

SESSION 2014

---

**CAPLP  
CONCOURS EXTERNE  
ET CAFEP**

**Section : GÉNIE MÉCANIQUE**

**Option : MAINTENANCE DES VÉHICULES, MACHINES AGRICOLES,  
ENGINS DE CHANTIER**

**ANALYSE D'UN PROBLÈME TECHNIQUE**

Durée : 4 heures

---

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

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

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

**Dossier présentation : DP 1 à DP 5**

**Dossier technique : DT 1 à DT 13**

**Dossier travail demandé : TD 1 à TD 7**

**Dossier réponse : DR 1 à DR 10 (à rendre obligatoirement en totalité en fin d'épreuve)**

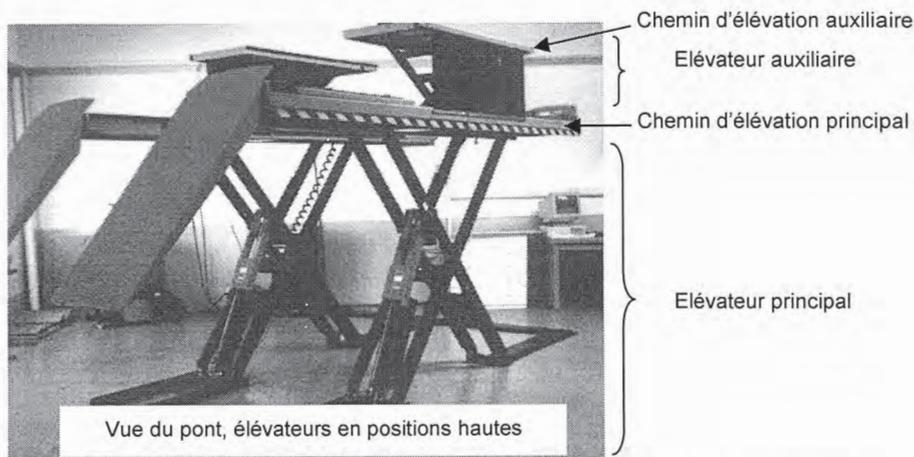
## A) PRESENTATION GENERALE DU PONT ELEVATEUR

Le pont "**Fog Espace 2**", support de l'étude, est un pont élévateur de véhicules utilitaires et de tourisme qui est en phase de test chez FOG Automotive (Briare - 45).

Ce type de pont, dit "à ciseaux", est utilisé dans les ateliers de maintenance automobile. Il permet la mise à hauteur des véhicules lors des opérations d'entretien et de réparation.

Il est principalement constitué de deux sous-ensembles symétriques disposés parallèlement pour constituer les chemins d'élévation.

Chaque sous-ensemble comprend un élévateur principal et un élévateur auxiliaire qui permet de libérer les roues du véhicule pour effectuer certaines tâches telles qu'un changement de plaquettes de frein, d'amortisseur, etc.



La conception de ce pont a permis d'améliorer certaines caractéristiques liées aux ponts à ciseaux traditionnels telles que la garde au sol (faible hauteur par rapport au sol en position basse) et la diminution de la puissance absorbée (en début d'élévation de l'élévateur principal en position basse).

## B) CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

Il présente les avantages suivants:

- grande liberté latérale (pas d'encombrement dû à des colonnes).
- faible hauteur au sol en position basse.
- possibilité d'encastrement dans une fosse de faible profondeur. Dans ce cas, le pont ne représente plus un obstacle dans l'atelier.

