

## CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—  
SESSION 2018  
—**SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES  
ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE**

(Classes de terminale STI2D)

PREMIERE PARTIE

Durée : 5 heures  
—

*L'usage de la calculatrice est autorisé  
Le sujet est à traiter dans sa globalité quel que soit l'option du candidat*

**Consignes aux candidats**

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numéroter chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours selon l'option choisie :

**1. Option Architecture et construction :**

Concours / Examen : CGL	Section/Spécialité/Série : SARCO	
Epreuve : 101	Matière : ARCO	Session : 2018

**2. Option Energies et environnement :**

Concours / Examen : CGL	Section/Spécialité/Série : SENEN	
Epreuve : 101	Matière : ENEN	Session : 2018

**3. Option Innovation technologique et éco-conception :**

Concours / Examen : CGL	Section/Spécialité/Série : SITEC	
Epreuve : 101	Matière : ITEC	Session : 2018

**4. Option Systèmes d'information et numérique :**

Concours / Examen : CGL	Section/Spécialité/Série : SSINU	
Epreuve : 101	Matière : SINU	Session : 2018







# CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

## Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

**Session 2018**

Durée 5 heures

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée



*Hydrolienne à membrane ondulante*



*Ferme aquacole*

### Constitution du sujet :

- **Dossier Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
  - **PARTIE 1** ..... Pages 2 à 7
  - **PARTIE 2** ..... Pages 8 à 12
  - **PARTIE 3** ..... Pages 12 à 14
- **Dossier Technique** ..... Pages 15 à 34
- **Documents Réponse** ..... Pages 35 à 40

**Le sujet comporte trois parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.**

**Les documents réponses DR1 à DR12 seront à rendre (même vierges) avec les copies.**

Concours Général des Lycées		Session 2018
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D		<b>Page 1 / 40</b>

## Mise en situation

Les fermes aquacoles sont souvent implantées dans des zones entièrement dépourvues d'énergie électrique, soit du fait de l'éloignement de toute zone habitée (étang, marais et mer), soit en pleine mer (cages flottantes).

Or, il est souvent nécessaire de pouvoir disposer d'un minimum d'énergie, pour actionner des distributeurs d'aliments ou pour faire fonctionner une alarme, une pompe ou tout autre système électrique.

Le mode de production le plus simple et le moins onéreux à mettre en place au niveau des fermes aquacoles isolées est le groupe électrogène au fioul.

Dans la Manche, mer entre la France et le Royaume-Uni, le courant marin est suffisamment présent pour pouvoir en tirer une énergie souvent importante pour faire fonctionner de tels systèmes constituant une ferme aquacole.

L'entreprise EEL Energy propose une solution innovante pour la récupération de l'énergie des courants marins : une membrane ondulant avec le courant marin comme une anguille. Le système utilise les déformations d'une membrane semi-rigide et précontrainte pour capter l'énergie cinétique des courants marins. La conversion d'énergie de déformation en électricité a lieu le long de la ligne centrale de la membrane par l'action de convertisseurs.



*Hydrolienne à membrane en phase de tests en bassin - IFREMER de Boulogne sur mer*

## Travail demandé

### **PARTIE 1 - ÉTUDE DU PRODUCTIBLE DE LA MEMBRANE ONDULANTE**

La partie membrane (Figure 1), qui est composée d'un squelette rigide recouvert de caoutchouc, offre une grande surface de contact pour transmettre la pression du fluide au système. Une augmentation de la vitesse du courant marin entraîne une surélévation de l'arrière de la membrane. La longueur de la membrane étant limitée par le câble de contrainte, l'avant s'abaisse avant d'inverser son mouvement : c'est le début des oscillations. Les déformations de la membrane causées par la pression se propagent le long de celle-ci de l'amont vers l'aval.

Concours Général des Lycées		Session 2018
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D		<b>Page 2 / 40</b>

Les déformations de la membrane (Figure 2) mettent en mouvement des alternateurs linéaires produisant l'énergie électrique. Il est nécessaire d'associer à chaque alternateur un modulateur d'énergie dont la boucle de pilotage permettra de récupérer le maximum de puissance électrique en fonction de la vitesse du courant marin.

