

Final

Durée : 2 heures

Aucun document autorisé



Répondre impérativement sur les documents réponses prévus à cet effet (DR1 à DR5).

Toute réponse non justifiée, sur feuille de copie, ne sera pas comptabilisée.

A rendre en fin d'épreuve : DR1 à DR5

Chargement et déchargement des cargos porte-conteneurs

I Performances et architecture des grues

I.A – Le rôle des ports dans le transport mondial des marchandises

Le transport des marchandises (hydrocarbures, charbon, agroalimentaire, ciment, matériaux de construction, biens de consommation. . .) à travers le monde est incontournable dans l'économie moderne. Excepté les matières premières, ces marchandises sont envoyées par conteneurs. Au port de Marseille (premier port français), 950 000 conteneurs transitent chaque année, soit 9 millions de tonnes de marchandises et 1 300 navires.

Les conteneurs sont des boîtes standardisées, d'une masse maximale de 40 tonnes, permettant de transporter des marchandises du fournisseur au client par navire, train, camion, voire par avion, sans déballer la marchandise. Les navires « post-panamax » sont les plus gros navires de transport et peuvent embarquer jusqu'à 13 000 conteneurs.

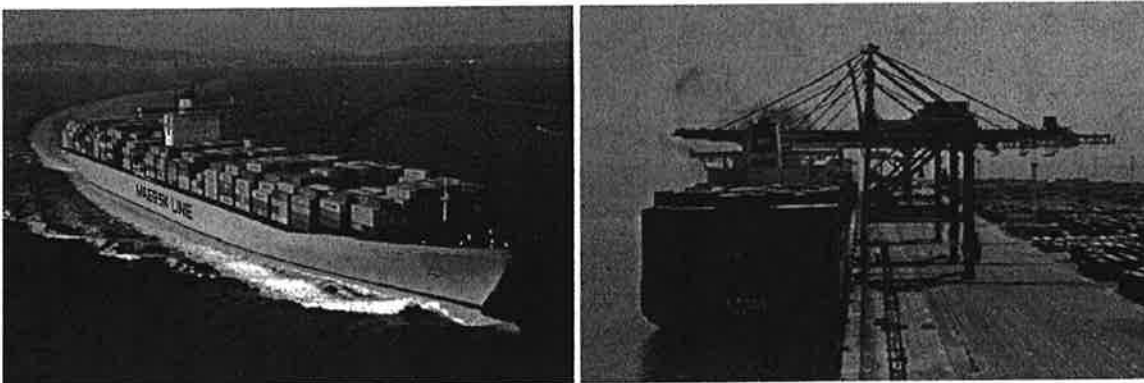
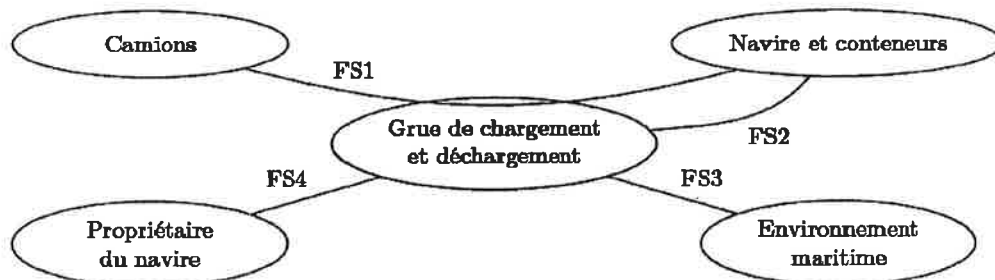


Figure 1 Cargo porte-conteneurs et grues de chargement-déchargement

Pour rejoindre sa destination finale, un conteneur changera plusieurs fois de navire. Il sera déchargé puis rechargé par des grues dans des plateformes portuaires, véritables « hubs » du réseau maritime.

Le temps d'immobilisation des navires à quai est donc un paramètre important du coût du transport. Ainsi les deux prestations principales attendues pour la grue sont la sécurité des hommes et des marchandises et la cadence de transfert. La figure 2 et le tableau 1 donnent les caractéristiques du cahier des charges partiel de la phase de déchargement.



- FS1 : déplacer les conteneurs du navire vers les camions de transfert ;
- FS2 : assurer la sécurité du contenu du conteneur ;
- FS3 : fonctionner malgré des conditions météorologiques difficiles ;
- FS4 : assurer une cadence de transfert suffisamment rapide.

Figure 2 Diagramme partiel des interacteurs

N°	Expression	Critère	Niveau
FS1	Déplacer les conteneurs du navire vers les camions de transfert	Masse maximale du conteneur	40 tonnes
		Altitude des conteneurs sur le navire par rapport au quai	-13 m à 40 m
		Longueur × largeur du navire	400 m × 50 m
		Précision du positionnement du conteneur	10 cm
FS2	Assurer la sécurité du contenu du conteneur	Accélération maximale du conteneur (verticale × horizontale)	
FS3	Fonctionner malgré des conditions météorologiques difficiles	Stabilité du portique	Aucun renversement
		Plage de vitesse de vent autorisant les activités portuaires de déchargement	0 à 120 km · h ⁻¹
		Vitesse maximale du vent mesurée au cours des 100 dernières années	300 km · h ⁻¹
FS4	Assurer une cadence de transfert suffisamment rapide	Cadence	2 min par conteneur en moyenne

Tableau 1 Cahier des charges partiel de la grue de chargement/déchargement

Le contexte est celui du port de Fos, l'un des deux quais de déchargement du port de Marseille. Il est équipé de 13 grues de chargement-déchargement, pour cargos de type « post-panamax », fonctionnant 23 heures sur 24, 7 jours sur 7.