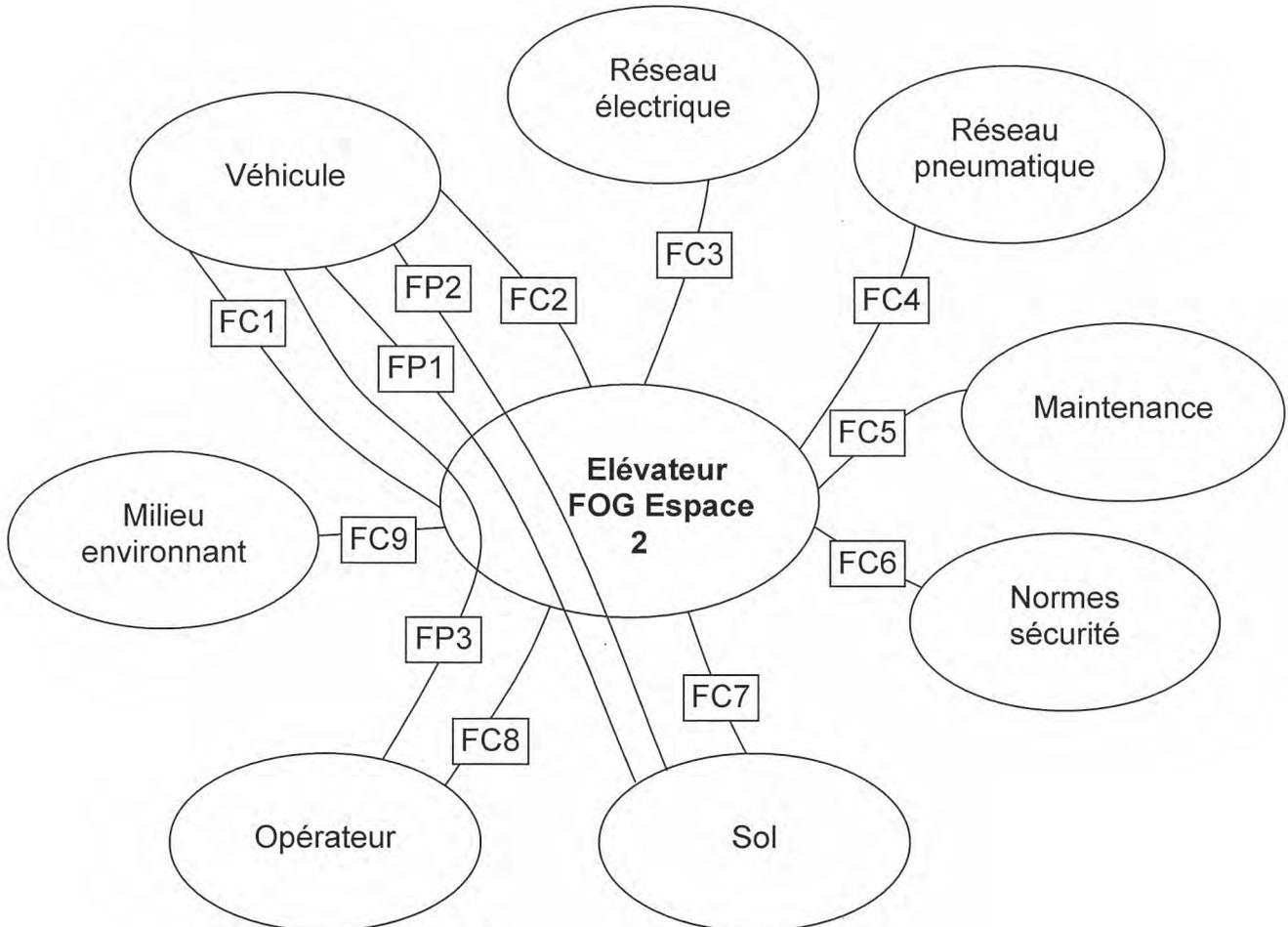


Il obéit aux normes de sécurité des appareils de levage et comporte trois dispositifs :

- blocage par crémaillère sur les vérins du pont principal
- présence de clapets "parachute" sur les quatre vérins (principaux et auxiliaires) en cas de rupture de canalisation
- cellules photoélectriques détectant toute variation d'altitude d'une amplitude supérieure à 100 mm entre les deux chemins principaux.

**C) DIAGRAMME DES INTERACTEURS DE L'ELEVATEUR FOG ESPACE 2.**

FP1	Positionner verticalement, par rapport au sol, le véhicule en appui sur les roues
FP2	Positionner verticalement, par rapport au sol, le véhicule en appui sur le châssis (de façon à libérer les roues)
FP3	Permettre à l'opérateur d'ajuster la hauteur du véhicule
FC1	Permettre au véhicule de rouler sur l'élévateur principal
FC2	Déplacer le véhicule perpendiculairement au sol en lui conservant une position horizontale
FC3	S'adapter à l'énergie électrique du site
FC4	S'adapter à l'énergie pneumatique du site
FC5	Permettre une maintenance aisée
FC6	Respecter les normes de sécurité
FC7	Se fixer sur le sol
FC8	Ne pas gêner le déplacement de l'opérateur en position basse
FC9	Résister au milieu environnant



### D) CONSTITUTION DE L'ELEVATEUR PRINCIPAL (voir DT 1 à 5 et 7)

Chaque élévateur principal est constitué de deux paires de bretelles extérieures 1 et intérieures 2 qui s'articulent autour de l'axe 13.

Les bretelles intérieures sont liées au sol par l'intermédiaire d'une platine d'ancrage 31. Elles pivotent autour des axes 32. A l'autre extrémité, elles sont équipées de galets 4 qui roulent dans les cornières d'anti-basculement 50. Ces cornières sont soudées à l'intérieur du chemin élévateur 30.

Les bretelles extérieures sont liées au chemin élévateur et pivotent autour des axes 51. A l'autre extrémité, elles sont équipées de galets 39 qui roulent dans les cornières d'anti-basculement 34. Ces cornières sont soudées sur la platine de roulement 19 qui est fixée au sol.

Le mouvement et la force d'élévation sont fournis par un vérin (11+12). Il est équipé d'un dispositif de sécurité formé par deux crémaillères soudées sur le corps du vérin et d'un verrou 17 articulé sur la tige. Ce dispositif permet le verrouillage mécanique de la position du pont afin d'accéder en toute sécurité sous le véhicule.

Le déverrouillage est obtenu au moyen de deux vérins pneumatiques (non étudiés).

Le corps du vérin 12 est articulé sur les bretelles extérieures 1 autour de l'axe 40.

La tige agit sur les bretelles intérieures par l'intermédiaire d'un mécanisme d'aide au levage détaillé ci-dessous.

### E) DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DE L'ELEVATEUR PRINCIPAL (voir DT 1 à 5 et 7)

L'élévation du pont s'effectue en cinq phases.

Elles sont nommées **phase 1, phase 2, ..., phase 5** dans l'ordre de l'élévation.

#### Phase 1 :

Le pont commence à s'élever.

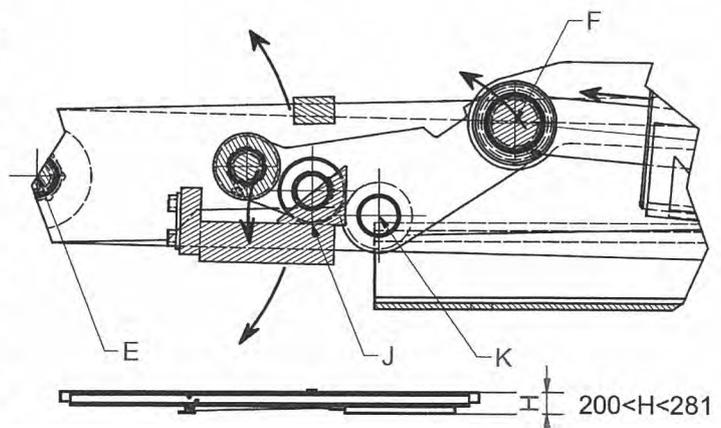
La tige de vérin 11 sort du corps 12.

