

**CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES**

Session 2017

Sciences de l'ingénieur  
Durée, 5 heures

Aucun document autorisé.

Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante, conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

**POLAR POD**

Station océanographique internationale



*« Au delà du désir d'aventure, toutes les expéditions que j'ai organisées ont été construites sur les mêmes bases : une interrogation scientifique, un défi technologique et une volonté pédagogique, le désir de transmettre. La science ouvre vers les savoirs, la technologie les charpente. La science est une exploration fascinante à la recherche des fonctionnements intimes de la nature, du vivant, de la matière. La technologie est la pensée qui structure, qui donne corps aux découvertes. Les deux sont liées et s'enrichissent d'une curiosité réciproque qui repose sur le dialogue. Ainsi, il est essentiel de trouver les mots simples et pertinents pour échanger sur des phénomènes complexes. Cet exercice pédagogique aide à comprendre et aussi à transmettre, à expliquer à l'humanité que face à la complexité du monde, la science et la technologie sont les piliers du progrès qui ouvrent des voies vers un développement durable. »*

Handwritten signature of Jean-Louis Steyer.

Constitution du dossier

- texte (mise en situation et questionnement), pages 1 à 14 ;
- documents techniques DT1 à DT16, pages 15 à 32 ;
- documents réponses DR1 à DR5, pages 33 à 36.

Conseils au candidat

Vérifier que tous les documents définis ci-dessus sont présents. La phase d'appropriation d'un système pluri-technologique passe par la lecture attentive de l'ensemble du sujet. Il est fortement conseillé de consacrer au moins 30 minutes à cette phase indispensable de découverte.

Les documents réponses DR1 à DR5 sont à rendre agrafés avec la copie, même s'ils n'ont pas été complétés.

# Sujet

## 1 Introduction

### 1.1 Présentation du projet Polar Pod

Le projet Polar Pod est un projet porté par le docteur Jean-Louis Étienne. Il s'agit d'une plateforme océanographique conçue pour dériver autour de l'Antarctique, poussée par le courant circumpolaire qui réunit les eaux de l'océan Atlantique, de l'océan Indien et de l'océan Pacifique. Acteur majeur du climat et de la circulation océanique mondiale, l'océan Austral est une immensité océanique encore méconnue.



Le Polar Pod en est le futur observatoire permanent prévu pour accueillir sept personnes. L'expédition Polar Pod est une aventure humaine doublée d'un défi technologique pour une exploration maritime jamais réalisée. Il s'agit d'une mission scientifique internationale à haute valeur environnementale, tant par ses objectifs que par les moyens mis en œuvre pour sa réalisation.

Ce nouvel observatoire est plébiscité par la communauté scientifique internationale comme étant un navire océanographique du futur, en phase avec l'évolution économique et les progrès technologiques de la recherche océanique. Grâce à son profond pied dans l'eau (75 m), il peut assurer une présence dans les cinquantièmes hurlants 12 mois par an, alors que les navires de recherche ne viennent dans cette région que quelques semaines en été. Il s'agit d'une expédition écologique, avec un impact très limité sur l'environnement. Sans motorisation, le Polar Pod sera poussé par le courant. On peut parler de zéro émission en exploitation grâce à une bonne isolation thermique et aux énergies renouvelables.

### 1.2 Conception du Polar Pod

Ce sujet s'appuie sur la démarche de conception du Polar Pod menée par Laurent Mermier, ingénieur et directeur de la société Ship-ST basée à Lorient.

Le Polar Pod devra :

- permettre d'assurer les missions scientifiques liées au projet ;
- permettre la vie à bord de 7 personnes, de manière totalement autonome et sécurisée, pendant 4 mois minimum ;
- être autonome énergétiquement pendant 1 an tout en minimisant l'impact environnemental ;
- assurer une très bonne stabilité en mer agitée ;
- être transportable du lieu de fabrication à l'océan ;
- assurer le stockage et la transmission des informations scientifiques collectées ;
- résister aux conditions extrêmes rencontrées dans l'océan Austral.

La construction du Polar Pod étant actuellement en cours, les essais et les mesures présentés dans ce sujet ont été effectués en bassin à partir d'une maquette à échelle réduite visible au centre de culture scientifique Océanopolis situé à Brest.

## 2 Enjeux de l'expédition

**L'objectif est de comprendre les enjeux de l'expédition en ce qui concerne les données scientifiques collectées ainsi que la durée et les conditions particulières dans lesquelles elle a lieu.**

**Q1.** À l'aide des documents techniques DT1 et DT2, **expliquer** en 8 lignes au maximum le rôle des courants marins sur le climat de la Terre.

L'océan est un énorme réservoir de chaleur et joue ainsi un rôle essentiel pour la régulation du climat de notre planète. Il assure également un transport de chaleur de l'équateur vers les pôles aussi important que l'atmosphère. Son inertie thermique étant beaucoup plus importante que celle de l'air, il tempère les changements thermiques saisonniers des masses d'air, qui autrement seraient beaucoup plus importants. Ainsi, les courants chauds des couches de surface peuvent réchauffer le climat d'une région. À l'inverse, les eaux froides qui remontent en surface modèrent la température des eaux des régions équatoriales.

Le CO<sub>2</sub> peut apparaître sous différentes formes (solide, liquide, gazeuse...). Dans les régions polaires, la moyenne annuelle de température de l'océan varie très peu en fonction de la profondeur. Dans l'océan Austral, cette température se situe autour de 0 °C. On rappelle que lorsque la profondeur augmente de 10 mètres, la pression augmente de 1 bar.

**Q2.** À l'aide des documents techniques DT3 et DT4, **donner** les formes physiques sous lesquelles on peut trouver du CO<sub>2</sub> dans cet océan en fonction de la profondeur des eaux. **Expliquer** d'où vient l'expression « puits de CO<sub>2</sub> » et l'importance de l'océan Antarctique austral vis-à-vis de l'équilibre carbone de la planète.

Dans l'océan, on trouve le CO<sub>2</sub> sous forme gazeuse jusqu'à une profondeur de 400 m environ puis sous forme liquide. La forme solide n'est pas atteinte au vu des profondeurs maximales des océans. Un puits de carbone ou puits CO<sub>2</sub> est un réservoir, naturel ou artificiel, de carbone qui absorbe le carbone de l'atmosphère et donc contribue à diminuer la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique et par conséquent, au non réchauffement de la planète. Les océans sont les principaux puits naturels de carbone. Le phytoplancton marin, à l'instar des arbres, utilise la photosynthèse pour extraire le carbone du CO<sub>2</sub>. L'océan austral est le seul océan dont les eaux effectuent un tour complet sans rencontrer de masses continentales. Il est le siège d'intenses échanges avec l'atmosphère qui engendrent des phénomènes physiques, chimiques et biologiques spécifiques. Il est donc essentiel pour l'équilibre carbone de la planète.

Le Polar Pod va évoluer à environ 50° de latitude sud, dans une zone très ventée (cf. figure 1). On parle des 40<sup>e</sup> hurlants et des 50<sup>e</sup> rugissants.

**Q3.** **Calculer** pour une latitude moyenne de 50° sud, la distance  $D$  (en km) parcourue par le courant circumpolaire pour faire un tour complet de la Terre en faisant l'hypothèse que la Terre est une sphère de rayon 6370 kilomètres. Sachant que la vitesse moyenne de ce courant est de 1 nœud soit  $1,852 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , **calculer** le temps  $T_c$  (en jours) qu'il met pour faire le tour du continent Antarctique.

$$D = 2\pi R_t \sin\left(\frac{\pi}{2} - 50 \frac{\pi}{180}\right) = 25\,727 \text{ km}$$

$$T_c = \frac{25\,727}{1,852} = 13\,891,47 \text{ h} = 578,8 \text{ j} = 1,58 \text{ année}$$

La durée prévue pour l'expédition est d'un an. Le Polar Pod dispose d'un ensemble de voiles qui lui permettent de s'orienter par rapport au vent et de se déplacer plus rapidement que la vitesse des courants marins (cf. figure 2).

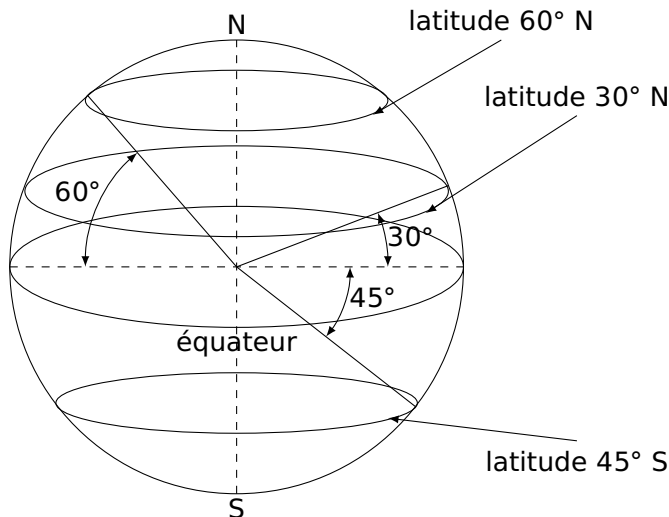


Figure 1 – Latitudes sur Terre

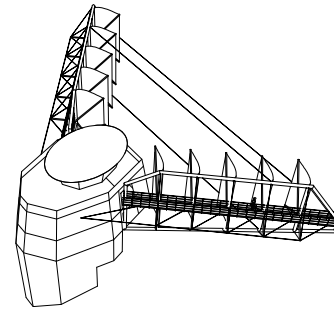


Figure 2 – Voiles montées sur la nacelle supérieure

**Q4. Expliquer** l'intérêt de ce choix en donnant deux arguments. **Calculer** la vitesse moyenne réelle du Polar Pod notée  $V_p$  (en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) et en **déduire** la vitesse relative moyenne  $V_v$  (en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) du Polar Pod par rapport aux courants marins.

Ce choix est écologique car il s'agit d'une énergie renouvelable. Du fait des vents importants sous ces latitudes, cette solution est suffisante pour déplacer plus rapidement le Polar Pod.

$$V_p = \frac{25727}{365 \times 24} = 2,94 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$V_v = V_p - 1,852 = 1,08 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

**Q5. Conclure**, à partir des réponses aux questions Q1 à Q4 et des différents documents techniques à disposition, sur l'intérêt du Polar Pod en rappelant les différents enjeux de l'expédition.

Principal puits de carbone de la planète et moteur de la circulation océanique mondiale, l'océan Austral, encore méconnu car difficile d'accès pour les scientifiques, va pouvoir grâce au Polar Pod donner beaucoup d'informations essentielles relatives au bon devenir de la planète, notamment les informations qui concernent l'absorption du  $\text{CO}_2$  mais aussi l'acidification des océans, une estimation des stocks de krill et du nombre de mammifères marins. Pour son déplacement, le choix de voiles est particulièrement intéressant dans ces latitudes très ventées, pour son aspect écologique avec l'utilisation d'une énergie renouvelable.

### 3 Choix de la structure de navigation

**L'objectif est de mettre en évidence la nécessité d'une structure de type SPAR<sup>1</sup> pour assurer une très bonne stabilité en mer.**

Les navires d'expédition classiques sont très assujettis à la houle et rendent les mesures dans les profondeurs marines trop bruitées. Une structure de type SPAR est une structure très peu soumise à l'influence de la houle de par son architecture.

Le document technique DT5 présente la structure SPAR retenue pour le Polar Pod. Elle est globalement constituée de 3 grandes parties : une nacelle à sa partie supérieure (lieu de vie de l'équipage), un flotteur central rempli d'air et un caisson à sa partie inférieure. L'ensemble est relié par une structure de type treillis.

Le caisson inférieur est composé d'un lest et de deux ballasts repérés B4 et B5. Un lest est un corps lourd destiné à déplacer le centre de masse d'une structure. Un ballast est un réservoir de grande contenance destiné à être rempli ou vidangé d'eau de mer afin d'optimiser la navigation

1. acronyme de "Single Point Anchor Reservoir" : il s'agit d'un type de plateforme pétrolière.

d'un navire ou le manœuvrer. Deux autres ballasts sont également présents : dans le flotteur (repéré B2-3) et dans la nacelle (repéré B1).

### 3.1 Étude de la stabilité par mer calme

Le document technique DT6 précise le principe d'une carène d'un navire et rappelle la notion de poussée d'Archimède. On se place dans une situation de mer calme où l'engin (le Polar Pod) est à l'équilibre et on note :

- $V_0$ , le volume d'eau déplacé par la carène du Polar Pod dans sa position verticale de fonctionnement ;
- $M = 1\,614,79$  tonnes, la masse totale de l'engin comprenant l'eau dans les ballasts ;
- $\rho_{eau} = 1\,035 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , la masse volumique de l'eau salée, supposée constante quelle que soit la profondeur pour simplifier les calculs ;
- $G$ , le centre de masse global de l'engin ;
- $C$ , le centre de carène de l'engin ;
- $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , l'accélération de la pesanteur.

**Q6. Calculer** la norme de l'action mécanique (en kN) qu'exerce la pesanteur sur l'engin, notée  $\|\vec{F}_{pes \rightarrow engin}\|$  et la norme de l'action mécanique qu'exerce l'eau sur l'engin, notée  $\|\vec{F}_{eau \rightarrow engin}\|$  (la poussée d'Archimède) s'appliquant globalement sur la structure puis **calculer** le volume d'eau  $V_0$  (en  $\text{m}^3$ ) déplacé par la carène de l'engin dans sa position d'équilibre stable verticale (fonctionnement normal).

$$\|\vec{F}_{pes \rightarrow engin}\| = \|\vec{F}_{eau \rightarrow engin}\| = Mg = 1\,614\,790 \times 9,81 = 15\,841 \text{ kN}$$

$$V_0 = \frac{M}{\rho_{eau}} = \frac{1\,614\,790}{1\,035} = 1\,560,18 \text{ m}^3$$

Pour la question suivante, on suppose la masse  $M$  et le volume  $V_0$  constants pour chaque situation.

**Q7. Représenter**, sur le document réponse DR1, les actions mécaniques de pesanteur (en noir) et d'Archimède (en bleu) appliquées dans les quatre situations proposées (échelle de représentation :  $1 \text{ cm} = 10^7 \text{ N}$ ). **Identifier** la situation d'équilibre stable et la situation d'équilibre instable. **Expliquer** comment positionner les points  $C$  et  $G$  pour assurer le maximum de stabilité de l'engin.

Pour avoir une situation d'équilibre stable, il faut que  $C$  soit au dessus de  $G$  (situation 1). Pour améliorer la stabilité, il faut écarter les points  $C$  et  $G$ . En effet, même si l'engin s'incline sous l'effet de la houle, la force de la pesanteur sur l'engin et la force d'Archimède l'obligent à revenir dans la position stable. Plus la distance entre  $C$  et  $G$  est importante, plus le moment créé par les 2 efforts est important. La situation d'équilibre instable est la situation 4.

Le lest ajouté au niveau du caisson bas est de 58,5 tonnes. En architecture navale, le matériau classiquement utilisé pour réaliser un lest est le béton. En effet, avec une masse volumique de  $2\,200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , il faut un volume de  $26,6 \text{ m}^3$  pour réaliser ce lest.

On envisage la réalisation de ce lest en acier ( $\rho_{acier} = 7\,800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). La fabrication d'un lest de 58,5 tonnes en acier conduit à un volume de  $7,5 \text{ m}^3$ .

Pour comparer ces deux matériaux, on se placera dans le cas où le centre de masse de l'engin est exactement à la même position.

**Q8. Expliquer** l'influence du choix de matériau sur la position de son centre de carène. **Discuter** plus particulièrement de ce choix d'un point de vue stabilité en mer de la structure.

Le volume de carène doit donc être identique pour maintenir l'équilibre du Polar Pod. Le lest en acier est moins volumineux que le lest en béton. Pour avoir un volume de carène identique, l'engin va donc s'enfoncer dans l'eau de telle manière à avoir un volume de carène identique. Une autre solution consiste à compenser la perte de volume du lest par une augmentation de la taille du flotteur central.

Dans les 2 cas, le choix de l'acier permet donc d'écartier les points  $C$  (centre de carène) et  $G$  (centre de masse) de l'engin et donc d'améliorer la stabilité globale de l'engin.

D'un point de vue économique, le lest en acier coûte environ 12 fois plus cher qu'un lest en béton. Cette solution pourra être envisagée si les performances de stabilité avec un lest en béton ne sont pas suffisantes.

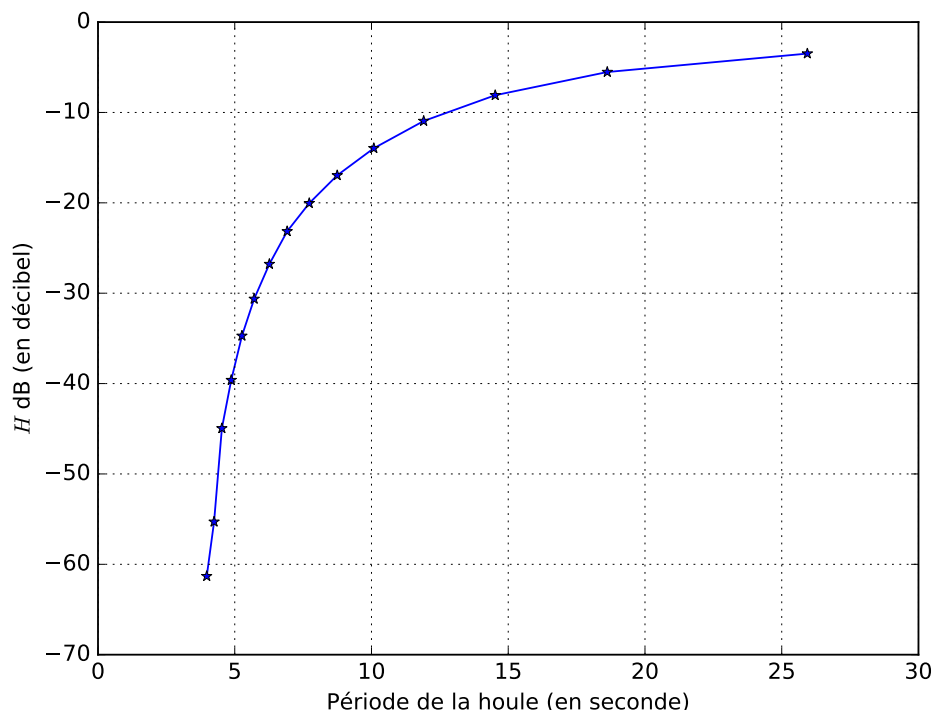
### 3.2 Étude de la stabilité par mer agitée

Plusieurs simulations numériques ont permis d'appréhender le comportement dynamique du Polar Pod soumis à la houle. Dans le cadre de cette étude, nous nous limitons à l'analyse du mouvement de pilonnement de l'engin, c'est-à-dire le mouvement de translation alternatif du Polar Pod suivant un axe vertical.