Il y a quelques années, les équipements étant devenus vétustes, le port a engagé la modernisation des chaînes de motorisation et des systèmes de commande des grues pour en améliorer la fiabilité et la cadence.

I.B – Architecture d'une grue et performances souhaitées des nouvelles motorisations

Les grues (voir figure 3) sont constituées d'un portique (structure métallique) dont les quatre pieds peuvent se déplacer sur deux rails, d'un chariot de levage et d'un « spreader » (voir figure 5), situé à l'extrémité des câbles, permettant de s'arrimer au conteneur par un verrouillage aux quatre coins supérieurs.

Chaque grue de déchargement assure trois mouvements principaux de translation du conteneur : un mouvement appelé « translation », horizontal et parallèle au quai (suivant \vec{x}), un mouvement appelé « direction », horizontal et perpendiculaire au quai (suivant \vec{y}) et un mouvement de « levage », vertical (suivant \vec{z}).

Le mouvement de *translation* est assuré par quatre moteurs implantés dans chaque pied de la grue (soit 16 moteurs au total), permettant à l'ensemble de la grue de se déplacer le long de deux rails. Le mouvement de *direction* est assuré par un chariot motorisé se déplaçant sur le portique. Le mouvement de *levage* est assuré par un treuil et un moufle de douze câbles.

Lors du déchargement d'un conteneur, le spreader est posé à plat sur le conteneur puis verrouillé (cette opération dure environ 5 s). Un premier mouvement de levage extrait le conteneur des glissières de guidage du bateau. Une fois en hauteur, le mouvement de direction déplace le conteneur du côté du quai. Il est alors posé sur un camion, déverrouillé du spreader (cette opération dure environ 5 s), puis évacué vers la zone de stockage arrière.

Éléments de cahier des charges de la nouvelle motorisation

- translation : vitesse maximale $V_{tm} = 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, accélération maximale $\gamma_{tm} = 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. La motorisation doit pouvoir déplacer la grue malgré une force de vent sur le portique $F_{vent} = 400 \text{ kN}$. La masse du portique vaut $M_p = 1080 \text{ tonnes}$;
- direction : vitesse maximale $V_{dm} = 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, accélération maximale $\gamma_{dm} = 0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ pour un chariot de masse $M_{ch} = 27 \text{ tonnes}$;
- levage : vitesse maximale $V_{tmv} = 1,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à vide (c'est-à-dire sans conteneur) et $V_{tmv} = 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ avec un conteneur de masse $M_c = 40 \text{ tonnes}$ et un spreader de masse $M_s = 10 \text{ tonnes}$, accélération maximale $\gamma_{tm} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

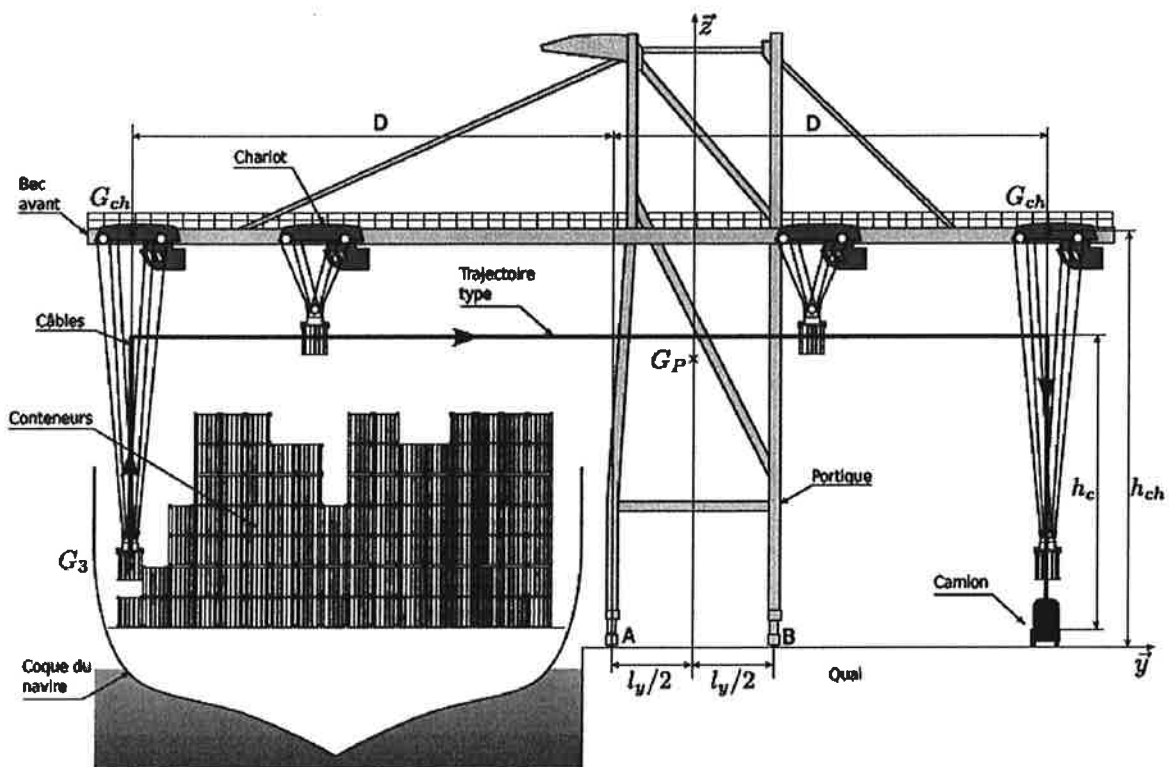
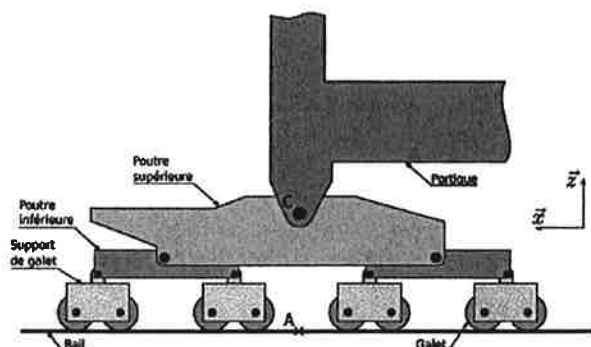
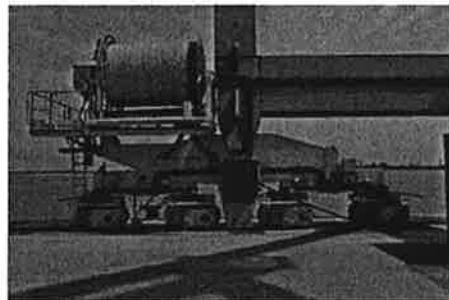