Les leviers 3 sont reliés entre eux par l'axe 26 réalisant la liaison pivot en F avec la tige de vérin 11.

Ils s'articulent sur des axes 9 soudés sur les bretelles intérieures 2 et pivotent en K.

Les galets 4 pivotent autour d'un axe 18 qui est soudé sur chaque levier.

Ils roulent en J sur les surfaces de la rampe 6 soudée aux bretelles extérieures 1. (voir Fig. 3 et 4 DT 2).



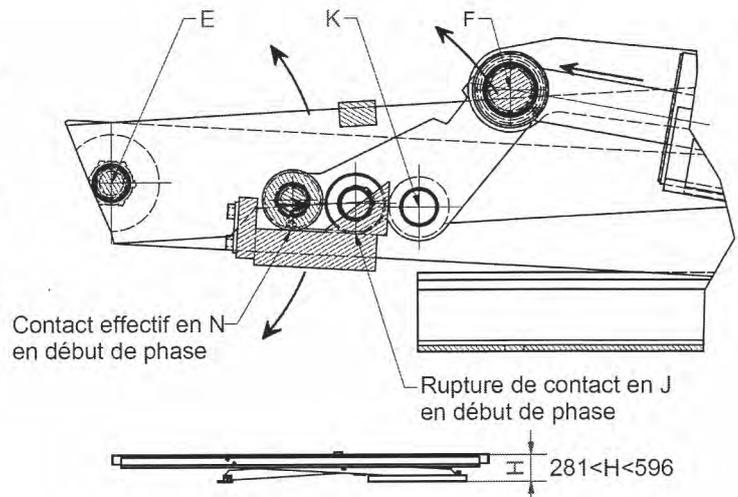
**Phase 2 :**

Les leviers **3** continuent de pivoter en K.

L'axe **25** réalise la liaison pivot entre le rouleau **5** et les leviers **3**.

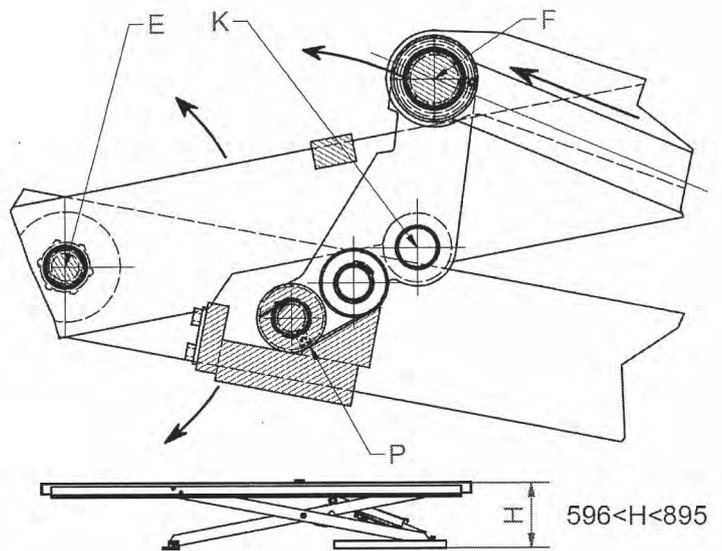
Le rouleau **5** entre en contact en N avec la rampe **6** et roule sur celle-ci.

Les galets **4** quittent la rampe **6**.  
(voir Fig. 3 et 4 DT 2)



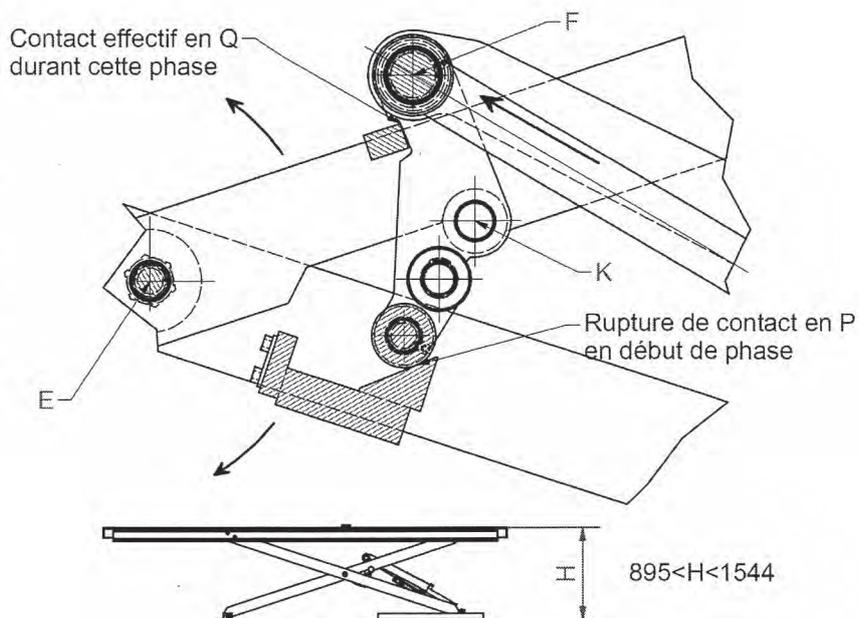
**Phase 3 :**

Le rouleau **5** entre en contact avec la rampe **7** qui est soudée sur la rampe **6** et roule en P sur celle-ci.  
(voir Fig. 3 et 4 DT 2)