Les bras de la membrane sont fixés à un berceau en liaison pivot avec la structure. La liaison pivot permet à la machine de s'orienter librement face au courant marin.

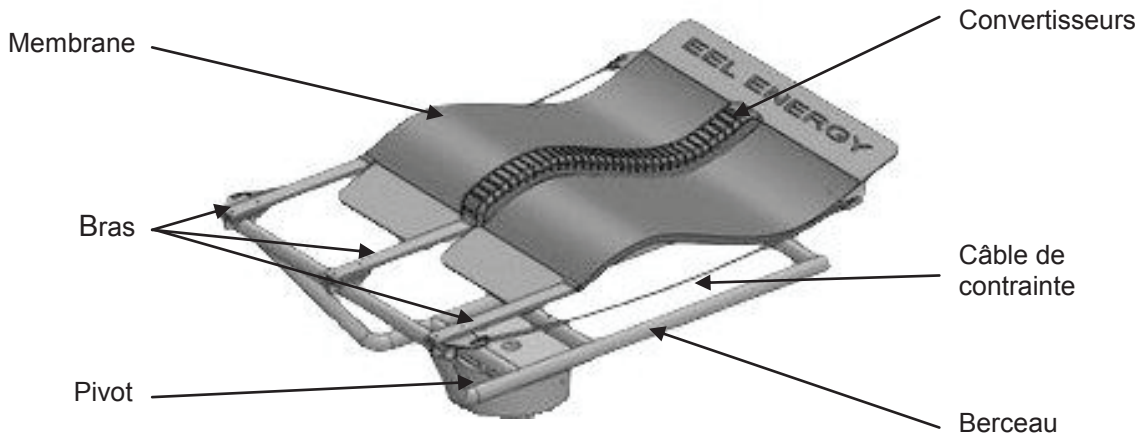


Figure 1

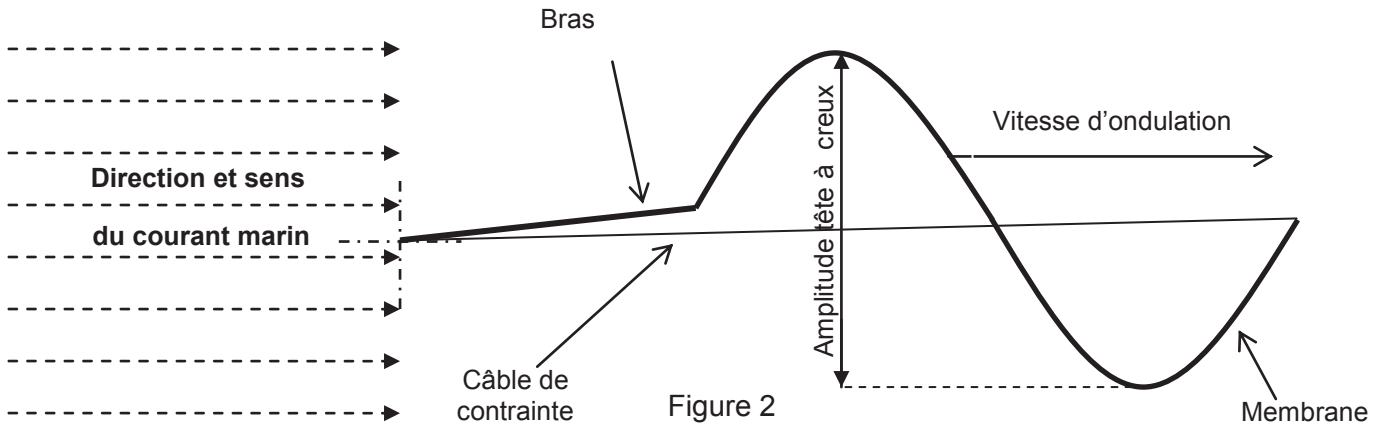


Figure 2

La puissance cinétique est due au mouvement de l'eau de mer. Elle dépend de la vitesse du courant marin et de la masse d'eau déplacée.