La houle peut être modélisée par une fonction sinusoïdale, caractérisée par plusieurs critères :

- la hauteur ou l'amplitude, distance comprise entre le sommet de la vague et le niveau moyen de la mer (en mètre) ;
- la longueur d'onde, distance entre deux crêtes ou deux creux consécutifs (en mètre) ;
- la période, temps écoulé entre le passage de deux crêtes consécutives au même point (en seconde) ;
- la fréquence, nombre de trains de houle passant en un point fixe en une seconde (en hertz).

La période de houle dans l'océan Austral varie entre 4 et 25 secondes. Les mouvements de l'eau dont les périodes sont situées entre 1 et 4 secondes (le clapot) sont de très faibles amplitudes et n'ont donc qu'un impact très limité sur le Polar Pod.



**Figure 3** – Atténuation du mouvement de pilonnement du Polar Pod en fonction de la houle

La figure 3 présente les résultats des simulations de l'amplitude du pilonnement de l'engin en fonction de la période de la houle. En ordonnée est représenté le gain en décibels du rapport (noté  $H$ ) entre l'amplitude du déplacement vertical du Polar Pod (en mètre) et la hauteur crête à creux des vagues (en mètre). L'équation 1 (il s'agit du logarithme décimal) donne la relation entre ce rapport noté  $H$  et sa valeur exprimée en décibel (dB) notée  $H_{dB}$ .

$$H_{dB} = 20 \log(H) \quad (1)$$

95 % du temps, les houles ont des hauteurs de vagues allant de 2 à 7 mètres et des périodes allant de 8 à 13 secondes.

**Q9.** En se plaçant dans la configuration la plus défavorable qui survient 95 % du temps, **calculer** l'amplitude du mouvement de pilonnement du Polar Pod.

la situation la plus défavorable est obtenue avec une période de 13 secondes et une amplitude crête à creux de 14 m

amplitude du pilonnement = hauteur crête à creux  $\times H = 14 \times H$  avec  $H = 10^{-8/20} = 0,398$

ce qui donne une amplitude de 5,57 m pour l'engin

Remarque : la nacelle est à 15 m du niveau de mer (mer calme).

**Q10. Comparer** ce résultat avec celui que l'on obtiendrait pour un navire d'expédition classique puis **conclure** sur l'utilité d'utiliser une structure de type SPAR.

Un navire d'expédition classique est très assujéti à la houle. Le rapport entre l'amplitude du déplacement vertical d'un navire d'expédition et la hauteur crête à creux des vagues est proche de 1 quelles que soient les caractéristiques de houle. La structure de type SPAR permet donc d'obtenir une très bonne stabilité même par mer très agitée.

## 4 Conception de la structure du Polar Pod

**L'objectif est de valider la faisabilité technique de la structure du Polar Pod et de dimensionner la structure centrale.**

La partie précédente a permis de mettre en évidence la nécessité d'utiliser une structure de type SPAR, pour assurer une très bonne stabilité en mer.

Dans cette partie, quelques aspects de la conception de la structure du Polar Pod seront abordés. La station océanographique est déplacée par un bateau d'expédition en position horizontale du port vers le lieu de départ de l'expédition, ce qui soulève plusieurs questions :

- comment passer de la position horizontale à la position verticale ?
- quelle structure de poutre centrale est la mieux adaptée pour assembler la nacelle supérieure, le flotteur central et le caisson bas ?
- quelle est l'influence de la géométrie de la poutre centrale sur la stabilité en mer ?

### 4.1 Manœuvrabilité en mer

Le passage de la position verticale à la position horizontale (et inversement) est une manœuvre délicate. Cette manœuvre est rendue possible grâce aux différents ballasts présents sur l'engin. La figure 4 décrit le remplissage des ballasts permettant de passer de la position de flottaison verticale à une position horizontale.

La surface de flottaison<sup>2</sup> moyenne vaut  $S_{treillis} = 2,939 \text{ m}^2$  lorsque le niveau de la mer est situé au niveau du treillis et vaut  $S_{nacelle} = 29,08 \text{ m}^2$  (valeur moyenne supposée constante) lorsque le niveau de la mer atteint le bas de la nacelle supérieure. On se reportera au document technique DT5 pour connaître la position du Polar Pod vis à vis de la mer en position verticale, c'est-à-dire à l'étape 0. On rappelle que la masse totale de l'engin est  $M = 1\,614,79$  tonnes (cette valeur prend en compte la masse d'eau comprise dans les ballasts telle que définie à l'étape 0 de la figure 4) et que la masse volumique de l'eau salée est  $\rho_{eau} = 1\,035 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (supposée constante).

2. définie dans le document technique DT6.

Étapes		Configuration des ballasts			
		Nacelle	Flotteurs centraux	Caisson bas	
		B1	B2-3	B4	B5 (grand)
0	Position verticale	0%	3,4%	97,5%	97,5%
1	Abaissement	0%	100%	97,5%	97,5%
2	Préparation basculement	50%	100%	50%	97,5%
2'	Situation avant basculement	78%	100%	22%	97,5%
2''	Situation intermédiaire	92%	100%	8	97,5%
2'''	Fin basculement	100%	100%	0%	97,5%
3	Mise en flottaison du caisson de pied	100%	100%	0%	0%
4	Allègement – pos horizontale	0%	0%	0%	0%

**Figure 4** – Description temporelle du remplissage des ballasts

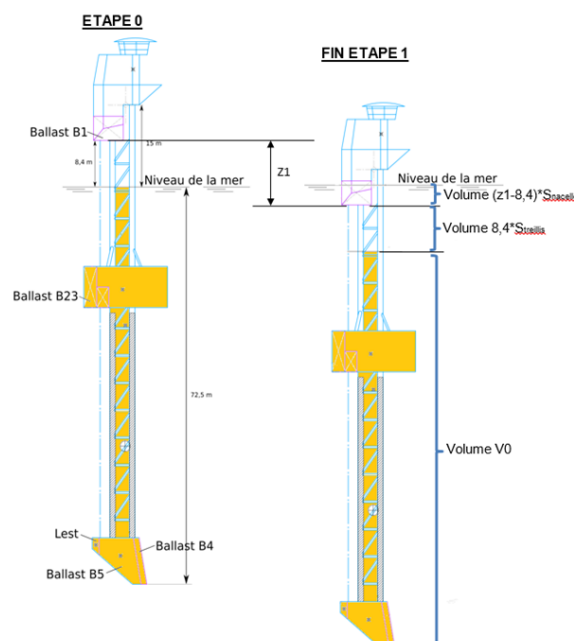
La première étape (abaissement) consiste à remplir complètement le ballast central B2-3 avec de l'eau de mer. On passe alors de 3,4 % à 100 % de taux de remplissage. Le volume total de ce ballast, noté  $V_{B23}$ , vaut  $149 \text{ m}^3$ .

**Q11. Exprimer** le nouveau volume de carène, noté  $V_1$ , suite au remplissage du ballast B2-3 (à la fin de l'étape 1) en fonction de  $V_0$  (le volume de carène à l'étape 0 en position verticale tel que calculé page 5) et de  $V_{B23}$  en tenant compte des pourcentages de remplissage. **Calculer** sa valeur numérique.

À la fin de l'étape 1, le nouveau volume de carène vaut  $V_1 = V_0 + \frac{96,6}{100} \times V_{B23} = 1\,560,18 + \frac{96,6}{100} \times 149 = 1704,11 \text{ m}^3$

On rappelle que la figure du document technique DT5 montre le Polar Pod dans sa position verticale normale d'utilisation (étape 0 du basculement).

**Q12. Exprimer puis calculer** l'enfoncement total (en m), noté  $z_1$ , du Polar Pod suivant son axe vertical à la fin de l'étape 1. Il est conseillé de vérifier la cohérence de la valeur numérique calculée à partir de la figure du document technique DT5 car la nacelle supérieure doit toujours rester hors de l'eau.





L'enfoncement est compris entre 8,4 m et 15 m

$$(z_1 - 8,4) \cdot S_{nacelle} + 8,4 \cdot S_{treillis} = V_1 - V_0$$

$$\text{d'où } z_1 = \frac{V_1 - V_0 + 8,4(S_{nacelle} - S_{treillis})}{S_{nacelle}} = \frac{143,93 + 8,4 \times (29,08 - 2,939)}{29,08} = 12,5 \text{ m}$$

Le document technique DT7 montre plusieurs figures correspondant à différentes positions du Polar Pod.

**Q13. Compléter** le document réponse DR2 avec le numéro de la figure correspondant à la position atteinte à la fin de l'étape correspondante (cf. figure 4). **Expliquer** comment a été choisie la position du ballast B2-3 et la raison pour laquelle il y a deux ballasts différents (B4 et B5) dans le caisson inférieur.

Étape	n° figure
Étape 0 : position verticale	1
Étape 1 : abaissement	2
Étape 2 : préparation du basculement	3
Étape 2'' : situation intermédiaire	6
Étape 2''' : fin du basculement	9
Étape 3 : mise en flottaison du caisson de pied	7
Étape 4 : allègement - position horizontale	12

Le flotteur central forme un anneau. Le ballast B2 – 3 est situé sur une portion angulaire de 45 ° et permet d'orienter la nacelle du Polar Pod lors de la manœuvre de telle sorte que les portes soient hors de l'eau.

Le ballast B4 joue un rôle essentiel dans le basculement de l'engin. Le centre de carène de ce ballast est désaxé, ce qui permet de créer un moment qui entraîne le basculement.

## 4.2 Dimensionnement de la poutre centrale de la structure

La poutre centrale constitue véritablement le squelette de la structure du Polar Pod puisqu'elle maintient ensemble la nacelle supérieure, le flotteur central et le caisson bas. Deux pistes sont envisagées pour sa fabrication : une poutre pleine, de section circulaire constante (en acier) et une structure de type treillis<sup>3</sup> (en acier).

Il faut se placer dans la situation la plus contraignante pour dimensionner cette poutre centrale. Cette situation survient lorsque le Polar Pod est en position horizontale et que la houle soulève le Polar Pod par ses extrémités (par le caisson bas et par la nacelle supérieure).

### 4.2.1 Dimensionnement de la poutre de section circulaire

Afin de dimensionner la poutre centrale de section circulaire pleine et constante, on adopte le modèle de poutre défini dans le document technique DT8. La poutre [AC] est en appui simple en A et en C, que l'on modélise ici par des liaisons sphère-plan de contact A (respectivement C) et de normale  $\vec{y}$ . L'action mécanique représentant le poids du flotteur central est modélisée par un glisseur qui s'applique localement au point B. On suppose pour simplifier le calcul que celui-ci se situe au milieu de la poutre. Par ailleurs, l'action mécanique de la pesanteur sur la poutre est modélisée par une action mécanique répartie.

La contrainte normale dans une section droite en un point M quelconque, de coordonnées cartésiennes  $(x, y, z)$  dans le repère  $(A, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  du document technique DT8, appartenant à la poutre se calcule grâce à la relation 2.

$$\sigma(x, y, z) = \frac{M_{fz}(x)}{I_{Gz}} y \quad (2)$$

3. voir document technique DT5

La relation 3 permet de calculer le moment quadratique ( $I_{Gz}$ ) d'une poutre pleine de section circulaire et de diamètre  $D$  constant.

$$I_{Gz} = \frac{\pi D^4}{64} \quad (3)$$

La valeur du moment fléchissant  $M_{fz}(x)$  est présentée dans le document technique DT8 tout le long de la poutre.

**Q14. Rappeler** le type de sollicitation à laquelle est soumise la poutre ainsi que la nature des contraintes dans une section droite. **Expliquer** où se situe la section droite la plus sollicitée (c'est-à-dire la section droite soumise au moment fléchissant le plus grand en valeur absolue). **Donner** la valeur de l'ordonnée  $|y|$  d'un point  $M(x,y,z)$  où la contrainte  $|\sigma(x,y,z)|$  est maximale. **Exprimer** la contrainte normale maximale  $\sigma_{max} = \max(|\sigma(x,y,z)|)$  en fonction de  $D$ , le diamètre de la poutre et des paramètres connus.

Il s'agit d'une sollicitation de flexion. La contrainte est une contrainte purement normale. la section droite la plus sollicitée se situe à l'abscisse où le moment fléchissant est le plus élevé. C'est à dire au milieu de la poutre.

l'ordonnée  $|y|$  maximale est obtenue lorsque  $y = -\frac{D}{2}$  et  $y = \frac{D}{2}$

$$\max(M_{fz}) = \frac{L}{4} \times g \times \left(m_f + \frac{m_p}{2}\right)$$

$$\sigma_{max} = \max(|\sigma_{(x,y,z)}|) = \frac{32 \frac{L}{4} \times g \times \left(m_f + \frac{m_p}{2}\right)}{\pi D^3}$$

Le choix de matériau s'oriente sur un acier à haute limite élastique S420. Sa limite élastique  $R_e$  vaut 420 MPa. L'inéquation 4 rappelle la condition de résistance de la poutre,  $s$  étant un coefficient de sécurité. Le document technique DT8 fournit une courbe de la contrainte maximale calculée en fonction du diamètre de la poutre.

$$\sigma_{max} < \frac{R_e}{s} \quad (4)$$

**Q15. Donner** la valeur numérique du diamètre minimal  $D_{mini}$  de la poutre en prenant un coefficient de sécurité de 2.

La lecture de la courbe du document technique DT8 donne directement  $D_{min} = 3$  m.

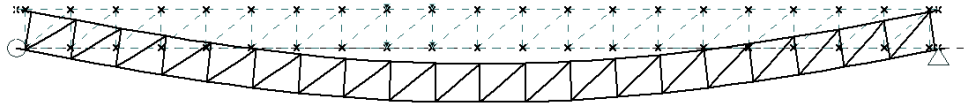
#### 4.2.2 Dimensionnement du treillis

Le même matériau (acier S420) est envisagé pour la réalisation du treillis. Un logiciel de calcul numérique des structures a permis de réaliser les calculs de contraintes et de déformations de cette structure à partir d'un modèle de liaison et de chargement similaire à celui présenté dans la partie précédente. Avec la géométrie retenue, la section droite la plus sollicitée est soumise à une contrainte de 134,8 MPa.

La déformée globale est présentée sur la figure 5.

**Q16. Conclure** sur le dimensionnement de la structure de type treillis.

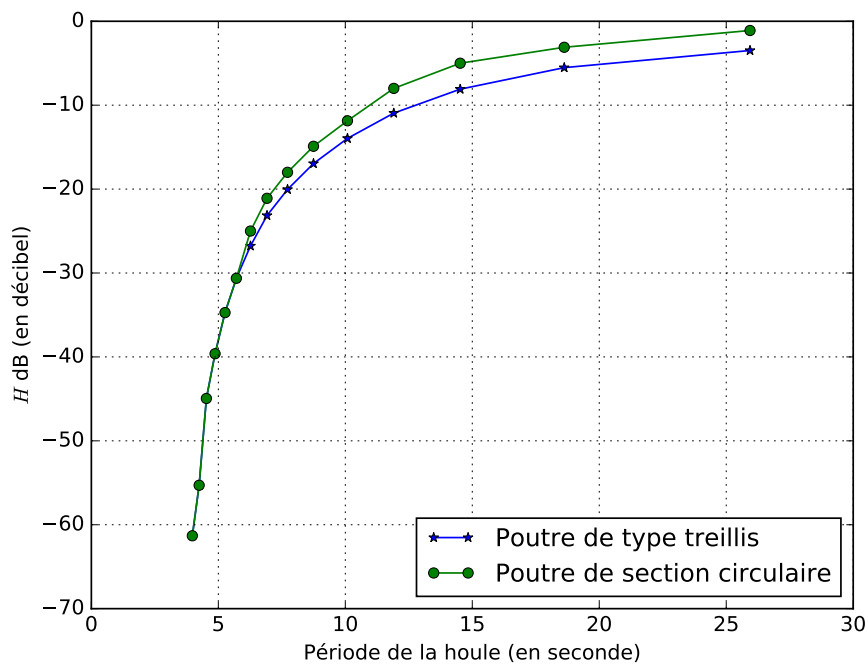
On a bien  $\sigma_{max} < R_e$ . De même,  $s \approx 3,1 > 1$  On conclut que la poutre de type treillis est correctement dimensionnée.



**Figure 5** – Déformée du treillis

### 4.3 Influence de la géométrie de la poutre centrale sur la stabilité par mer agitée

La figure 6 présente l'amplitude du pilonnement<sup>4</sup> pour les deux types de poutre.



**Figure 6** – Atténuation du pilonnement du Polar Pod en fonction de la houle et du type de poutre.

**Q17.** Au regard des études menées dans cette partie, **justifier** le type de structure centrale à retenir pour la réalisation du Polar Pod.

Les 2 types de structures conviennent d'un point de vue résistance mécanique. L'atténuation du mouvement de pilonnement est nettement meilleure avec une structure de type treillis quelles que soient les périodes de houle. Le choix s'orientera donc vers ce type de structure.

4. défini page 7.

## 5 Besoins énergétiques et gestion de l'énergie

L'objectif de cette partie est de déterminer les besoins énergétiques de la station océanographique Polar Pod et de valider les solutions retenues pour la production, la gestion et le stockage de l'énergie.

### 5.1 Besoins énergétiques pour le confort de l'équipage et la vie à bord

Le document technique DT9 montre l'agencement de la nacelle et le document technique DT10 répertorie les principaux consommateurs de puissance.

**Q18. Déterminer**, à l'aide du document technique DT10, le poste de consommation de puissance le plus important en ce qui concerne les besoins de confort des occupants. **Proposer** une solution pour limiter son impact sur la consommation énergétique.

Pour le confort, ce sont les radiateurs électriques qui vont consommer le plus puisqu'on arrive à un total de 7 kW s'ils sont tous allumés en même temps (froid extérieur intense). On retrouve également l'osmoseur, les chauffe-eau et le lave linge mais ceux-ci ne fonctionneront que par moments. Pour limiter l'impact du chauffage sur l'autonomie énergétique du Polar Pod, il faut une excellente isolation qui limite les déperditions thermiques.

Les murs de la nacelle sont constitués de panneaux isolants VIP (Vacuum Insulated Panel) dans lesquels le vide a été réalisé puis recouvert de contre-plaqué. On obtient ainsi de faibles conductivités thermiques avec des épaisseurs de mur faibles.

