

SESSION 2022

**AGRÉGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE MÉCANIQUE**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION**

Durée : 4 heures

Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.

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

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1414A	102	7048

► **Concours interne du CAER / Agrégation de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1414A	102	7048

COMPOSITION DU SUJET

Texte du sujet :

- *Description de la situation et des problématiques industrielles, parties à traiter par le (ou la) candidat(e), 17 pages*

DT – Documents techniques :

Documents spécifiques et relatifs au support de l'étude, données techniques.

- *DT1 : Schéma cinématique de l'IMS ;*
- *DT2 : Caractéristiques dimensionnelles des vérins de déploiement ;*
- *DT3 : Caractéristiques techniques du groupe électrohydraulique de déploiement (2 pages) ;*
- *DT4 : Modélisation multi physique du circuit électrohydraulique ;*
- *DT5 : Résultats obtenus par modélisation multi physique ;*
- *DT6 : Paramétrage du navire ;*
- *DT7 : Modélisation de la lame de suspension ;*
- *DT8 : Paliers lisses de guidage des bras ;*
- *DT9 : Alliages d'aluminium (2 pages) ;*
- *DT10 : Dessin de définition du bras tribord (état brut d'usinage, format A3) ;*
- *DT11 : Éléments liés à l'usinage des bras.*

DR – Documents réponse

Documents qui seront à compléter et à rendre par le (ou la) candidat(e), tous les documents sont à rendre, même non complétés :

- *DR1 : Épure de détermination des longueurs utiles des vérins ;*
- *DR2 : Modélisation multi physique du circuit hydraulique ;*
- *DR3 : Conception de la liaison pivot ;*
- *DR4 : Procédés de soudage à l'arc ;*
- *DR5 : Mise en position du bras tribord pour l'usinage.*

Les feuilles de copie remises au (à la) candidat(e) viendront compléter ces documents et permettront au (à la) candidat(e) de répondre au questionnement.

Après avoir complété les en-têtes, le (la) candidat(e) remettra en fin d'épreuve ses copies paginées et les documents réponses aux questions.

Parties à traiter

Le sujet comporte 3 parties distinctes (cf. durées conseillées indiquées) **qui peuvent être traitées de façon indépendantes**. Certaines sous-parties peuvent également être traitées de façon indépendantes.

- *Partie A : Analyse de l'IMS et de son comportement*
- *Partie B : Étude comportementale du navire amphibie en déplacement terrestre*
- *Partie C : Étude de conception et d'industrialisation du bras tribord*

Si le (ou la) candidat estime avoir détecté une erreur ou un problème dans le sujet, il (ou elle) l'indique clairement dans sa copie et poursuit l'épreuve.

SUJET

TRAIN D'ATERRISSAGE IMS POUR NAVIRE AMPHIBIE

(Durée conseillée pour la lecture du sujet : 20 min)

Mise en situation

L'entreprise

La société Iguana Yachts®, basée à Caen en Normandie, développe et assemble des navires amphibies destinés au marché de la plaisance de luxe. Né de la volonté de surmonter les difficultés liées à la configuration des côtes et à l'accès à la mer dans la région où l'on trouve les plus grandes marées d'Europe, le développement d'une solution amphibie intégrée à la coque a permis au premier Iguana® de naviguer en 2011.



Figure 1 – Différents modèles Iguana Yachts en utilisation

Le train d'atterrissage

Le Système de Mobilité Iguana – IMS®

Protégée par plusieurs brevets depuis 2008, la solution amphibie unique qui équipe toutes les unités Iguana® repose sur l'utilisation de deux bras indépendants articulés autour d'un axe sensiblement parallèle à l'axe longitudinal du navire. Chaque bras, une fois déployé, permet d'assurer le déplacement terrestre du bateau à l'aide d'une chenille élastomère motorisée sur tout type de terrain.

Au-delà de la fonction, c'est l'objectif d'intégration à la carène du bateau et le mode d'utilisation de l'IMS qui ont amené ses concepteurs à utiliser le terme de "train d'atterrissage". Dans la suite du sujet, ce terme comprendra l'ensemble des deux bras équipés de leurs chenilles respectives, ainsi que le système de déploiement qui leur est associé.



Figure 2 – Le Système de Mobilité Iguana (IMS)

Le système de déploiement

Chaque bras pivote de manière indépendante par rapport à la carène, au moyen de deux articulations (avant et arrière) et de deux vérins double effet associés à chacune des traverses.



Figure 3 – Système de déploiement

Le système de motricité

Chaque chenille est guidée autour du bras par des galets supérieurs et inférieurs indépendants. Le moteur-roue arrière assure la transmission de la puissance à la chenille synchrone. Le galet libre situé à l'avant, monté sur coulisseau, permet de garantir la tension de la chenille grâce à un vérin hydraulique simple effet.

Une des priorités du chantier est de proposer des bateaux qui limitent au maximum l'impact sur le sol lors des atterrissages. Les galets inférieurs de guidage de la chenille sont montés par paire sur le bras à l'aide d'un système de lame composite déformable. La pression de contact sur un sol meuble (type sable) n'est alors pas supérieure à celle d'une empreinte de pied humain.

