

TD 1.2 : Passerelle compensatrice

Le transfert de personnes ou de marchandises en haut mer entre un bateau ravitailleur et une structure maritime fixe peut être délicat et présenter des risques inacceptables. Ils existent des moyens simples (tyroliennes) mais qui n'annulent pas le caractère périlleux de l'opération.

Les ingénieurs de la société hollandaise AMPELMANN ont développé des solutions technologiques pour rendre possible ces opérations en mer [1]. Elles consistent en des passerelles compensant les mouvements de la mer (Motion compensated gangway). AMPELMANN propose un vaste choix de passerelles selon les besoins de ses clients y compris des passerelles spécifiquement conçues.

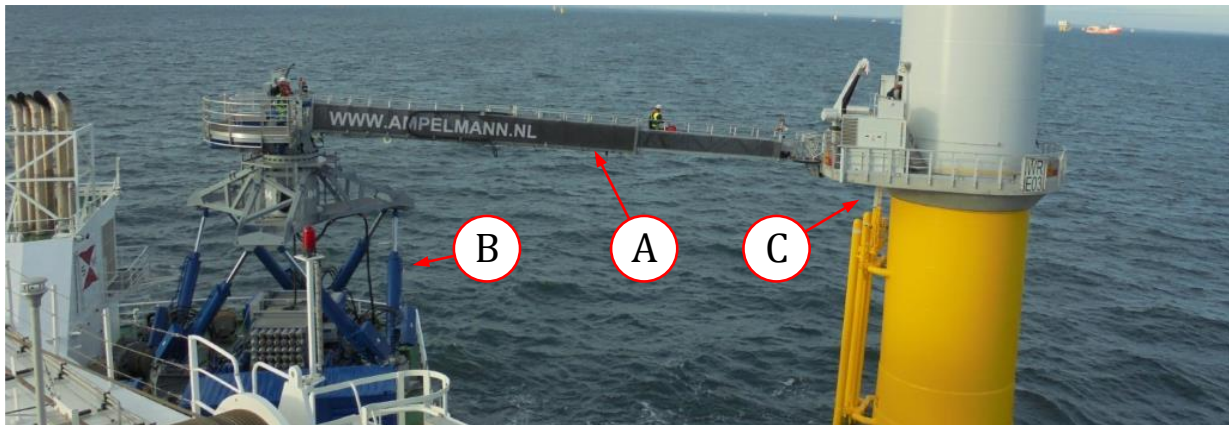


Figure 1 : Motion Compensated Gangway pour l'accès à l'éolienne offshore (d'après [1]).

Après que les personnels soient montés sur le « transport deck » A (voir Figure 1), la compensation est activée. Les vérins hydrauliques de l'hexapode B sont alors alimentés en huile de sorte que le transport deck reste immobile par rapport à la structure maritime fixe receveuse C.

Un bateau en mer est sujet à tous types de mouvements (Figure 2). Six vérins composent l'hexapode (sous le *transport deck*, Figure 3) et compensent ces mouvements.

Vidéos : [Ampelmann A-type](#) ; [Ampelmann Offshore Access Systems - People Rescue](#).

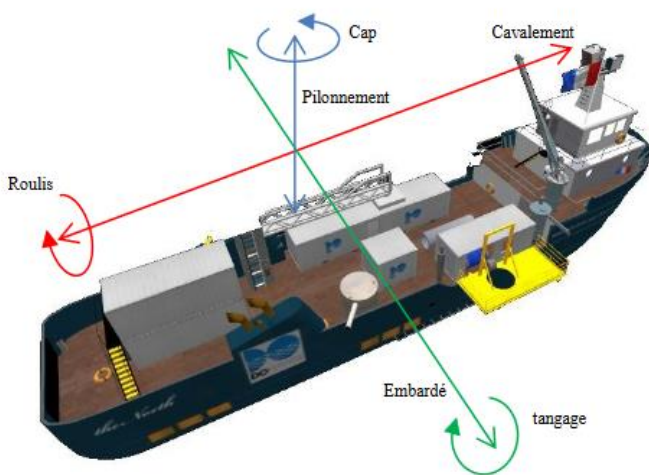


Figure 2 : composantes du mouvement du bateau – terminologie [2].