**Q19. Expliquer** l'intérêt de ce choix pour la nacelle du Polar Pod. **Donner** un inconvénient de ce type de produit.

Si les murs ont une faible conductivité thermique, il y aura peu de déperditions et donc un besoin moins important de chauffage. En faisant le vide dans les panneaux isolants, on obtient une paroi très peu épaisse, ce qui est très important pour un gain de place dans la nacelle du Polar Pod. Un inconvénient réside : si on perce le panneau, il va se regonfler donc nécessité de doubler avec un matériau type contreplaqué.

On désire une température intérieure de confort de 18 °C et on suppose que la température extérieure vaut 0 °C. Les déperditions  $D_p$  (en W) sont données par la relation suivante :

$$D_p = (U_{bat} \cdot S_{dep} + R \cdot V_h) \cdot (T_{confort} - T_{exterieure})$$

avec

- le coefficient de déperditions  $U_{bat} = 0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  ;
- la surface de déperditions (surface des parois en contact avec l'extérieur en  $\text{m}^2$ )  $S_{dep}$  ;
- le coefficient de ventilation  $R = 0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$  ;
- le volume habitable  $V_h$  en  $\text{m}^3$ .

Pour simplifier les calculs, on considérera que la nacelle est thermiquement équivalente à un cylindre de rayon 3 m et de hauteur 9 m.

**Q20. Calculer** les déperditions dans les conditions données et les **comparer** à la puissance dissipée par les radiateurs. **Conclure** sur la solution choisie pour limiter la consommation en chauffage.

Surface de contact simplifiée :  $S_{dep} = (\pi \cdot R^2 \times 2 + 9 \times 2 \times \pi \times 3) = 226,2 \text{ m}^2$

Volume :  $V = 9 \times \pi \times 3^2 = 254,5 \text{ m}^3$

On obtient alors  $D_p = 1730 \text{ W}$ , ce qui est très inférieur aux 7 kW que peuvent fournir les radiateurs.

Le choix de matériaux VIP pour la nacelle permet donc de limiter la mise en route des radiateurs. Évidemment d'autres phénomènes vont perturber le calcul précédent dans un sens (ouverture

des portes, entrée d'air froid) mais aussi dans l'autre (chaleur de cuisine, des personnes, de l'informatique...).

## 5.2 Besoins énergétiques pour les équipements techniques et scientifiques

Pour le fonctionnement du Polar Pod, notamment les manœuvres de l'engin, il faut pouvoir vider ou remplir les ballasts grâce à des pompes d'assèchement et à des compresseurs d'air. Ceci ne sera pas étudié dans cette partie. Pour prendre des mesures scientifiques, certains appareils sont directement mis en place sur le Polar Pod. Hormis le LIDAR<sup>5</sup>, leur consommation n'est pas excessive et ne sera pas étudiée.



De même, un propulseur de grosse puissance est installé pour des manœuvres d'urgence (évitement d'iceberg) mais cet aspect sécurité, important lors de la conception du Polar Pod, ne sera pas étudié.

D'autres appareils (petits sous-marins autonomes ou embarcations de type semi-rigide avec équipage à bord) doivent par contre être descendus ou montés régulièrement grâce au bossoir (ensemble support du treuil électrique).

**Q21. Expliquer**, à l'aide des documents techniques DT10 et DT11, pourquoi il a été décidé d'alimenter le bossoir, les compresseurs et les pompes d'assèchement directement par le groupe électrogène.

Leurs puissances sont trop importantes. Par exemple bossoir : 7,5 kW annoncés ce qui déchargerait trop vite les batteries ou pompe d'assèchement 22 kW bien supérieur à ce que peuvent fournir les éoliennes.

Le treuil électrique (entraîné par un moteur asynchrone triphasé) est alimenté via un variateur de vitesse intégré qui permet de contrôler la fréquence de rotation. L'arbre moteur est solidaire d'un réducteur qui entraîne un tambour sur lequel le câble est enroulé. On négligera la variation d'épaisseur du câble enroulé.

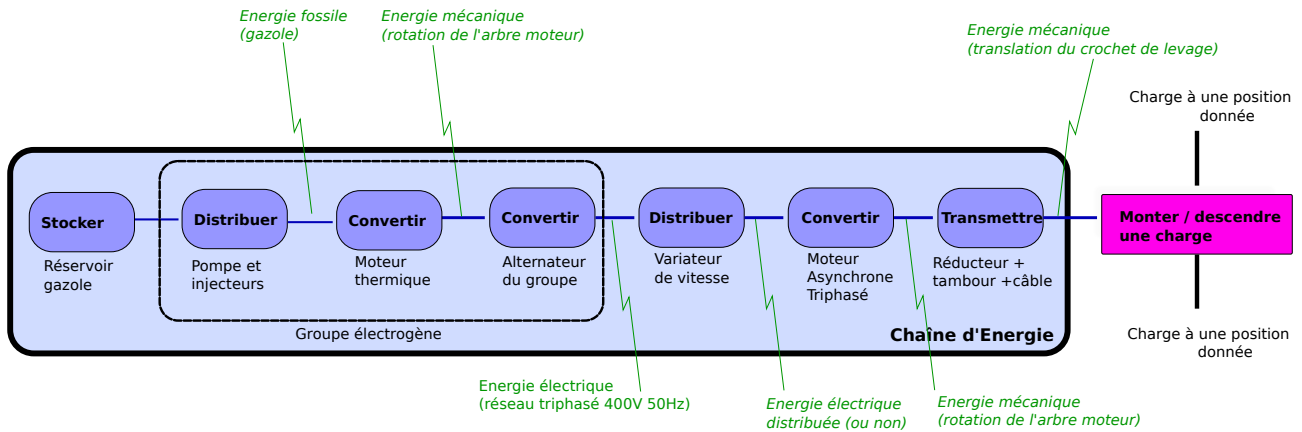
Les caractéristiques du palan sont les suivantes :

- capacité de levage maximale, 3 000 kg ;
- rayon du tambour, 176 mm ;
- vitesse de levage réglable de 2 à 16 m · min<sup>-1</sup> ;
- puissance utile du moteur, 7,5 kW ;
- 2 paires de pôles ;
- vitesse nominale du moteur, 1440 tr · min<sup>-1</sup> ;
- durée de vie du réducteur, 3 200 h.



**Q22. Compléter** la chaîne d'énergie sur le document réponse DR3 en faisant apparaître les trois fonctions manquantes et les trois formes d'énergie manquantes.

5. Appareil de télémétrie laser.



**Q23. Déterminer** la puissance mécanique  $P_m$  nécessaire pour monter une embarcation avec six hommes à bord (masse totale de 1500 kg) pour une vitesse de levage de  $16 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . En **déduire** la puissance électrique  $P_e$  absorbée par le moteur en supposant que le moteur a un rendement de 0,85 et que la transmission a un rendement de 0,7.

$$P_m = (1500 \times 9,81) \times 16/60 = 3924 \text{ W}$$

$$\text{On en déduit } P_e = 3924 / (0,85 \times 0,7) = 6595 \text{ W}$$

Un modèle multiphysique représente la chaîne d'énergie étudiée (cf. figure 7).

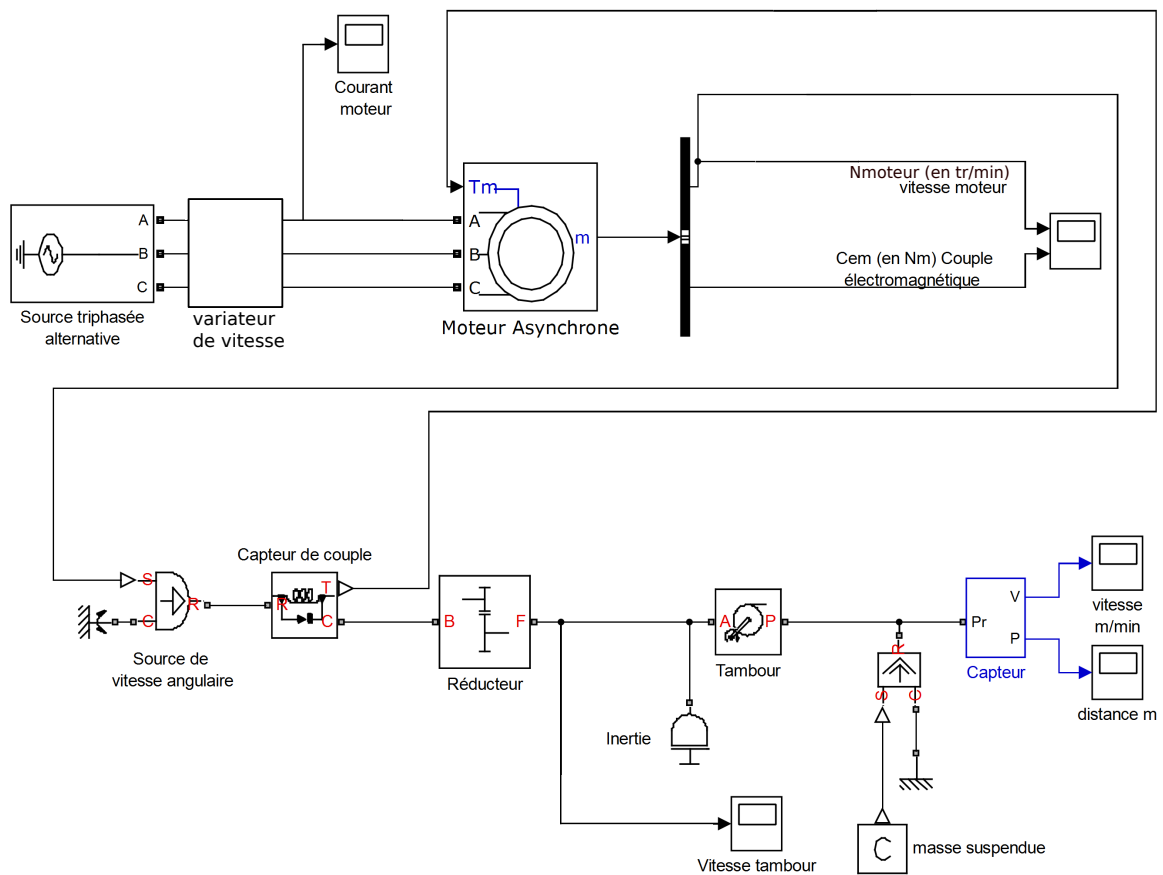


Figure 7 – Modèle multiphysique

**Q24. Calculer** le rapport de réduction à insérer dans le modèle multiphysique du bloc « Réducteur » pour obtenir la vitesse de  $16 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  de montée de l'embarcation sachant que le moteur tourne alors quasiment à sa vitesse nominale  $N_n$ .

$$N_{\text{tambour}} = (16/60)/0,176 = 1,51 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} = 14,46 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$N_{\text{moteur}} = 1440 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\text{donc rapport du réducteur} = 1/99,5 = 0,01$$

**Q25. Calculer** la vitesse de synchronisme du moteur  $N_s$  (en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ ) pour une fréquence de commande de 50 Hz, puis **comparer** les relevés de vitesse angulaire du moteur obtenus à la montée et à la descente (voir document technique DT12) en expliquant les courbes obtenues et les écarts observés.

$$\text{Vitesse de synchronisme } N_s = (f/p) \times 60 = 1500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

On obtient à la montée une vitesse de  $1472 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ . Le moteur doit lever l'embarcation et fournit un couple important, notamment à la phase d'accélération, la vitesse de rotation est donc inférieure à celle de synchronisme (présence d'un glissement de 1,87 %). À la descente, la vitesse en régime stabilisé est de  $-1532 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ , c'est donc la charge qui entraîne le moteur au delà de sa vitesse de synchronisme.

**Q26. À partir des courbes du couple électromagnétique du moteur ( $C_{em}$ ) et de sa vitesse ( $N_{\text{moteur}}$ ), déduire** le sens du transfert d'énergie entre le moteur et sa charge dans les deux cas (montée et descente). **Proposer** des solutions dans le cas de la descente pour gérer l'énergie.

À la montée en régime stabilisé on obtient  $N_{\text{moteur}} = 1472 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  et  $C_{em} = 26 \text{ N} \cdot \text{m}$ , les deux valeurs étant positives, la machine est en fonctionnement moteur dans le quadrant 1.

À la descente on obtient  $N_{\text{moteur}} = -1532 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  et  $C_{em} = 26 \text{ N} \cdot \text{m}$ , les deux valeurs étant de signe opposé, la machine est en fonctionnement génératrice dans le quadrant 2.

On pourrait éventuellement récupérer l'énergie de la phase de descente puisque le moteur fonctionne alors en génératrice mais les phases de mise à l'eau de l'embarcation étant peu nombreuses par jour, cette solution n'a pas été retenue.

La houle étant souvent importante, lors de la descente de l'embarcation, les vagues peuvent heurter violemment le fond du bateau et faire tomber ses occupants, la chaîne du palan pouvant alors brusquement se détendre ou se retendre. Pour éviter ce désagrément, un compensateur de houle est installé. C'est un dispositif pneumatique qui permet de compenser très rapidement la variation de hauteur par rapport au niveau de l'eau.

**Q27. Expliquer**, à l'aide du document technique DT12.3, pourquoi le moteur ne permet pas de compenser seul l'effet de la houle (on suppose des conditions défavorables, soit une période de houle de 13 s et des creux de 7 m) et conclure sur la solution de levage choisie.

Le treuil a une puissance importante *a priori* par rapport aux besoins, mais on doit l'associer à un compensateur de houle pour éviter les chocs sur le bateau qui pourraient avoir une influence sur la sécurité des occupants lors des manœuvres.

En observant les courbes du DT12.3, le bateau se déplace à une vitesse de  $16 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  soit  $0,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Or avec la houle importante et pour des creux de 7 m avec une période de 13 s par exemple, la vague progresse verticalement à  $2,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Le moteur est donc incapable de suivre cette dynamique, d'où l'importance du compensateur qui réagit très rapidement.

### 5.3 Dimensionnement de la capacité de stockage d'énergie électrique (les batteries)

On se place dans la configuration la plus défavorable. Il est prévu d'équiper la station avec deux ensembles de batteries en dérivation permettant d'obtenir une tension de 356 V. On suppose dans cette partie que ces batteries doivent pouvoir fournir l'énergie nécessaire au Polar Pod sur une journée entière en fonctionnement normal de la station océanographique. Nous ferons également l'hypothèse d'une absence totale de vent dans la journée (ce qui est, en réalité, quasiment impossible sous ces latitudes).

Les appareils et leurs durées de fonctionnement à prendre en compte sont récapitulés dans le tableau 1 .

Appareil	Nombre	Durée
Osmoiseur	1	30 min
Chargeur de batterie	2	3 h
Centrale biologique	1	1 h
Chauffage électrique	4	4 h
Ventilation nacelle	2	24 h
Congélateurs	2	16 h
Réfrigérateur	1	16 h
Lave-linge	1	2 h
Micro-ondes	1	30 min
Cafetière	1	1 h
Chauffe-eau	2	3 h
Éclairage intérieur	30	8 h
Équipements scientifiques	2	4 h

**Table 1** – Durée journalière de fonctionnement des appareils

**Q28. Calculer**, à l'aide du document technique DT10, l'énergie totale  $W_{tot}$  en kW · h que doivent fournir les batteries pendant la journée. **Calculer** la capacité minimale, notée  $Q_{min}$ , de chaque ensemble de batteries en ampère-heure (A · h).

On obtient à partir des puissances fournies un total de  $W_{tot} = 81,34 \text{ kW} \cdot \text{h}$   
 Par batterie :  $40,7 \text{ kW} \cdot \text{h}$  soit  $Q_{min} = 40\,700/356 = 114 \text{ A} \cdot \text{h}$

Les batteries choisies sont des SAFT Lithium-ion de 50 kW · h (voir document technique DT13).

**Q29. Calculer** le nombre de modules standards constituant chaque ensemble de batteries et **préciser** l'intérêt du choix de ce type de batterie. **Proposer** un schéma représentatif du raccordement des modules de batteries.

Chaque module a une tension de 39,6 V, la batterie est donc constituée de 9 modules en série pour atteindre les 356 V. L'intérêt de ce type de batterie est notamment l'énergie massique très élevée. On a donc 2 ensembles batterie en dérivation constitués chacun de 9 modules standards en série.

En réalité, le vent pratiquement ininterrompu recharge très régulièrement les batteries, ce qui permet de choisir des batteries à capacité réduite, donc moins encombrantes et plus légères (par exemple une capacité de 60 A · h par batterie). On suppose désormais qu'une batterie délivre réellement 50 A · h en journée et qu'elle se recharge surtout pendant la nuit, quand la consommation est réduite. Les caractéristiques sont précisées sur le document technique DT13.

**Q30. Calculer** le nombre de cycles de charge / décharge possibles avec les batteries installées (capacité de 120 A · h) et le nombre de cycles possibles avec des batteries d'une capacité limitée à 60 A · h.

- avec la batterie installée de 120 A · h, le taux de décharge est de 42 % soit 8 000 cycles ;
- avec une batterie installée de 60 A · h, le taux de décharge est de 83 % soit 1 800 cycles.



On est près de la limite de décharge autorisée dans le second cas.

**Q31. Conclure** sur le dimensionnement des batteries.

Le dimensionnement peut donc paraître de prime abord trop important mais le critère le plus important dans le cas du Polar Pod est la durée de vie des batteries. Pour avoir une plus grande durée de vie, il faut donc que les cycles de décharge ne soient pas trop profonds et donc il vaut mieux surdimensionner les batteries choisies.

## 5.4 Production d'énergie renouvelable : énergie éolienne

La puissance (en W) fournie à l'éolienne par le vent dans un tube de surface  $S$  est donnée par la relation suivante :  $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$  avec  $\rho = 1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  la masse volumique de l'air,  $v$  la vitesse du vent (en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) et  $S$  la surface balayée par les pales (en  $\text{m}^2$ ).

**Q32.** À l'aide du document technique DT14, **calculer** la puissance fournie à l'éolienne par le vent  $P_{\text{vent}}$ , puis en déduire la puissance électrique produite par l'éolienne  $P_{\text{eol}}$  pour un vent qui évolue de force 5 à 10 Beaufort (environ 30 à 100  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), ce qui correspond aux vents habituels sous cette latitude. **Calculer** le rendement de l'éolienne pour ces deux valeurs extrêmes de vitesse du vent.