$$P_{cs} = 0,5 \cdot \rho \cdot V^3$$

$$P_c = S_f \cdot P_{cs}$$

$$P_{méca} = C_p \cdot P_c$$

$P_{cs}$  : Puissance cinétique surfacique

$P_c$  : Puissance cinétique

$P_{méca}$  : Puissance mécanique

$\rho$  : masse volumique du fluide en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  
avec  $\rho = 1\,025 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  pour l'eau de mer

$V$  : vitesse du courant marin

$S_f$  : surface frontale de la membrane balayée par les courants marins, avec :

$S_f = \text{amplitude tête à creux} \cdot \text{largeur membrane}$

$C_p$  : coefficient de puissance

Le coefficient de puissance  $C_p$  caractérise l'aptitude de conversion de la puissance cinétique en puissance mécanique de l'hydrolienne.

**L'énergie électrique productible par une ou plusieurs hydroliennes à membrane ondulante doit permettre d'alimenter une ferme aquacole implantée au large de Boulogne-sur-Mer dans le département du Pas de Calais située à l'est de la Manche (Figure 3).**

Concours Général des Lycées		Session 2018
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D		<b>Page 3 / 40</b>

Tournez la page S.V.P.

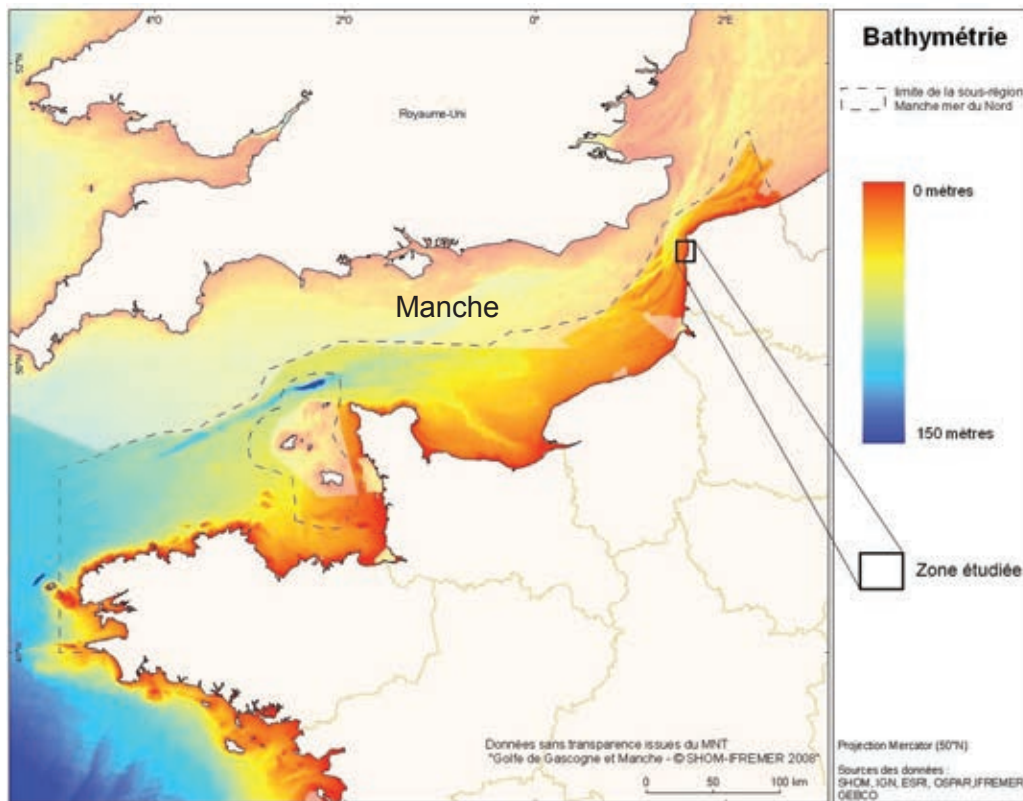


Figure 3

## ÉTUDE DU LIEU GÉOGRAPHIQUE IDÉAL

*Il s'agit d'étudier les caractéristiques de deux zones marines au large de Boulogne-sur-Mer : profondeur des fonds marins et vitesse des courants marins, afin de localiser la zone géographique la plus propice à la mise en place de ce type d'hydrolienne.*

Question 1.1 | **Relever** la profondeur des fonds marins au niveau de la bouée Ophélie et de la bouée Bassure de Baas.