Figure 3 Grue de déchargement des conteneurs

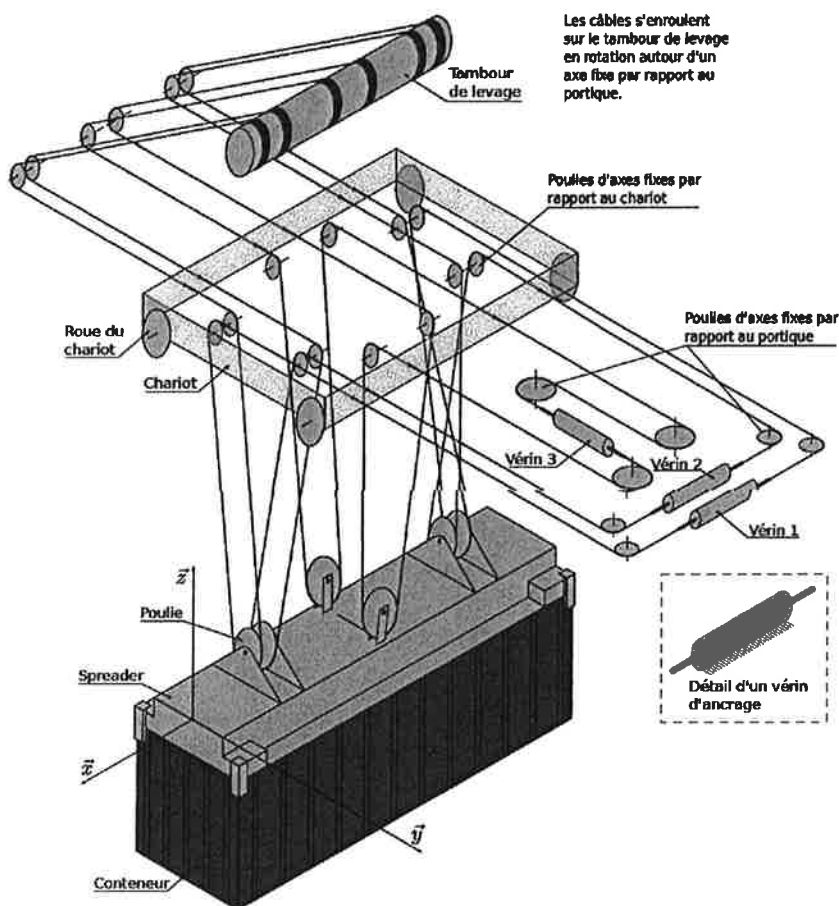


Architecture d'un pied de la grue (chaque disque noir représente une liaison pivot)



Photographie du pied de grue (le tambour supérieur permet l'enroulement du câble d'alimentation 20 000 V)

Figure 4 Pied de grue



Les câbles s'enroulent sur le tambour de levage en rotation autour d'un axe fixe par rapport au portique.

Figure 5 Câblage assurant le mouvement de levage et l'orientation d'un conteneur de 20 pieds

Etude de la stabilité du portique face aux exigences de fonctionnement et de sécurité

Objectif de l'étude :

Evaluer les risques de basculement et de glissement lorsque le portique est soumis aux effets du vent et lors du levage d'un conteneur.

La forme très élancée du portique présente des risques de basculement lors de la manipulation des conteneurs les plus lourds et par grand vent.

Le centre de gravité du portique seul est noté G_p , le centre de gravité du chariot G_{ch} et le centre de gravité de l'ensemble {spreader et conteneur} G_3 . Soient $l_x = 17$ m, $l_y = 15$ m,

$H = 32$ m et $h = 25$ m certaines longueurs précisées figures 3 page 3 et 6 page 11.

Travail à effectuer

Q1- Lorsque le chariot est en bout de bec avant (voir figure 3 p3, la distance D vaut 40 m) et que la charge maximale est levée à l'accélération maximale $\gamma_{tm} = 0,5$ m/s² (ce qui induit, après détermination très basique mais non demandée ici, une action mécanique inertielle supplémentaire, notée \vec{F}_i dirigée vers le bas de $25 \cdot 10^3$ N), On se propose dans le cadre d'un problème plan (dans le plan $\vec{y}\vec{z}$ de la figure 3) de déterminer les efforts dans les contacts rails/portiques, modélisés par des **contacts ponctuels parfaits** en A et B. Afin de vous aider, on vous demande de :

Q1-1 **Compléter** la figure 1 du document réponses 1 en mettant en place les différentes actions mécaniques. On notera \vec{P}_{ch} le poids du chariot, \vec{P}_p le poids du portique, \vec{P}_3 le poids de l'ensemble {spreader et conteneur}, $\vec{A}_{0 \rightarrow p}$ et $\vec{B}_{0 \rightarrow p}$ les actions mécaniques du rail sur le portique en A et B.