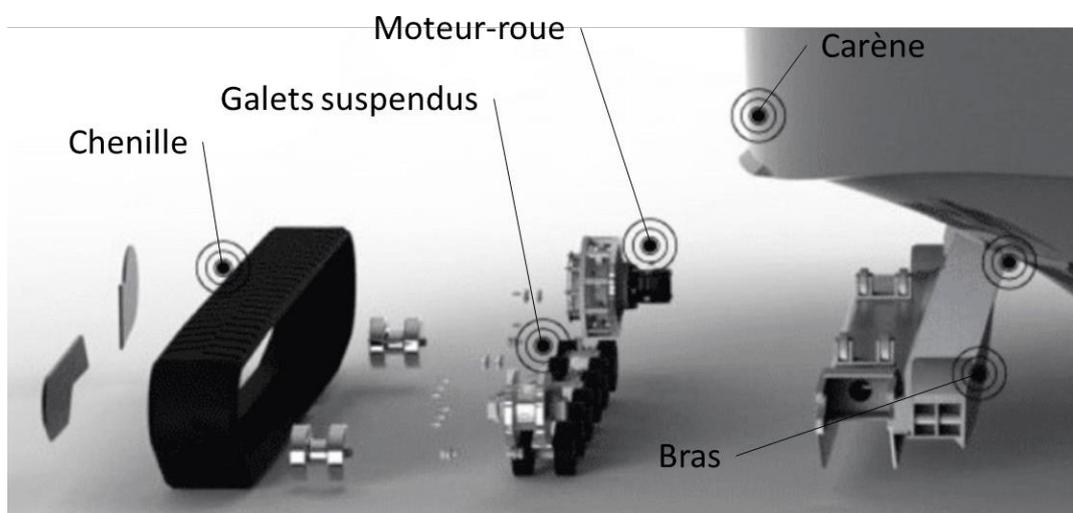


Figure 4 – Éclaté du système de motricité IMS

Extrait du cahier des charges

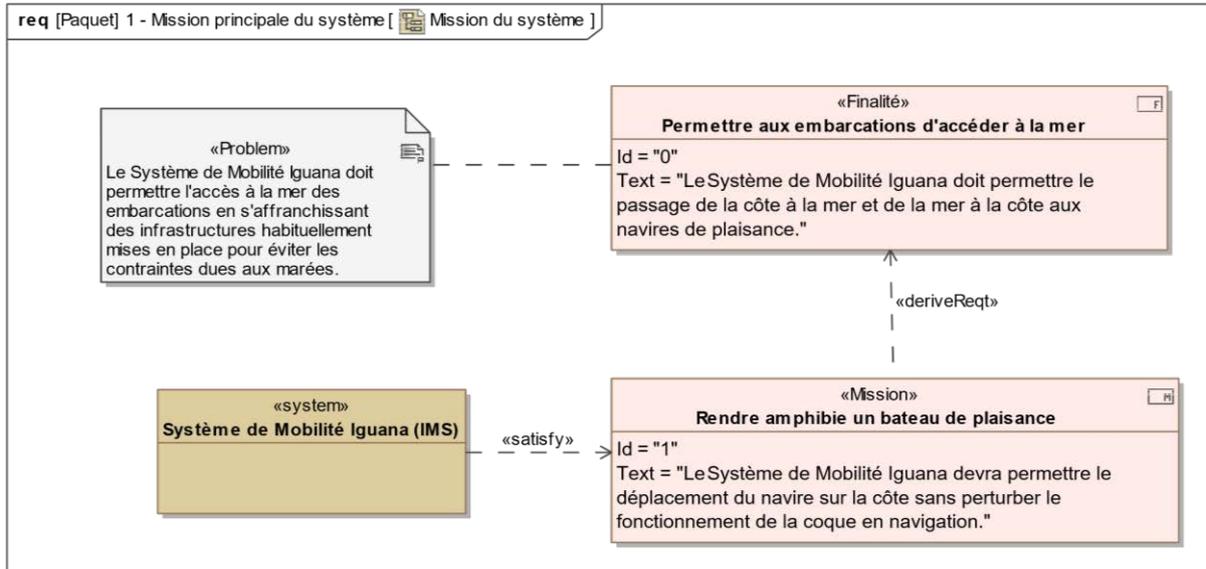


Figure 5 – Mission de l'IMS

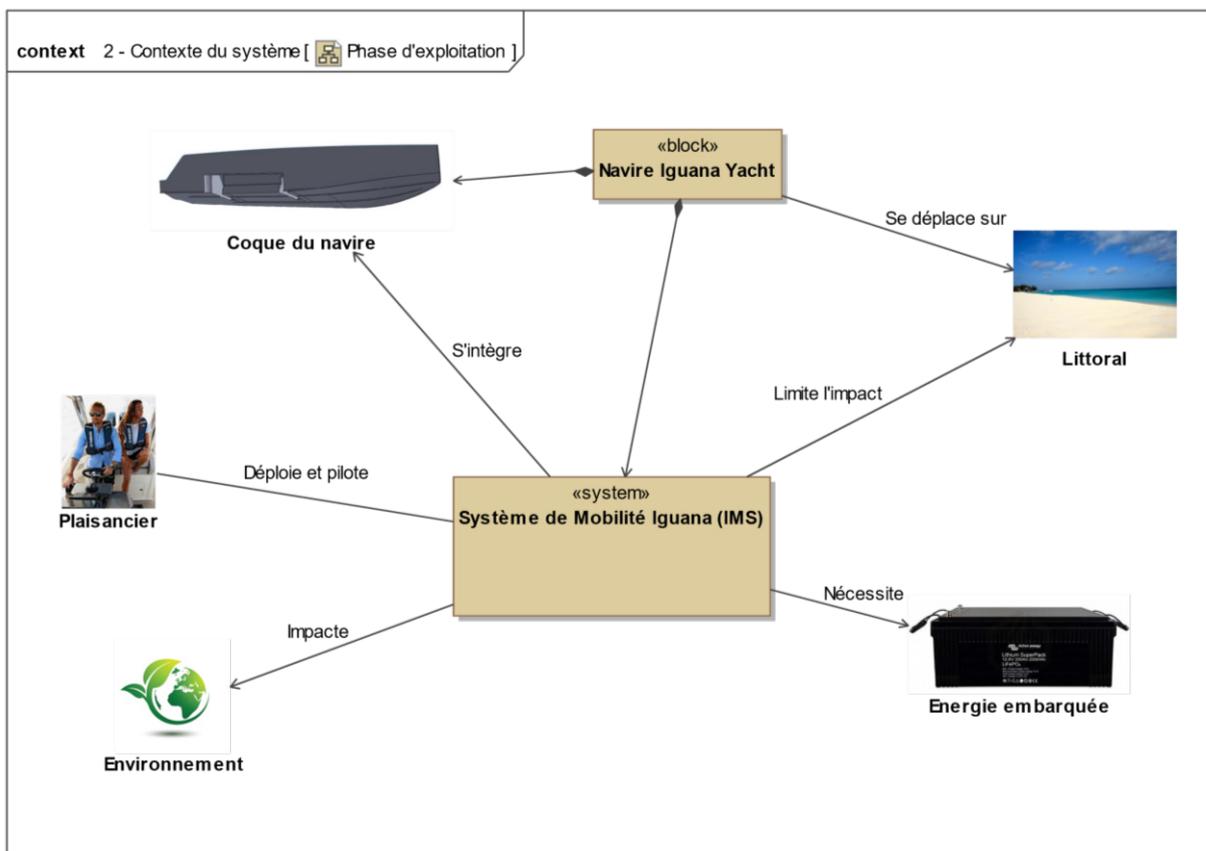


Figure 6 – Contexte de l'IMS

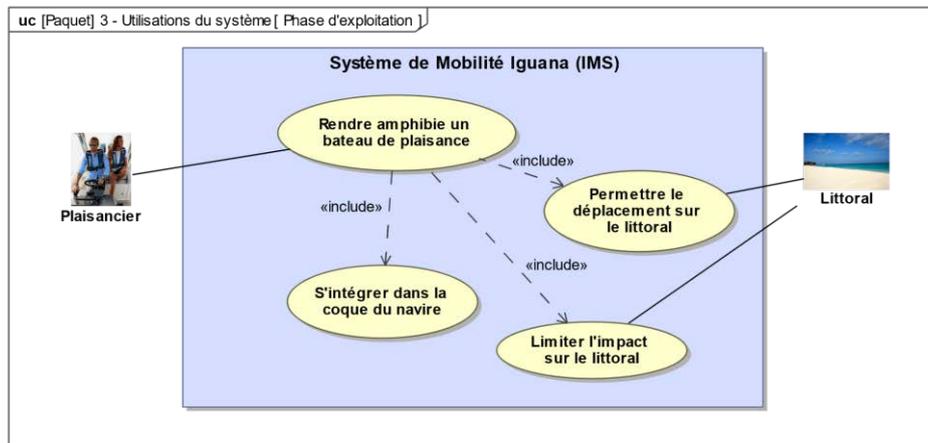


Figure 7 – Cas d'utilisation de l'IMS

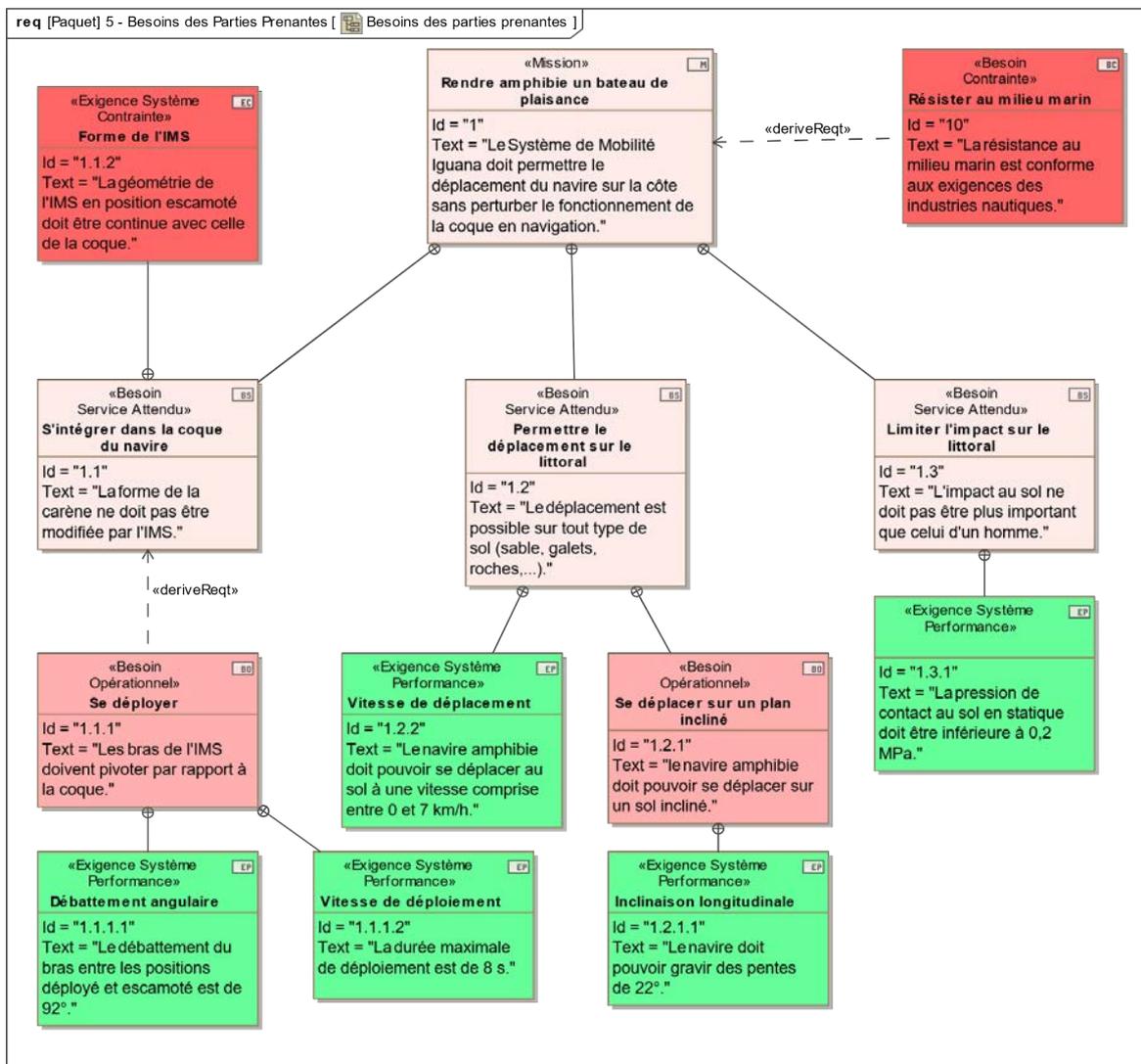


Figure 8 – Principales exigences liées à l'IMS

Problématique

L'IMS a été développé par itérations successives par ses concepteurs. On se propose dans ce sujet :

- de vérifier que les solutions technologiques mises en place permettent de satisfaire les principales exigences de performance fixées par le cahier des charges ;
- d'optimiser le triptyque produit – procédé – matériau dans le cadre d'une production en très petite série.

Partie A : ANALYSE DE L'IMS ET DE SON COMPORTEMENT

(Durée conseillée : 40 min)

A1 Mécanisme de déploiement – hyperstaticité

L'objet de cette première sous-partie est d'appréhender le fonctionnement de l'IMS et de déterminer les principales caractéristiques des composants de la chaîne d'énergie.

QUESTION A.1.1
DT1
Feuille de copie

À l'aide du schéma cinématique fourni sur le document technique DT1, et en explicitant la démarche retenue, **déterminer** le degré d'hyperstaticité du mécanisme de déploiement.
Commenter le résultat obtenu.

QUESTION A.1.2
Feuille de copie
DR1

Sur l'épure du document réponse DR1, **déterminer** les longueurs en position rentrée et sortie des deux vérins de déploiement. **En déduire** la course nécessaire pour chaque vérin.

Le document technique DT2 présente les caractéristiques dimensionnelles du modèle de vérin retenu et le document technique DT3 fournit les caractéristiques techniques du groupe électrohydraulique (servomoteur synchrone SEW CMP71-M associé à une pompe à engrenages PARKER PGP 511 de cylindrée 6 cm^3).

QUESTION A.1.3
DT2 & DT3
Feuille de copie

À partir des caractéristiques dimensionnelles des vérins et des performances nominales du groupe hydraulique, **déterminer** le temps nécessaire au déploiement complet de l'IMS.
Justifier le fait que la phase de déploiement soit la plus défavorable du point de vue du débit.

A2 Circuit hydraulique – performances – sécurité

On souhaite implémenter un modèle multi physique du système hydraulique afin de valider certains choix préliminaires de composants à partir des exigences fonctionnelles du cahier des charges.

QUESTION A.2.1
Feuille de copie

Proposer une désignation de distributeur hydraulique permettant d'annuler la puissance consommée par les vérins de déploiement une fois l'IMS en position déployée.
Représenter son schéma normalisé sur feuille de copie.

Le document technique DT4 présente deux versions du modèle multi physique qui ont permis d'obtenir les résultats de simulation présentés sur le DT5.

QUESTION A.2.2
DT3 & DT4
Feuille de copie

Lors de la construction du modèle multi physique du groupe électrohydraulique, il a été choisi de ne pas modéliser le fonctionnement du moteur électrique.
Justifier l'emploi d'une source de vitesse angulaire idéale.

QUESTION A.2.3
DT4
DR2

Compléter les tableaux du document réponse DR2 en identifiant, pour chacun des blocs figurant sur le modèle :

- *les grandeurs caractéristiques du(des) domaine(s) physique(s) associé(s) au composant et leur type ;*
- *le type de grandeur mesurée ;*
- *la(les) caractéristique(s) principale(s) du composant ;*
- *les unités correspondantes.*

Le développement de l'IMS par la société Iguana Yachts® s'est déroulé par itérations successives. Une des problématiques réside dans le fait que la charge (principalement due au poids propre des bras de l'IMS) est motrice durant toute la phase de déploiement. Le contrôle du mouvement d'une charge menante par un vérin hydraulique est un problème qui fait fréquemment apparaître des oscillations. En effet, le volume d'huile contenu dans le circuit, sa compressibilité et la relative élasticité des conduites constituent un système à la limite de l'instabilité.

QUESTION A.2.4
DT5
Feuille de copie

En s'appuyant sur les résultats de simulation proposés, **comparer** qualitativement, et pour les différentes phases du mouvement :

- *le comportement hydraulique de la pompe ;*
- *le comportement hydraulique du vérin ;*
- *le mouvement de l'IMS lié à la tige du vérin.*

Préciser si le modèle régulé permet d'assurer un mouvement de déploiement / escamotage dont on maîtrise la durée. **Conclure** quant à la validation de l'exigence associée.

QUESTION A.2.5
DT4
Feuille de copie
DR2

Expliquer succinctement le fonctionnement des deux composants représentés sur le document réponse DR2.

Compléter le tableau des fonctions qu'assure chacun de ces composants au sein du circuit hydraulique étudié.

L'IMS est conçu pour supporter les chocs correspondant à un atterrissage en présence de vagues d'une hauteur pouvant atteindre 1,2 m.

QUESTION A.2.6
Feuille de copie

Préciser comment la valve d'équilibrage permet au circuit hydraulique d'encaisser un choc en bout de tige de vérin alors que celui-ci est en position sortie.

A3 Validation du critère de pression de contact au sol

Une des priorités du chantier naval est de rendre possible l'accès des plages isolées au navire tout en limitant l'impact environnemental sur le sol. On prend comme référence la pression de contact d'un pied humain sur le sable dont la valeur se situe aux alentours de $p_0 = 2.10^{-1} \text{ MPa}$.
On note :

- $L = 1,75 \text{ m}$ = la dimension selon l'axe longitudinal de la surface de contact des chenilles avec le sol ;
- $l = 0,25 \text{ m}$ = la dimension selon l'axe transversal de la surface de contact d'une chenille avec le sol ;
- $p(M)$ la valeur de la pression de contact entre les chenilles et le sol en un point M de l'interface ;
- les propriétés géométriques et de masse du "navire" et des "moteurs" étant définies (voir document technique DT6), on note $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ la norme de l'accélération de la pesanteur.

QUESTION A.3.1

DT6

Feuille de copie

Préciser les hypothèses nécessaires pour que l'étude de la pression de contact entre les chenilles et le sol se ramène à un problème dans le plan longitudinal médian du navire.

Donner les dimensions utiles de la surface de contact chenilles / sol du problème ainsi modélisé.

QUESTION A.3.2

DT6

Feuille de copie

En supposant linéaire l'évolution de la répartition de la charge entre les points A et B selon l'axe longitudinal, **déterminer** sa valeur maximale lorsque le bateau est à l'arrêt.

Conclure quant au respect de l'exigence portant sur la limitation de l'impact environnemental.

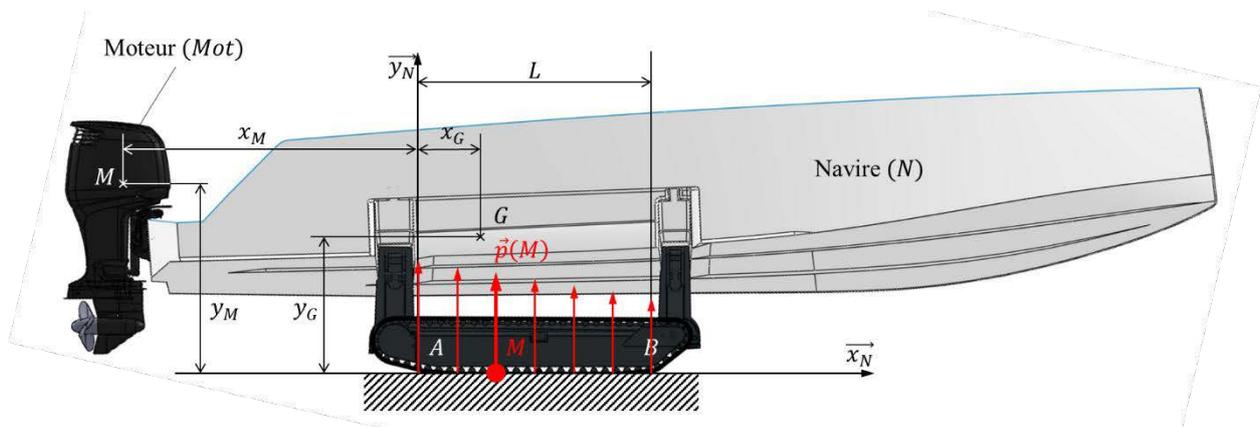


Figure 9 - Modélisation du contact chenille – sol

B1 Rétablissement suite à un déplacement sur plan incliné

(durée conseillée : 50 min)

On souhaite étudier le comportement du navire lors de son rétablissement au passage d'un tronçon de sol incliné à un tronçon de sol horizontal.

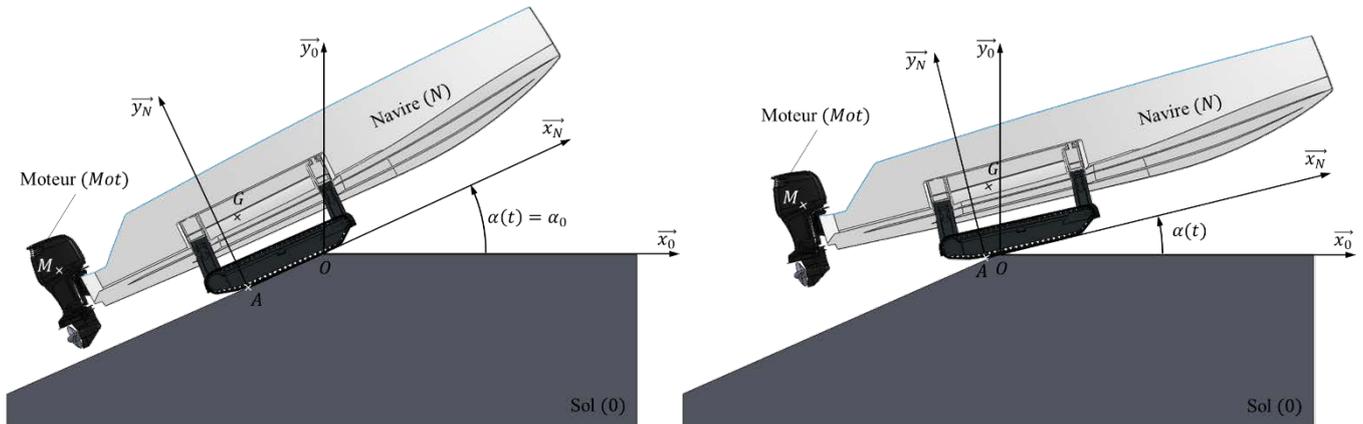


Figure 10 - Paramétrage du navire durant la phase de rétablissement

- Les propriétés géométriques, de masse et d'inertie du "navire" et des "moteurs" étant définies (voir document technique DT6), on définit l'ensemble $\varepsilon = \{N \cup Mot\}$, dont on s'intéresse au mouvement par rapport au référentiel $R_0(O; \vec{x}_0; \vec{y}_0; \vec{z}_0)$. L'ensemble ε est supposé, dans cette partie, être infiniment rigide. On note $M_\varepsilon = M + m$ la masse de l'ensemble ε et $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ la norme de l'accélération de la pesanteur.
- On note $\alpha(t) = (\vec{x}_0; \vec{x}_N) = (\vec{y}_0; \vec{y}_N)$, l'angle d'inclinaison du navire par rapport au référentiel $R_0(O; \vec{x}_0; \vec{y}_0; \vec{z}_0)$. La valeur initiale α_0 de l'angle $\alpha(t)$ correspond à l'inclinaison de la pente maximale que peut gravir le bateau.
- La position du navire est repérée par le paramètre $x(t) = \vec{AO} \cdot \vec{x}_N$. La propulsion du navire, assurée par les chenilles, impose que sa vitesse par rapport au sol selon la direction \vec{x}_N soit constante durant toute la durée de l'étude. Sa norme dans le cas de la pente maximale que peut gravir le navire vaut $V_0 = 0,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
- Durant la phase de déplacement à vitesse constante dans la partie inclinée du parcours, on ne connaît pas l'allure de la répartition de pression entre le sol et la chenille.