Pour un vent de 30  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$   $\text{km/h} = 8,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  on obtient  $P_{\text{vent}} = 4233 \text{ W}$  et  $P_{\text{eol}} = 1875 \text{ W}$  d'après la courbe un rendement de  $1875/4233 = 44\%$

Pour un vent de 100  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1} = 27,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  on obtient  $P_{\text{vent}} = 156786 \text{ W}$  et  $P_{\text{eol}} = 2500 \text{ W}$  (en réalité  $S$  diminue un peu sous l'effet du vent) soit un rendement de 1,6% (proche de 2% avec la diminution de la surface  $S$ ).

**Q33.** En **déduire** l'énergie fournie par les éoliennes sur une journée pour un vent relativement fort. **Conclure** sur l'utilisation possible des éoliennes pour les besoins en énergie du Polar Pod.

L'éolienne fournit presque tout le temps sa puissance nominale, soit 2,5 kW et donc sur une journée peut produire 60 kW · h ou au minimum quasiment 40 kW · h. On dispose de quatre éoliennes, ce qui devrait permettre d'alimenter tous les postes courants du Polar Pod et de recharger les batteries, notamment pendant la nuit où la consommation énergétique est réduite.

## 5.5 Gestion centralisée de l'énergie

Le principe général de fonctionnement est donné sur le synoptique de l'installation électrique (voir document technique DT11). En fonctionnement normal, quatre éoliennes alimentent, via leurs convertisseurs, le bus continu DC (356 V). Ce bus alimente les convertisseurs AFE (Active Front End). Si la demande de puissance est inférieure à celle produite par les éoliennes, les batteries de 50 A · h sont rechargées par le bus DC. Sinon, les batteries alimentent aussi les AFE. En cas de forte demande de puissance ou en cas d'absence de vent et de batteries déchargées, le groupe électrogène peut être démarré afin d'alimenter les éléments consommateurs. Le jeu de barre principal BC sera séparé en deux parties par une traverse. Cette traverse est ouverte en fonctionnement normal. Un dispositif est prévu pour le couplage des deux demi-jeux de barre en mode dégradé.

Le verrouillage mécanique, indiqué sur le document technique DT11, entre les disjoncteurs (repérés D2 et D3 sur le document réponse DR4) empêche ceux-ci d'être enclenchés simultanément. Le contrôle centralisé est organisé autour d'un automate programmable et de deux terminaux tactiles. Il permettra la remontée des informations issues des différents éléments producteurs ou consommateurs d'énergie sur le Polar Pod, via une liaison Ethernet filaire sous protocole Modbus. La gestion centralisée permettra par une méthode simple le changement de la configuration de la production d'énergie du navire (gestion de la limitation de puissance, état de charge des

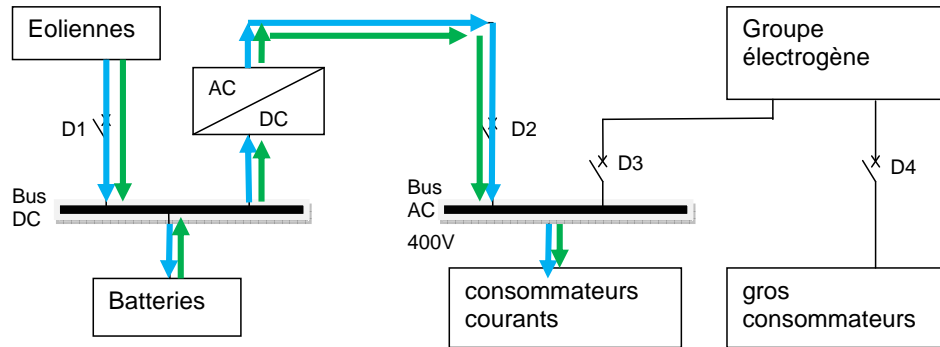
batteries. . . ) Par ailleurs, la sortie Ethernet est également disponible pour une liaison satellitaire (télé-assistance si nécessaire).

- Q34.** À l'aide du document technique DT11, **représenter** les sens de transfert de l'énergie lors des fonctionnements demandés sur le document réponse DR4 et **compléter** le tableau indiquant les états des disjoncteurs. On supposera que les éoliennes fournissent une puissance de 10 kW de manière continue. La puissance  $P$  est la puissance nécessaire pour faire fonctionner les différents éléments du PolarPod et peut donc varier en fonction des appareils mis en fonctionnement.

Document réponse DR4 Corrigé

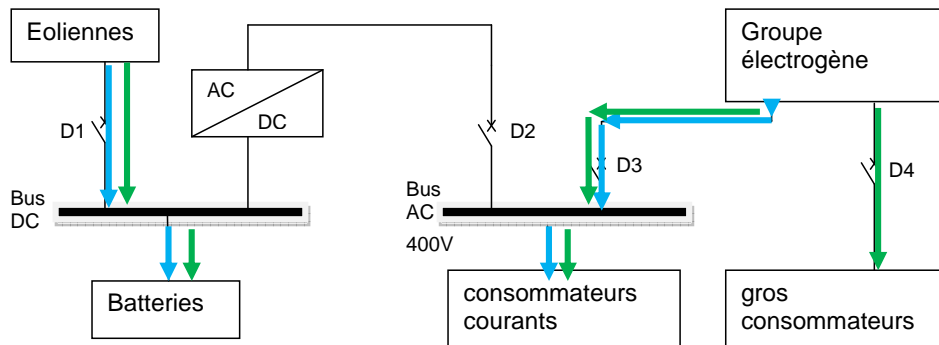
cas n°1 :  $P_{appelée} < 10kW$  : faire le tracé des transferts d'énergie en bleu en fléchant le sens

cas n°2 :  $P_{appelée} = 11 kW$  et batteries chargées : tracé des transferts d'énergie en vert



cas n°3 :  $P_{appelée} = 11 kW$  et batteries déchargées : tracé des transferts d'énergie en bleu

cas n°4 :  $P_{appelée} = 80 kW$  (gros consommateur) : tracé des transferts d'énergie en vert



Etat des disjoncteurs : remplir avec "fermé" ou "ouvert"

	D1	D2	D3	D4
Cas n°1	F	F	O	O
Cas n°2	F	F	O	O
Cas n°3	F	O	F	O
Cas n°4	F	O	F	F

**Q35. Compléter** l'algorithme fourni en pseudo-code sur le document réponse DR5 permettant de gérer les fermetures ou ouvertures des disjoncteurs  $D_1$  à  $D_4$ .

```

DEBUT DU PROGRAMME
...
TANTQUE (gestionEnergie=VRAI)
LIRE pe
LIRE pb
LIRE pc
LIRE pg
SI (pg>0) ALORS
Ge=1; D4=1; D1=1;
SI (..pc > (pe + pb) ) ALORS (D3 = .1..;D2 = .0..)
SINON (D2 = .1..;D3 = .0..)
FIN SI
SINON
D4 = ..0..; D1 = ..1...;
SI (...pc > (pe + pb)..) ALORS (Ge = ..1...; D3 = ..1...; D2 = .0....)
SINON (Ge = ..0...; D2 = ...1..; D3 = ..0...)
FIN SI
FIN SI
FIN TANT QUE
...
FIN DU PROGRAMME

```

## 5.6 Conclusion

**Q36. Conclure**, au vu des questions de cette partie, sur le dimensionnement des éléments de production et de stockage d'énergie installés sur le Polar Pod.

L'ensemble des éléments a donc été correctement dimensionné dans le but d'assurer les besoins énergétiques sur la durée du voyage. Les batteries sont un peu surdimensionnées, ce qui amène un peu plus de marge et pour la plupart des consommations courantes, les éoliennes suffisent à fournir la puissance nécessaire grâce à un vent assez fort et constant. Pour les gros consommateurs ou en cas de demande excessive d'énergie, le groupe électrogène permet d'assumer les besoins.

## 6 Gestion des données scientifiques

**L'objectif de cette partie est de comprendre comment transmettre et sauvegarder les données scientifiques.**

**Q37.** À l'aide du document technique DT15, **préciser** la raison pour laquelle il est intéressant de connaître les quantités de mammifères marins et de krill disponibles dans l'océan Austral. **Déterminer** le type de traitement à appliquer à la réception des signaux acoustiques pour permettre une bonne quantification des espèces marines.

Les mammifères marins viennent dans cet océan qui est leur principale réserve alimentaire en krill ; avoir les deux quantifications permet de corréler les résultats pour avoir une estimation du phytoplancton disponible, ce qui nous donne une image de l'absorption de CO<sub>2</sub> et de l'état du puits de carbone que constitue cet océan. Les signaux acoustiques devront être filtrés, pour bien récupérer la partie utile du signal et éviter les bruits dûs aux vagues, aux courants maritimes... Les scientifiques feront également une analyse spectrale du signal pour en tirer les informations utiles.

**Q38.** Les données récupérées par les hydrophones sont ensuite numérisées sur 16 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 1 MHz. **Calculer** la place mémoire nécessaire en Mo pour stocker un seul cri de baleine bleue antarctique.

Le cri dure 16 s avec une période de  $10^{-6}$ s soit  $16 \times 10^6$  valeurs à stocker et donc  $256 \times 10^6$  bits nécessaires soit 30,5 Mo.

Les données acquises par l'ensemble des capteurs du Polar Pod ou des appareils scientifiques doivent être transmises via le réseau Iridium (voir document technique DT16). En une journée type, environ 10 Go de données sont sauvegardées sur des SSD (Solid-State Drive) qui utilisent de la mémoire flash, puis transmises via le réseau Iridium. Pour assurer la sécurité des données, on stocke les résultats entre deux tours de globe du Polar Pod soit environ pendant un an.

**Q39. Calculer** le temps nécessaire pour transmettre les données d'une journée et en **déduire** la nécessité du stockage de données. **Justifier**, pour notre expédition, le type de disque dur choisi.

Pour envoyer 10 Go à la vitesse de  $134 \text{ kb} \cdot \text{s}^{-1}$  il faut environ 174 h. On ne peut donc pas envoyer les données suffisamment vite. De plus, on veut pouvoir stocker 1 an de données, il faut donc des disques durs d'une capacité d'au moins 3 650 Go. Le SSD ne comporte aucune pièce en mouvement et est donc quasiment insensible aux chocs, point faible des disques durs standards et c'est ce qui nous importe dans l'expédition.

## 7 Conclusion générale

**Q40. Conclure** sur l'ensemble des problématiques abordées dans ce sujet.

L'intérêt de l'expédition pour la connaissance de notre planète est clair, le but est d'avoir une estimation du puits de carbone disponible dans cet océan austral et de prévoir au mieux d'éventuels changements climatiques à venir. La structure choisie de type SPAR permet une bien meilleure stabilité en mer, même dans de fortes houles et l'ensemble des consommations énergétiques est géré électriquement au mieux pour éviter de trop décharger les batteries. Quatre éoliennes amènent l'énergie renouvelable nécessaire à la plupart des activités, ce qui inscrit le Polar Pod dans une perspective de développement durable.

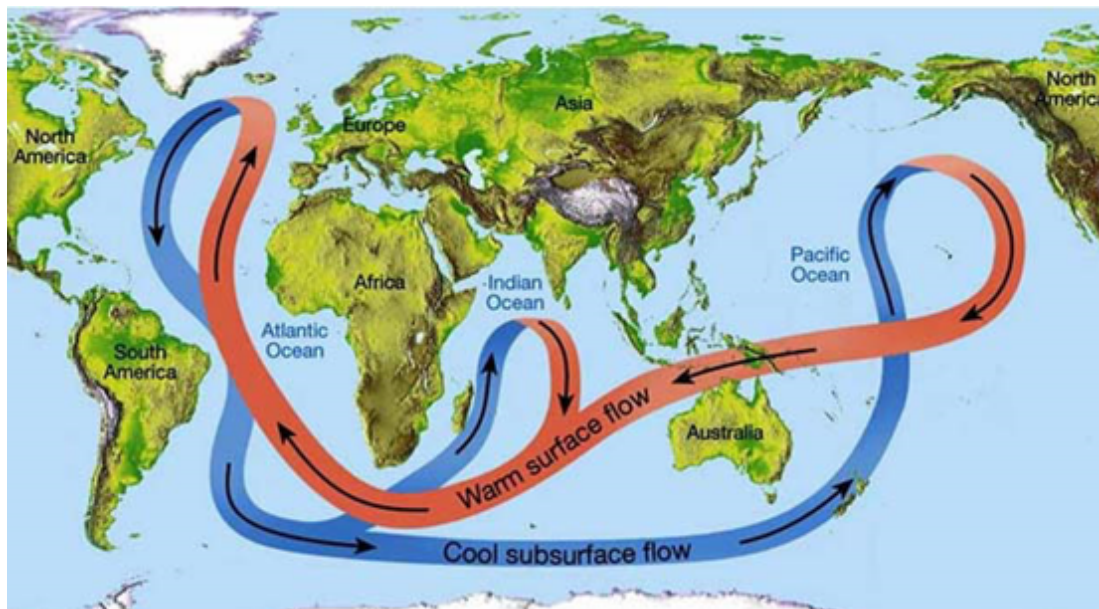
# Documents techniques

## DT1. Courants marins et climat

Un courant marin est un déplacement d'eau de mer caractérisé par son sens, sa vitesse et son débit, mais également par sa température. On distingue deux types de courants. La Terre reçoit de façon inégale l'énergie solaire : elle n'est pas la même selon que l'on se trouve au pôle (car les rayons arrivent de manière très inclinée) ou à l'équateur. La zone intertropicale reçoit ainsi autant d'énergie que le reste de la planète.

Ce déséquilibre met en mouvement l'atmosphère et les océans vont rééquilibrer thermiquement l'ensemble. Il génère aussi des vents qui sont les facteurs principaux des courants de surface. Les courants de surface concernent environ 10 % de l'eau des océans. Ils se limitent généralement aux 300 premiers mètres de l'océan. Ces mouvements sont influencés par une force due à la rotation de la Terre, appelée force de Coriolis.

Ce déséquilibre entraîne également des différences de température suivant la latitude. Cette différence de température entraîne une différence de salinité de l'eau de mer et donc de densité, créant ainsi les courants de profondeur.



Le mouvement de l'eau profonde est causé par des forces dues à la densité et à la pesanteur. La différence de densité est fonction de la température (l'eau froide est plus dense que l'eau chaude) et de la salinité (l'eau salée est plus dense que l'eau douce). Les eaux profondes s'enfoncent dans les bassins océaniques situés aux latitudes élevées, où les températures sont assez basses pour que la densité augmente.

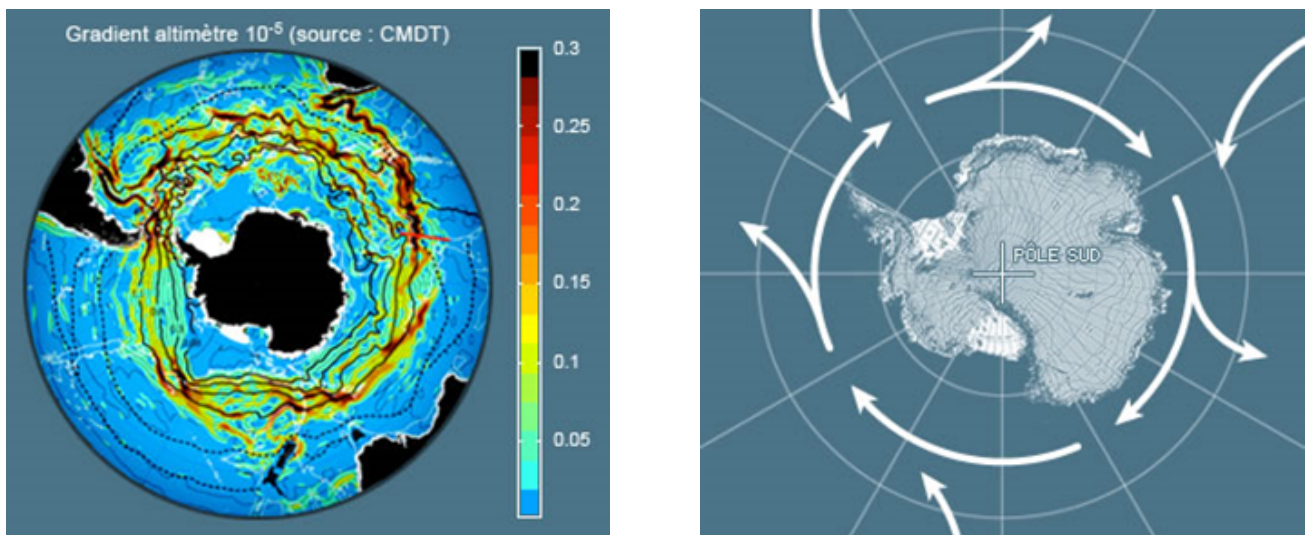
Les eaux chaudes de surface se chargent en sel, à cause de l'évaporation ce qui tend à les rendre plus denses. En hiver, lors de la formation de la banquise, la glace une fois formée expulse le sel qui alourdit encore davantage l'eau non gelée qui devient tellement dense qu'elle plonge vers les profondeurs.

Grâce à la capacité thermique de l'eau, l'océan est un énorme réservoir de chaleur. Son inertie thermique étant beaucoup plus importante que celle de l'air, il tempère les changements thermiques saisonniers des masses d'air, qui autrement seraient beaucoup plus importants. Ainsi les courants chauds des couches de surface peuvent réchauffer le climat d'une région. À l'inverse, les eaux froides qui remontent en surface modèrent la température des eaux des régions équatoriales. Cependant, cette circulation reste mal connue car difficile à mesurer directement. L'océan joue ainsi un rôle essentiel pour la régulation du climat de notre planète et il assure un transport de chaleur de l'équateur vers les pôles aussi important que l'atmosphère.

Sources : Wikipédia, Ifremer, CNRS, [www.jeanlouisetienne.com](http://www.jeanlouisetienne.com)

## DT2. Courant circumpolaire Antarctique et océan Austral

Le Polar Pod a pour vocation d'effectuer un tour du monde dans les eaux du courant circumpolaire Antarctique, le plus puissant courant de l'océan mondial (il transporte 130 millions de mètres cubes d'eau par seconde, soit 100 fois plus que le débit de tous les fleuves du monde). Il mobilise fortement la communauté scientifique internationale car cet océan présente de nombreuses particularités qui en font un terrain d'étude et de recherche d'intérêt majeur.



C'est en effet le seul océan dont les eaux effectuent un tour complet sans rencontrer de masses continentales. Il est le siège d'intenses échanges avec l'atmosphère qui engendrent des phénomènes physiques, chimiques et biologiques spécifiques.