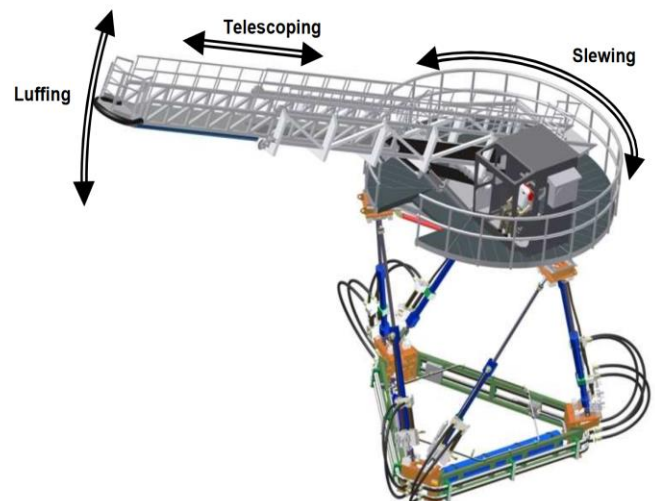
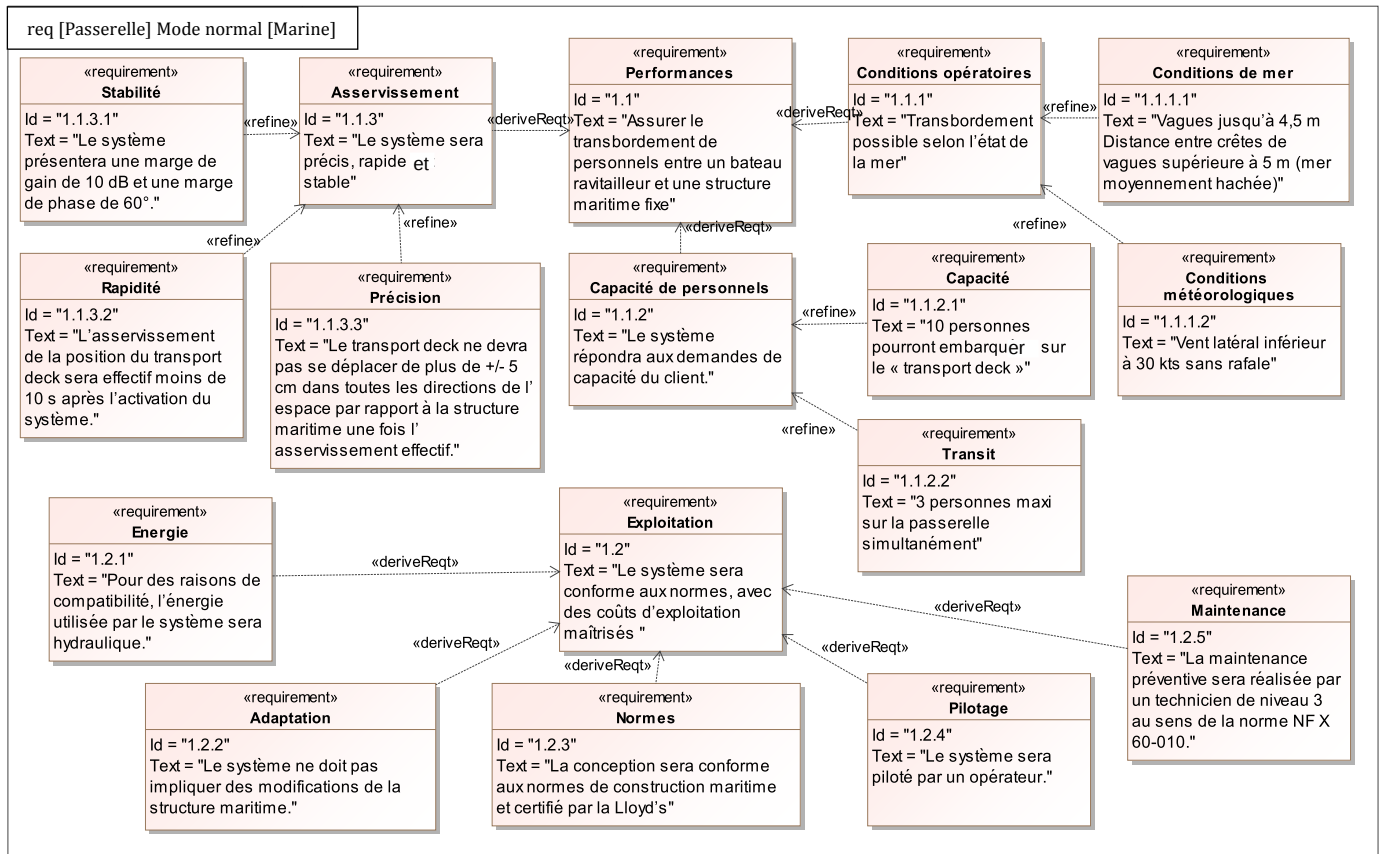
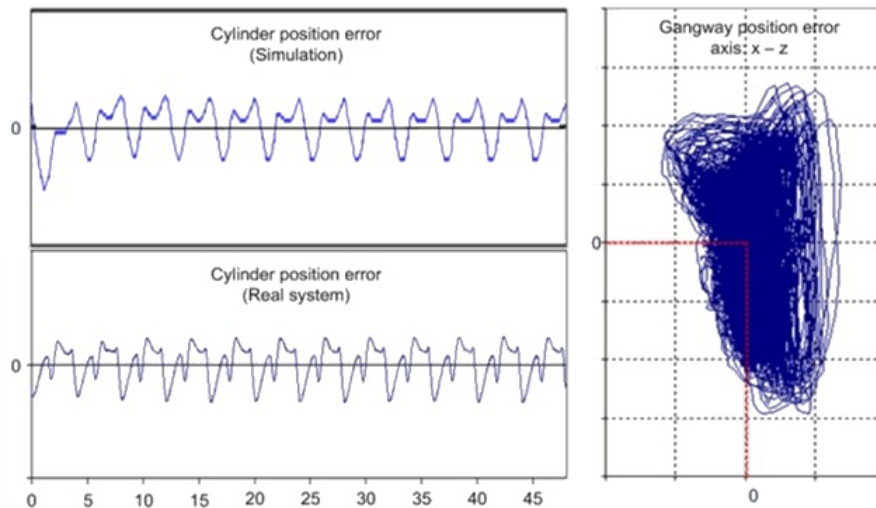