QUESTION B.1.1
DT6
Feuille de copie

Déterminer les coordonnées du centre d'inertie G_ε de l'ensemble ε en définissant le vecteur $\vec{AG}_\varepsilon = x_\varepsilon \cdot \vec{x}_N + y_\varepsilon \cdot \vec{y}_N$.
Préciser les valeurs numériques de x_ε et y_ε .

On s'intéresse dans un premier temps à l'étude du déplacement à vitesse constante de l'ensemble ε dans la partie inclinée du parcours. On a alors $\alpha(t) = \alpha_0 = 22^\circ$.

QUESTION B.1.2
Feuille de copie

En précisant la démarche utilisée, **déterminer** les éléments de réduction de l'action mécanique exercée par le sol sur la chenille.

QUESTION B.1.3

Feuille de copie

En déduire la condition qui permet de déterminer le début du basculement de l'ensemble ε autour du point O .

Déterminer la valeur x_{lim} du paramètre $x(t)$ pour laquelle débute le basculement.

QUESTION B.1.4

DT6

Feuille de copie

Déterminer l'expression du moment d'inertie, noté $I_{G_\varepsilon(\varepsilon)}$, de l'ensemble ε autour de l'axe $(G_\varepsilon, \vec{z}_0)$.

On étudie maintenant le mouvement de l'ensemble ε par rapport au sol lors de son rétablissement, on prendra comme valeur de référence $I_{G_\varepsilon(\varepsilon)} = 18,1 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

On prend comme conditions initiales, pour l'instant $t = 0$, le début de la phase de basculement soit :

- $x(0) = x_{lim}$;
- $\alpha(0) = \alpha_0 = 22^\circ$.

QUESTION B.1.5

Feuille de copie

En tenant compte des conditions initiales, **donner** la relation liant le paramètre $x(t)$ à la norme de la vitesse V_0 .

QUESTION B.1.6

Feuille de copie

Déterminer l'équation différentielle liant l'évolution du paramètre $\alpha(t)$ et ses dérivées successives aux paramètres géométriques, de masse et d'inertie du navire et à la vitesse V_0 .

QUESTION B.1.7

Feuille de copie

Montrer que cette équation peut se mettre sous la forme :

$$\ddot{\alpha}(t) \cdot P(t) + \dot{\alpha}(t) \cdot \frac{dP(t)}{dt} + D \cdot \sin(\alpha(t)) + E \cdot \frac{dP(t)}{dt} \cdot \cos(\alpha(t)) = 0$$

Avec :

- $P(t) = M_\varepsilon \cdot (A^2 \cdot t^2 + A \cdot B \cdot t + C)$, un polynôme du temps ;
- A, B, C, D et E des constantes à **exprimer** en fonction des paramètres géométriques, de masse et d'inertie du navire et de la vitesse V_0 .

Cette équation différentielle n'étant pas linéaire, il n'est pas possible d'en déterminer une solution analytique. On propose ci-dessous les résultats d'une résolution numérique à l'aide de la méthode d'Euler explicite, en utilisant les valeurs numériques définies par le sujet.

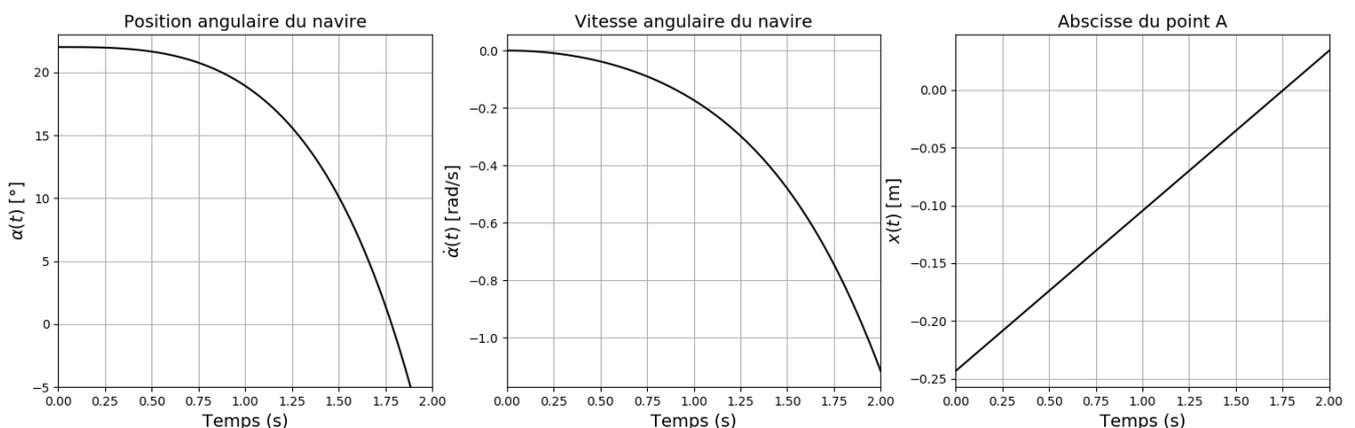


Figure 11 - Courbes issues de la résolution numérique de l'équation différentielle du problème

L'exploitation des résultats permet de trouver le point de fonctionnement correspondant à la fin du rétablissement :

$$\alpha(t_f) \approx 0^\circ \quad \left| \quad \dot{\alpha}(t_f) = -0,788 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad \right| \quad t_f = 1,78 \text{ s} \quad \left| \quad x(t_f) = 4,10 \cdot 10^{-3} \text{ m} \right.$$

QUESTION B.1.8

Feuille de copie

En s'appuyant sur l'ordre de grandeur des différentes vitesses de l'ensemble ε en fin de rétablissement, **conclure** quant à la nécessité de mettre en place une solution de liaison au sol qui ne soit pas infiniment rigide.

B2 Liaison au sol – suspension

(Durée conseillée : 40 min)

Lors du déplacement sur un sol dur et potentiellement parsemé d'obstacles (galets, roches, tas d'algues, ...), un des enjeux est de maintenir la chenille en contact avec le plus grand nombre de galets inférieurs possible. Cette disposition garantit une stabilité accrue du navire lors de son déplacement terrestre et assure une répartition plus homogène de la pression de contact entre la chenille et le sol.

La solution brevetée par Iguana Yachts® consiste à ne pas lier rigidement les galets inférieurs à la traverse de l'IMS. Chaque galet est en liaison pivot avec un axe, lui-même en liaison complète avec l'extrémité d'une lame élastique courbe. Chaque lame, fixée en son centre à la traverse, supporte donc une paire de galets.

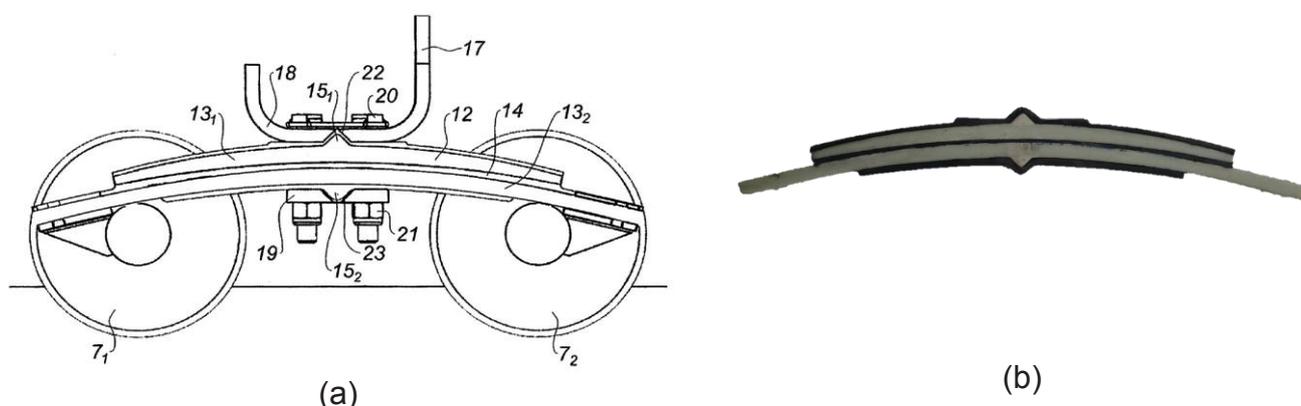


Figure 12 – Schéma de principe issu du brevet FR3054487 (a)
Lame réelle utilisée sur l'IMS (b)

L'objectif de cette étude est de vérifier que les matériaux choisis permettent d'obtenir les caractéristiques de raideur imposées par le cahier des charges.

QUESTION B.2.1
DT7
Feuille de copie

À partir de la modélisation partielle proposée sur le document technique DT7, **proposer** un modèle poutre faisant apparaître :

- la géométrie circulaire de la fibre neutre et les points caractéristiques définis sur le document technique ;
- un point d'étude, noté $M(\theta)$, qui servira à l'expression du torseur de cohésion
- la base locale $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{z})$ avec \vec{e}_r tangent à la fibre neutre en M . L'angle $\theta = (\vec{x}, \vec{e}_r) = (\vec{y}, \vec{e}_\theta)$ sera représenté ;
- les conditions aux limites et le chargement.

QUESTION B.2.2
Feuille de copie

En ne considérant que le tronçon $[AB]$, **donner** l'expression du torseur de cohésion au point $M(\theta)$ dans la base locale $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{z})$. **Préciser** alors les sollicitations simples auxquelles est soumise la demi-lame.

Dans la suite de la partie, on tiendra uniquement compte des effets du moment fléchissant.

QUESTION B.2.3
DT7
Feuille de copie

Déterminer, en fonction des seuls paramètres géométriques b et h fournis sur le document technique DT7 :

- I_c , le moment quadratique par rapport à l'axe (M, \vec{z}) de l'ensemble des deux demi-lames en matériau composite ;
- I_e , le moment quadratique par rapport à l'axe (M, \vec{z}) de l'âme en élastomère.

QUESTION B.2.4
DT7
Feuille de copie

En précisant le raisonnement utilisé, **déterminer** le produit $E.I$ qu'aurait une poutre homogène dont le comportement en flexion serait identique à celui de la lame de suspension étudiée.

Le résultat sera exprimé en fonction de E_c , E_e et des paramètres géométriques b et h de la section de la poutre.

À l'aide des valeurs de module d'Young proposées, **conclure** sur la contribution en raideur de l'âme élastomère. **Donner** au moins une justification à sa présence.

Dans la suite du sujet, on note $E.I$, le produit du module d'Young par le moment quadratique autour de l'axe (M, \vec{z}) , qu'aurait une poutre homogène dont le comportement en flexion serait identique à celui de la lame de suspension étudiée.

La valeur retenue pour les applications numériques est $E.I = 1\,030\text{ N} \cdot \text{m}^2$.

On note :

- $s = R.\theta$ l'abscisse curviligne du point $M(\theta)$ le long de la courbe ;
- $v(s)$ ou $v(M)$ le déplacement de la lame pour un point M d'abscisse curviligne s selon la direction \vec{e}_θ .

QUESTION B.2.5
Feuille de copie

Après **avoir précisé** clairement la démarche et les conditions aux limites utilisées pour la résolution, **déterminer** l'expression de la déformée $v(s)$ de la demi-lame selon la direction \vec{e}_θ .

On donne ci-dessous l'allure de la déformée pour une charge unité $F = 1\text{ N}$.

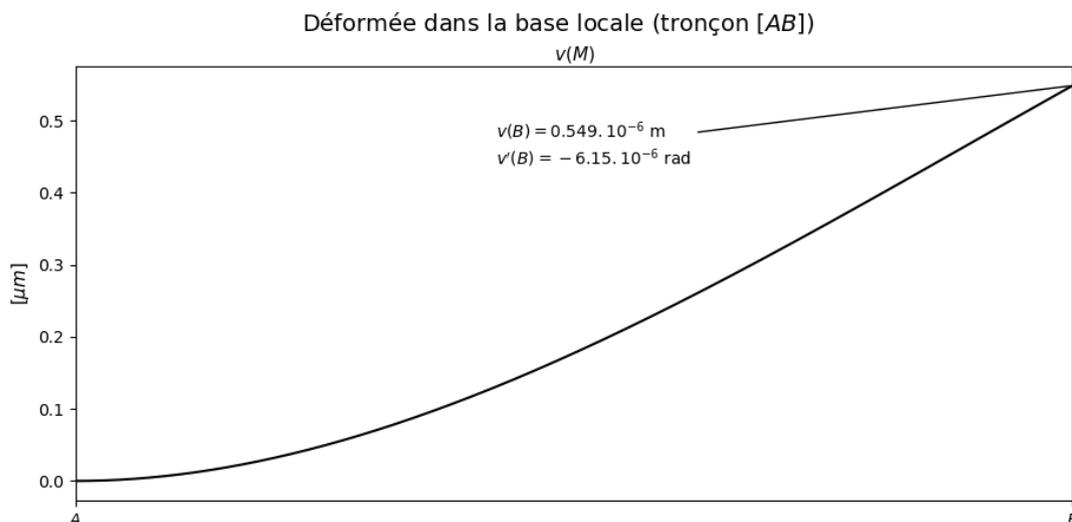


Figure 13 – Allure de la déformée $v(s)$ sur le tronçon [AB]

On note $(\vec{e}_{rB}, \vec{e}_{\theta B}, \vec{z})$, la base correspondant à la base locale pour la valeur particulière $\theta = \theta_B$.