DT1, DT2, DT3

DR1, DR2

**Relever** la plage de vitesse moyenne du courant marin à 3 m du fond marin au niveau de la bouée Ophélie et de la bouée Bassure de Baas.

Question 1.2

DT4

DR3

**Convertir** les coordonnées (latitude et longitude) exprimées initialement en degrés-minutes (système sexagésimal) en degrés (système décimal) des lieux suivants : lieu « bouée Ophélie » et lieu « ferme aquacole susceptible d'être située à proximité de la bouée Ophélie ».

**Calculer** la valeur décimale  $V_d$  entre les deux lieux précédents.

**Déterminer** la distance entre la bouée Ophélie et la ferme aquacole susceptible d'être située à proximité de celle-ci.

Question 1.3

DR4

**Calculer** la puissance cinétique surfacique  $P_{cs}$  ( $W \cdot m^{-2}$ ) disponible pour différentes valeurs de vitesse du courant marin ( $0,6$  ;  $1,5$  ;  $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

**Conclure** sur l'évolution de cette puissance en fonction de la vitesse du courant.

Question 1.4

DT5, DT7

À partir des analyses précédentes, **déterminer** et **justifier** le lieu géographique le plus approprié pour l'emplacement du champ d'hydroliennes à membrane ondulante.



## L'HYDROLIENNE À MEMBRANE ONDULANTE

**Nous allons à présent nous intéresser aux caractéristiques de l'hydrolienne à membrane ondulante, en particulier au niveau de ses performances énergétiques.**

- Question 1.5  
DT2, DT3 | **Donner** le coefficient de marée le plus défavorable en termes de vitesse du courant marin permettant d'assurer l'autonomie énergétique d'une ferme aquacole quelle que soit la période de l'année.
- Question 1.6  
DT5, DT6, DT7 | À partir des dimensions et de l'amplitude tête à creux  $A_{tc}$  de la membrane ondulante, **calculer** sa surface frontale  $S_f$  balayée par le courant marin.
- Question 1.7  
DT2, DT3, DT7 | **Calculer** la puissance cinétique moyenne  $P_c$  reçue par la membrane ondulante sur le lieu géographique considéré à la question 1.4 et pour le coefficient de marée choisi à la question 1.5.
- Question 1.8  
DT5 | **Donner** la valeur du coefficient de puissance  $C_p$  de la membrane ondulante, puis **déterminer** la puissance mécanique  $P_{méca}$  produite par celle-ci.
- Question 1.9  
DT5, DT8 | En considérant que la puissance mécanique produite par la membrane est équitablement répartie sur les alternateurs linéaires, en **déduire** la puissance mécanique  $P_m$  reçue par chaque alternateur.  
**Déterminer** la puissance en sortie d'un modulateur asservi  $P_{EMA}$ .
- Question 1.10  
DT5, DT7, DT8 | **Déduire** la puissance électrique totale  $P_{ET}$  que l'on récupère sur une membrane dans ces conditions de fonctionnement. **Conclure** sur la puissance extraite.

## OPTIMISATION DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE DE L'HYDROLIENNE À MEMBRANE

**Nous allons maintenant étudier le pilotage des modulateurs d'énergie permettant l'optimisation de la production d'énergie de l'hydrolienne à membrane.**

*Paramètres influents sur la puissance électrique produite :*

- Question 1.11  
DT9 | À partir des courbes fournies sur le DT9, **déterminer** les paramètres influents sur la puissance électrique produite par l'hydrolienne à membrane.

Le choix technologique effectué pour faire varier le point de fonctionnement de l'hydrolienne permet d'adapter le courant électrique produit en fonction de la vitesse du courant marin.

La membrane est équipée de six alternateurs linéaires, chacun étant associé à un modulateur d'énergie.