Q1-2 **Ecrire** vos équations scalaires traduisant l'équilibre du portique sur DR1

Q1-3 **Faire l'application numérique** en prenant $\|\vec{g}\| = 9,81$ m/s² et **écrire** vos résultats concernant $\|\vec{A}_{0 \rightarrow p}\|$ et $\|\vec{B}_{0 \rightarrow p}\|$ sur DR1.

Q1-4 **Citer** la condition de non-basculement du portique. **Répondre** sur DR1

Q1-5 **Est-elle** réalisée. **Répondre** sur DR1

D'après le cahier des charges, la grue doit pouvoir se déplacer normalement en translation dans une plage de vents de 0 à 120 km/h. De plus, elle ne doit jamais basculer (vitesse maximale du vent mesurée au cours des 100 dernières années : 300 km/h).

La prise au vent latérale est très forte et sera modélisée par une action mécanique :

$$\vec{F}_{v \rightarrow p} = \frac{1}{2} \lambda V^2 \vec{x} \quad \text{appliquée au centre de poussée K (figure 6 p 11) avec } \lambda = 800 \text{ N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-2}.$$

La liaison galets rail supporte les 1080 tonnes du portique. En raison des pressions admissibles par les matériaux en contact, plusieurs galets sont nécessaires pour chaque pied. Les questions suivantes visent à élaborer un modèle statique d'un pied pour ensuite conclure sur les critères de sécurité et de fonctionnement de la grue.

Q2- En analysant le schéma cinématique donné sur DR2, **compléter** le graphe des liaisons du document réponses 2.

On note : G_i les différents galets (i variant de 1 à 8), SG_{ij} les supports des galets i et j , P_{inf} 1 et 2 les deux poutres inférieures et P_{sup} la poutre supérieure .

Q3 -**Déterminer** la liaison équivalente, sur feuille de copie, aux deux liaisons en série L_1 et L_2 notée L_{12} . **Compléter** DR3.

Q4-**En déduire** L_{34} . **Répondre** sur DR3.

Q5- **Déterminer** la liaison équivalente, sur feuille de copie, aux deux liaisons en parallèle L_{12} et L_{34} , notée L_I . **Compléter** DR3.

Q6- **Déterminer** la liaison équivalente, sur feuille de copie, aux deux liaisons en série L_I et L_5 notée L_{I5} . **Compléter** DR4.

Q7- Etant donné la symétrie des liaisons, **donner** la liaison équivalente entre le rail et le portique, notée L_{OP} . **Répondre** sur DR4.

Q8- **Nommer** le type de construction utilisé afin d'obtenir cette liaison équivalente. **Répondre** sur DR4.

Q9- Avec un simple raisonnement, sans calcul, **en déduire** la liaison obtenue entre la voie et le portique ainsi que son degré d'hyperstatisme noté h . **Répondre** sur DR4

Q10-Avec nos hypothèses gentillette (Noël n'est pas si loin ;-)) considérant le problème comme plan (plan de la figure 6), le mouvement suivant l'axe \vec{z} du conteneur inexistant, le chariot et le portique immobiles, la masse des poutres supérieure, inférieure et des supports de galets négligeable devant M_p , mais malheureusement cette gentillette doit s'arrêter là ! il y a adhérence entre les galets et le rail. Le coefficient d'adhérence en A et D est identique et vaut