QUESTION B.2.6

Feuille de copie

Donner l'expression en B , dans la base $(\vec{e}_{rB}, \vec{e}_{\theta B}, \vec{z})$ du torseur correspondant au petit déplacement de la section droite située au point B lors de la déformation de la lame. On le notera :

$$\{\delta_B\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{\alpha}_B \\ u_B(B) \end{array} \right\}_B = \left\{ \begin{array}{cc} \alpha_{rB} & u_{rB}(B) \\ \alpha_{\theta B} & u_{\theta B}(B) \\ \alpha_{zB} & u_{zB}(B) \end{array} \right\}_{B, (\vec{e}_{rB}, \vec{e}_{\theta B}, \vec{z})}$$

En supposant que la pièce d'articulation du galet est infiniment rigide, **déterminer** le déplacement vertical (selon \vec{y}) du point C noté Δ_C . **Effectuer** l'application numérique.

QUESTION B.2.7

Feuille de copie

Déterminer alors l'expression puis la valeur numérique de la raideur équivalente k_C associée au déplacement vertical de chaque galet.

Préciser les solutions constructives qui interviennent dans la dissipation d'énergie nécessaire à l'amortissement du mouvement.

Partie C : ÉTUDE DE CONCEPTION ET D'INDUSTRIALISATION DU BRAS TRIBORD

On souhaite étudier dans cette partie certains éléments liés à la conception et à la fabrication de l'IMS. Les deux bras étant parfaitement symétriques, le bras tribord a été choisi arbitrairement comme support.

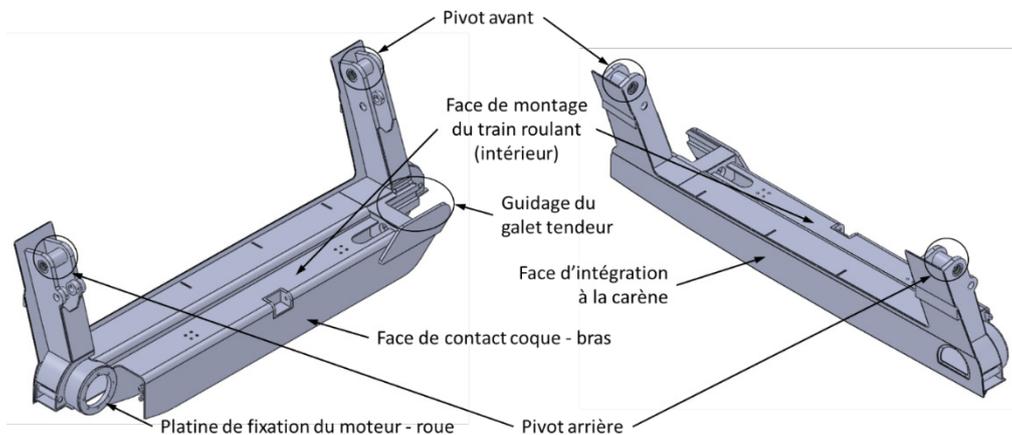


Figure 14 – Vue isométrique sous deux angles du bras tribord

La réalisation des bras fait intervenir deux sociétés sous-traitantes, l'une pour la réalisation du brut mécano-soudé, l'autre pour l'usinage des surfaces fonctionnelles. La fin du processus consiste en l'application d'une peinture spécifique et l'intégration de l'IMS sur le navire.

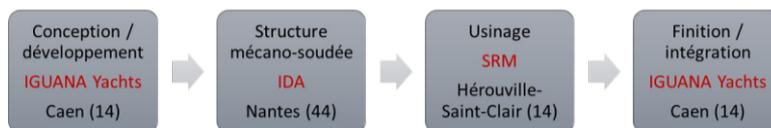


Figure 15 – Description du processus de conception / fabrication des bras de l'IMS

C1 Étude de conception du bras tribord

(Durée conseillée : 30 min)

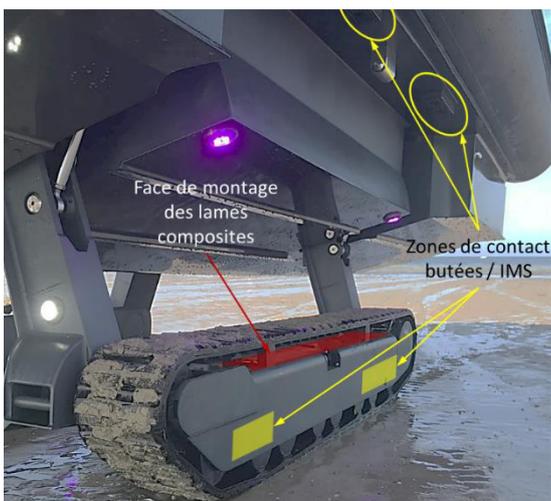


Figure 16 - Contraintes fonctionnelles de l'IMS

La conception des bras de l'IMS intègre un grand nombre d'exigences fonctionnelles, structurelles et de performances. L'objet de l'étude de conception proposée s'appuie entre autres sur la définition de la géométrie du guidage du bras tribord par rapport à la coque.

Sur le plan fonctionnel, les exigences sont les suivantes :

- la tôle latérale (face extérieure), verticale en position déployée, sert d'appui sur les butées de coque en position repliée ;
- la tôle supérieure (face intérieure), horizontale en position déployée, sert à la mise en position des lamés composites.

Le document technique DT10 représente le bras tribord dans son état brut d'usinage.

On cherche à dimensionner les liaisons pivot avant et arrière. Le bureau d'étude souhaite utiliser des paliers lisses iglidur®. Une première étude des documents constructeur a permis de limiter le choix aux gammes X et H en raison de leur adaptation aux milieux humides. Le document technique DT8 présente les principales caractéristiques de cette présélection.

QUESTION C.1.1
DT8
Feuille de copie

On note ω_r la vitesse de rotation du bras par rapport à la coque. En la supposant constante sur le cycle de déploiement, **calculer** sa valeur.
Exprimer alors la vitesse de glissement, notée V , au niveau du palier en fonction de ω_r et des caractéristiques dimensionnelles du coussinet.

QUESTION C.1.2
DT8
Feuille de copie

Pour les dimensions de paliers lisses présélectionnées sur le document technique DT8, **donner** les valeurs extrêmes que peut atteindre la vitesse de glissement V .
En déduire le critère prépondérant de dimensionnement pour le palier.

On note F_r , la charge radiale appliquée sur chaque articulation arrière de bras, qui est la plus sollicitée lors d'un atterrissage. Des simulations et des essais conduits sur prototype ont permis de déterminer la valeur maximale $F_r = 300 \text{ kN}$.

QUESTION C.1.3
DT8
Feuille de copie

Pour les gammes X et H de palier iglidur®, **déterminer** la section minimale que doit présenter le guidage en rotation pour résister à la charge radiale maximale.

QUESTION C.1.4
DT8
Feuille de copie
DR3

À partir des propositions de références fournies dans le document technique DT8, **déterminer** une architecture pour la liaison pivot :

- **représenter** la solution retenue sur le document réponse DR3 ;
- **préciser** les références des paliers lisses retenus ;
- **indiquer** les conditions fonctionnelles du montage.

QUESTION C.1.5
DT10
Feuille de copie

Après avoir précisé la valeur notée 'XXXX' sur le dessin de définition du document technique DT10, liée aux choix constructifs précédents, **interpréter** la spécification dimensionnelle suivante $\phi \text{'XXXX' } \textcircled{E}$.
Proposer un moyen de contrôle pour la vérifier.

C2 Réalisation de l'assemblage mécano-soudé

(Durée conseillée 20 min)

Les deux bras de l'IMS sont composés de structures mécano-soudées.

QUESTION C.2.1
DR4

Expliquer à l'aide d'un schéma de principe, sur le document réponse DR4, les trois procédés de soudage à l'arc suivants :

- *soudage à l'électrode enrobée MMA ;*
- *soudage MIG/MAG ;*
- *soudage TIG.*

Le document technique DT9 propose une synthèse des principales propriétés et aptitudes des alliages d'aluminium.

QUESTION C.2.2

DT9

Feuille de copie

DR4

En s'appuyant sur des critères technico-économiques, **proposer** au moins deux avantages et deux inconvénients par procédé sur le document réponse DR4.

Sur feuille de copie, **conclure** sur le (les) procédé(s) qui semble(nt) le plus approprié(s) pour l'assemblage des bras de l'IMS.

QUESTION C.2.3

DT9

Feuille de copie

Proposer une désignation d'alliage d'aluminium pour la réalisation des bras de l'IMS. La validation du triptyque produit – procédé – matériau reposera sur un minimum de 3 arguments issus du document technique DT9 .

C3 Usinage des portées de pivot

(Durée conseillée : 40 min)

Les surfaces de guidage des bras par rapport à la coque revêtent un aspect essentiel de la liaison entre le navire et l'IMS. En effet, les défauts géométriques et dimensionnels ne sont à priori pas de même nature sur la coque (pièce composite) et sur les bras (pièce métallique).

C'est au niveau de cette étape d'assemblage des bras sur la coque que le savoir-faire d'Iguana Yachts® prend tout son sens. Au-delà du mouvement de déploiement, c'est surtout l'intégration de l'IMS, en position repliée, sans discontinuité avec la coque, qui est un critère sensible pour les performances du bateau en navigation.

On s'intéresse particulièrement ici aux usinages des surfaces fonctionnelles colorées en rouge sur la Figure 17 qui correspondent aux principales surfaces fonctionnelles du bras. Pour simplifier la fabrication, les surfaces fonctionnelles associées aux axes d'articulation des vérins sont nominalement définies parallèles à l'axe de pivotement bras / coque.

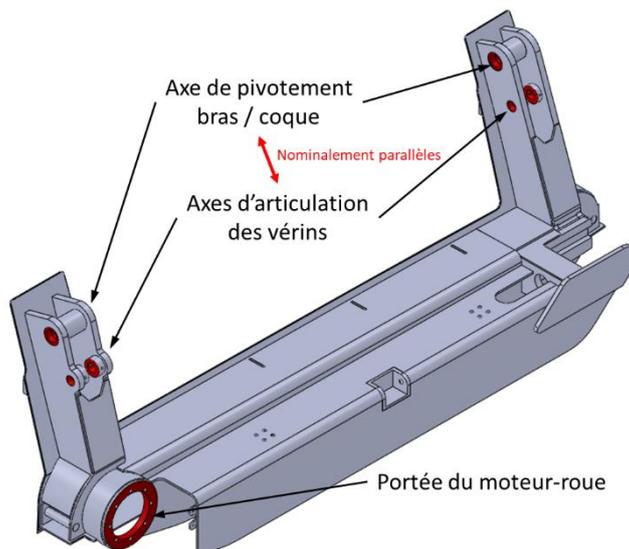


Figure 17 – Surfaces fonctionnelles du bras tribord objet de l'étude

QUESTION C.3.1

DT10

Feuille de copie

En s'appuyant sur les fonctions assurées par les différentes surfaces fonctionnelles du bras tribord, **justifier** le choix des surfaces **A** et **B** comme éléments de référence sur le dessin de définition du document technique DT10.

QUESTION C.3.2
DT10
Feuille de copie

Analyser et interpréter la spécification $\boxed{\oplus} \boxed{\varnothing 0.1} \boxed{A} \boxed{B}$. **Donner** la nature des éléments de référence repérés \boxed{A} , \boxed{B} et \boxed{C} .

QUESTION C.3.3
DT10
Feuille de copie

Expliciter la spécification associée à l'axe de pivotement du bras par rapport à la coque $\boxed{\oplus} \boxed{\varnothing 1.0} \boxed{CZ} \boxed{A} \boxed{B} \boxed{C}$. **Préciser** notamment les informations suivantes :

- *la nature de l'élément toléré ;*
- *la nature des éléments de référence ;*
- *la construction des références spécifiées ;*
- *la forme et le positionnement par rapport aux références spécifiées de la zone de tolérance.*

L'utilisation de schémas visant à expliciter tout ou partie des réponses proposées est vivement recommandée.

QUESTION C.3.4
DT10
Feuille de copie

Proposer une architecture de machine (nombre et disposition des axes et courses notamment) permettant de réaliser le plus simplement possible les surfaces proposées sur la Figure 17.

Spécialisée dans l'usinage et la maintenance de systèmes et pièces de grandes dimensions, la société SRM dispose d'un parc machines assez diversifié, majoritairement conventionnel. La machine retenue pour réaliser ces usinages est une fraiseuse à commande numérique MSA BF 3200 dont les caractéristiques sont fournies sur le document technique DT11. Cette machine, équipée d'une tête universelle de type "huron" indexable par pas de 2,5°, est pourvue d'un 4^e axe continu permettant l'inclinaison de la tête.

QUESTION C.3.5
DT11
Feuille de copie

Sur une vue en perspective reprenant approximativement l'orientation des photos du document technique DT11, **représenter** les 4 axes de déplacement continus dont dispose la machine.

Le dessin de définition du bras tribord est fourni sur le document technique DT10. La société SRM a fait le choix de l'utilisation d'un montage d'usinage pour chaque bras de l'IMS.

QUESTION C.3.6
DT10
Feuille de copie

En raisonnant sur les positions et orientations relatives des surfaces usinées entre elles et par rapport aux surfaces de référence, **justifier** la nécessité d'employer un montage dédié pour réaliser l'usinage des surfaces proposées sur la Figure 17 en une seule phase sur la fraiseuse retenue.

La conception du montage doit garantir l'accès aux différentes surfaces fonctionnelles à usiner.