Figure 3 : hexapode muni du transport deck à 3 degrés de liberté supplémentaires [3].

Le diagramme ci-dessous décrit partiellement le cahier des charges de la passerelle à compensations.



Une simulation a été entreprise dans le cas du système complet 3D pour vérifier une exigence du cahier des charges. Le résultat de cette simulation est tracé sur la figure ci-dessous (1cm entre les cases du quadrillage).



- Q1. Identifier l'exigence concernée. Est-elle vérifiée ?
- Q2. Quelle est l'intérêt de l'exigence Id= 1.2.2 ?
- Q3. Pourquoi l'exigence Id=1.2.4 est-elle une exigence dérivée de Id=1.2 ?
- Q4. Quelle est la longueur opérationnelle de la passerelle ?
- Q5. Quel est le débattement angulaire vertical ?
- Q6. Quel est le nombre effectif de passagers que le système embarquera ?

Le modèle simplifié plan est donné ci-dessous : plan $(O, \vec{z}_0, \vec{x}_0)$. On ne considère donc que 3 des 6 composantes du mouvement du bateau. On note $\vec{OO}_1 = x(t) \cdot \vec{x}_0 + z(t) \cdot \vec{z}_0$ et $\gamma = (\vec{z}_0, \vec{z}_1)$ (par temps parfaitement calme, on a $\vec{OO}_1 = b \cdot \vec{x}_0 + a \cdot \vec{z}_0$ et $\gamma = 0$).

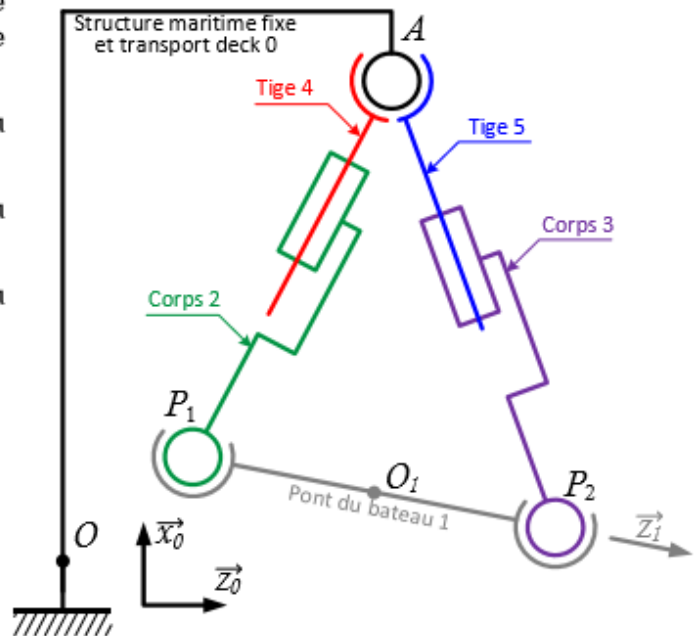
Le repère $\mathcal{R}_0 = (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est lié à la structure maritime fixe (par exemple, éolienne ou plateforme pétrolière).