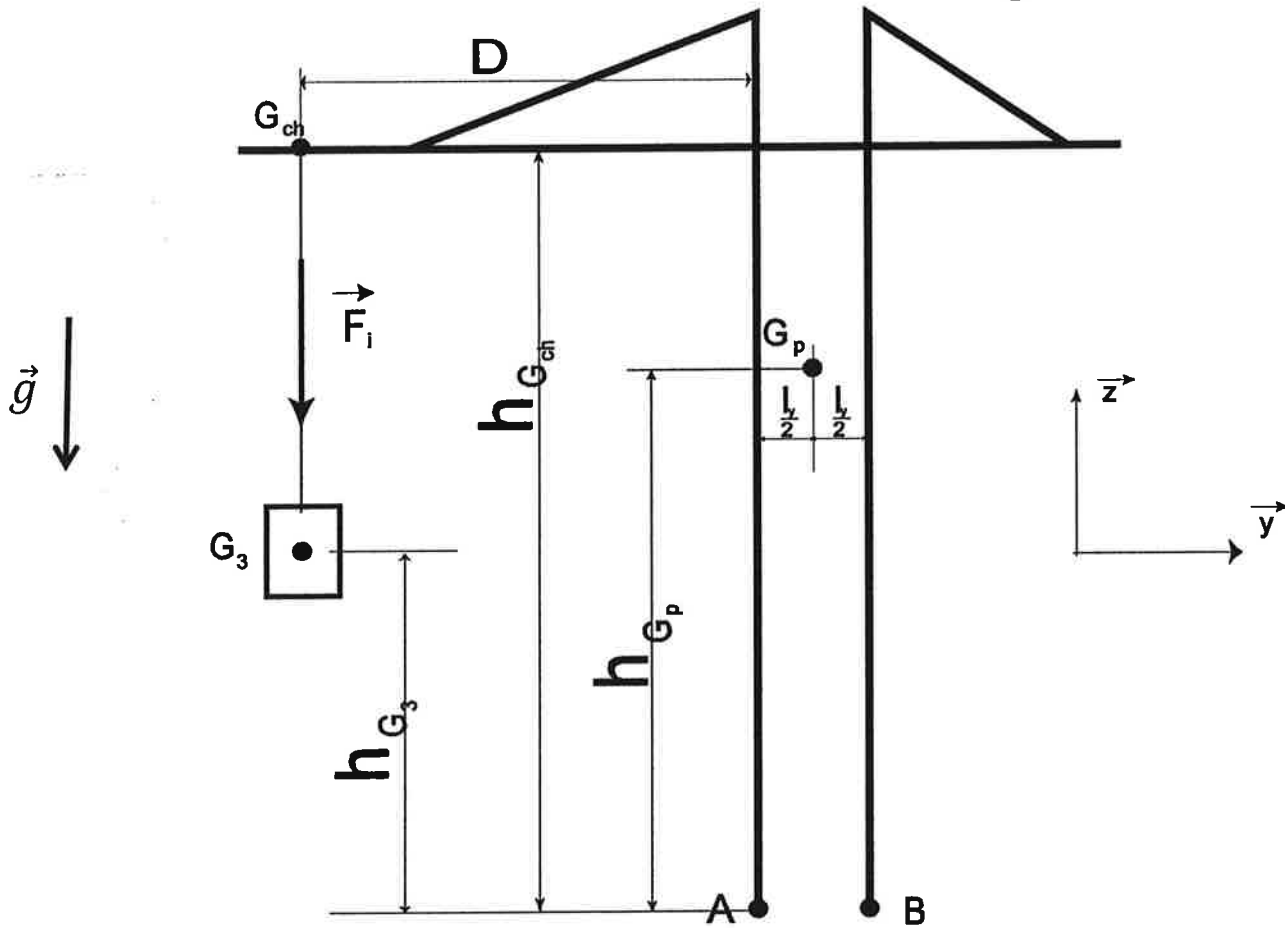
$f = 0,2$. On vous demande de **mettre en place** sur la figure 6 du DR5 **les différentes actions mécaniques**. On notera \vec{N}_w et \vec{T}_w respectivement les composantes Normale et Tangentielle de l'action mécanique $\vec{W}_{rail \rightarrow portique}$ au point de contact W.

Q11- **Ecrire** les équations scalaires régissant l'équilibre du portique. **Répondre** sur DR5.

Q12- En utilisant ces équations, **en déduire** la valeur en m/s puis en km/h de la vitesse notée V_1 pour que la grue bascule puis la vitesse notée V_2 pour que la grue glisse **Les critères de la fonction FS3 du cahier des charges sont-ils respectés ? Répondre** sur DR5

Fin , bon intersemestre

Q1-1 Silhouette du portique non à échelle. figure 1



Q1-2 Ecriture des équations scalaires

Q1-3 Application numérique

$\| \vec{A}_o \rightarrow p \| =$ _____

$\| \vec{B}_o \rightarrow p \| =$ _____

Q1-4 Condition de non basculement :