Région clef pour le stockage océanique de chaleur, puits et source de CO<sub>2</sub>, cet océan joue un rôle primordial dans la régulation du climat de la terre. Par sa capacité à exporter massivement des matières nutritives vers d'autres latitudes, il impacte la productivité des écosystèmes de l'océan mondial. Enfin, il représente un réservoir de biodiversité marine encore très largement méconnue. L'océan Austral est profond (4 000 à 5 000 m dans sa plus grande partie), et les zones de faible profondeur sont limitées. Le plateau continental antarctique est généralement étroit et inhabituellement profond, avec une partie côtière atteignant des profondeurs de 400 à 800 m (la profondeur moyenne mondiale est 133 m).

L'océan Austral est le principal puits de carbone océanique de la planète ; les scientifiques ont constaté que ses eaux polaires arrivent à saturation. Le changement climatique et le trou dans la couche d'ozone ont eu progressivement raison de sa capacité à absorber les milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> émises par les activités humaines. De plus, l'acidification de l'océan va devenir très préjudiciable pour le plancton et la vie marine.

Ceci précède de 20 à 40 ans la prévision des modèles climatiques.

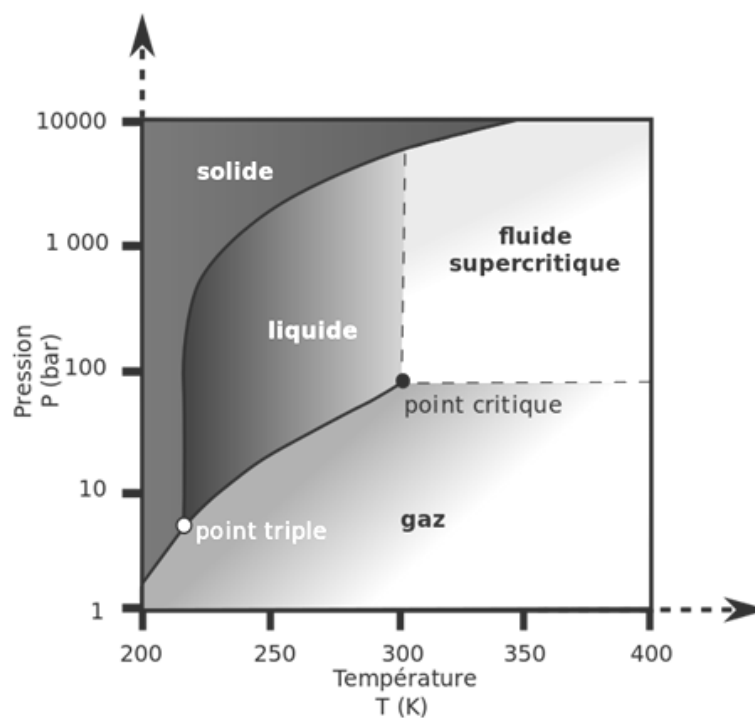
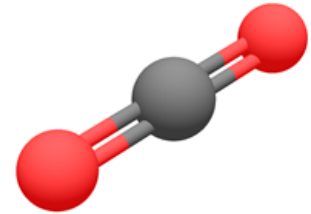
Ce constat préoccupant impose une surveillance accrue des échanges carbone-océan. Malgré les balises automatiques (Argo), les mammifères marins instrumentés et les satellites, les scientifiques ont besoin de mesures *in situ* sur les échanges entre l'atmosphère et les eaux froides de l'océan Austral.

Aucune campagne océanographique n'a jamais été faite pendant les quatre saisons dans ces hautes latitudes sud.

Sources : Wikipédia, Ifremer, CNRS, [www.jeanlouisetienne.com](http://www.jeanlouisetienne.com)

## DT3. Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone, aussi appelé gaz carbonique ou anhydride carbonique, est un composé inorganique dont la formule chimique est  $\text{CO}_2$ . Il se présente, sous les conditions normales de température et de pression, comme un gaz incolore, inodore, à la saveur piquante. Le  $\text{CO}_2$  est utilisé par l'anabolisme des végétaux pour produire de la biomasse à travers la photosynthèse, processus qui consiste à réduire le dioxyde de carbone par l'eau, grâce à l'énergie lumineuse reçue du soleil et captée par la chlorophylle, en libérant de l'oxygène et du glucose. Le  $\text{CO}_2$  est libéré par le catabolisme des plantes, des animaux, des champignons et des micro-organismes. Ce catabolisme consiste notamment à oxyder les lipides et les glucides en eau et en dioxyde de carbone grâce à l'oxygène de l'air pour produire de l'énergie et du pouvoir réducteur, sous forme respectivement d'ATP et de  $\text{NADH} + \text{H}^+$ . Le  $\text{CO}_2$  est par conséquent un élément fondamental du cycle du carbone sur notre planète. Il est également produit par la combustion des énergies fossiles telles que le charbon, le gaz naturel et le pétrole, ainsi que par celle de toutes les matières organiques en général. Des quantités significatives de  $\text{CO}_2$  sont par ailleurs rejetées par les volcans et autres phénomènes géothermiques tels que les geysers.



La phase fluide supercritique est une phase aussi dense qu'un liquide mais assurant des propriétés de transport (viscosité, diffusion) proches de celles d'un gaz.

Le  $\text{CO}_2$  est un gaz à effet de serre, transparent en lumière visible mais absorbant dans le domaine infrarouge, de sorte qu'il tend à bloquer la réémission vers l'espace de l'énergie thermique reçue au sol sous l'effet du rayonnement solaire. Il serait responsable de 26 % de l'effet de serre dans notre atmosphère (la vapeur d'eau en assurant 60 %), où l'augmentation de sa concentration serait en partie responsable du réchauffement climatique.

Par ailleurs, l'acidification des océans résultant de la dissolution du dioxyde de carbone atmosphérique pourrait compromettre la survie de nombreux organismes marins avant la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, notamment tous ceux à exosquelette calcifié tels que les coraux et les coquillages, mais aussi de certains poissons.

Sources : Wikipédia.



## DT4. Puits de carbone

Au sens large, un puits de carbone ou puits  $\text{CO}_2$  est un réservoir, naturel ou artificiel, de carbone qui absorbe le carbone de l'atmosphère et donc contribue à diminuer la quantité de  $\text{CO}_2$  atmosphérique, et en conséquence, le réchauffement de la planète.

Les principaux puits étaient les processus biologiques de production de charbon, pétrole, gaz naturels, hydrates de méthane et roches calcaires. Ce sont aujourd'hui les océans, les sols (humus, tourbière) et certains milieux végétalistes (forêt en formation).

La séquestration du carbone (ou piégeage, ou emprisonnement du carbone) désigne les processus extrayant le carbone ou le  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère terrestre et le stockant dans un puits de carbone.

**La photosynthèse est la base du mécanisme naturel de séquestration du carbone.**

**Les océans sont les principaux puits naturels de carbone.**

Le phytoplancton marin, à l'instar des arbres, utilise la photosynthèse pour extraire le carbone du  $\text{CO}_2$ . Il est le point de départ de la chaîne alimentaire océanique. Le plancton et d'autres organismes marins comme le krill (minuscules crevettes) utilisent le  $\text{CO}_2$  dissous dans l'eau ou prélevé dans leur nourriture pour constituer leurs squelettes et coquilles à base de calcaire minéral,  $\text{CaCO}_3$ . Ce mécanisme élimine le  $\text{CO}_2$  contenu dans l'eau et favorise la dissolution de celui contenu dans l'air. Les océans absorberaient environ 50% du carbone émis dans l'air (sous forme de carbone dissous ou minéral). Cette pompe biologique du carbone est physiquement active dans chacun des deux hémisphères dans des zones de latitudes comprises entre 40° et 60°. La quantité de phytoplancton et indirectement de krill dans un océan permet donc de quantifier sa capacité d'absorption de  $\text{CO}_2$ . Les scientifiques mesurent la biomasse planctonique à partir de mesure de la transparence de l'eau ou à partir de l'écoute acoustique .

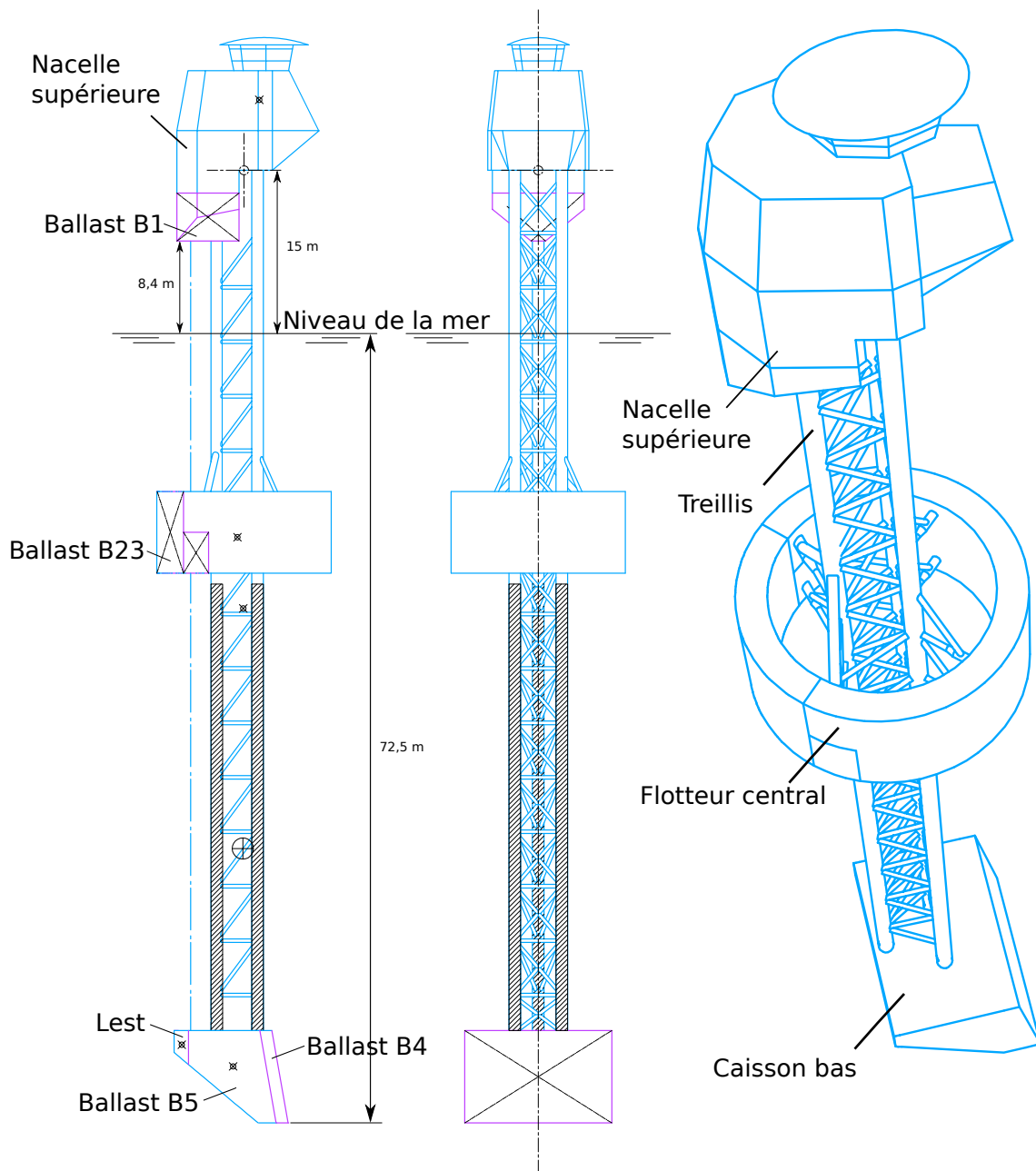


Environ 50% des coraux des eaux chaudes semblent malades ou morts ces dernières décennies, et lorsque le niveau de  $\text{CO}_2$  s'accroît au-delà d'un seuil critique dans l'atmosphère, ceci a pour effet d'augmenter également l'acidité des eaux marines, créant potentiellement de désastreux océans acides. Cette acidité accrue pourrait tuer le plancton et donc limiter le piégeage du carbone, ce qui rendrait l'océan plus acide encore.

L'océan est le principal puits de carbone planétaire mais il est saturé et semble commencer à s'acidifier. La communauté scientifique est donc très intéressée par le projet Polar Pod pour pouvoir valider ou modifier les modèles climatiques actuellement en place.

Sources : Wikipédia.

## DT5. Structure globale du Polar Pod



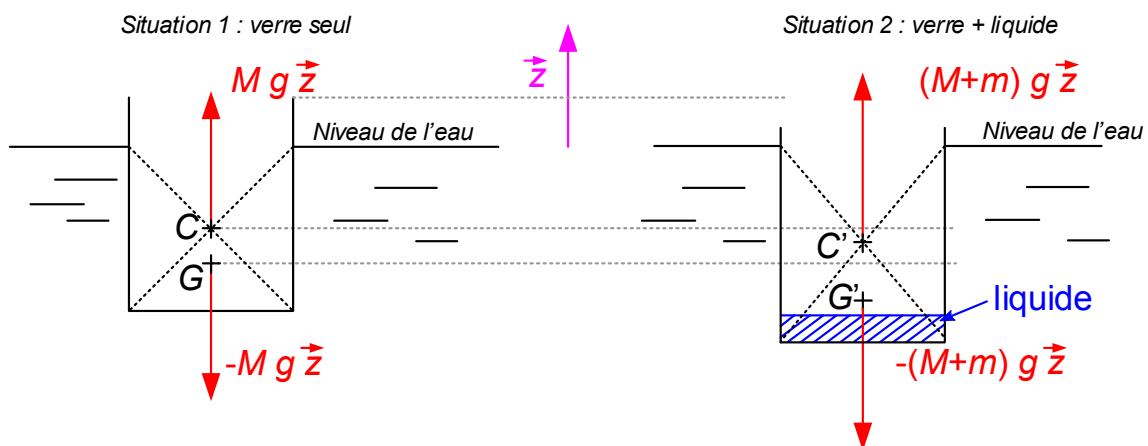
## DT6. Carène d'un navire et poussée d'Archimède

La **carène** est la partie immergée de la coque d'un navire. C'est l'ensemble des parties du flotteur qui sont, à un moment donné, en contact avec l'eau.

Le **centre de carène** est le centre du volume d'eau déplacé par la carène d'un navire. Il s'agit du point d'application de la **poussée d'Archimède** qui est égale au poids du volume d'eau déplacé.

La **surface de flottaison** est l'aire de la surface définie par l'intersection entre le niveau de la mer et la carène d'un navire.

Dans l'exemple ci-dessous, on considère un verre de masse  $M$ , de diamètre extérieur  $D$  en équilibre sur l'eau et deux situations sont illustrées.  $g$  est l'accélération de la pesanteur et  $\rho_{eau}$  est la masse volumique de l'eau. Le vecteur  $\vec{z}$  est un vecteur de norme 1.



Dans la première situation, le verre est en équilibre sous l'action mécanique de deux forces :

- la force de pesanteur  $-Mg\vec{z}$  s'appliquant au centre de masse  $G$  ;
- la poussée d'Archimède  $Mg\vec{z}$  s'appliquant en  $C$ , centre de carène (le centre du volume d'eau déplacé).

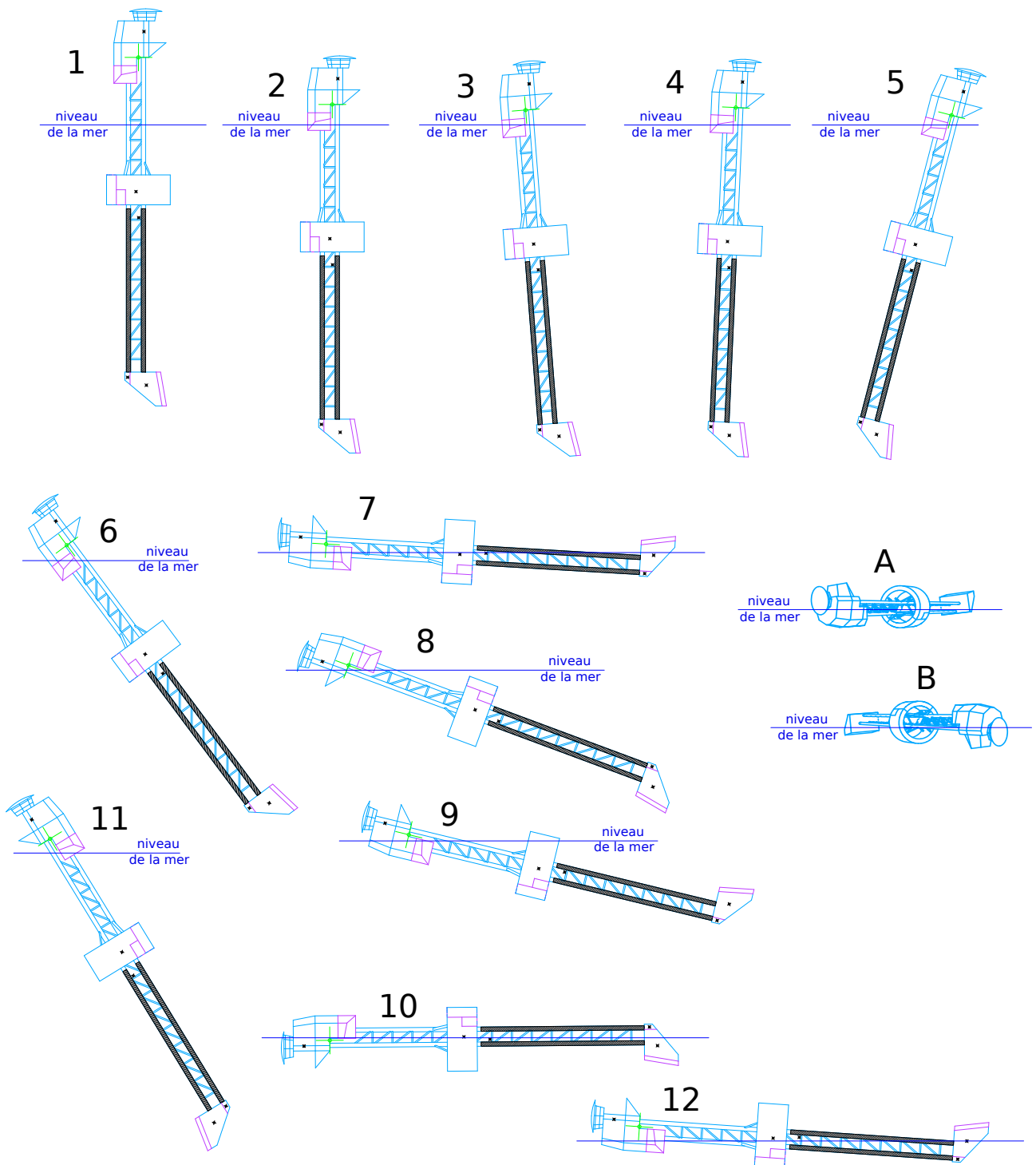
Le volume de carène vaut  $\frac{M}{\rho_{eau}}$  et la surface de flottaison vaut  $\pi\frac{D^2}{4}$ .