Le repère $\mathcal{R}_1 = (P_1, \vec{x}_1, \vec{y}_0, \vec{z}_1)$ est lié au pont du bateau mis en mouvement par la mer.

Le repère $\mathcal{R}_2 = (P_1, \vec{x}_2, \vec{y}_0, \vec{z}_2)$ est lié au corps du vérin 2 tel que : $\alpha = (\vec{z}_0, \vec{z}_2)$.

Le repère $\mathcal{R}_3 = (P_2, \vec{x}_3, \vec{y}_0, \vec{z}_3)$ est lié au corps du vérin 3 tel que : $\beta = (\vec{z}_0, \vec{z}_3)$

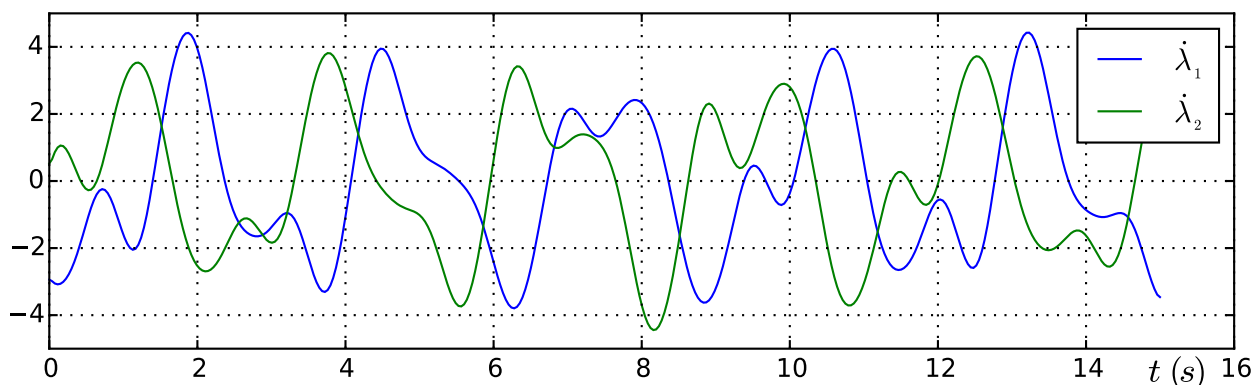
$$\begin{aligned}\vec{P_1A} &= \lambda_1(t) \cdot \vec{z}_2 \\ \vec{P_2A} &= \lambda_2(t) \cdot \vec{z}_3 \\ \vec{OA} &= z_A \cdot \vec{z}_0 + x_A \cdot \vec{x}_0 \\ \vec{P_1P_2} &= L \cdot \vec{z}_1\end{aligned}$$



La houle est représentée par une fonction sinusoïdale représentant la hauteur de l'eau en fonction du temps. Les positions verticales des points P_1 et P_2 sont supposés identiques à ceux de l'eau :

$$\begin{cases} v_1(t) = b + \frac{h}{2} \sin\left(\frac{2\pi c}{L_v} \left(t - \frac{L}{2c}\right)\right) \\ v_2(t) = b + \frac{h}{2} \sin\left(\frac{2\pi c}{L_v} \left(t + \frac{L}{2c}\right)\right) \end{cases} \text{ avec : } \begin{cases} h \text{ la hauteur des vagues} \\ L_v \text{ la distance des vagues entre 2 crêtes} \\ c \text{ la célérité de la houle suivant } \vec{z}_0 \end{cases}$$