**Phase 4 :**

Le rouleau quitte la rampe 7  
 Les leviers 3 appuient directement en Q sur la traverse 8 qui est soudée sur les bretelles intérieures 2. (voir Fig. 3 et 4 DT 2)

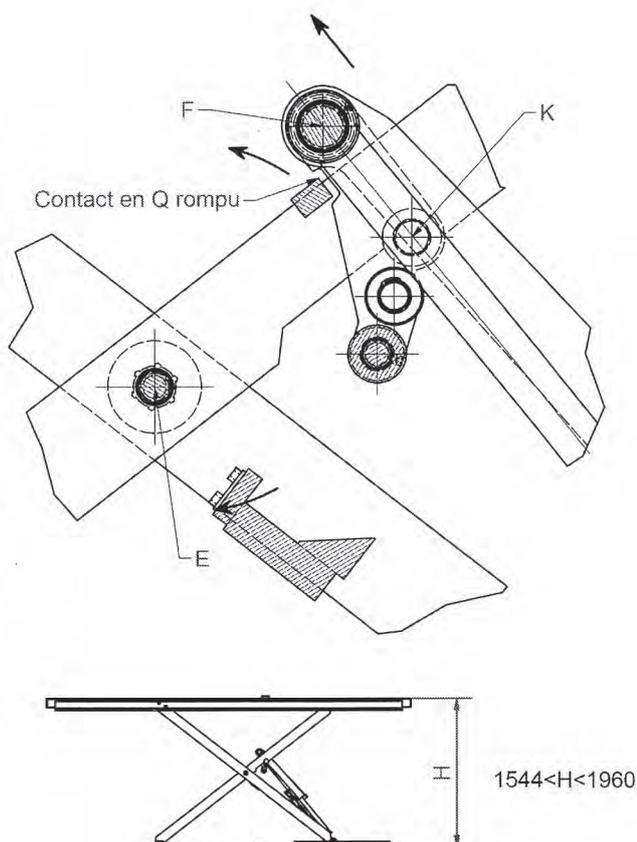
**Phase 5 :**

Le contact avec la traverse 8 en Q est rompu.

Les points F, K et G sont alignés.

(F et G : points d'ancrage du vérin)

Le pont continue son ascension jusqu'à la position la plus haute.



## **F) CONSTITUTION ET DESCRIPTION DE L'ELEVATEUR AUXILIAIRE (voir DT 6 et 7)**

Le fonctionnement de l'élévateur auxiliaire est indépendant de celui de l'élévateur principal.

Le fonctionnement repose sur le principe "des ciseaux" classique sans mécanisme d'aide au levage.

## DOSSIER TRAVAIL DEMANDE

### Problématique :

La société FOG commercialise un pont élévateur «**FOG Espace 1**» d'une capacité de levage de 1,5 tonnes. A la demande de ses clients, elle développe un nouveau pont élévateur «**FOG Espace 2**» d'une capacité de levage de 3 tonnes, dérivé du précédent. Les solutions techniques du pont élévateur «**FOG Espace 2**» restent similaires à celles du pont élévateur «**FOG Espace 1**»

Extrait du cahier des charges de l'élévateur principal : «**FOG Espace 2**» :

Encombrement		Durée		Capacités	
Hauteur mini	200 mm	Montée totale	30 s	Charge maxi (kg)	3 000
Hauteur maxi	1 960 mm	Descente totale	30 s	Puissance moteur électrique (kW)	3.5

Extrait du cahier des charges de l'élévateur auxiliaire : «**FOG Espace 2**» :

Encombrement		Durée		Capacités	
Hauteur mini	55 mm	Montée totale	6 s	Charge maxi (kg)	3 000
Hauteur maxi	525 mm	Descente totale	6 s	Puissance moteur électrique (kW)	3.5

La problématique du sujet est de vérifier certaines caractéristiques techniques du pont «**FOG Espace 2**», à savoir, le respect de la réglementation en vigueur et le cahier des charges.

L'approche proposée du sujet, en 5 points d'études, est la suivante :

- Vérifications de certaines fonctions externes avec le milieu environnant du pont élévateur «**FOG Espace 2**» (voir diagramme des interacteurs DP 2) :
  - Compatibilité des caractéristiques dimensionnelles du vérin avec celle de la course verticale de l'élévateur.
  - Vitesse d'élévation inférieure à la norme en vigueur.
  - Puissance du groupe hydraulique suffisante.
- Vérifications de certaines fonctions techniques (voir le FAST partiel incomplet du DR 1) :
  - Résistance et rigidité suffisante du chemin de l'élévateur auxiliaire.
  - Résistance mécanique à la pression de certains éléments roulants du dispositif d'aide au levage.

### Scénario proposé :

-A- COMPREHENSION DU MECANISME

-B- ANALYSE MECANIQUE

Partie 1 : Validation des performances

Partie 2 : Vérification de la fiabilité du système

Nota : Il est conseillé au candidat de traiter les questions dans l'ordre proposé ; toutefois, la majorité d'entre elles sont indépendantes.

### -A- COMPREHENSION DU MECANISME

#### **Question 1 :** → sur document réponse DR 1 (voir DT 1 à 5, 7 et DP 2)

Compléter le FAST de la fonction  $F_{p1}$  relative uniquement à l'élévateur principal en précisant, dans les rectangles vides, le nom des composants du «FOG Espace 2» qui satisfont les fonctions techniques décrites.