Dans la seconde situation, le verre est rempli d'un liquide de masse  $m$ . On constate que le verre s'est « enfoncé » dans l'eau et a atteint une nouvelle position d'équilibre stable. Si on isole l'ensemble verre + liquide, on constate qu'il est désormais en équilibre sous l'action mécanique de deux efforts :

- la force de pesanteur  $-(M+m)g\vec{z}$  s'appliquant au centre de masse  $G'$  de l'ensemble verre + liquide ;
- la poussée d'Archimède  $(M+m)g\vec{z}$  s'appliquant en  $C'$ , le nouveau centre de carène.

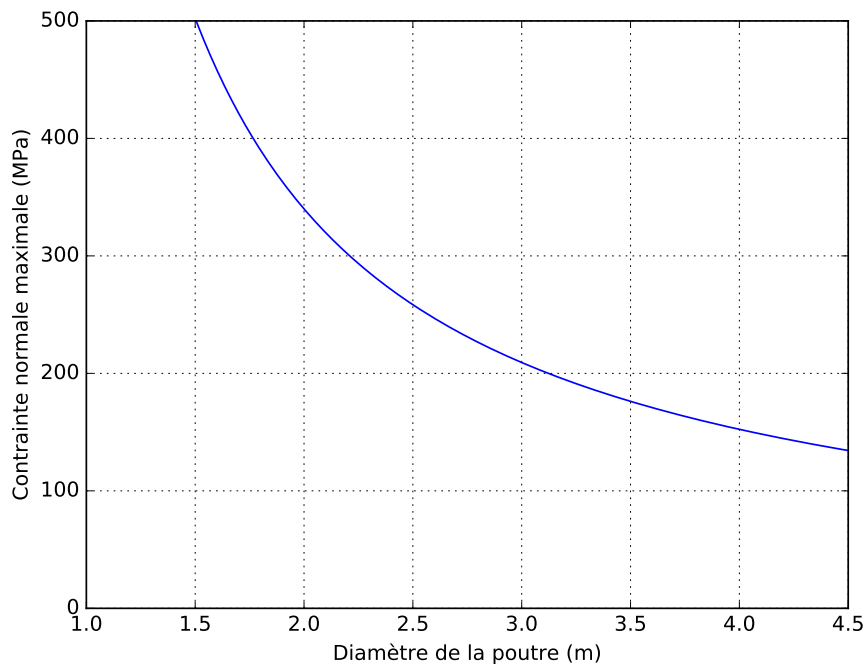
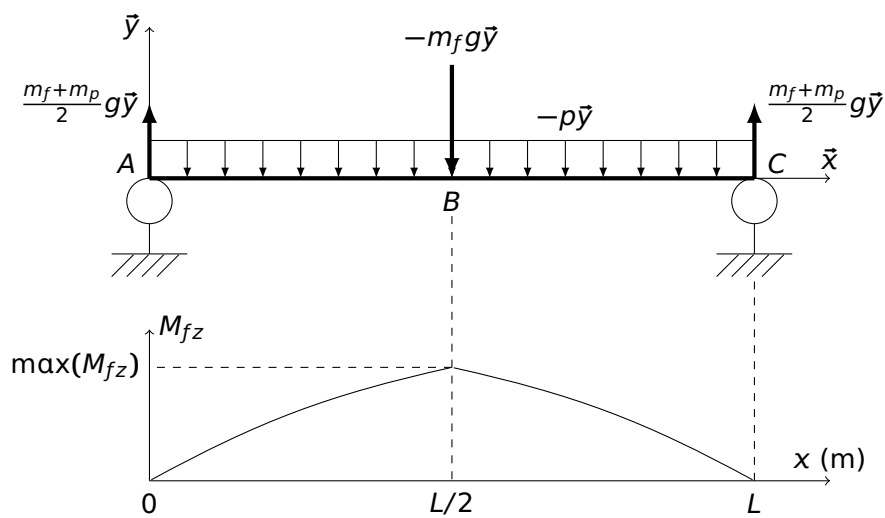
Le nouveau volume de carène vaut  $\frac{M+m}{\rho_{eau}}$ , la surface de flottaison est inchangée.

# DT7. Différentes positions du Polar Pod

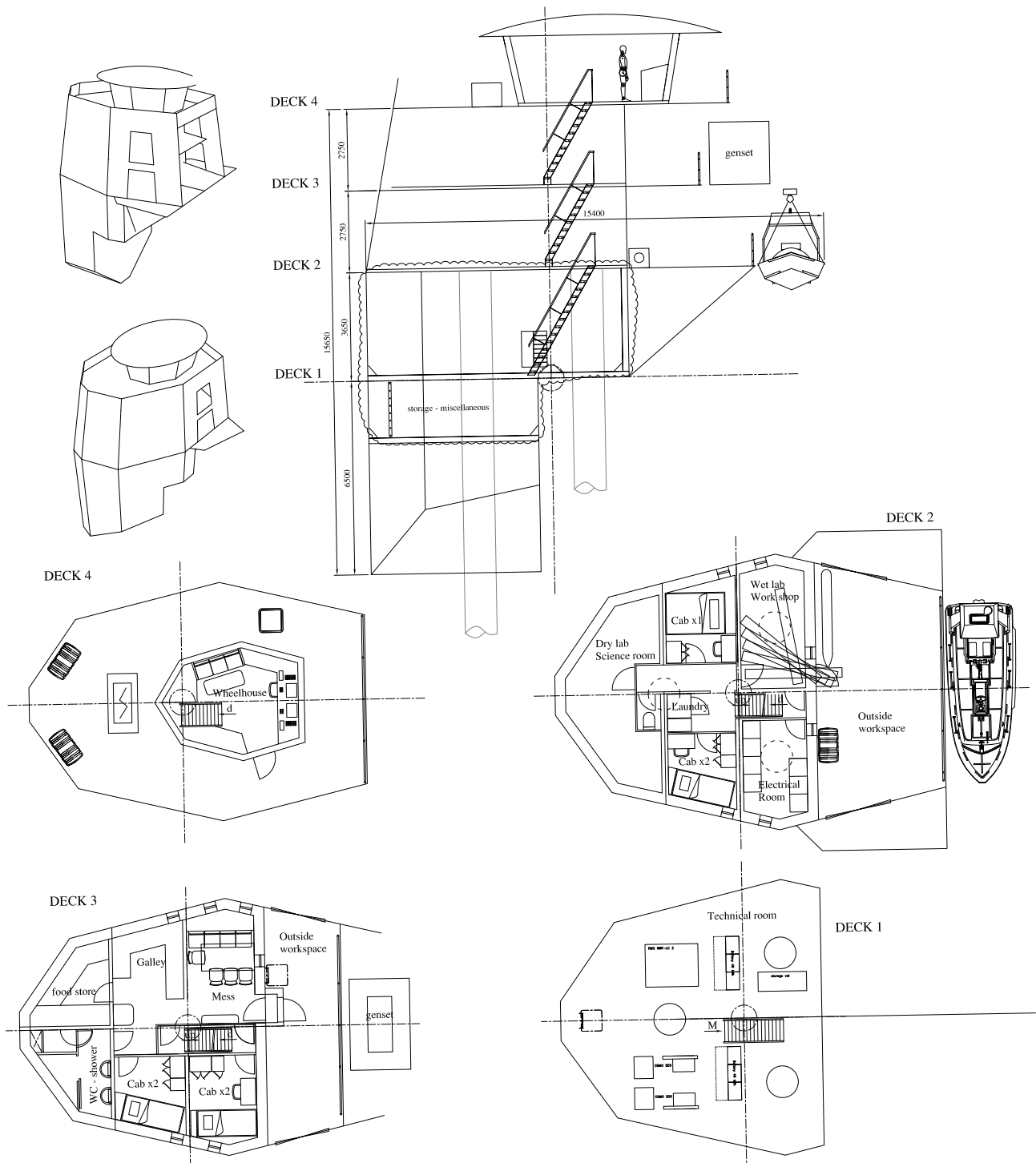


## DT8. Modèle de la poutre centrale

- $L = 87,5$  m est la longueur de la poutre ;
- $m_f = 172\,300$  kg est la masse du flotteur central ;
- $\rho_{acier} = 7\,800$  kg  $\cdot$  m<sup>-3</sup> est la masse volumique de l'acier ;
- $m_p = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot L \cdot \rho_{acier}$  est la masse de la poutre ;
- $\rho = \frac{m_p \cdot g}{L}$  est une force répartie (par unité de longueur) agissant sur toute la longueur de la poutre correspondant à l'action de la pesanteur sur la poutre ;
- $\max(M_{fz}) = \frac{L}{4} \left( (m_f + m_p) \cdot g - \rho \cdot \frac{L}{2} \right) = \left( m_f + \frac{m_p}{2} \right) \frac{gL}{4}$ .



# DT9. Plans de la nacelle supérieure



## DT10. Équipements de production et de consommation d'énergie de la station océanographique

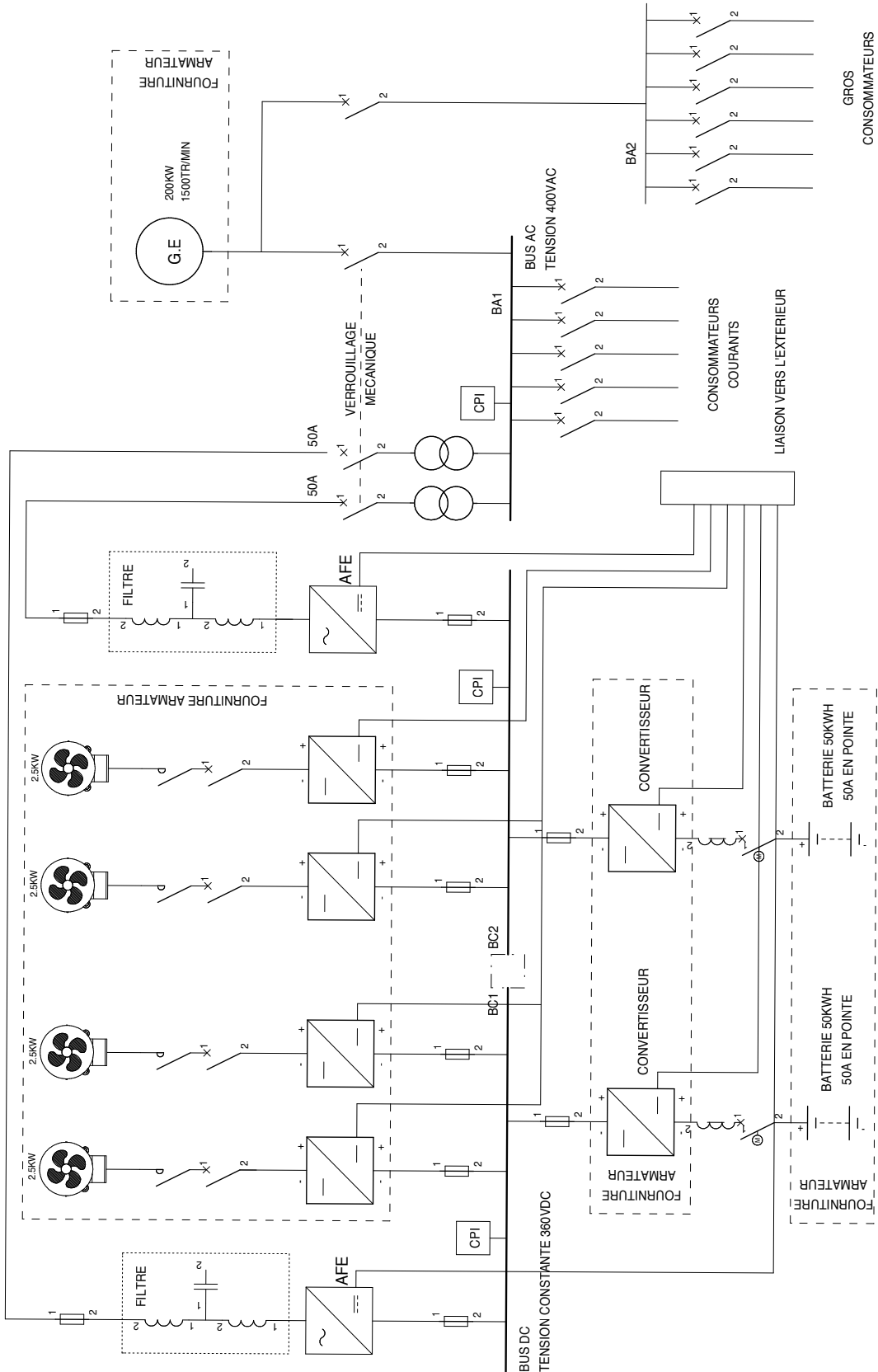
Équipements de production	nombre	Caractéristiques	Puissance unitaire (kW)	Tension (V)
Éolienne	4	3,8 m de diamètre	2,5 kW / 3,2 en pic	300
Groupe électrogène auxiliaire principal	1	200 kW	200	400

Équipements fonctionnant uniquement sur groupe électrogène	nombre	Caractéristiques	Puissance unitaire (kW)	Tension (V)
Bossoir (treuil)	1	pour embarcation et AUV	7	400
Pompe assèchement	4	50m <sup>3</sup> /h – 6 bar	22	460/575
Poste à souder	1	Invertec 270SX	8	400
Compresseurs d'air électrique	2	820 L/min – 12 bar	7,5	400
Touret à métaux	1		0,75	400
Perceuse à colonne	1		1,5	400

Consommateurs courants	P(kW) unitaire	Tension (V)
1 Osmoiseur 3m <sup>3</sup> /24h	3	230
1 Platine contrôle du groupe	0,1	24
2 Chargeurs batterie	0,5	230
5 Vannes électriques	0,05	24
2 Pompes incendie 3,5 bars 30 m <sup>3</sup> /h	8	400
1 Centrale EG-EN biologique	1	230
1 Pompe transfert combustible	0,75	230
2 Ventilations Nacelle	0,3	230
2 Ventilations local technique	0,25	230
2 Hydrophores	0,45	230
7 Chauffages électriques	1	230
2 Congélateurs	0,3	230
1 Réfrigérateur positif	0,3	230
1 Lave-linge	2,1	230
1 Sèche linge	1,15	230
1 Micro onde	0,9	230
1 Hotte cuisine	0,1	230
1 Cafetière / eau chaude	1,75	230
2 Chauffes eau	1,2	230
30 Éclairage intérieur	0,006	230
20 Éclairage extérieur	0,008	230
10 Prises courant	0,2	230
5 Essuies-glace	0,2	230
1 Électronique de radio-navig.	0,1	24
1 Communication hors nav	0,5	24
1 Ensemble d'équipements scientifiques	2	230
1 Corne de brume	0,4	24

Consommateurs 24V secours	P(kW) unitaire	Tension (V)
Centrale d'alarme	0,3	24
Centrale niveaux pompes	1,5	24
Éclairage secours		
Éclairage de plan d'eau	0,1	24
Feux de navigation	0,15	
Détection incendie	0,5	24
<b>Matériel Scientifique</b>		
Échosondeur	0,1	230
Sonar halieutique	0,3	230
Centrale d'altitude	0,1	230
ADCP	0,1	24
Rosette de prélèvement	0	
Capteur pression, salinité, température, O <sub>2</sub> , ...	0,4	24
Lidar	1	230
<b>Autres Consommateurs</b>		
Cuisinière		gaz propane
Propulseur transversal hydraulique 320 l/min – 325 bar	191kW	
<b>Consommateurs indépendants</b>		
AUV (sous-marin)		