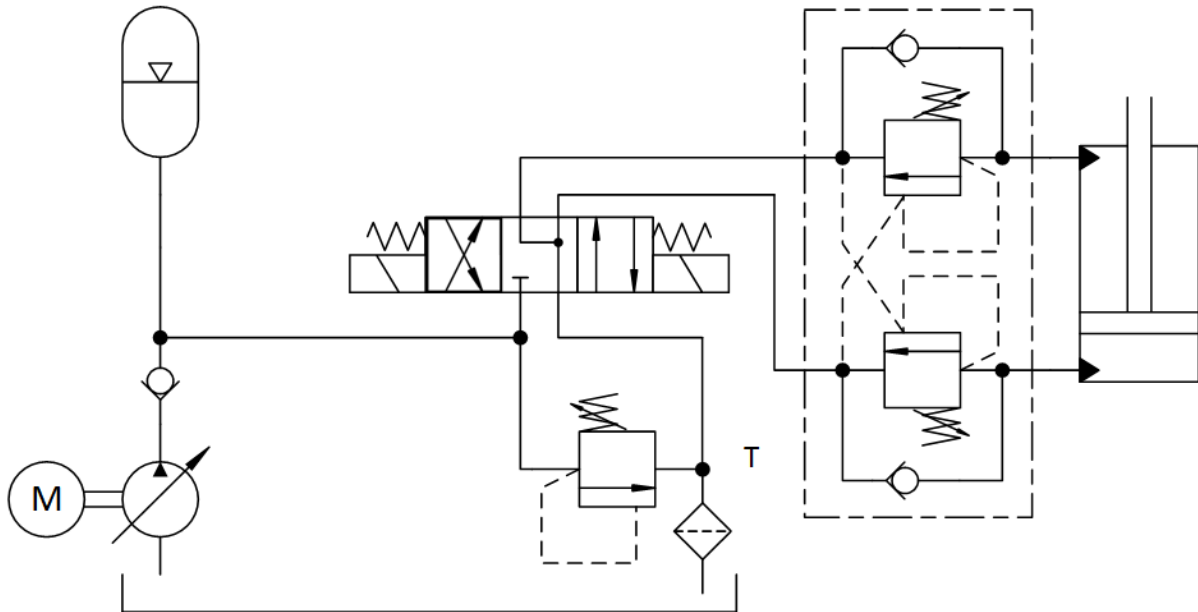
La courbe ci-dessous montre les vitesses de sortie des tiges de vérin $\dot{\lambda}_1$ et $\dot{\lambda}_2$ (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).



Q7. Quelle est la plage de vitesse des tiges de vérins ?

(Ces courbes ont été tracées par un programme en Python à partir de calculs de cinématique que nous abordons en cycle 2 : Approfondissements 1).

La chaîne d'énergie est représentée par le schéma hydraulique ci-dessous.



N°	Nom	Observation
	Pompe à cylindrée variable	Conversion de la puissance mécanique nécessaire à son entraînement en puissance hydraulique.
	Clapet anti-retour	Le débit est passant dans un seul sens.
	Accumulateur	Nombre >15. Ils permettent de stocker une grande quantité d'énergie hydraulique sous pression.
	Limiteur de pression	Composant de sécurité. Il limite la pression dans un circuit hydraulique pour protéger ses composants.
	Distributeur 4/3 à commande électrique et retour par ressort	Ces deux composants assurent la distribution de l'énergie hydraulique vers le vérin.
	Bloc de valves d'équilibrage pilotées	
	Vérin double effet	Diamètre du piston D Diamètre de la tige d
	Filtre	
	Réservoir d'huile	Classiquement nommé Tank (un T noté vers canalisation signale que celle-ci retourne au réservoir)
	Moteur d'entraînement de la pompe	

Q8. Identifier des composants associés aux chaînes d'énergie et d'information de la passerelle et construire la chaîne fonctionnelle.

Bibliographie

[1] Site internet de la société Ampelmann. <http://www.ampelmann.nl/>

[2] P. MERRIAUX, R. BOUTTEAU, P. VASSEUR, X. SAVATIER (2014). *Algorithme de positionnement d'une passerelle à mouvements compensés à partir de mesures inertielles et lidar pour les opérations de maintenance des parcs éoliens offshore*. Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle (RFIA) 2014, Jun 2014, France.

[3] D.J. CERDA SALZMANN (2010). *Ampelmann, Development of the Access System for Offshore Wind Turbines*. PhD Thesis