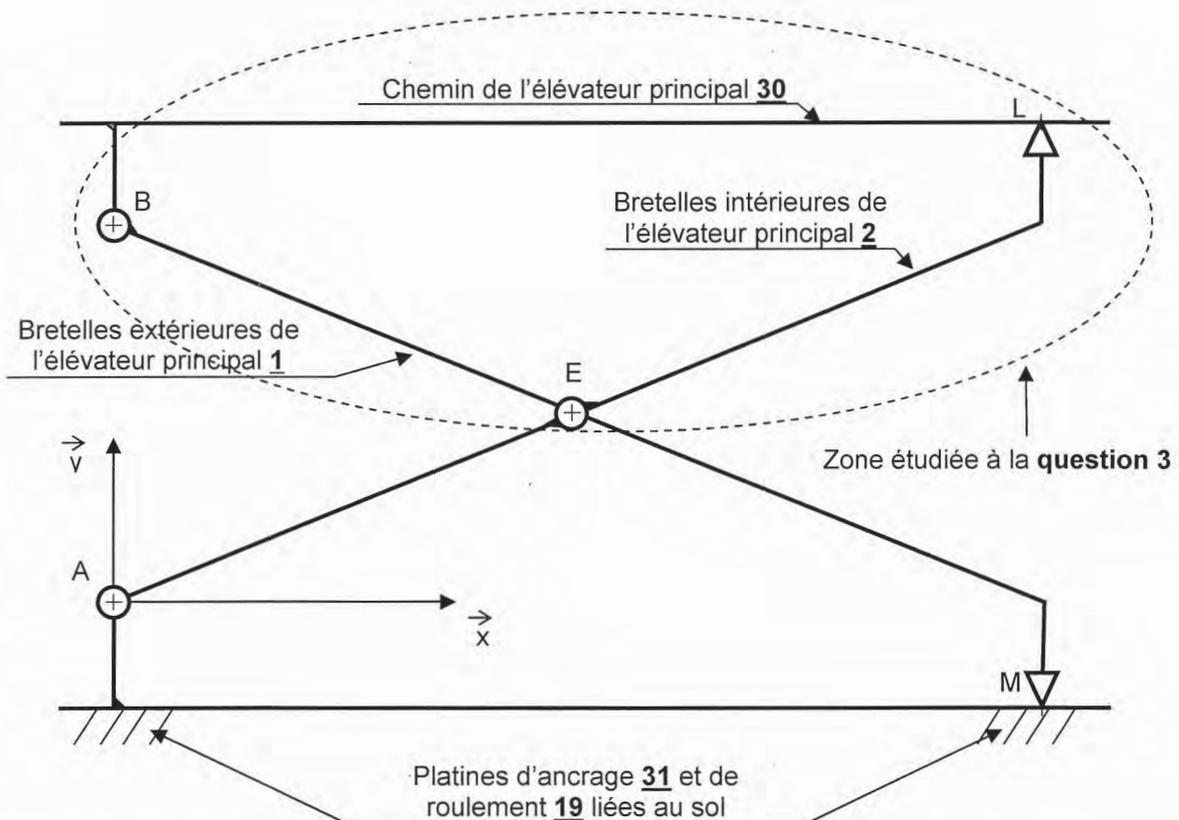
#### **Question 2 :** → sur feuille de copie (voir DT 1, 3 à 4, 7 et DP 2)

Définir la nature des mouvements suivants : Mvt 30/31 et Mvt 57/30.

Nommer la fonction contrainte relative à ces mouvements définie sur le diagramme des interacteurs de l'élévateur « FOG Espace 2 ».

#### **Question 3 :** → sur feuille de copie (voir DT 1, 3 à 4, 7)

Ci-dessous est donné le schéma cinématique plan de l'un des mécanismes de ciseaux de l'élévateur principal qui réalisent les fonctions  $F_{p131}$  et  $FP_{134}$  du DR1.



Déterminer le degré d'hyperstatisme de la boucle supérieure composée des 3 liaisons en B, L et E

#### **Question 4 :** → sur feuille de copie (voir DT 1, 3 à 4, 7)

Cet hyperstatisme est-il gênant pour le bon fonctionnement du mécanisme. Argumentez votre réponse.

**Question 5 :** → sur document réponse DR 2 (voir DT 8)

*Le document DT 8 correspond uniquement au schéma hydraulique de l'élève principal. Celui correspondant à l'élève auxiliaire est similaire.*

*Le constructeur utilise la technique des « vérins émetteurs et récepteurs » (parfois appelés « maître et esclave »). Afin que les deux tiges des vérins sortent à la même vitesse, le fabricant usine le diamètre de la tige du vérin émetteur à la demande.*

Compléter le tableau de composants hydrauliques en nommant les 5 éléments du circuit et en précisant leur fonction au niveau de l'élève.

**Question 6 :** → sur document réponse DR 3 (voir DT 8)

En se plaçant dans la phase **montée de l'élève** (schéma de gauche), dessiner le préactionneur « 2V » dans la position qu'il doit occuper, et indiquer en les entourant, le ou les bobine(s) de pilotage de tous les composants hydrauliques qui doivent être mises sous tension.

Durant cette phase de montée de l'élève, colorier en rouge les zones de Haute Pression, en vert les zones de Pression Intermédiaires et en bleu les zones de Basse Pression. On définit par zones, les différentes parties du circuit et les chambres des vérins. Indiquez par des flèches de même couleur (rouge, vert, bleu), le sens de circulation du fluide.