# DT11. Synoptique de l'installation électrique

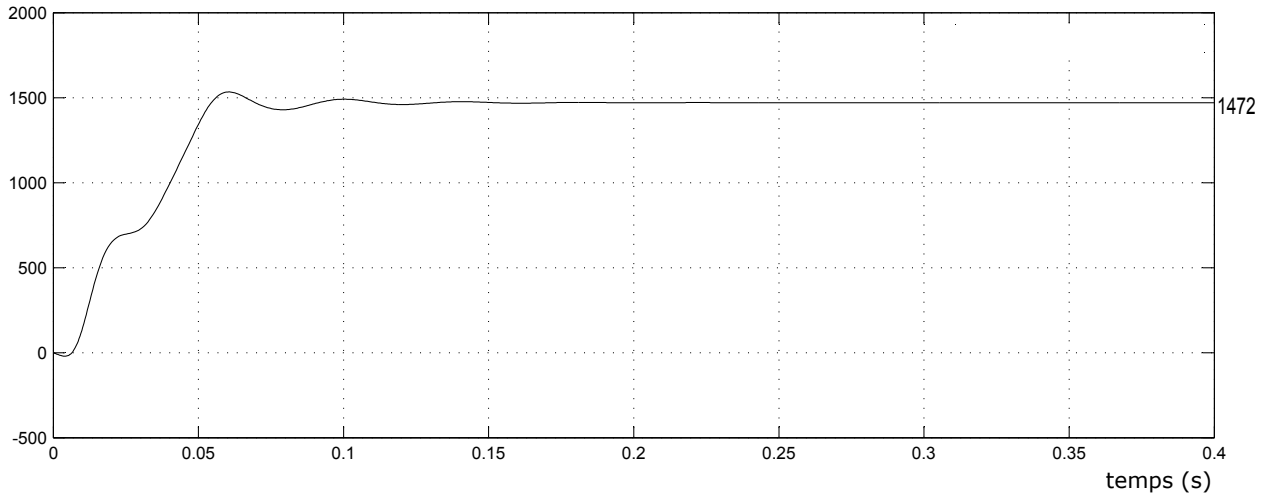




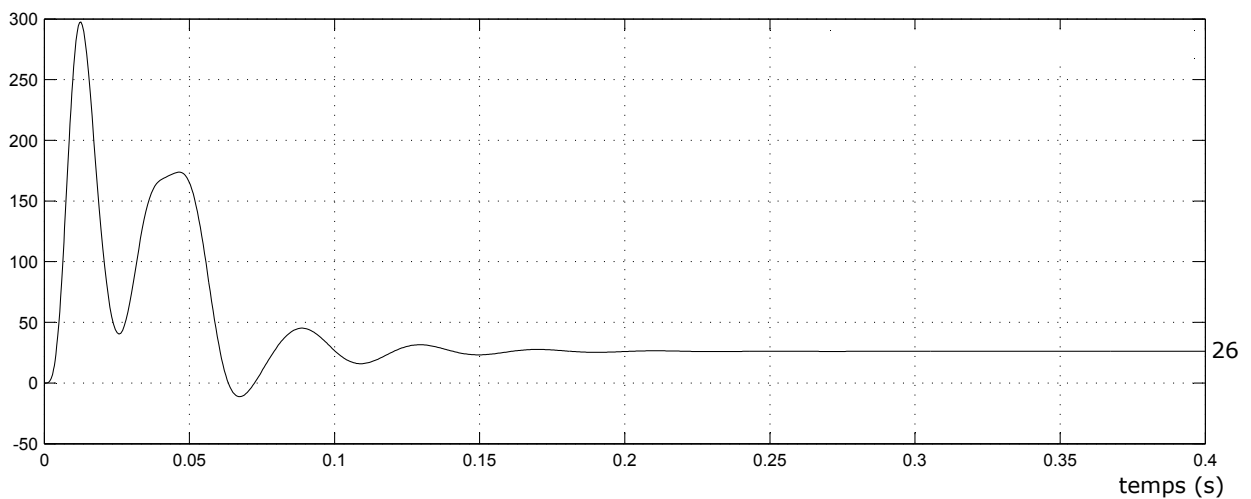
## DT12. Simulations numériques

### 12.1 Montée de l'embarcation (grandeurs moteurs)

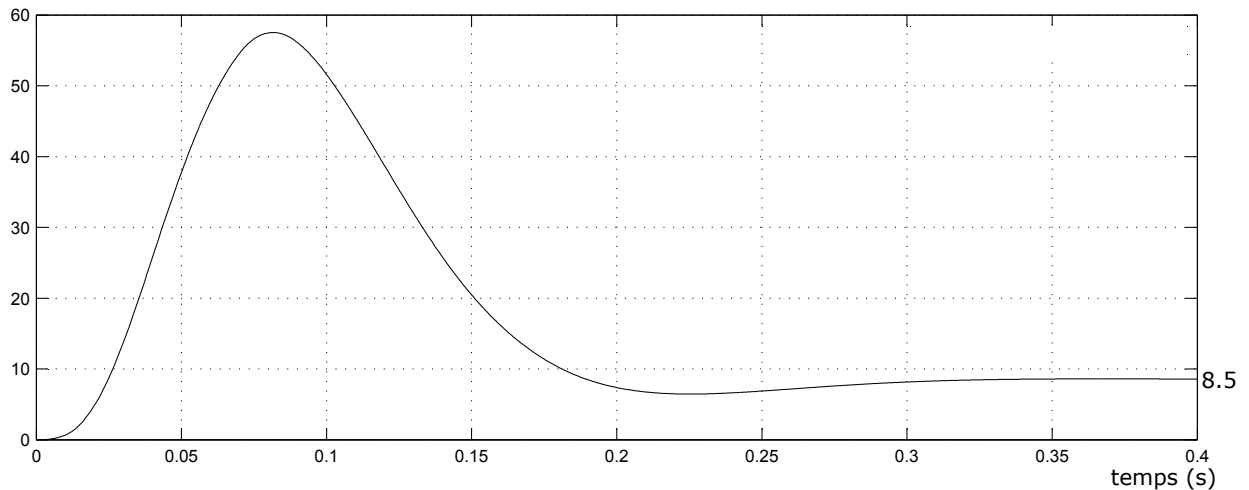
Vitesse Nmoteur ( tr/min)



Couple électromagnétique Cem (N.m)

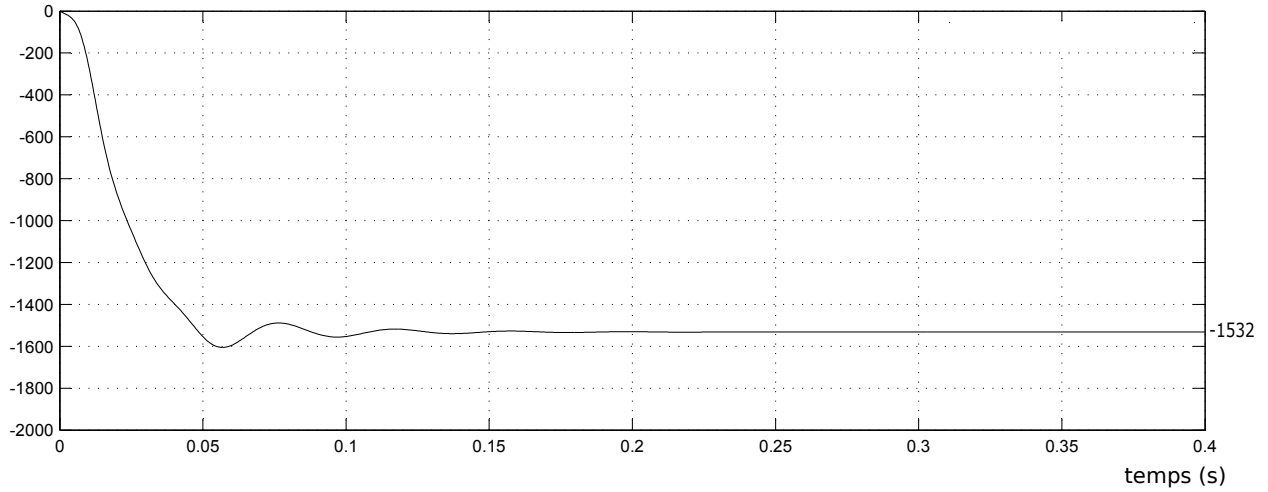


Courant efficace moteur I (A)

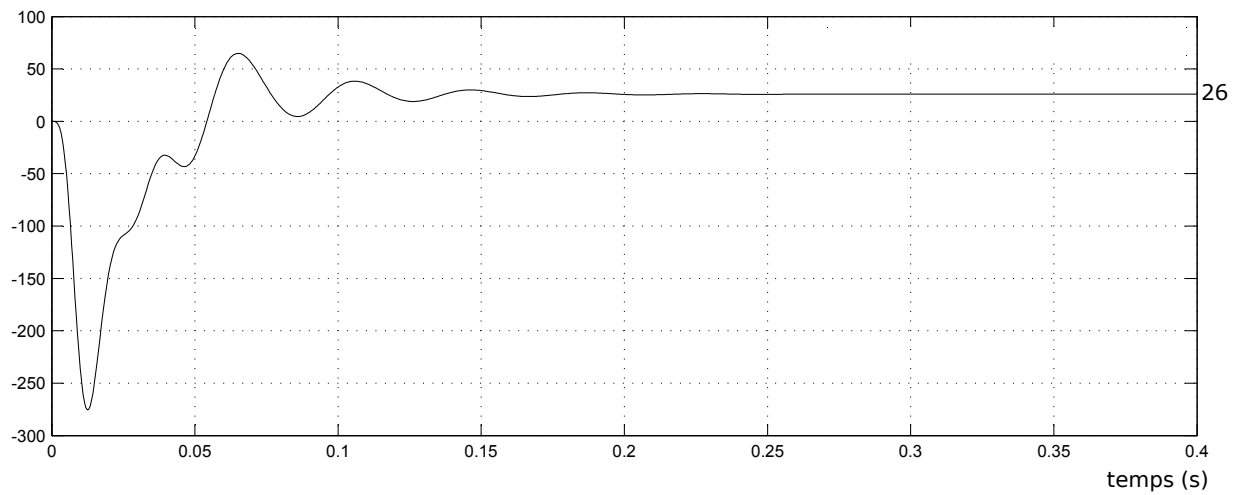


## 12.2 Descente de l'embarcation (grandeurs moteurs)

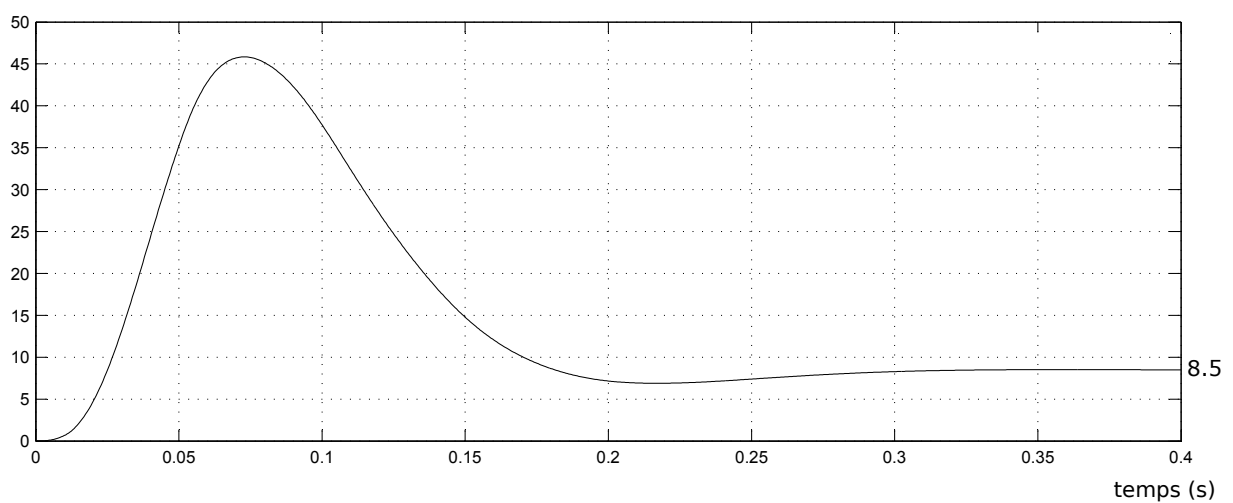
Vitesse Nmoteur ( tr/min)



Couple électromagnétique Cem (N.m)

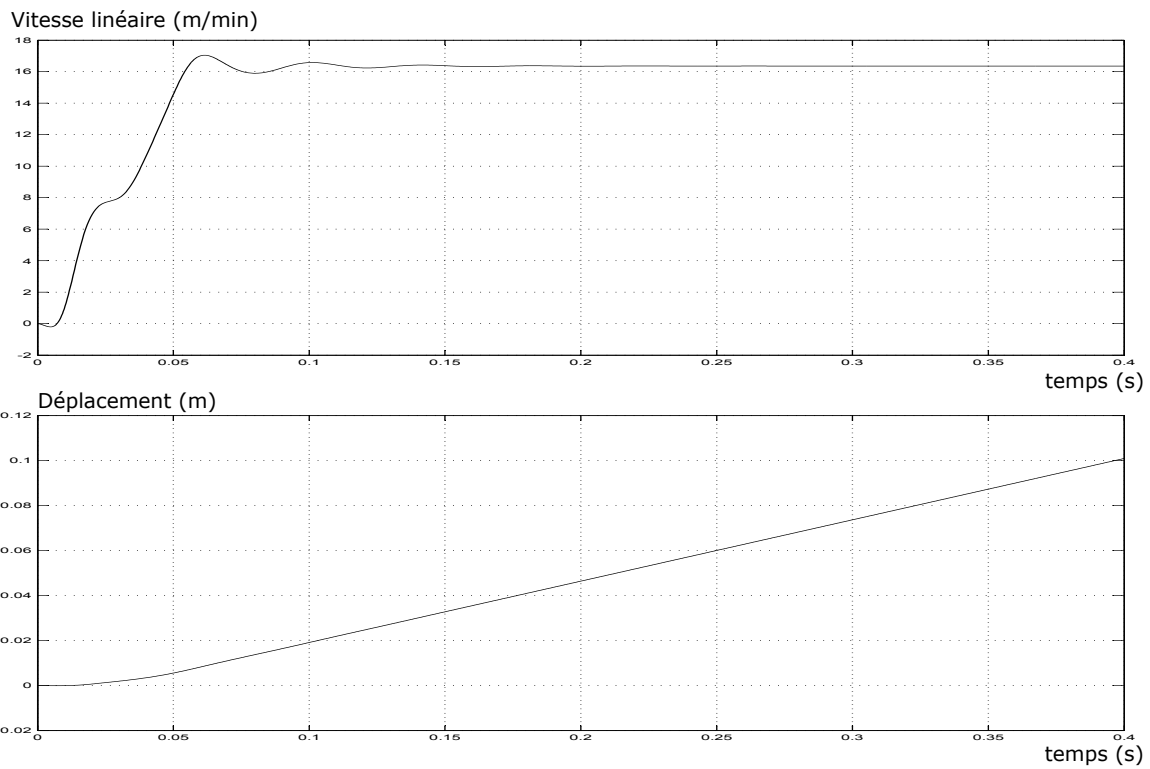


Courant efficace moteur I (A)

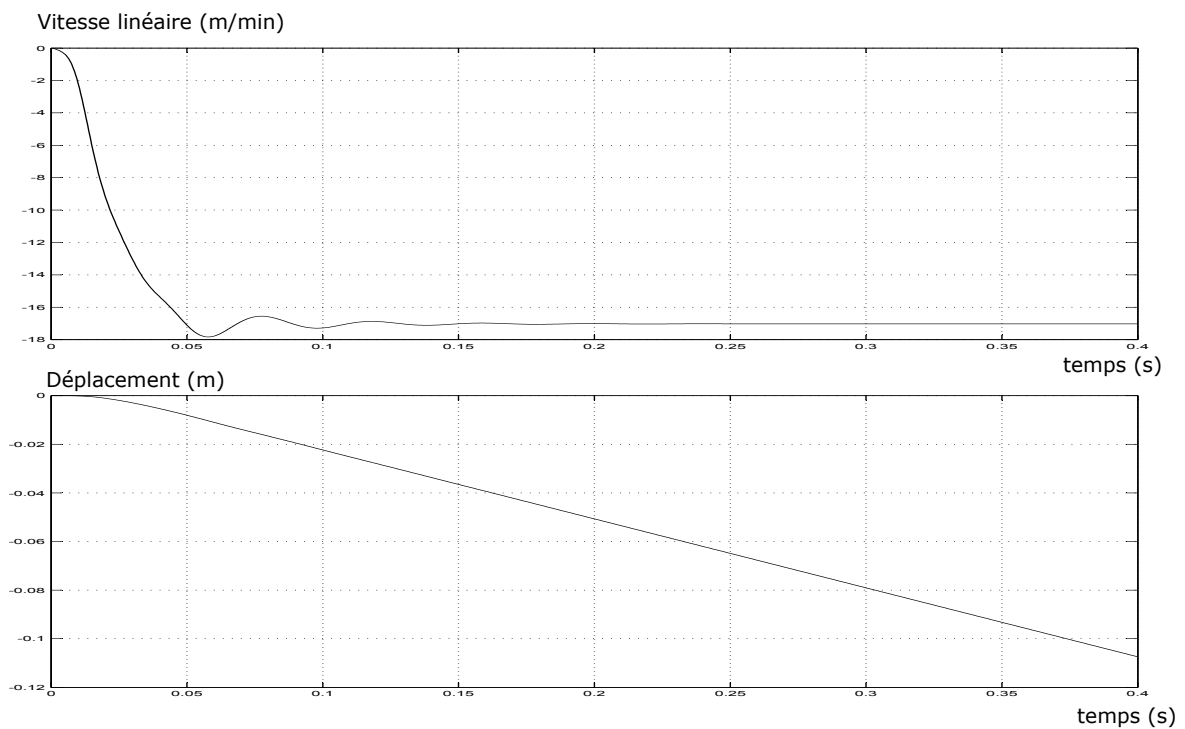


### 12.3 Montée et descente de l'embarcation

Montée de l'embarcation



Descente de l'embarcation



## DT13. Batteries SAFT Lithium-Ion

Seanergy® battery system  
High energy rack-mount lithium-ion battery system



Le système de rack permet d'utiliser des modules en série ou en parallèle.

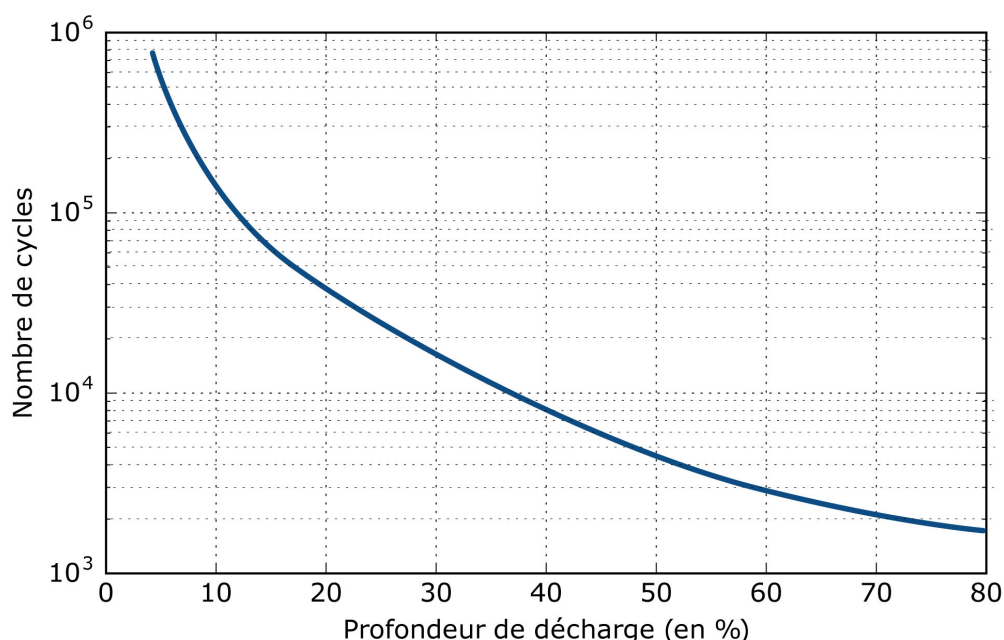
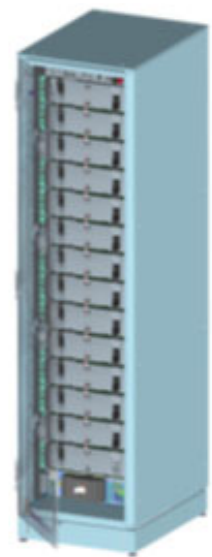
Cette technologie (Lithium ion Super Iron Phosphate ou LiFePO4) est associée à un circuit de régulation (BMS) ainsi qu'à des protections pour un fonctionnement optimal et sécurisé.

Caractéristiques nominales :

- tension nominale, 39,6 V par module standard ;
- capacité, 120 A · h ;
- courant de décharge maximal, 180 A ;
- courant de charge nominal, 45 A.