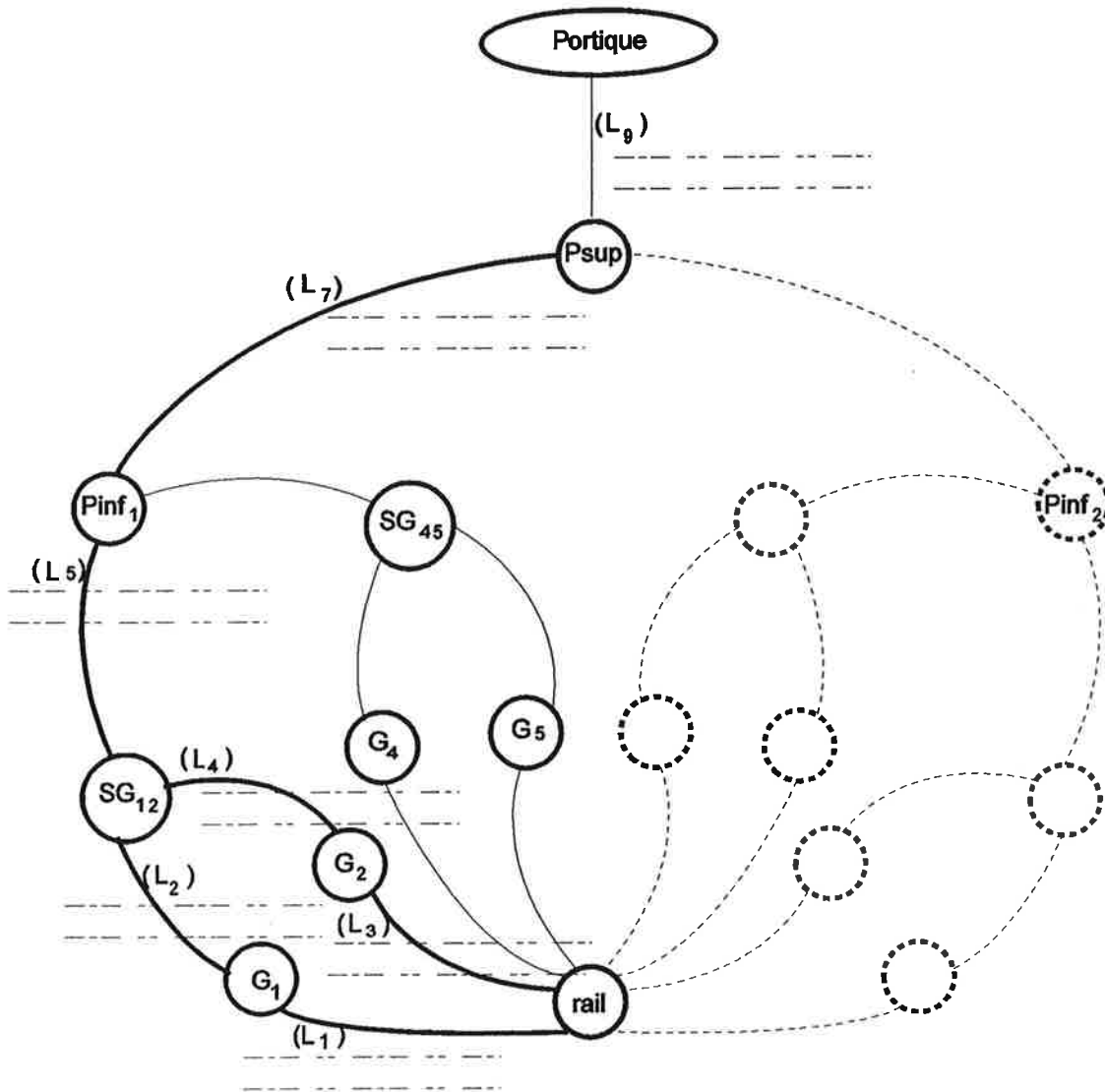
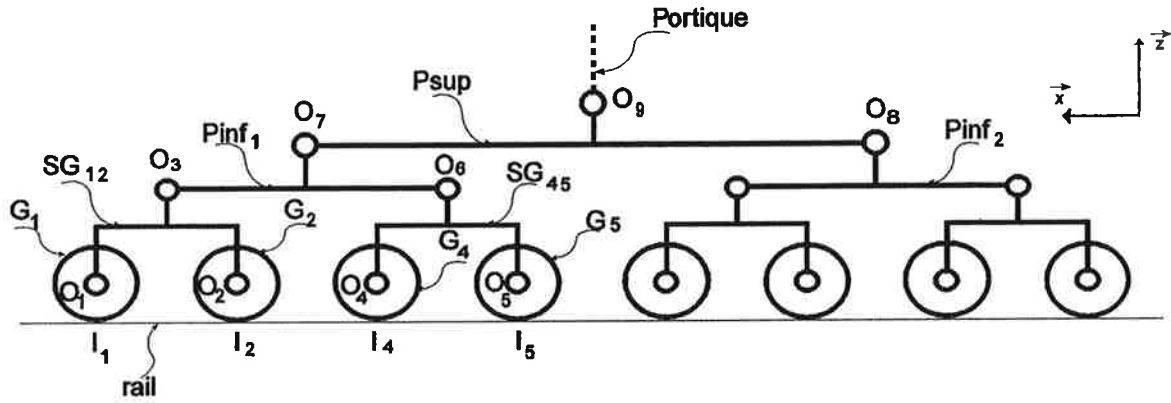
Q1-5 Vérification:

NOM :

DR1

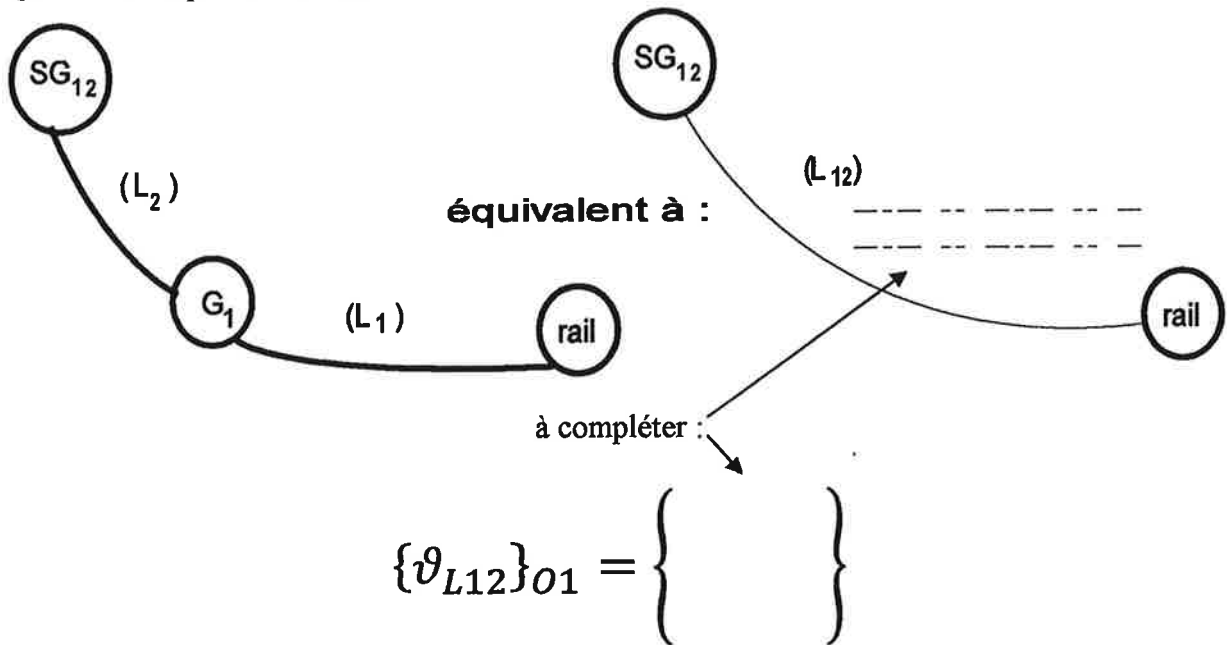
Q2 – Graphe des liaisons avec : $\|\vec{I}_1\vec{I}_2\| = \|\vec{O}_1\vec{O}_2\| = \|\vec{I}_4\vec{I}_5\| = \|\vec{O}_4\vec{O}_5\| = e$