Chaque modulateur d'énergie sera commandé individuellement, par fourchette de courant. Cela signifie que le courant électrique délivré par le modulateur sera interrompu si sa valeur est trop élevée par rapport à la valeur du courant électrique imposé. L'écart toléré est défini par le paramètre  $\Delta_j$ .

Commande programmée des modulateurs d'énergie :

Question 1.12 | Sur le DR5, à partir de la caractéristique en hystérésis fournie, **compléter**  
DR5 | l'algorithme permettant d'élaborer la commande Tout Ou Rien « CdeK » de  
l'interrupteur statique K d'un modulateur d'énergie.

Variation du point de fonctionnement :

Question 1.13 | **En déduire** l'intérêt de faire varier le point de fonctionnement de l'hydrolienne à  
DT9 | membrane.

## PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

**La production d'énergie électrique variera en fonction de la vitesse du courant marin liée à la situation géographique et au coefficient de marée. Il faut donc tenir compte de ces variations de vitesse.**

Hypothèses d'étude du modèle analytique :

- vitesse moyenne du courant marin sur le lieu considéré :  $V_{\text{moy}} = 0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
- puissance électrique produite à la vitesse moyenne du courant marin ( $V_{\text{moy}} = 0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) par une membrane ondulante :  $P_{\text{ET}} = 137 \text{ W}$ .

Question 1.14 | **Relever** le pourcentage du temps où la vitesse du courant marin est supérieure  
DT7, DT10 | à sa vitesse moyenne sur le lieu géographique considéré.  
**En déduire** la durée moyenne en heure par jour de fonctionnement de l'hydrolienne à membrane ondulante.  
**Calculer** l'énergie électrique moyenne journalière  $W_{\text{EMJ}}$  extractible des courants marins.

Pour affiner le calcul de l'énergie électrique productible, le modèle numérique du DT11 intègre le rendement global d'une hydrolienne à membrane ondulante et une meilleure modélisation de la vitesse absolue du courant marin.

Question 1.15 | **Démontrer** que la fréquence du courant marin est :  $f = 0,000046296 \text{ Hz}$ , telle  
DT11, DT12, DT13 | qu'indiquée dans le modèle de simulation numérique.  
**Donner** la plage de variation de puissance électrique lorsque la membrane ondulante est en mouvement.  
Sur la courbe de la variation de l'énergie électrique productible pour une membrane ondulante, **expliquer** à quoi correspondent les zones à palier constant.  
**Indiquer** l'unité du compteur d'énergie sur le modèle de simulation numérique.  
**Évaluer** l'énergie électrique produite sur une journée  $W_{\text{EPJ}}$  d'une hydrolienne à membrane ondulante.

Question 1.16 | **Commenter** ce modèle de simulation numérique par rapport au modèle analytique précédent à valeur moyenne.

## CHAMP D'HYDROLIENNES À MEMBRANE ONDULANTE ET PARC DE BATTERIES

---

**Afin de garantir une autonomie en besoin d'électricité de la ferme aquacole, on s'intéresse au nombre d'hydrolienne(s) et de batterie(s) à installer.**

Hypothèses d'étude :

- besoin journalier en énergie électrique de la ferme aquacole :  $W_{EFJ} = 15 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{j}^{-1}$ ;
- tension continue du parc batteries, situé au niveau de la ferme aquacole :  $U_{PB} = 48 \text{ V}$  ;
- autonomie de fonctionnement du système de 1 journée sans rechargement.

Question 1.17 | À partir du résultat du modèle de simulation numérique précédent, **déterminer** le  
DT12 | nombre d'hydroliennes à membrane ondulante à installer afin de recharger le parc batteries.

Question 1.18 | **Calculer** l'énergie du parc de batteries  $W_{EPB}$ , en tenant compte de la profondeur  
DT7, DT14 | de décharge de celles-ci.  
DR6 | En **déduire** la capacité totale du parc batteries  $C_{PB}$ .  
Nous allons utiliser des batteries Rolls (DT14), **indiquer** et **justifier** le nombre de batteries à placer en série afin de concevoir le parc de batteries.  
**Déterminer** la capacité minimale d'une batterie  $C_B$ .  
**Donner** la référence de la batterie choisie.  
**Proposer** un schéma de connexion du parc de batteries si l'on considère que huit batteries suffisent.