QUESTION C.3.7
DT10
DR5

Sur le document réponse DR5, **proposer** une représentation des éléments de mise en position du bras tribord sur le montage d'usinage. **Représenter** sur les vues utilisées la position des trois axes de déplacement X , Y et Z ainsi que leurs orientations respectives par rapport à la pièce.

QUESTION C.3.8
DT11
Feuille de copie
DR5

En considérant la sélection d'outils proposés sur le document technique DT11, **proposer** les opérations d'usinage qui permettent la réalisation des surfaces proposées sur la Figure 17.

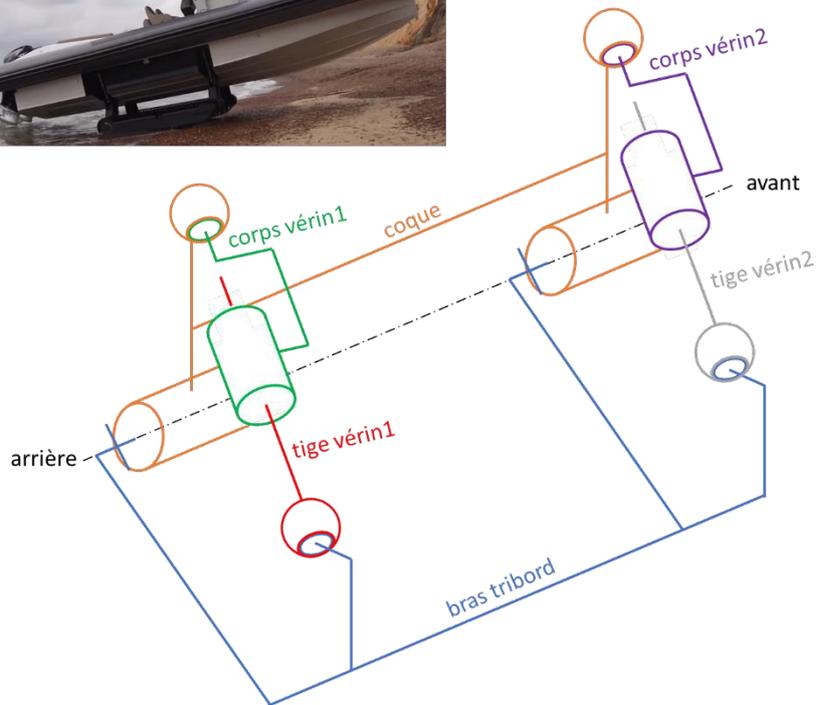
DT – Documents techniques

Documents spécifiques et relatifs au support de l'étude, données techniques.

DT1 : Schéma cinématique de l'IMS
DT2 : Caractéristiques dimensionnelles des vérins de déploiement
DT3 : Caractéristiques techniques du groupe électrohydraulique de déploiement (2 pages)
DT4 : Modélisation multi physique du circuit électrohydraulique
DT5 : Résultats obtenus par modélisation multi physique
DT6 : Paramétrage du navire
DT7 : Modélisation de la lame de suspension
DT8 : Paliers lisses de guidage des bras
DT9 : Alliages d'aluminium (2 pages)
DT10 : Dessin de définition du bras tribord (état brut d'usinage), format A3
DT11 : Éléments liés à l'usinage des bras

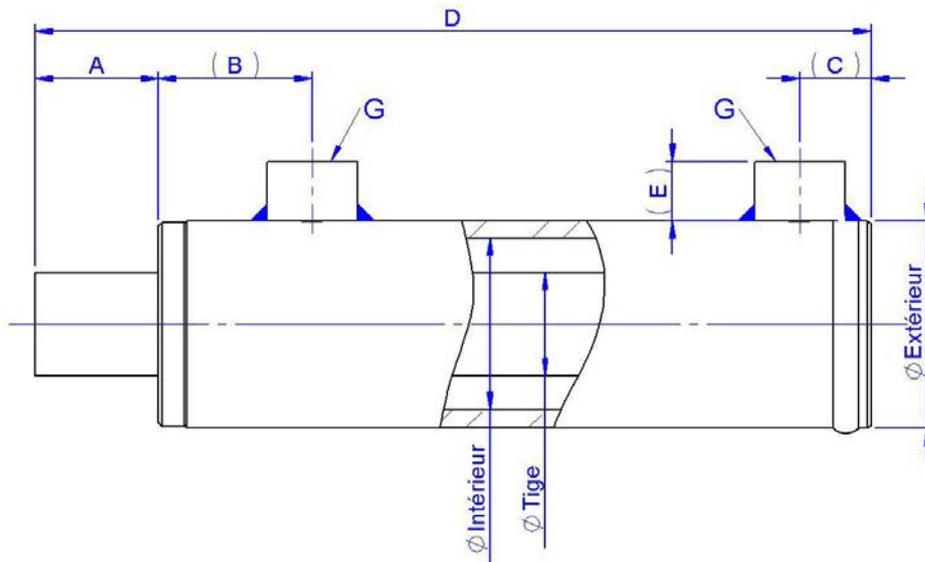
DT1 – Schéma cinématique de l'IMS

Le schéma cinématique proposé ci-dessous représente le côté tribord de l'IMS :



DT2 – Dimensions utiles des vérins

Les vérins employés sont réalisés sur mesure sur la base du modèle suivant auquel on ajoute une noix rotulée inox/bronze à chaque extrémité.



Réf.	ØInter	ØTige	A	B	C	D	E	G	ØExter	Poids
	Mm								mm	kg
83321	60	35	42,5	51	22,5	160 + Course	17	G3/8	70	3.24 + (0.016 x Course)

DT3 1/2 – Groupe électrohydraulique de déploiement

Servomoteur synchrone SEW CMP71 M

Caractéristiques moteur seul, tension système 230 V

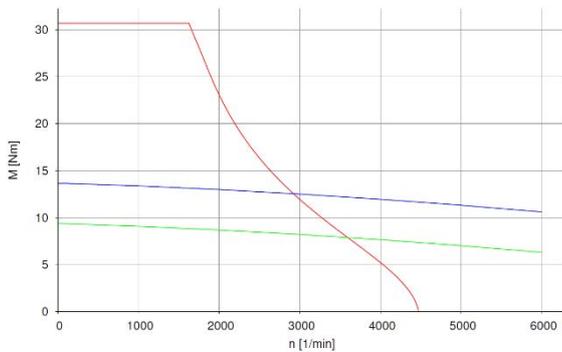


Vitesse nominale	Couple à l'arrêt (couple permanent thermique à petite vitesse)	Courant absorbé sous M_0	Couple crête dynamique du servomoteur	Courant absorbé sous M_{pk}	Couple à l'arrêt avec Ventilation Renforcée	Courant absorbé sous M_{ovR}	Masse	Moment d'inertie
n_N tr.min ⁻¹	M_0 N.m	I_0 A	M_{pk} N.m	I_{max} A	M_{ovR} N.m	I_{ovR} A	m kg	J_{mot} 10 ⁻⁴ kg.m ²
3 000	9.4	13.1	30.8	68	13.7	19.1	10	10.5
4 500	9.4	19.2	30.8	101	13.7	28	10	10.5
6 000	9.4	26.3	30.8	136	-	-	10	10.5

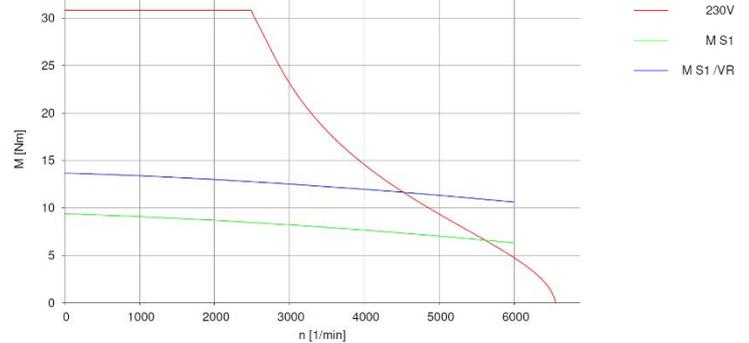
Avec variateur MOVIDRIVE, fonctionnement 4Q, tension système 230 V

Moteur			MOVIDRIVE							
CMP71M			0015	0022	0037	0055	0075	0110	0150	00220
	I_N	A	7.3	8.6	14.5	22	29	42	54	80
	n_N									
	I_{max}	A	11	12.9	21.8	33	43.5	63	81	120
	tr.min ⁻¹									
	I_{max_CMP71}	A	9.13	10.8	18.1	27.5	36.3	52.5	67.5	100
3 000	I_{max}	% I_N	125	125	125	125	125	125		
	M_{pk}	Nm	6.59	7.74	12.7	18.3	22.4	27.4		
4 500	I_{max}	% I_N			125	125	125	125	125	96
	M_{pk}	N.m			8.87	13.1	16.7	22.3	25.8	27.4

Couples crêtes dynamiques et thermiques, tension système 230 V



$n_N = 3\,000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$

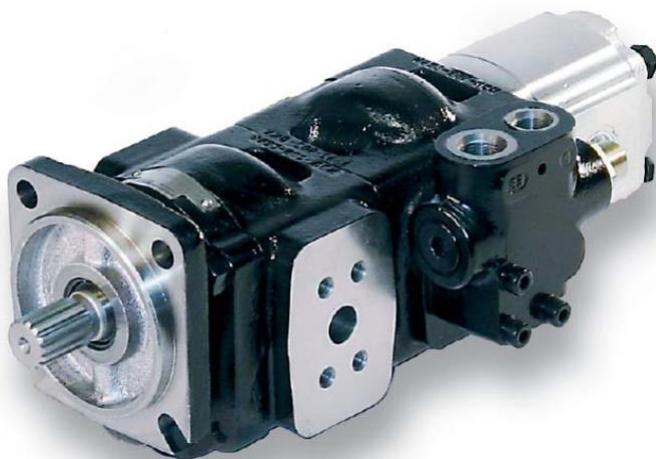


$n_N = 4\,500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$

M S1 : couple en service continu 100% / VR : ventilation renforcée

DT3 2/2 – Groupe électrohydraulique de déploiement (2/2)

Pompe hydraulique



Pompes et Moteurs à engrenages

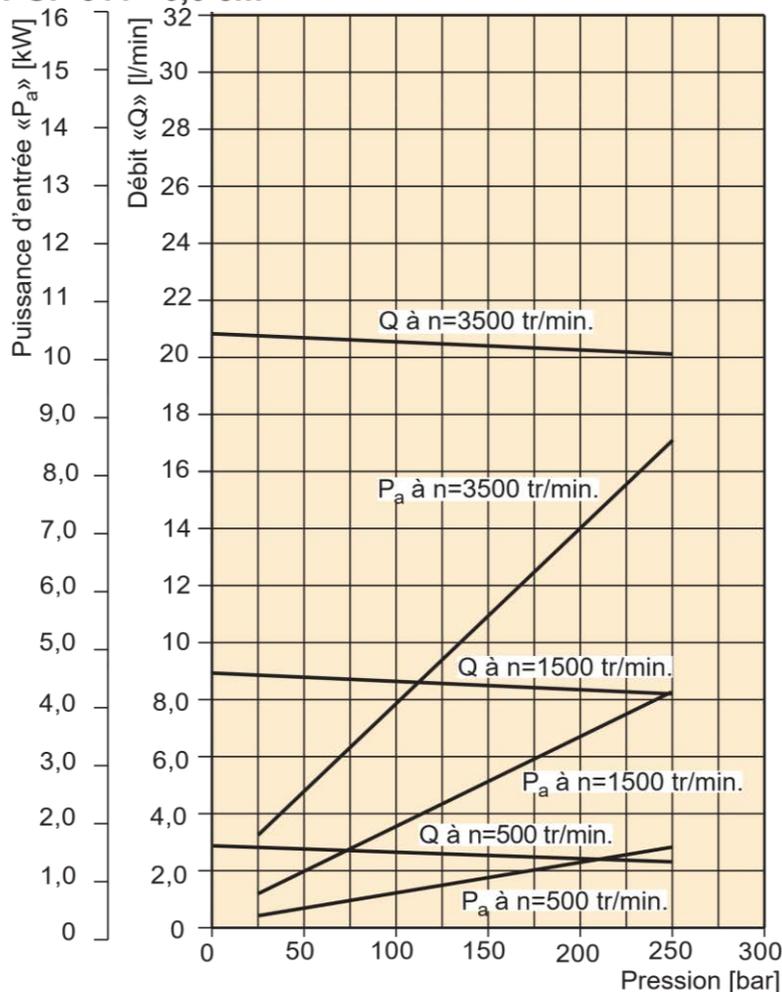
Séries PGP / PGM

Débit constant,

Corps en fonte et en aluminium



PGP 511 - 6,0 cm³



Les pompes PGP 500 offrent des performances inégalées, un haut rendement et un fonctionnement silencieux à des pressions de service élevées.

Fonctionnement en continu jusqu'à 280 bar

Des matériaux haute résistance et des diamètres de paliers généreux contribuent à de faibles charges sur les roulements pour les applications à haute pression.

Faible niveau de bruit

Les PGP 511 - arbre de 12 dents et régulation de débit optimisée, contribuent à une réduction de la pulsation du débit et à un fonctionnement extrêmement silencieux (également disponible en version avec système d'engrenages « furtif »).

Haut rendement

Les corps de palier équilibrés en pression assurent un rendement maximum dans toutes les conditions de fonctionnement.

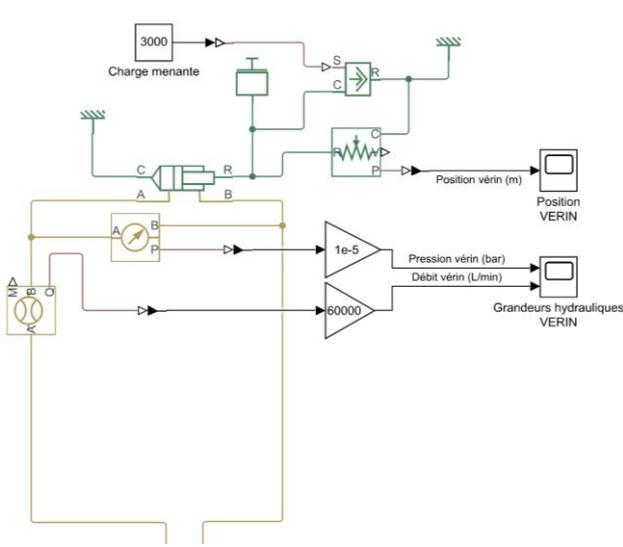
Flexibilité d'application

Les fixations et connexions internationales, associées à la possibilité de valves intégrées et de pompes à entrées multiples, sont les garants d'une conception inégalée et d'une grande polyvalence.