$$\|\vec{O}_3\vec{O}_6\| = 2e \text{ et } \|\vec{O}_7\vec{O}_8\| = 4e$$

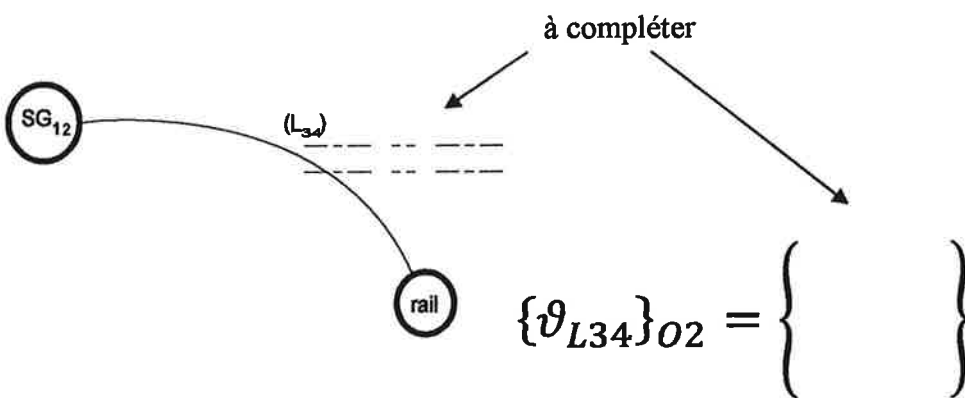


NOM :