## L'ALTERNATIVE AU FIOUL

---

L'hydrolienne à membrane ondulante représente une alternative intéressante au fioul. Nous allons le vérifier.

Hypothèse d'étude :

- besoin journalier en énergie électrique de la ferme aquacole :  $W_{EFJ} = 15 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{j}^{-1}$ .

Question 1.19 | La production d'énergie électrique par groupe électrogène au fioul présente des  
inconvénients. En **citer** trois.

Question 1.20 | **Calculer** l'émission directe de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  en kg du groupe électrogène sur une année.  
DT15

Question 1.21 | **Conclure** sur l'intérêt d'utiliser une hydrolienne à membrane ondulante en se basant sur des arguments écologiques et économiques.

Concours Général des Lycées		Session 2018
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D		<b>Page 7 / 40</b>

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

## PARTIE 2 ÉTUDE DE LA RÉSISTANCE DE LA STRUCTURE

L'objectif de cette partie est de vérifier le dimensionnement des éléments de la structure.

### ÉVALUATION DES SOLLICITATIONS ENGENDRÉES PAR LA MEMBRANE ET LES CÂBLES

La membrane de l'hydrolienne transmet des efforts qui sollicitent les éléments de structure par l'intermédiaire de trois bras encastrés sur le berceau et de deux câbles de contrainte.

Le modèle de calcul analytique utilisé en mécanique des fluides permet de calculer, pour la membrane, la force de trainée  $F_t$  et de portance  $F_p$  avec :  $\vec{F}_t = F_t \cdot \vec{x}$  et  $\vec{F}_p = F_p \cdot \vec{z}$

$$F_t = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot S_f \cdot V^2 \qquad F_p = \frac{1}{2} \cdot C_z \cdot \rho \cdot S_f \cdot V^2$$

- $\rho$  : masse volumique de l'eau sur site,  $\rho = 1\,025 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;
- $V$  : vitesse du courant, avec  $V_{\text{maxi}} = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- $S_f$  : surface frontale en  $\text{m}^2$ ,  $S_f = \text{largeur} \times \text{amplitude tête à creux}$  ;
- Les coefficients de trainée et de portance dépendent de l'amplitude de la déformation de la membrane, réglée par la souplesse des trois bras et la longueur des câbles de précontrainte. On prendra  $C_x = 0,86$  et  $C_z = 1,17$ .

