déduire la sollicitation subie par le verrou. Répondre sur le document **DR 1**. Ecrire algébriquement le torseur de cohésion correspondant au point **G** dans le repère local de définition des sollicitations.

Le matériau utilisé pour la fabrication du verrou est un acier faiblement allié 35 Ni Cr Mo 6 de limite élastique  $R_e = 930 \text{ MPa}$ . Une étude par un logiciel d'éléments finis a permis d'obtenir une image de la répartition de contraintes normales dans le verrou (voir **DT 4**).

**4.2.4** Relever la valeur de la contrainte normale maxi au niveau de la gorge inférieure. Répondre sur le document **DR 1**.

**4.2.5** En déduire le coefficient de sécurité « s » adopté. Répondre sur le document **DR 1**.

*La pompe hydraulique assure la mise en mouvement de différentes pièces du Spreader.  
L'étude suivante visera à déterminer le débit nécessaire à la rotation des verrous.*

Hypothèses :

- verrouillage en  $\frac{1}{4}$  de tour
- temps de verrouillage : **0,5s**
- le **DR 4** montre en vue de dessus, à l'échelle  $\frac{1}{4}$ , l'ensemble verrou **1**, les axes de la tige de piston **13** et de la bielle de liaison **15**.
- les cotes devront être mesurées sur le **DT 6**.
- Le vérin double tige est défini sur le document **DT 8**.
- Caractéristiques de la pompe : voir **DT 2**.

- 5.1** Calculer la vitesse angulaire de verrouillage :  $\omega_{1/0}$ .  
 $\omega_{1/0}$  : vitesse angulaire de l'ensemble verrou **1** / poutre transversale **0** (Voir **DT 5**).
- 5.2** Déterminer le support de  $\overrightarrow{V_{A1/0}}$ . Justifier votre réponse.  
Tracer et nommer ce support sur le **DR 4**.
- 5.3** Déterminer  $\|\overrightarrow{V_{A1/0}}\|$ . Mettre en place cette vitesse sur le **DR 4**.
- 5.4** Préciser la nature du mouvement de la tige de piston **13** par rapport au corps du vérin double tige **5** (voir **DT 5**)  
Justifier votre réponse.
- Remarque : le corps du vérin **5** est en liaison complète avec la poutre transversale **0**.
- 5.5** En déduire le support de  $\overrightarrow{V_{B13/0}}$ . Tracer et nommer ce support sur le **DR 4**.
- 5.6** Montrer que  $\overrightarrow{V_{B13/0}} = \overrightarrow{V_{B15/0}}$  puis que  $\overrightarrow{V_{A1/0}} = \overrightarrow{V_{A15/0}}$ .
- 5.7** Déterminer par équiprojectivité  $\overrightarrow{V_{B15/0}}$ . Expliquer brièvement votre tracé.
- 5.8** Calculer le débit mini que devra fournir la pompe pour alimenter les deux vérins double tige (un vérin double tiges par poutre transversale).

Rappels : le débit est défini par la relation :  $Q=S.v$   
 $v$  : vitesse algébrique en m/s  
 $S$  : surface d'appui de l'huile en  $m^2$ .

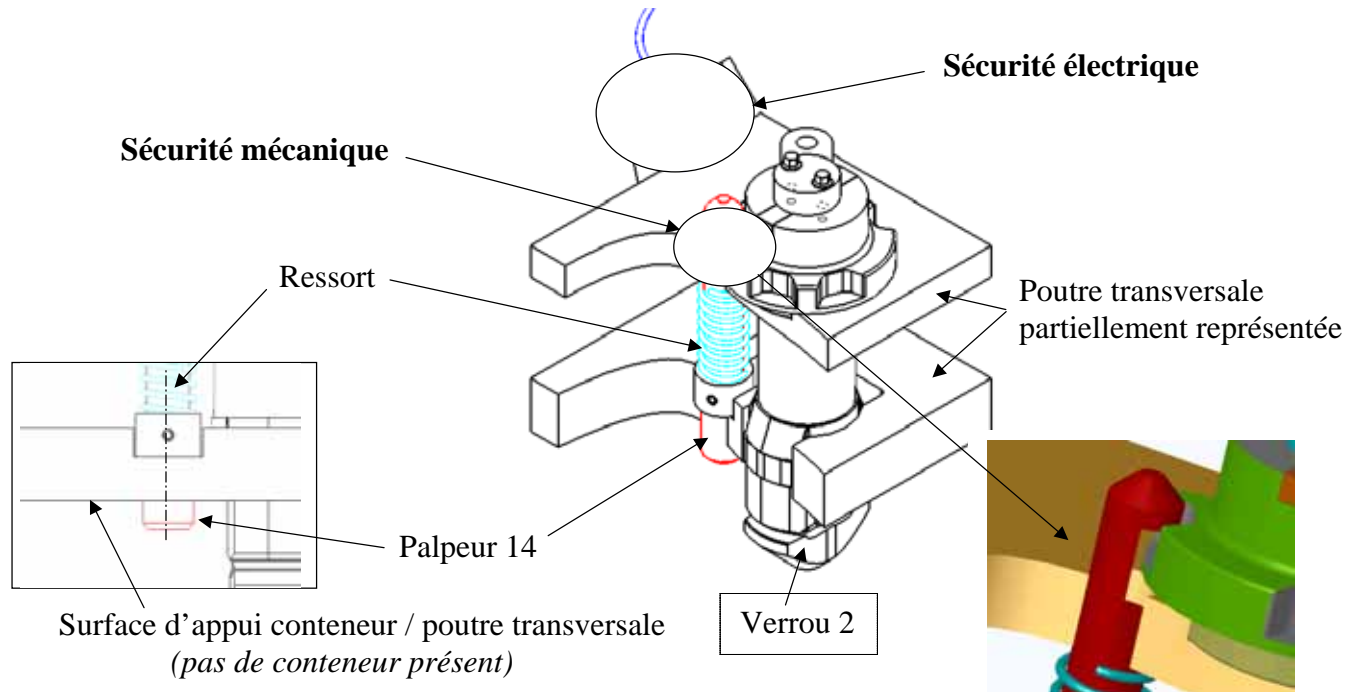
Les dimensions nécessaires au calcul de la surface  $S$  apparaissent sur le **DT 8**.