**Question 7 :** → sur document réponse DR 3 (voir DT 8)

En se plaçant dans la phase **descente de l'élève** (schéma de droite), dessiner le préactionneur « 2V » dans la position qu'il doit occuper, et indiquer en les entourant, le ou les bobine(s) de pilotage de tous les composants hydrauliques qui doivent être mises sous tension. Durant cette phase de descente, colorier en rouge les zones de Haute Pression, en vert les zones de Pression Intermédiaires et en bleu les zones de Basse Pression. Indiquez par des flèches de même couleur, le sens de circulation du fluide.

**Question 8 :** → sur document réponse DR 4 (voir DT 2, 4 à 5, 7 et DP 3 à 4).

Sur la rampe horizontale 6 et/ou la rampe inclinée 7, colorier de 3 couleurs différentes les zones approximatives de contact que vous noterez S1 (avec les galets 4 durant la phase 1), S2 (avec le rouleau 5 durant la phase 2) et S3 (avec le rouleau 5 également durant la phase 3).

**Question 9 :** → sur document réponse DR 5 (voir DT 2 à 5, 7 et DP 4)

*Le document DR 5 présente le mécanisme de ciseaux en phase 3. Le document DR 6 est l'ébauche du schéma cinématique de l'élève principal qui sera complété question 10.*

Colorier sur toutes les vues du dessin d'ensemble du DR 5 les classes d'équivalence (ou pièces cinématiquement liées). Une couleur différente sera utilisée pour chaque groupe de pièces :

- Bretelles intérieures de l'élève principal 2 en rouge (les galets 4 appartiennent à cette classe d'équivalence)
- Bretelles extérieures de l'élève principal 1 en bleu (avec ses galets 39)
- Corps du vérin 12 en vert
- Tige 11 en orange (avec les verrous 17 cinématiquement liés à la tige 11).
- Leviers 3 en marron. Dans un but de simplification, les galets 4 du système d'aide au levage et le rouleau 5 sont considérés encastrés avec le levier 3 (placés dans la même classe d'équivalence).

Nota : ne pas colorier les chemins de l'élève principal 30, ni les platines d'ancrage 31 et de roulement 19 liées au sol.

**Question 10** : → sur document réponse DR 6 (voir DT 2 à 5, 7 et DP 4)

Le document DR 6 représente le schéma cinématique plan incomplet de l'élévateur principal en phase 3.

En se basant sur les hypothèses énoncées à la question 9, compléter avec le même code de couleur le schéma cinématique plan de l'élévateur principal en phase 3.

**Question 11** : → sur document réponse DR 7 (voir DT 2, 4 à 5, 7)

Lors de la réalisation de l'assemblage, il apparaît que si le sous-ensemble  $S = \{3; 4; 5; 11; 17; 18; 21; 22; 24; 25; 26; 27; 28; 29\}$  est assemblé, il ne peut se monter entre les bretelles intérieures 2. En effet, la distance  $L_2$  est supérieure à l'écartement  $L_1$  séparant les articulations de leviers 9 qui sont soudés sur 2.

Compléter le graphe de montage de toutes les pièces du sous-ensemble  $S$  à l'intérieur des bretelles intérieures 2.

Nota : Les éléments 24 sont à utiliser plusieurs fois.

## -B- ANALYSE MECANIQUE

### Partie 1 : Validation des performances

Pour les questions 12 et 13, on considère le plan  $(x, y)$  comme plan de symétrie de l'élévateur auxiliaire.

**Question 12** : → sur document réponse DR 8 (voir DT 6 à 7)

Le concepteur a choisi des vérins auxiliaires (corps 70 + tige 72) qui ont une course maxi de 150 mm.

On souhaite vérifier graphiquement que cette course est suffisante pour déplacer verticalement les chemins de l'élévateur auxiliaire sur une distance de 470 mm (différence entre les deux positions haute et basse d'un chemin élévateur auxiliaire 57 par rapport au chemin élévateur principal 30).

Sur le document DR 8, l'élévateur auxiliaire est en position fin d'élévation.

- Déterminer graphiquement la position du point H noté  $H_b$  quand l'élévateur est en position basse.
- En déduire la position du point U noté  $U_b$ , puis celle du point R noté  $R_b$  quand l'élévateur est en position basse.
- Déterminer alors la course nécessaire du vérin (70 + 72). Conclure.

**Question 13** : → sur document réponse DR 9 (voir DT 6 à 7, 9)

Une étude sur une maquette numérique a permis au concepteur d'obtenir la courbe de vitesse d'élévation en fonction de la hauteur d'élévation des chemins de l'élévateur auxiliaire 57 par rapport aux chemins de l'élévateur principal 30. Cette vitesse d'élévation est fonction de celle des tiges 72 par rapport au corps 70 des vérins ; cette dernière, constante, est de 19 mm/s pour respecter la durée de la phase d'élévation de 6s (cahier des charges).

Comme pour toute simulation numérique, il faut, avant de l'exploiter, vérifier que les résultats sont cohérents avec ce que l'on attend. Pour cela, on décide de vérifier la concordance des résultats sur un point de la courbe, en déterminant graphiquement la vitesse des chemins de l'élévateur auxiliaire. La position retenue est définie sur le document DR 9, l'élévateur auxiliaire atteint la position fin d'élévation ( $h = 525$  mm).

a) Déterminer graphiquement la vitesse d'un point des chemins de l'élévateur auxiliaire **57** par rapport aux chemins de l'élévateur principal **30**. Pour cela :

- Tracer  $\vec{V}(R \in 72 / 70)$  (vitesse du point R appartenant à la tige **72** du vérin par rapport au corps **70** de ce vérin ; rappel : la vitesse de sortie de la tige **72** est de 19 mm/s).
- Déterminer la position du centre instantané de rotation de **63/30** après avoir tracé les supports des vitesses  $\vec{V}(H \in 63 / 30)$  et  $\vec{V}(U \in 63 / 30)$ .
- Réaliser une composition des vitesses en R entre **70** – **72** – **63** et **30** de façon à déterminer graphiquement  $\vec{V}(R \in 63 / 30)$ .
- Déduire graphiquement  $\vec{V}(H \in 63 / 30)$ , et donner la valeur de sa norme.

b) Vérifier ensuite, sur la courbe de vitesse d'élévation des chemins de l'élévateur auxiliaire, que la valeur obtenue graphiquement ci-dessus est cohérente avec la valeur attendue dans cette position.