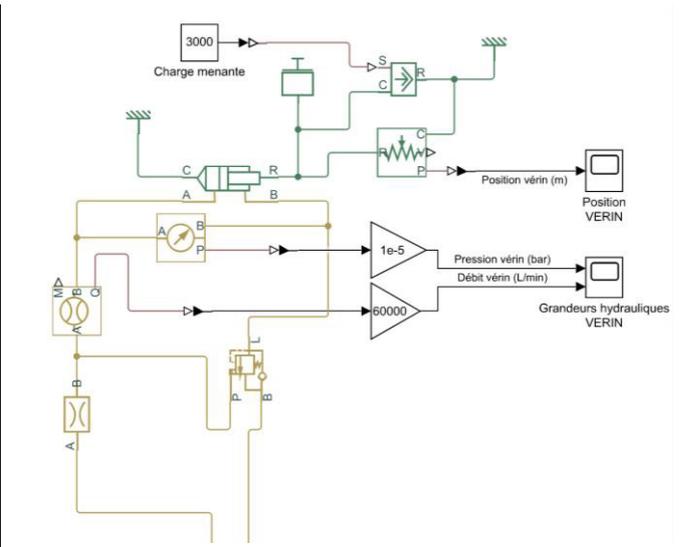
DT4 – Modélisation multi physique du circuit électrohydraulique

Les modélisations proposées représentent le fonctionnement équivalent ramené à un seul vérin de l'un des bras de l'IMS. Les deux vérins de chaque bras étant alimentés en parallèle, cette hypothèse est acceptable. Le but recherché est le dimensionnement du dispositif de régulation associé à chaque vérin permettant un fonctionnement contrôlé lors du déploiement des bras, alors que la charge appliquée (poids du bras essentiellement) est "menante".

Dans cette optique, deux modèles de la partie du circuit se trouvant en aval du distributeur hydraulique ont été réalisés, le modèle "régulé" étant en réalité une version enrichie du modèle "élémentaire" :

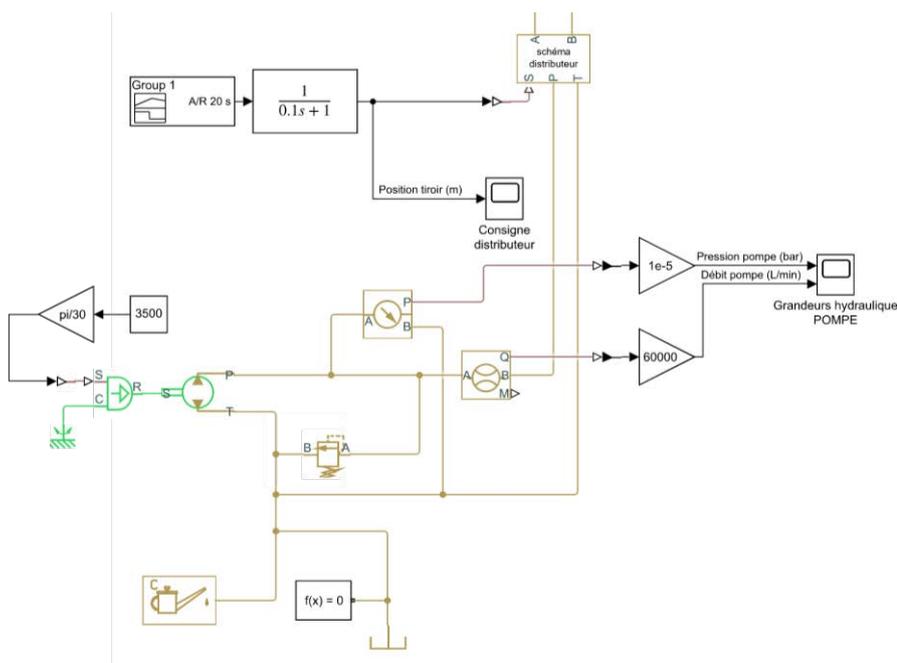


Modèle vérin + charge "élémentaire"



Modèle vérin + charge "régulé"

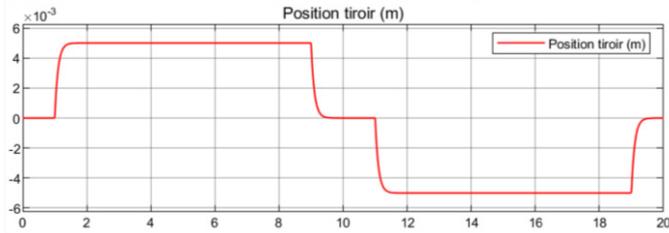
Pour les deux modélisations présentées ci-dessus, la partie du circuit hydraulique qui correspond à la génération et à la distribution de puissance hydraulique est identique. La loi de déplacement imposée au tiroir du distributeur correspond à un cycle complet de déploiement et d'escamotage de l'IMS.



Modèle du groupe électrohydraulique + distributeur

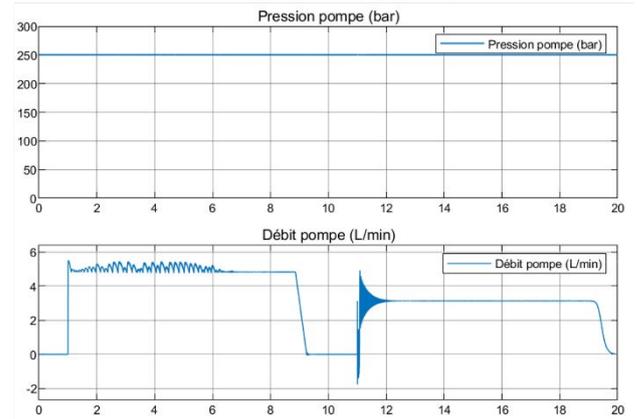
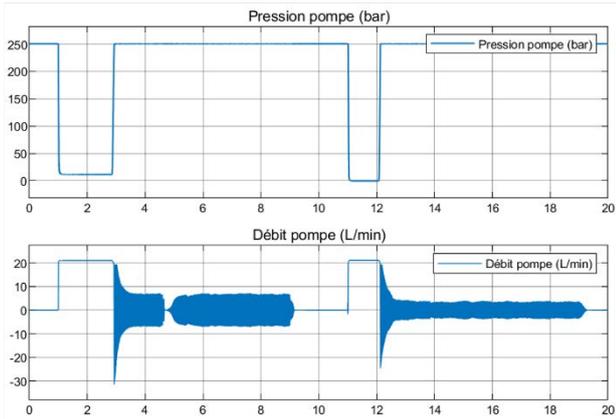
DT5 – Résultats obtenus par simulation multi physique

Déplacement imposé du tiroir du distributeur (aller / retour, durée 20 s)

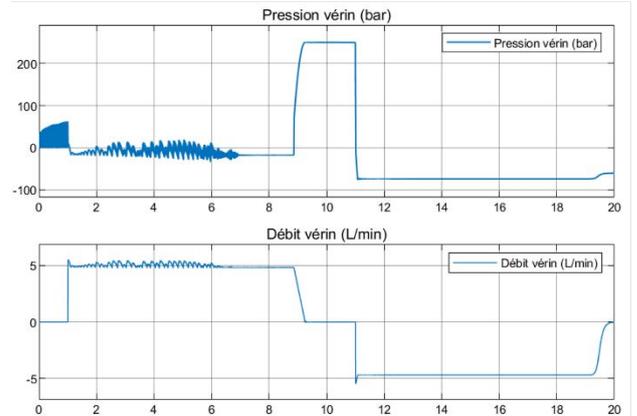
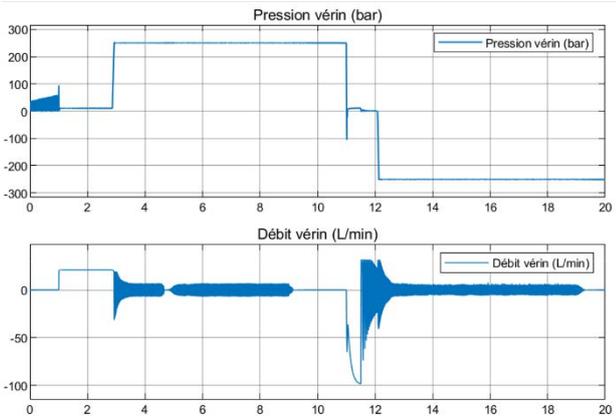


Grandeurs hydrauliques en sortie de groupe électrohydraulique

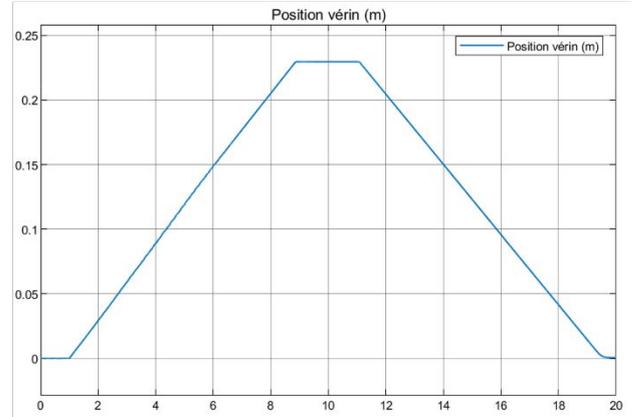
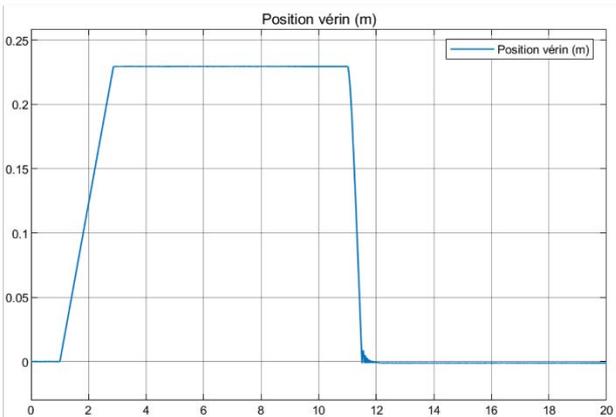
Pour le modèle "élémentaire" Pour le modèle "régulé"



Grandeurs hydrauliques en entrée du vérin

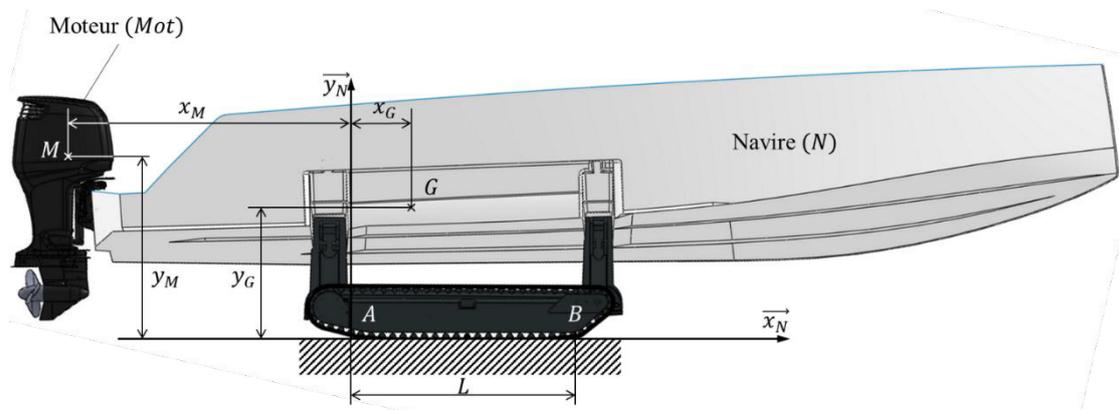


Position du vérin (par rapport à la position rentrée)



DT6 – Paramétrage du navire

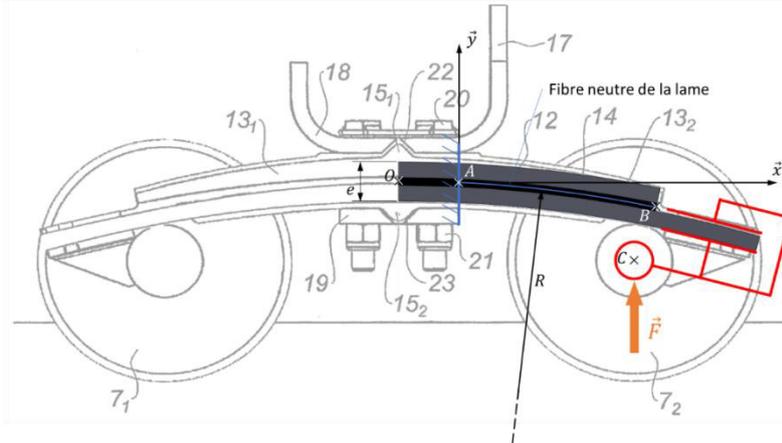
La figure ci-dessous illustre le paramétrage retenu pour les études statiques et dynamiques du navire.