- 5.9** La pompe choisie est elle en conformité avec le débit calculé. Justifier.

*Les normes sur les engins de manutention imposent une double sécurité au verrouillage :*

- une sécurité électrique
- une sécurité mécanique

**Extrémité d'une poutre transversale sans la bielle de liaison  
(Conteneur pas encore en contact)**



**Sécurité électrique :**

*Elle donne l'autorisation de verrouillage à l'opérateur par l'intermédiaire d'un capteur de proximité.*

**Sécurité mécanique :**

*Elle empêche toute rotation du verrou tant que l'autorisation de verrouillage n'est pas active.*

**6.1 Etude de la sécurité électrique.**

- 6.1.1** Expliquer, succinctement, comment se fait l'acquisition de l'information d'autorisation de verrouillage.
- 6.1.2** Quel est le rôle du ressort ?
- 6.1.3** Aurait on pu se passer de ce ressort ? Justifier.

**6.2 Etude de la sécurité mécanique.**

Une rainure usinée sur le palpeur **14** (voir **DR 5**) autorise la rotation de l'ensemble verrou **1** lorsque la sécurité électrique est active (palpeur **14** en position haute).  
Dans le cas contraire, le palpeur **14** empêche la rotation de l'ensemble verrou **1**.

L'étude de statique suivante permettra de déterminer l'action mécanique de l'ensemble verrou **1** sur le palpeur **14**.

### Equilibre de l'ensemble piston 13 :

#### Hypothèses :

- Le document **DT 8** montre, dans le plan  $(O, \vec{x}, \vec{y})$ , le vérin double tige de commande des verrous. *Rappel* : Pression de travail = 130 bar soit 13 MPa
- Le problème est plan du point de vue de la géométrie des pièces et des actions mécaniques.
- Le poids des différentes pièces est négligé.
- Les liaisons sont sans frottement.

L'ensemble piston **13** (composé des pièces 9, 10, 11, 13 et 13bis) est soumis à 4 actions mécaniques :

- L'action mécanique du fluide sur le piston au point **G** :  $\{T_{fluide \rightarrow 13}\}$ .
- L'action mécanique liée à la liaison pivot glissant d'axe **(F,  $\vec{y}$ )** entre **5** et **13** :  $\{T_{5 \rightarrow 13}\}$ .
- L'action mécanique liée à la liaison rotule de centre **B** entre **15** et **13** :  $\{T_{15 \rightarrow 13}\}$  (**DT 5**).
- L'action mécanique liée à la liaison rotule de centre **H** entre **15bis** et **13bis** :  $\{T_{15b \rightarrow 13b}\}$  (**DT 5**).

**6.2.1** Déterminer l'action du fluide sur l'ensemble piston **13** :  $\|\vec{G}_{fluide \rightarrow 13}\|$ , détailler les calculs.  
Reporter votre résultat sur le document **DR 5** (la tige de piston **13** sort).

**6.2.2** Ecrire, analytiquement, dans la base  $(\vec{x}, \vec{y})$  les torseurs d'action mécanique exercés en **G**, **F** et **B** (Voir **DT 8**).

Une étude informatique a permis de déterminer les actions mécaniques dans la liaison rotule de centre **B**. Le résultat de cette étude est fourni sur la courbe du document **DT 10**.

**6.2.3** Relever sur cette courbe l'action mécanique maxi dans la liaison rotule de centre **B**.  
Répondre sur le document **DR 5**.

### Détermination de l'action mécanique du palpeur 14 sur l'ensemble verrou 1 :

#### Hypothèses :

- Le document **DR 5** montre, en vue de dessus dans le plan  $(O, \vec{x}, \vec{y})$ , l'ensemble verrou **1** et le palpeur **14** (pièce voisine).
- Le problème est plan du point de la géométrie des pièces et des actions mécaniques.
- L'ensemble verrou **1** est soumis à 3 actions mécaniques modélisées par des glisseurs contenus dans le plan  $(O, \vec{x}, \vec{y})$  :
  - L'action du palpeur **14** sur **1** (contact linéique).
  - L'action de la biellette de liaison **15** sur **1**.
  - L'action au point **O** de la poutre transversale **0** (non représentée sur le **DR 5**) sur **1**.
- Le poids de l'ensemble verrou **1** est négligé.
- Les liaisons sont sans frottement.

**6.2.4** En étudiant l'équilibre de la biellette de liaison **15** (voir **DT 5**), montrer que le support de  $\vec{A}_{1 \rightarrow 15}$  est la droite (AB) et que  $\|\vec{A}_{1 \rightarrow 15}\| = \|\vec{B}_{13 \rightarrow 15}\|$

**6.2.5** Etudier l'équilibre de l'ensemble verrou **1** et déterminer graphiquement  $\|\vec{C}_{14 \rightarrow 1}\|$ . On prendra  $\|\vec{A}_{15 \rightarrow 1}\| = 4200N$ .

Une étude complémentaire de résistance des matériaux permettrait, à partir de l'action mécanique calculée, de vérifier le dimensionnement au cisaillement du palpeur **14**.