**Question 14 :** → sur document réponse DR 9 (voir DT 9)

*On désire vérifier que la vitesse d'élévation des chemins de l'élévateur auxiliaire reste inférieure à la valeur maximale de 0,15 m/s imposée par la norme européenne en vigueur concernant les élévateurs de véhicules.*

Relever sur la courbe de vitesse la valeur maximale de la vitesse d'élévation. Conclure sur le respect de la norme ?

**Question 15 :** → sur feuille de copie (voir DP 2 et DT 8)

*Afin de respecter la fonction FC2, il faut une vitesse identique des tiges des vérins par rapport à leur corps.*

En relevant les données sur le DT8 concernant l'élévateur principal, calculer le diamètre de la tige du vérin émetteur à 1/100 de mm par excès.

*On souhaite aux questions 16 et 17 vérifier le choix du groupe hydraulique.*

**Question 16 :** → sur feuille de copie (voir DT 8 et 10)

Rechercher l'effort maxi  $F_{\max i}$  sur une des tiges des vérins en phase montée de l'élévateur principal, puis déterminer la pression maximale  $p_{EI-\max i}$  dans la chambre inférieure EI du vérin Emetteur (nota : le vérin Emetteur alimente le vérin Récepteur).

**Question 17 :** → sur feuille de copie (voir DP 1, DT 8 et TD 1)

*La cylindrée de la pompe à engrenage est de  $3 \text{ cm}^3$  et sa fréquence N de rotation est de 2 800 tr/min.*

a) Sachant que la vitesse souhaitée, supposée constante, de sortie de chaque vérin est de 16,7 mm/s, et que le rendement volumétrique de la pompe est  $\eta_{\text{vol}} = 0,95$ , vérifier que le débit volumique  $q_{v \text{ pompe}}$  de la pompe est correct.

b) En considérant que la puissance mécanique à la sortie du moteur électrique est de 3 500 W, et que le rendement global de la pompe est  $\eta_{\text{glob}} = 0,8$ , vérifier que la puissance du moteur électrique est suffisante pour entrainer la pompe (pour calculer la puissance hydraulique nécessaire, utiliser la valeur obtenue à la question 16).

c) Conclure quant au choix du groupe hydraulique.

**Partie 2 : Vérification de la fiabilité du système**

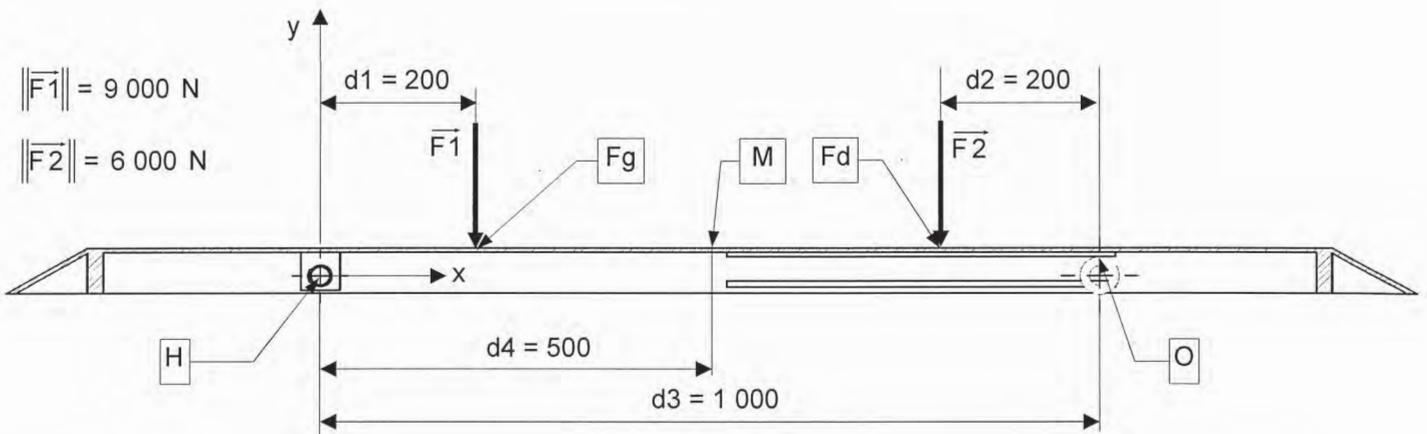
On désire aux questions 18 à 20 vérifier la résistance mécanique des chemins de l'élévateur auxiliaire **57** quand ils supportent un véhicule de masse 3 tonnes.

**Question 18 :** → sur feuille de copie (voir DT 6 à 7)

La figure ci-dessous représente les efforts  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  exercé par le véhicule, qui repose au niveau des points  $F_g$  et  $F_d$  (gauche et droit), sur l'un des chemins de l'élévateur auxiliaire **57**

Les hypothèses de l'étude sont les suivantes :

- Le système admet le plan  $(x,y)$  comme plan de symétrie.
- Les liaisons sont parfaites.
- Le poids des pièces de l'élévateur est négligé devant celui du véhicule à soulever.
- Les actions mécaniques se réduisent à des glisseurs verticaux aux centres des liaisons.