Navire (N)	
DÉFINITION	On définit l'ensemble "navire", noté N , constitué : de la coque rigide, complètement aménagée et en ordre de marche ; du système de mobilité (IMS) entièrement équipé et en position déployée ; de l'équipage du navire.
GÉOMÉTRIE	À l'arrêt, sur sol horizontal et plan, le contact entre les chenilles de l'IMS et le sol est continu entre deux points A et B situés respectivement vers l'arrière et vers l'avant du navire. On note $L = \ \overline{AB}\ = 1,75 \text{ m}$ la distance qui sépare les points A et B . On associe au navire le repère $(A, \vec{x}_N, \vec{y}_N, \vec{z}_N)$.
MASSE ET INERTIE	Le centre d'inertie de l'ensemble "navire", noté G , est défini par le vecteur : $\overline{AG} = x_G \cdot \vec{x}_N + y_G \cdot \vec{y}_N$ La masse du navire est notée M . Le moment d'inertie du navire par rapport à l'axe (G, \vec{z}_N) est noté I_{GN} . $x_G = 1 \text{ m} \quad \quad y_G = 0,9 \text{ m} \quad \quad M = 5\,000 \text{ kg} \quad \quad I_{GN} = 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
HYPOTHÈSES	Quelle que soit la situation du navire (à l'arrêt / en mouvement, sur sol horizontal / incliné), on suppose que le contact entre les chenilles de l'IMS et le sol ne se produit jamais au-delà de l'intervalle $[A; B]$.

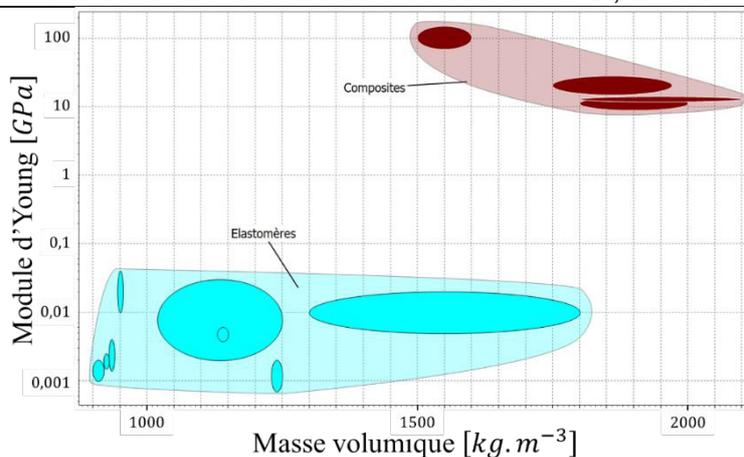
Moteurs (Mot)	
DÉFINITION	On définit l'ensemble "moteurs", noté Mot , constitué des deux groupes motopropulseurs hors-bord.
GÉOMÉTRIE	La position la plus défavorable du point de vue de la position de la masse et de l'inertie est celle où les deux moteurs sont baissés.
MASSE ET INERTIE	Le centre d'inertie de l'ensemble "moteurs", noté M , est défini par le vecteur : $\overline{AM} = -x_M \cdot \vec{x}_N + y_M \cdot \vec{y}_N$ La masse du groupe motopropulseur est notée m . Le moment d'inertie des moteurs par rapport à l'axe (M, \vec{z}_N) est noté I_{MM} . $x_M = 3,2 \text{ m} \quad \quad y_M = 1,2 \text{ m} \quad \quad m = 500 \text{ kg} \quad \quad I_{MM} = 50 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

DT7 – Modélisation de la lame de suspension



La figure ci-dessus a pour vocation d'illustrer le modèle retenu pour l'étude de la lame de suspension. Du fait de la fixation rigide de la lame sur la traverse, on peut se limiter à l'étude d'une demi-lame.

Lame de suspension	
GÉOMÉTRIE	<p>La fibre neutre de la lame composite est un arc de cercle de rayon $R = 820 \text{ mm}$ dont le centre se situe sur l'axe (O, \vec{y}).</p> <p>Les sections droites ont une largeur b (selon \vec{z}) constante, $b = 40 \text{ mm}$.</p> <p>L'épaisseur totale de lame est notée $e = 5 \cdot h = 25 \text{ mm}$.</p>
COMPOSITION / MATÉRIAUX	<p>La lame est composée de deux demi-lames en composite situées de part et d'autre d'une âme en élastomère.</p> <p>Chaque demi-lame en composite a une épaisseur $2 \cdot h = 10 \text{ mm}$ et on note E_c son module d'Young longitudinal.</p> <p>La couche d'élastomère a une épaisseur $h = 5 \text{ mm}$, son module d'Young est noté E_e.</p>
CONDITIONS AUX LIMITES / CHARGEMENT	<p>L'encastrement central sur le segment $[OA]$ associé à la pièce d'articulation du galet en B amènent à considérer que seul le tronçon $[AB]$ est sollicité.</p> <p>On donne :</p> <p>$\vec{OA} \cdot \vec{x} = -R \cdot \sin(\theta_a) = 37 \text{ mm}$, $\theta_a \approx -2,59^\circ$</p> <p>$\vec{OB} \cdot \vec{x} = -R \cdot \sin(\theta_b) = 162 \text{ mm}$, $\theta_b \approx -11,4^\circ$</p> <p>$\vec{OC} = x_c \cdot \vec{x} - y_c \cdot \vec{y}$ avec $x_c = 150 \text{ mm}$ et $y_c = 50 \text{ mm}$</p> <p>L'effort exercé par le galet sur la pièce d'articulation est modélisé par un glisseur de direction verticale ascendante et d'intensité F, noté $\vec{F} = F \cdot \vec{y}$</p>



DT8 – Paliers lisses de guidage des bras

Le guidage des bras par rapport à la coque est assuré par des paliers lisses de la marque Iguus. Le choix se porte sur des paliers lisses iglidur® à collerette des deux gammes suivantes :

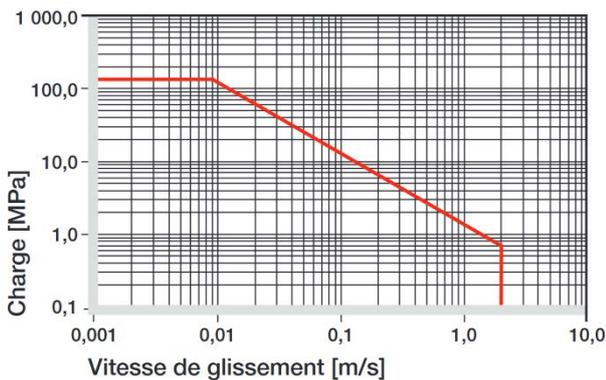
iglidur® X

Dans quels cas le choisir ?

Pour des charges en pression statique allant jusqu'à 150 MPa
 Pour des mouvements linéaires avec l'acier inoxydable
 Tenue universelle aux agents chimiques
 Adapté à des températures d'emploi de -100 °C à +250 °C
 Pour une très faible absorption d'humidité

Domaines d'application types

Secteur des boissons
 Travail du bois
 Usinage du plastique
 Aéronautique
 Salles blanches



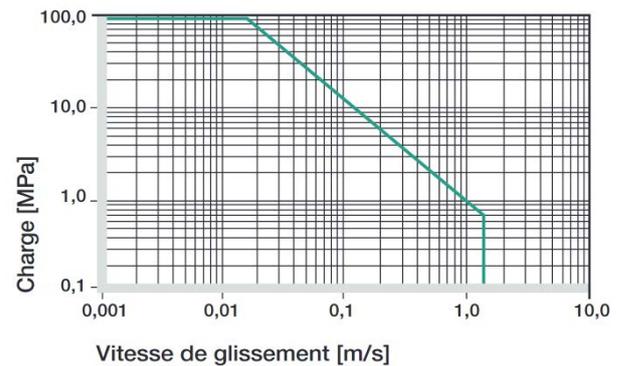
iglidur® H

Dans quels cas le choisir ?

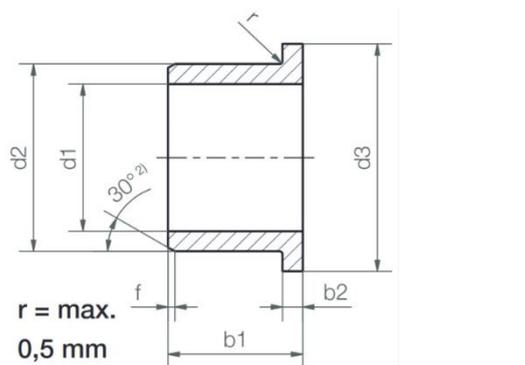
Pour une utilisation en immersion
 Si une résistance à des températures élevées est nécessaire
 En cas de charge mécanique élevée
 Pour une utilisation en contact avec des agents chimiques

Domaines d'application types

Offshore
 Construction navale
 Secteur des boissons
 Médical
 Mécatronique



Dimensions des paliers lisses



Chanfrein en fonction du d1

d1 [mm] :	Ø 1-6	Ø 6-12	Ø 12-30	Ø > 30
f [mm] :	0,3	0,5	0,8	1,2

d1	Tolérance ⁹⁾ d1	d2	d3	b1	b2	Référence
		F10	d13	h13	-0,14	# = X ou H
35,0		39,0	47,0	26,0	2,0	#FM-3539-26
40,0		44,0	52,0	22,0	2,0	#FM-4044-22
40,0	+0,025	44,0	52,0	30,0	2,0	#FM-4044-30
40,0	+0,125	44,0	52,0	40,0	2,0	#FM-4044-40
45,0		50,0	58,0	50,0	2,0	#FM-4550-50
50,0		55,0	63,0	40,0	2,0	#FM-5055-40
60,0		65,0	73,0	40,0	2,0	#FM-6065-40
70,0	+0,030	75,0	83,0	40,0	2,0	#FM-7075-40
75,0	+0,150	80,0	88,0	50,0	2,0	#FM-7580-50

	Arbre	Alésage
Tolérance	h9	H7

DT9 1/2 – Alliages d'aluminium**Classification des alliages d'aluminium et principales caractéristiques**

Série	Élément d'alliage et teneur (en % masse)	R _m (en MPa)	Applications	Soudabilité
Durcissement par écrouissage				
1000	Sans	50 – 150	Les alliages de ces familles présentent une bonne résistance à la corrosion atmosphérique, ce qui explique leur développement dans le bâtiment, les échangeurs tubulaires, les échangeurs brasés pour l'automobile et comme ailettes dans les échangeurs liquide/air.	Excellentes soudabilités opératoire et métallurgique. Le coefficient de joint est égal à 1 lorsque le métal de base est à l'état 0 (recuit) ou H111 ; il est inférieur à 1 selon que le métal est plus ou moins écroui (0,7 à 0,8 sur H14, 0,50 à 0,55 sur H18).
3000	Mn : 0,5 – 1,5	100 – 260		
5000	Mg : 0,5 – 5	100 – 340	Une bonne aptitude au soudage, à l'exception des alliages titrant entre 1,8 et 2,2% de magnésium ; un bon comportement aux basses températures ; une excellente résistance à la corrosion, qu'ils soient soudés ou non. Leur tenue à la corrosion en milieu marin en a fait les alliages « marine » par excellence ; une aptitude aux traitements de surface.	Excellente soudabilité globale avec, comme dans le cas des alliages précédents, un coefficient de joint égal à 1 par soudage sur état 0 ou H111. Sur les alliages à moins de 3 % de magnésium, une sensibilité à la fissuration peut se manifester dans le cas des assemblages fortement bridés.
Durcissement structural				
2000	Cu : 2 – 6	300 – 450	Un niveau de performances mécaniques élevés à l'état trempé revenu T6 ; une bonne tenue à chaud ; une bonne usinabilité.	Mauvaise soudabilité globale
4000	Si : 0,8 – 1,7	150 – 400	Leur principale application est la fabrication d'ustensiles culinaires émaillés.	-
6000	Mg : 0,5 – 1,5 Si : 0,5 – 1,5	150 – 310	Très grand développement des applications de cette famille d'alliages dans la menuiserie métallique,	Très bonne soudabilité opératoire à condition d'utiliser un métal d'apport du type Al-Si. Sans métal d'apport, ces alliages sont très sensibles à la fissuration. Soudés sur état revenu (T5 ou T6) le coefficient de joint varie entre 0,45 et 0,6.
7000	Zn : 5 – 7 Mg : 1-2	320 – 600	Utilisés dans différents domaines pour leurs caractéristiques mécaniques élevées (aéronautique, armement, transports...).	Mauvaise soudabilité globale

Le coefficient de réduction métallurgique ou coefficient de joint est défini comme le rapport de la charge de rupture du joint soudé à la charge de rupture du métal de base.