Les éléments fournissent une tension nominale de 3,3 V. Ils sont assemblés dans des modules standard de 39,6 V ou de 19,8 V. Ces modules peuvent être raccordés en série ou en parallèle. Ils sont équipés d'un circuit électronique de surveillance intégré (BMS Battery Management System) et d'un circuit de refroidissement. Les boîtiers de puissance mis au point par Saft assurent une optimisation de cette technologie.

Ses principaux avantages sont une énergie massique élevée, l'absence d'effet mémoire, une auto-décharge relativement faible, une recharge rapide, une grande longévité. Cette batterie est également peu polluante.



## DT14. Éolienne Kingspan

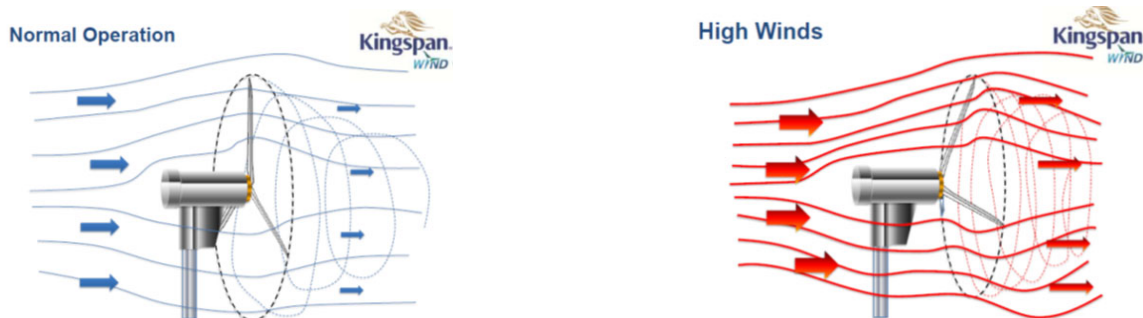
La gamme éolienne Kingspan wind propose un générateur d'une puissance nominale de 2,5 kW (modèle Kingspan Wind KW3). De fabrication européenne, la gamme d'éolienne Kingspan bénéficie d'une technologie sans équivalent sur le marché en terme de résistance aux fortes vitesses de vent grâce à une mécanique qui a fait ses preuves dans les endroits les plus extrêmes du Globe.



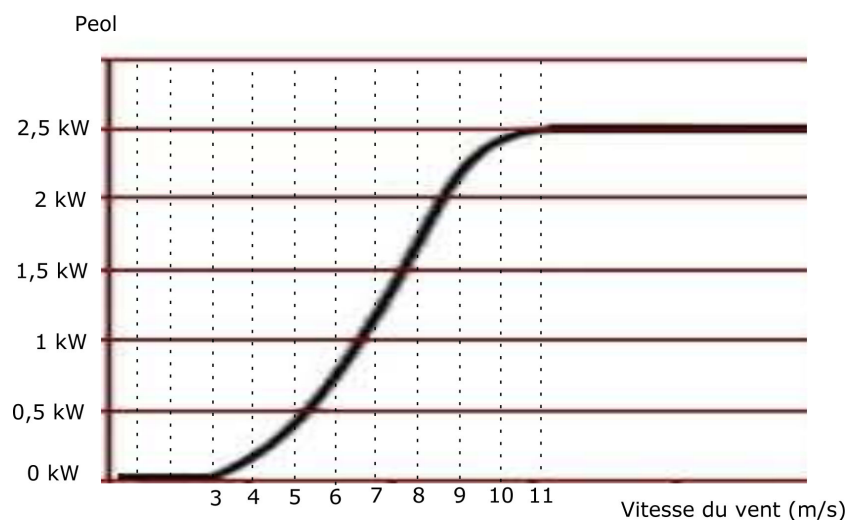
L'éolienne Kingspan KW3 reste à ce jour l'unique générateur éolien domestique pouvant produire jusqu'à une vitesse de vent de  $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . La production mensuelle électrique de cette éolienne oscille autour des  $391 \text{ kW} \cdot \text{h}$  par mois de moyenne pour une vitesse de vent de  $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Caractéristiques de l'éolienne Kingspan KW3

- puissance nominale :  $2500 \text{ W}$  à  $11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- production moyenne par mois :  $391 \text{ kW} \cdot \text{h}$  à  $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ;
- diamètre du rotor :  $3,80 \text{ m}$  ;
- nombre de pales : 3 (en composite fibre de verre) ;
- moteur à entraînement direct (sans multiplicateur de vitesse) ;
- tension :  $24 \text{ V}$ ,  $48 \text{ V}$ ,  $300 \text{ V DC}$  ou  $230 \text{ V}$  raccordé réseau ;
- vitesse du vent maximale :  $252 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ;
- vitesse de vent minimale pour démarrage :  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



Puissance électrique fournie par l'éolienne





## DT16. Iridium

Rares sont les gens qui cherchent à regarder la télévision ou à téléphoner depuis les pôles ! Aussi, les spécialistes des télécommunications n'ont pas jugé utile de faire passer beaucoup de leurs satellites au-dessus du « sommet du monde ». Le système de satellites Iridium, parfois appelé simplement Iridium, est un système global de communications utilisant une constellation de satellites défilants. Il permet de communiquer sur toute la Terre entre des terminaux mobiles, terrestres ou maritimes, et des fournisseurs d'accès.

Le système a été développé par Motorola initialement pour fournir la téléphonie mobile sur toute la planète, en particulier dans les zones non couvertes par le GSM. Un avantage d'Iridium est la couverture des zones polaires, impossible à partir d'un système utilisant des satellites géostationnaires comme Inmarsat.

Les 66 satellites Iridium à défilement suivent, eux, une orbite nord-sud assez basse (quelques centaines de kilomètres), et font le tour de la Terre en moins de deux heures. Ceci leur permet de faire une quinzaine de tours du monde par jour et de voir défiler toute la surface du globe, qui tourne au-dessous d'eux, en continu. Leur précision et l'observation répétée d'une même région en font les outils précieux pour étudier ou surveiller la planète et son environnement (télédétection).

La fiabilité du réseau et l'exhaustivité de la zone de couverture font du service Iridium un leader de la communication satellitaire dans le secteur maritime. Le service Iridium convient également aux explorateurs qui voyagent sur tous les continents et requièrent un seul terminal, léger et compact.

### IRIDIUM PILOT

- nature de l'équipement : terrestre / maritime ;
- services proposés : voix ( $2,4 \text{ kbits} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ;
- données haut-débit (jusqu'à  $134 \text{ kbits} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ;
- GPS ;
- indice de protection : IP67 (antenne).

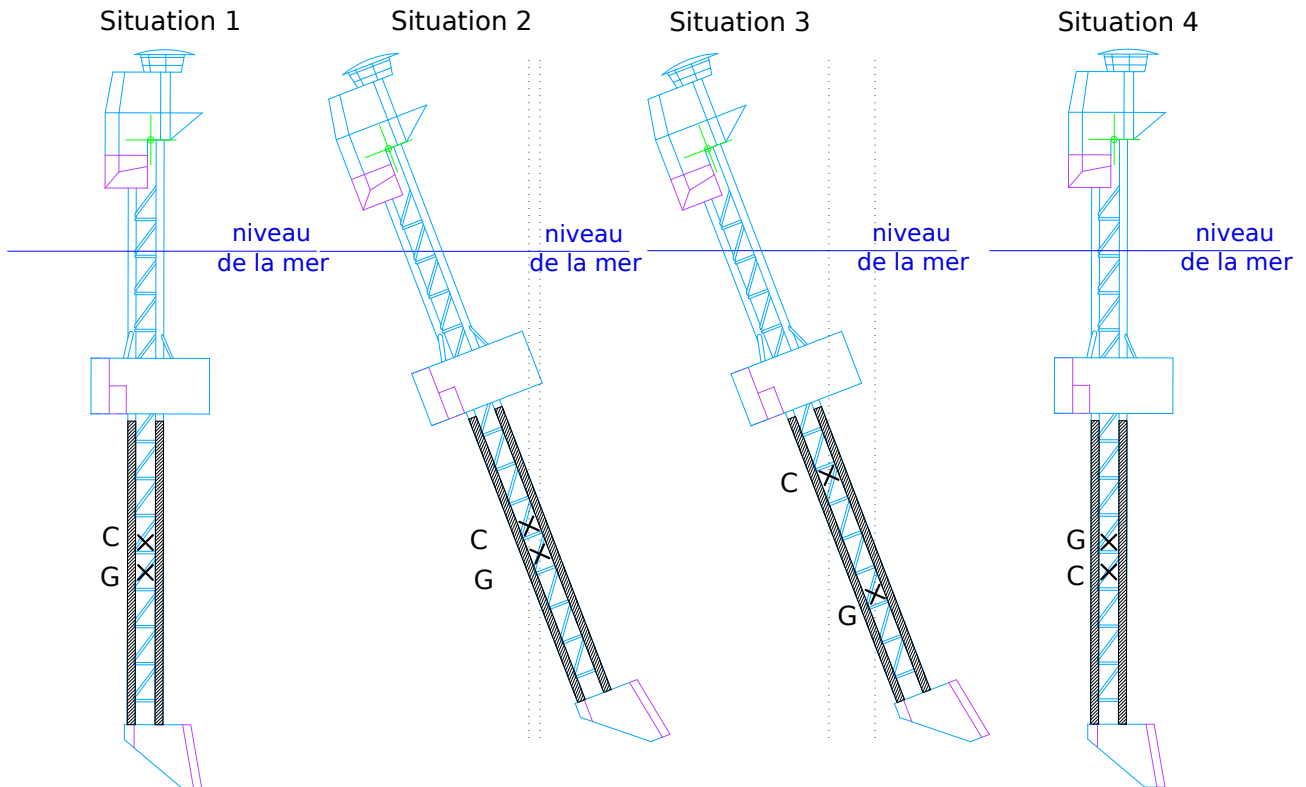


 **iridium**  
Everywhere

Sources : wikipédia, iridium.com, e-sat.fr

# Documents réponses

## DR1.

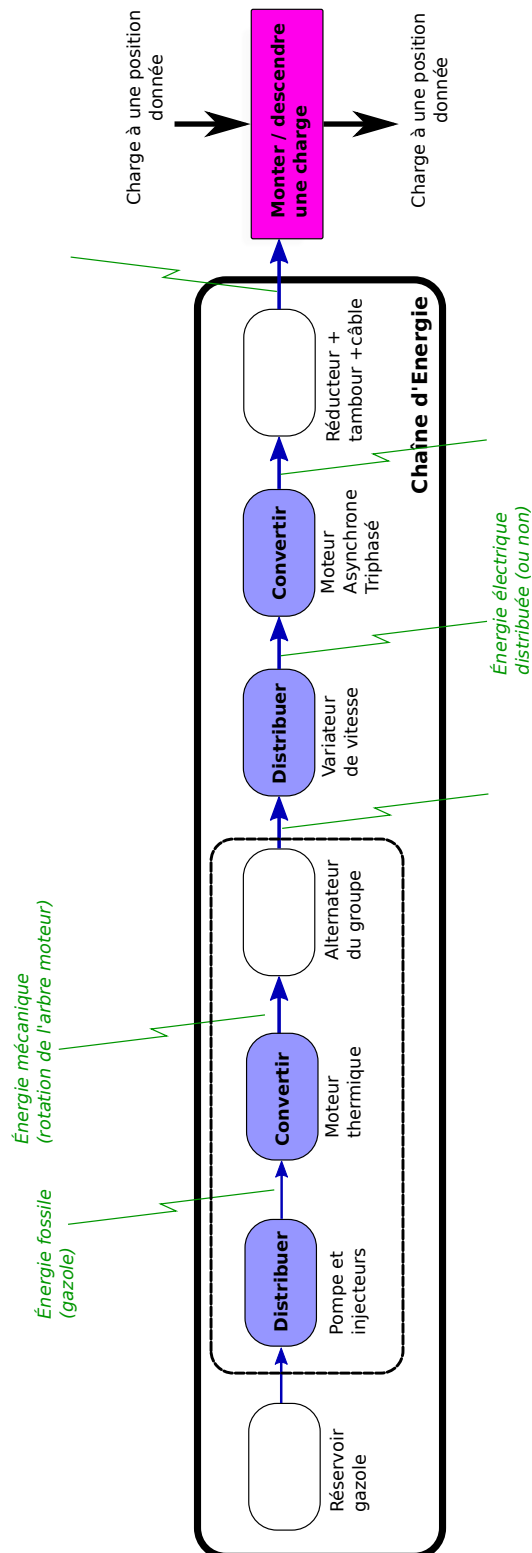


## DR2.

Étape	n° figure
Étape 0 : position verticale	
Étape 1 : abaissement	
Étape 2 : préparation du basculement	
Étape 2'' : situation intermédiaire	
Étape 2''' : fin du basculement	
Étape 3 : mise en flottaison du caisson de pied	
Étape 4 : allègement - position horizontale	



# DR3. Chaîne d'énergie du treuil

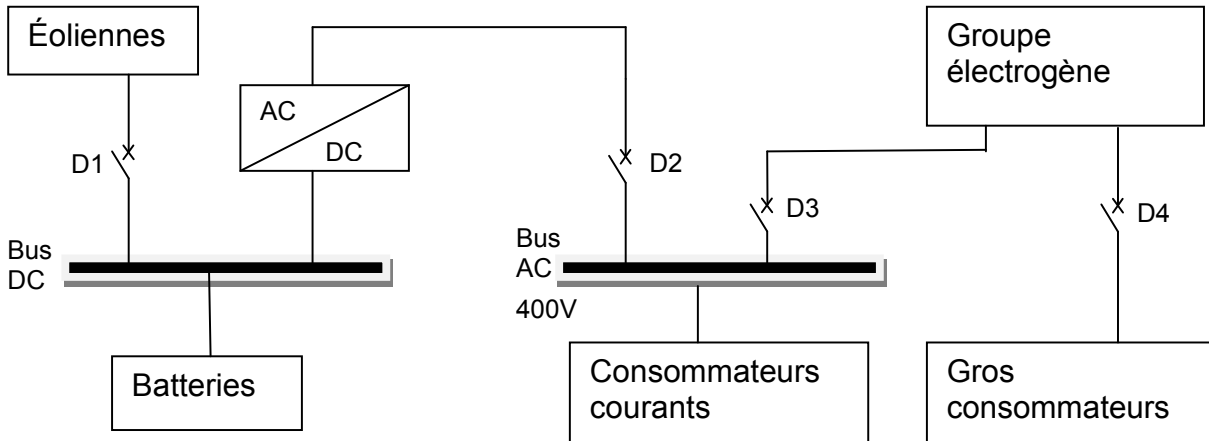


## DR4. Transferts d'énergie

$P$  représente la puissance demandée par l'ensemble des consommateurs d'énergie à un moment donné.

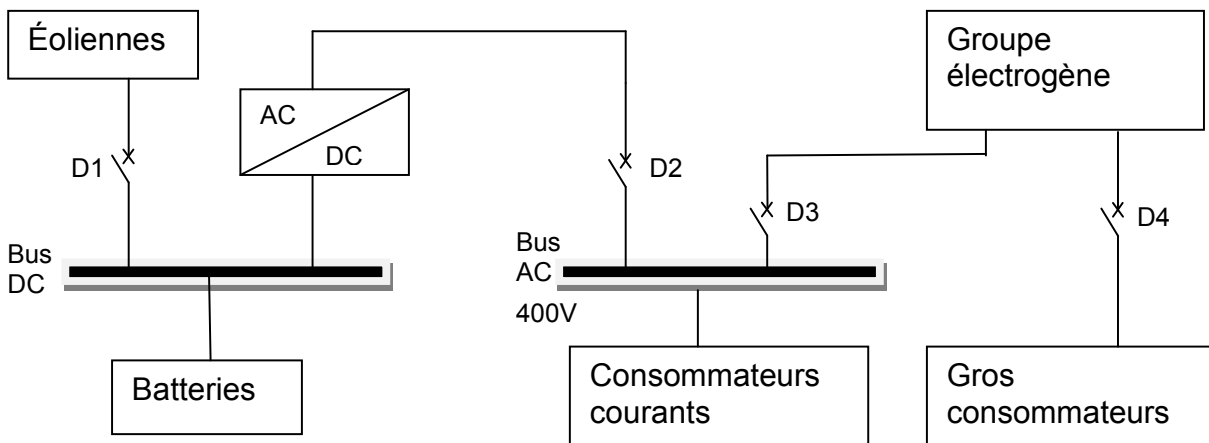
CAS n°1 :  $P < 10$  kW ; tracé des transferts d'énergie en bleu en fléchant le sens

CAS n°2 :  $P = 11$  kW et batteries chargées ; tracé des transferts d'énergie en vert



CAS n°3 :  $P = 11$  kW et batteries déchargées ; tracé des transferts d'énergie en bleu

CAS n°4 :  $P = 80$  kW (gros consommateur en fonctionnement) ; tracé des transferts d'énergie en vert



État des disjoncteurs : compléter avec F (fermé) ou O (ouvert)

	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
Cas numéro 1				
Cas numéro 2				
Cas numéro 3				
Cas numéro 4				

## DR5. Algorithme en pseudo-code

Des capteurs permettent de mesurer les puissances fournies ou consommées par les différents éléments constitutifs du Polar Pod. La valeur de puissance fournie par les éoliennes est contenue dans la variable  $pe$  et celle fournie par les batteries est contenue dans la variable  $pb$ . La valeur de puissance consommée par les consommateurs courants est contenue dans la variable  $pc$  et celle consommée par les gros consommateurs est contenue dans la variable  $pg$ . La mise en service du groupe électrogène sera obtenue en affectant la valeur binaire 1 à la variable  $Ge$ . De même, les disjoncteurs  $D_1$  à  $D_4$  seront fermés quand mis à 1 et ouverts si mis à 0.

Extrait de l'algorithme en pseudo-code de gestion des disjoncteurs.

```
1  DEBUT DU PROGRAMME
2
3  ...
4  TANTQUE (gestionEnergie = VRAI)
5      LIRE pe
6      LIRE pb
7      LIRE pc
8      LIRE pg
9      SI (pg > 0) ALORS
10         {Ge = 1; D4 = 1; D1 = 1;
11           SI (.....) ALORS (D3 =...; D2 =...)
12           SINON (D2 =...;D3 =...)
13           FIN SI}
14     SINON
15         {D4 =.....; D1 =.....;
16           SI (.....) ALORS (Ge =.....; D3 =.....; D2 =.....)
17           SINON (Ge =.....; D2 =.....; D3 =.....)
18           FIN SI}
19     FIN SI
20 FIN TANT QUE
21 ...
22
23 FIN DU PROGRAMME
```