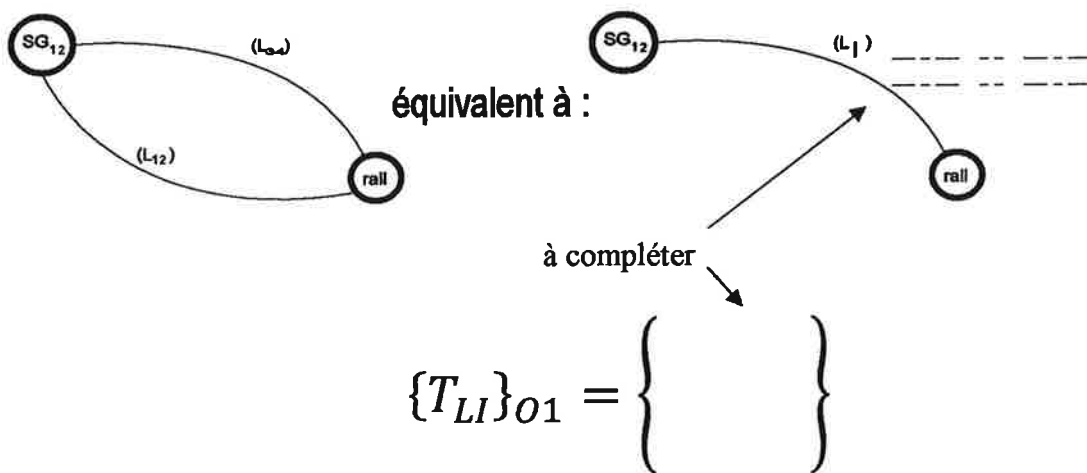
Q3- Liaison équivalente L_{12}



Q4- Liaison équivalente L_{34}



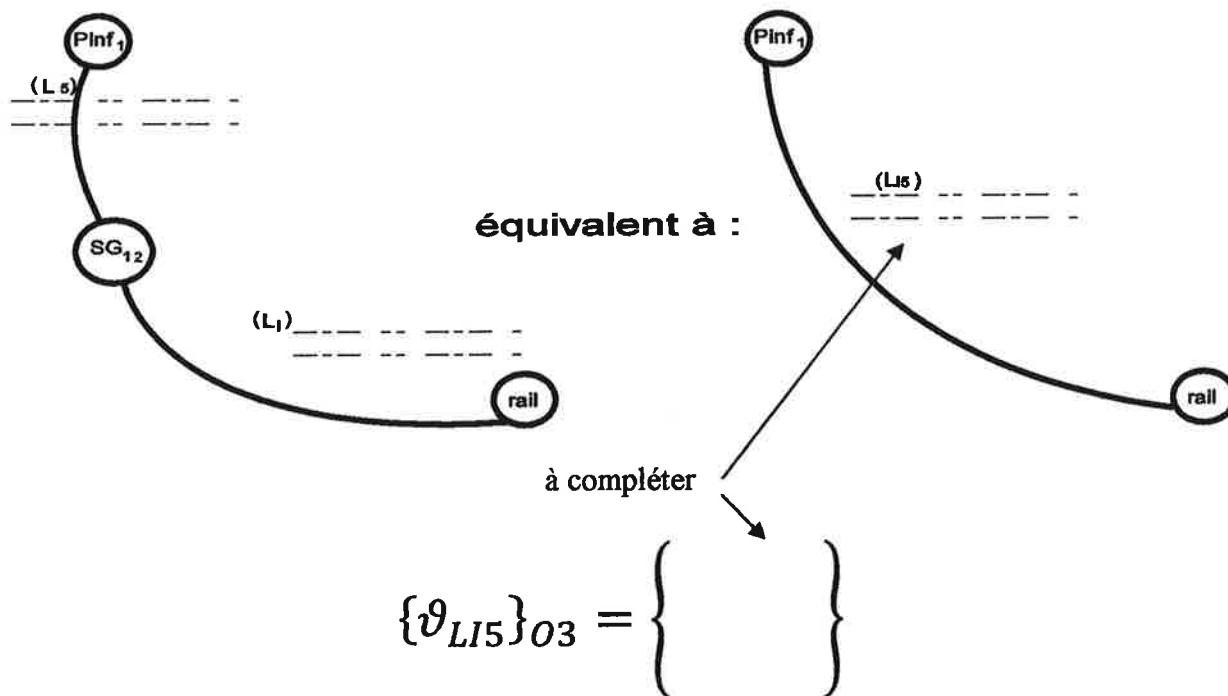
Q5- Liaison équivalente L_I



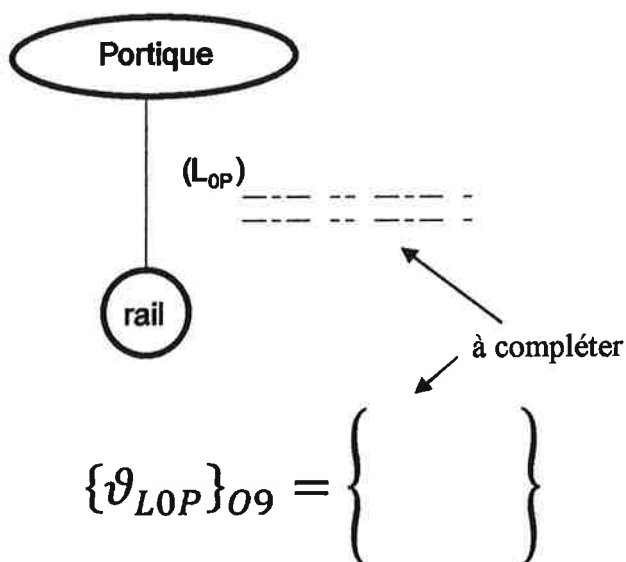
NOM :

DR3

Q6- Liaison équivalente L_{15}



Q7- Liaison équivalente L_{0P}



Q8- Nom du type de la solution technique utilisée : _____

Q9- Type de liaison entre le rail et le portique : _____

degré d'hyperstatisme h : _____

NOM :

Q10- mise en place des actions mécaniques

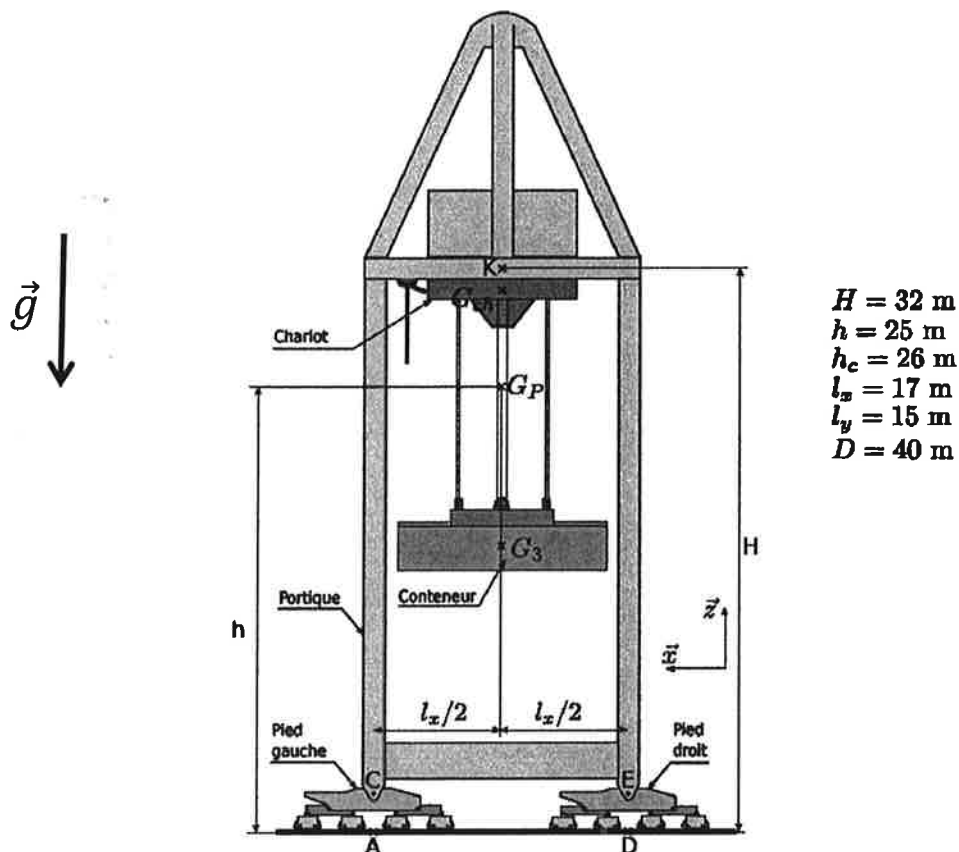


Figure 6 Vue longitudinale du portique

Q11- Ecrire des équations scalaires régissant l'équilibre du portique

Q12 – Vitesse limite V_1 pour que la grue bascule :

$V_1 = \text{_____ m/s}$ $V_1 = \text{_____ km/h}$

Respect du cahier des charges : oui - non (barrer la mention fausse)

Vitesse limite V_2 pour que la grue glisse :

$V_2 = \text{_____ m/s}$ $V_2 = \text{_____ km/h}$

Respect du cahier des charges : oui - non (barrer la mention fausse)

NOM :

DR5