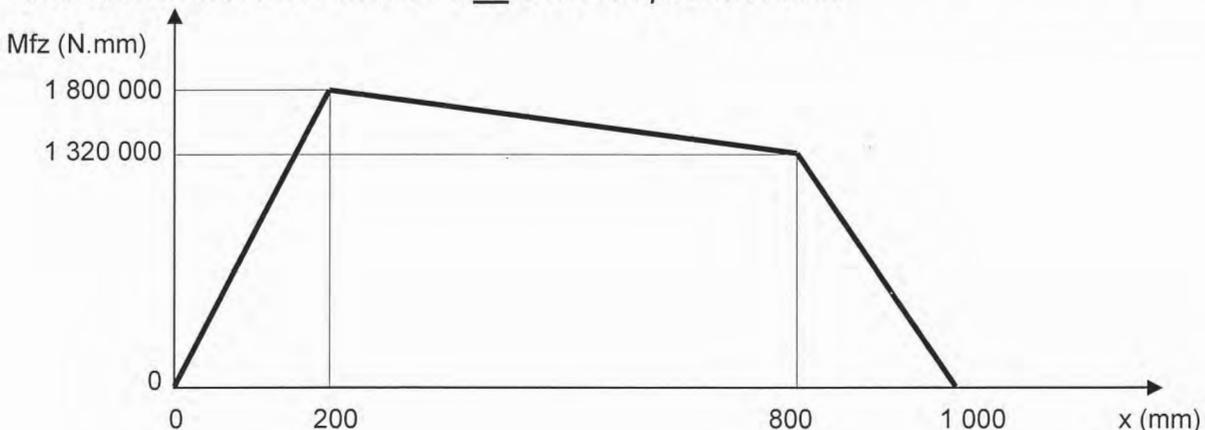


$\|\vec{F}_1\| = 9\,000\text{ N}$   
 $\|\vec{F}_2\| = 6\,000\text{ N}$

Déterminer analytiquement  $\vec{H}(63 \rightarrow 57)$  (résultante de l'action mécanique des bretelles intérieures **63** sur le chemin de l'élévateur **57**) et  $\vec{O}(4 \rightarrow 57)$ .

**Question 19 :** → sur feuille de copie (voir DT 6 à 7, 11)

Une étude a permis de déterminer le diagramme des moments fléchissants le long du chemin de l'élévateur auxiliaire **57** entre les points H et O.



Le moment quadratique de n'importe quelle section droite comprise entre H et O par rapport à son axe (fibre) neutre  $(G,z)$  vaut :  $I_{Gz} = 1\,568\,000\text{ mm}^4$   
 L'acier utilisé pour les chemins de l'élévateur auxiliaire **57** a un module d'élasticité longitudinal :  $E = 210\,000\text{ MPa}$  et une résistance limite élastique :  $R_e = \sigma_e = 340\text{ MPa}$ .

- a) Calculer la contrainte normale maxi puis le coefficient de sécurité minimum dans le chemin de l'élévateur auxiliaire 57.
- b) Pour des appareils de levage, le coefficient de sécurité préconisé doit être compris entre 5 et 8. Conclusion ?

**Question 20 :** → sur feuille de copie (voir DT 6 à 7, 11)

- a) En considérant les données des questions 18 et 19, calculer la flèche du point M milieu du chemin de l'élévateur 57 en utilisant le principe de superposition.
- b) Cette flèche vous semble-t-elle acceptable ? Justifier cette réponse.

*On souhaite aux questions 21 à 22 vérifier la pression maximum de contact au niveau de certaines pièces du mécanisme d'aide au levage. On constate sur le DT10 que l'effort de poussée d'un vérin est le plus important au cours de la deuxième phase. Il est donc nécessaire de réaliser une étude mécanique de pression de contact entre le rouleau 5 et la rampe horizontale 6.*

*Les hypothèses et données des études des questions 21 à 22 sont les suivantes :*

- Le système admet le plan (x,y) comme plan de symétrie.
- Les liaisons sont parfaites.
- Le poids des pièces de l'élévateur est négligé devant celui du véhicule à soulever.
- Les actions mécaniques se réduisent à des glisseurs aux centres des liaisons
- Le module d'élasticité longitudinal des pièces 5 et 6 est de 210 000 MPa.
- La vitesse de déplacement des pièces composant le système d'aide au levage est faible, les lois de la statique peuvent s'appliquer.

**Question 21 :** → sur document réponse DR 10 (voir DP 4, DT 2, 4 à 5, 7, 10)

*L'étude est menée au début de la phase 2, qui correspond à l'effort maximum de poussée du vérin pour cette phase. Le document réponse DR10 représente l'ensemble leviers 3 + galets 4 + rouleau 5 dans cette position ; on désigne par 3 l'ensemble isolé constitué des pièces 3+4+5+...*

Déterminer graphiquement l'action mécanique de contact entre la rampe 6 et le rouleau 5 et indiquer sa norme.

**Question 22 :** → sur feuille de copie (voir DT 4, 12 et 13)

- a) En utilisant le résultat de la question 21, calculer la valeur de la pression de contact entre le rouleau 5 et la rampe 6.
- b) Cette pression est-elle acceptable ? Si oui, indiquer sous quelles conditions.

**Question 23 :** → sur feuille de copie

*La problématique du sujet concernait la vérification de certaines caractéristiques techniques du pont «**FOG Espace 2**».*

Aux résultats de votre travail, reprendre en quelques lignes les cinq points d'étude de l'approche proposée (voir TD 1) et conclure.