DT9 2/2 – Alliages d'aluminium

Aptitudes technologiques et d'usage des alliages d'aluminium

Alliage		Comportement à l'atmosphère		Aptitude au soudage		Usinage	Résistance	
	% élément d'apport	Général	Marine	À l'arc	Soudo brasage	Fragment° copeaux	Rp _{0,2} (MPa)	R _m (MPa)
1050A	-	A	B	A	A	D	33-37	76-84
1060	-	A	A	A	A	D	48-53	71-79
1200	-	A	B	A	A	C/D	38-42	86-95

2011	0,7-1,3	C	D	D	D	A	190-210	257-284
2014	3,9-5	C	D	D	B	B	324-440	386-490
2017A	3,5-4,5	C	D	D	B	B	221-244	379-419
2024	3,8-4,9	C	D	D	B	B	345-381	427-472
2030	2,2-3	C	D	D	D	A	185-204	323-357
2618A	1,9-2,7	C	D	D	C	C	320-380	400-440

3003	1-1,5	A	B	A	A	D	59-65	145-160
3105	0,3-0,8	A	B	A	A	D	86-95	105-116

5005	0,8	A	B	A	A	D	43-47	114-126
5052	2,2-2,8	A	B	B	B	C	66-73	172-190
5083	4,5	A	A	A	D	C	131-165	221-276
5086	3,5	A	A	A	D	C	145-160	248-274
5454	2,7	A	A	A	C	C	131-145	228-252
5754	2,6-3,6	A	A	A	C	C	162-170	221-224

6005A	0,4-0,7 Mg 0,5-0,9 Si	A	B	B	B	C	207-217	264-291
6060	0,5 Mg 0,3-0,6 Si	A	B	B	A	C	204-226	233-257
6061	1 Mg 0,4-0,8 Si	A	B	B	B	D	193-290	241-320
6082	0,9 Mg 0,7-1,3 Si	A	B	B	B	C/D	240-290	280-340

7020	4-5 Zn 1,2 Mg	B	C	B	B	B	318-352	361-399
7075	5,1-6,1 Zn 2,5 Mg	C	D	D	C	B	359-530	434-580
7049A	7,2-8,2 Zn 2-2,9 Mg	C	D	D	C	B	379-441	455-510

A : très bon

B : bon

C : assez bon

D : mauvais

État de livraison	Désignation conventionnelle					
Recuit	O					
Durci par écrouissage à froid	Degré de dureté obtenue					
	1/8	1/4	2/4	3/4	4/4	extra
	H11(x)	H12, H13	H14, H15	H16, H17	H18	H19
Durci par trempe thermique	Traitement au four			Déformation à chaud		
Selon combinaisons (trempe, revenu, écrouissage, maturation...)	T3, T4, T6, T61, T66, T73, T76, T8, T9			T1, T2, T5, T51, T56, T10		

DT11 – Éléments liés à l'usinage des bras



TECHNICAL FEATURES

TABLE

Working surface	mm	3.200 x 1.200
T-slots	mm	1x22H7+6x22H12 in 160
Maximum load	kg	11.00

TRAVELS

X axis (longitudinal)	mm	3.000
Y axis (cross)	mm	1.200
Z axis (vertical)	mm	1.500

SPINDLE

Spindle taper		SK50 DIN 69871/AD
Speed	rpm	6.000
Ranges		3
Power	kW	32
Maximum torque	Nm	1.085

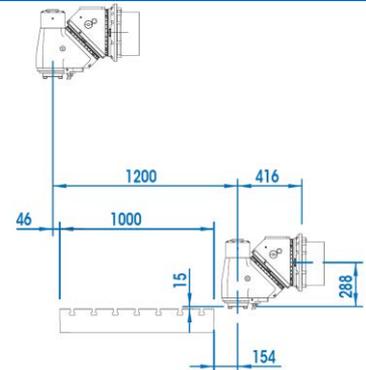
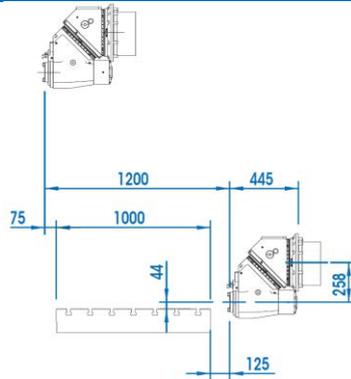
FEEDS

Maximum feed	m/min	15
--------------	-------	----

WEIGHT

Machine weight	kg	26.000
----------------	----	--------

AUTOMATIC MILLING HEAD (AFK) 6.000 RPM 1x2.5°



PALPEUR DE SURFACE
ÉLECTRONIQUE



FORETS À PLAQUETTE



FRAISES 2 TAILLES



FRAISES À ALÉSER

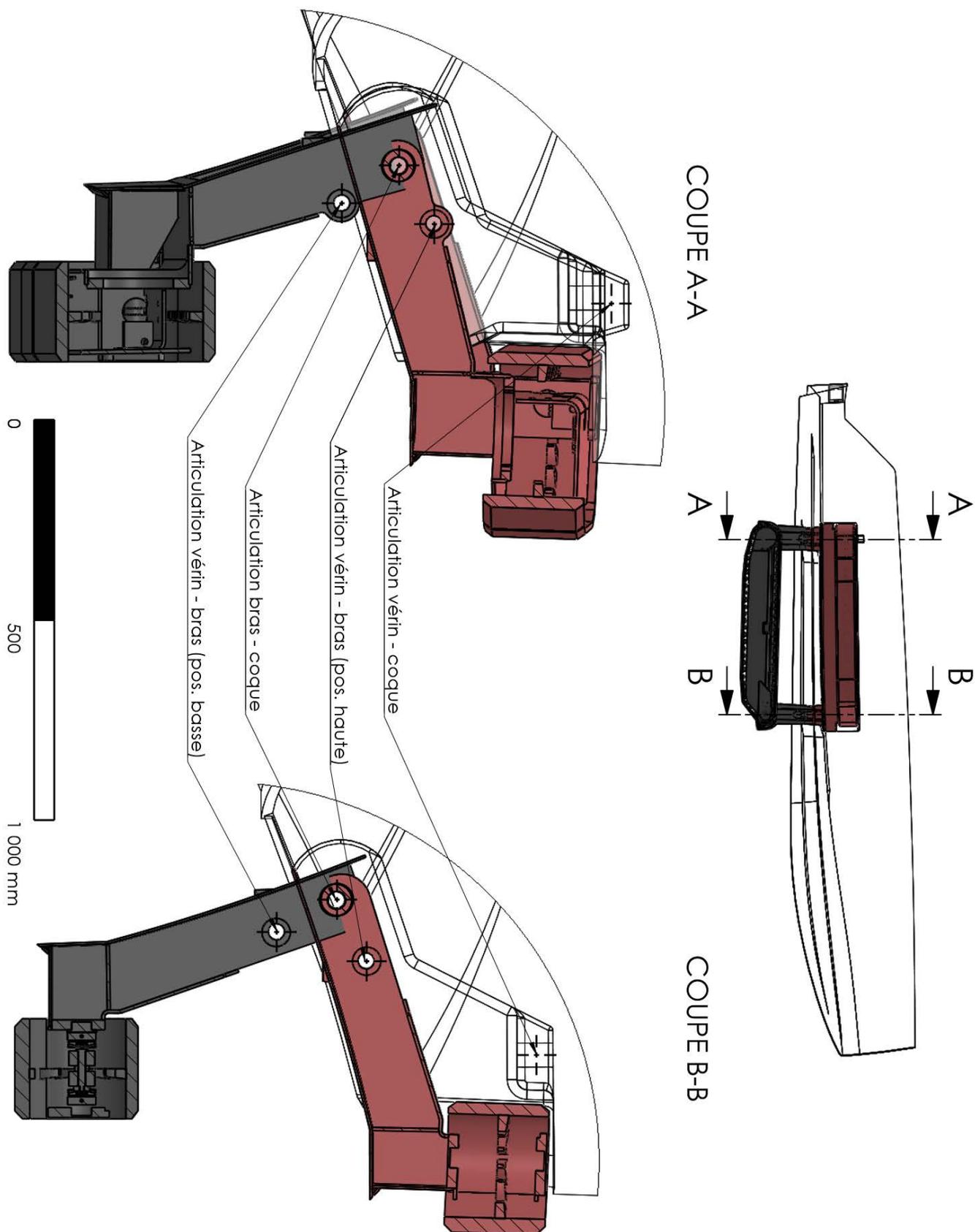
DR – Documents réponse

Documents qui seront à compléter et à rendre par le (ou la) candidat(e),
Tous les documents réponse sont à rendre, même non complétés

DR1 : Épure de détermination des longueurs utiles des vérins
DR2 : Modélisation multi physique du circuit hydraulique
DR3 : Conception de la liaison pivot
DR4 : Procédés de soudage à l'arc
DR5 : Mise en position du bras tribord pour l'usinage.

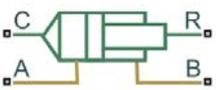
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR1 – Épure de détermination des longueurs utiles des vérins



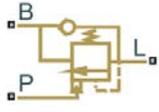
DR2 – Modélisation multiphysique du circuit hydraulique

QUESTION B.2.3

Bloc	Grandeur(s) de flux ("through")		Grandeur(s) d'effort ("across")		Caractéristique(s) principale(s)
	Type	Unité	Type	Unité	
 Fixed Orifice					
 Double-Acting Hydraulic Cylinder					

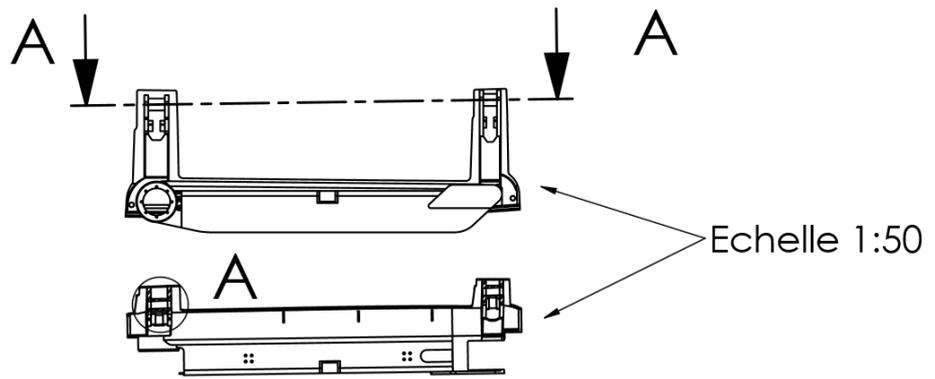
Bloc	Grandeur physique mesurée et type (flux ou effort)	Grandeur d'entrée	Grandeur de sortie	Unité
 Hydraulic Pressure Sensor				
 Hydraulic Flow Rate Sensor		X		

QUESTION B.2.5

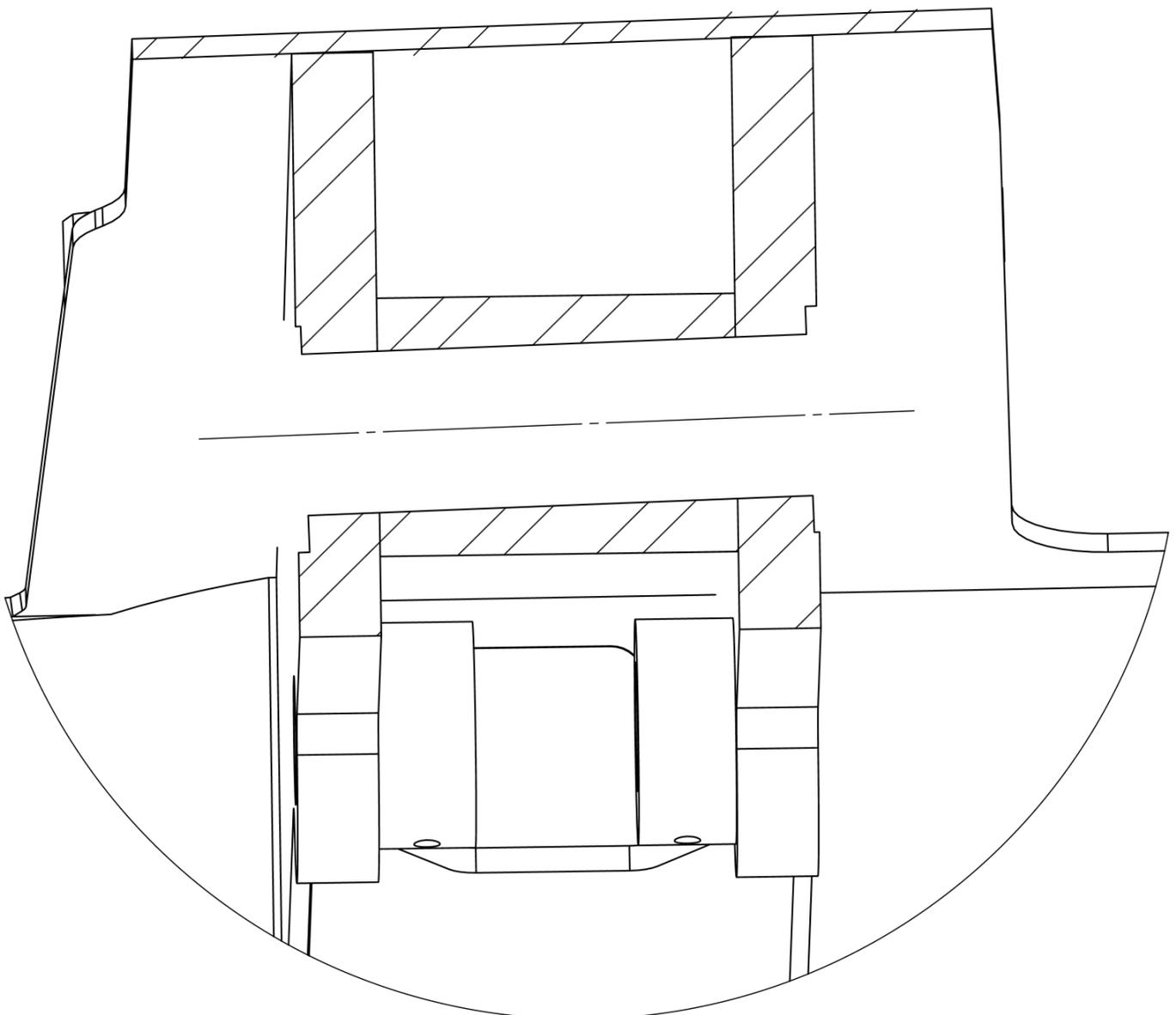
	 Counterbalance Valve "valve d'équilibrage"	 Pressure Relief Valve "soupape"
Fonction technique		
Protéger le circuit hydraulique des surpressions		
Assurer une contre pression dans la chambre côté "charge menante"		
Garantir la continuité du débit en sortie de pompe		

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR3 – Conception de la liaison pivot



COUPE A-A



DR4 – Procédés de soudage à l'arc

QUESTION D.2.2		QUESTION D.2.1		
INCONVÉNIENTS	AVANTAGES	DESCRIPTION	SCHÉMA	
			 <p>The diagram shows two rectangular pieces, labeled 'Piece 1' and 'Piece 2', positioned vertically. Piece 1 is on the left and Piece 2 is on the right. They are connected at their top ends by a central vertical line, representing the electrode holder and electrode assembly for MMA welding.</p>	Électrode enrobée MMA
			 <p>The diagram shows two rectangular pieces, labeled 'Piece 1' and 'Piece 2', positioned vertically. Piece 1 is on the left and Piece 2 is on the right. They are connected at their top ends by a central vertical line, representing the electrode holder and electrode assembly for MIG/MAG welding.</p>	MIG / MAG
			 <p>The diagram shows two rectangular pieces, labeled 'Piece 1' and 'Piece 2', positioned vertically. Piece 1 is on the left and Piece 2 is on the right. They are connected at their top ends by a central vertical line, representing the electrode holder and electrode assembly for TIG welding.</p>	TIG

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR5 – Mise en position du bras tribord pour l'usage