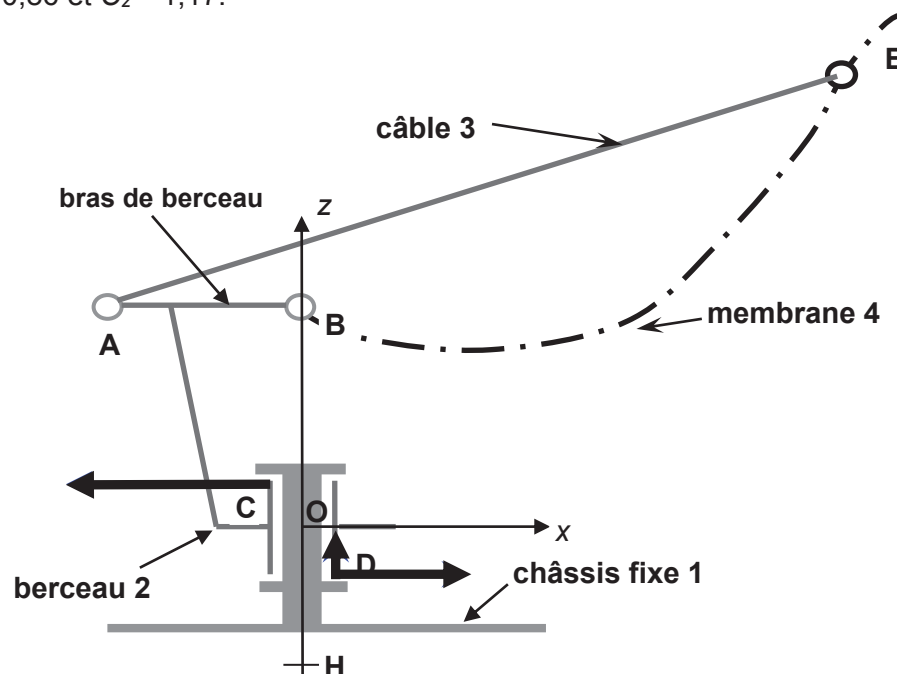


Figure 4

Question 2.1 | **Calculer** les forces de trainée et de portance maximales pour la vitesse de courant maximale.  
DT5 | Les valeurs analytiques trouvées permettent de « caler » les valeurs du modèle numérique et du modèle expérimental.

Les graphiques du document DT16 donnent les efforts de trainée et de portance ainsi que la tension dans les câbles pour une vitesse de courant  $V_{\text{maxi}} = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Question 2.2 | **Localiser** de manière approximative (avec un pas de lecture de 0,5 s) l'instant de la période correspondant aux situations 1 et 5 pour les différents modèles, en tenant compte de l'inclinaison des câbles qui donne le signe des composantes de la tension.  
DT16, DR7

Question 2.3

DT16, DR8

**Relever** pour l'instant  $t = 0,8$  s de la période, l'effort induit en B  $\vec{F}_{B(4 \rightarrow 2)}$  par les efforts de traînée et de portance.

**En déduire** la norme et l'inclinaison par rapport à l'axe x de l'effort  $\vec{F}_{B(4 \rightarrow 2)}$ ,

**Tracer** de manière qualitative (direction et sens)  $\vec{F}_{B(4 \rightarrow 2)}$  sur la figure 3 du DR8.

Question 2.4

DT16, DR8

Pour le même instant, **relever** les efforts de traction  $T_x$  et  $T_z$  dans chacun des 2 câbles. **En déduire** la norme et l'inclinaison par rapport à l'axe x de l'effort  $\vec{F}_{A(3 \rightarrow 2)}$  des 2 câbles sur le berceau.

**Tracer** de manière qualitative  $\vec{F}_{A(3 \rightarrow 2)}$  sur la figure 3 du DR8.

**ÉVALUATION DES SOLlicitATIONS DANS LA LIAISON PIVOT**

Pour les questions suivantes, on utilisera les valeurs proposées dans le tableau ci-dessous associées à l'instant  $t = 2,9$  s de la période.

Le berceau est en équilibre sous les actions suivantes :

$\vec{F}_{B(4 \rightarrow 2)}$ force en B de la membrane sur le berceau due à la traînée et à la portance
$\vec{F}_{A(3 \rightarrow 2)}$ tension des câbles sur le berceau
$\vec{F}_{C(1 \rightarrow 2)}$ , $\vec{F}_{D(1 \rightarrow 2)}$ actions dans la liaison pivot du châssis fixe sur le berceau
$\vec{P}_{G(\rightarrow 2)}$ poids du berceau
$\vec{PA}_{G(\rightarrow 2)}$ poussée d'Archimède en G sur le berceau
$\vec{F}_{G(c \rightarrow 2)}$ force de traînée et de portance du courant sur le berceau
<i>Hypothèses : le point d'application (centre de poussée) de l'action mécanique <math>\vec{F}_{G(c \rightarrow 2)}</math> et le point G (centre de masse) du poids <math>\vec{P}_{G(\rightarrow 2)}</math> sont confondus.</i>

$\vec{F}_{B(4 \rightarrow 2)} \begin{vmatrix} 3000 \\ 0 \\ -11000 \end{vmatrix}$	$\vec{OB} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 1,2 \end{vmatrix}$
$\vec{F}_{A(3 \rightarrow 2)} \begin{vmatrix} 12000 \\ 0 \\ 3000 \end{vmatrix}$	$\vec{OA} = \begin{vmatrix} -1 \\ 0 \\ 1,2 \end{vmatrix}$
$\vec{F}_{C(1 \rightarrow 2)} \begin{vmatrix} -56820 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$	$\vec{OC} = \begin{vmatrix} -0,1 \\ 0 \\ 0,2 \end{vmatrix}$
$\vec{F}_{D(1 \rightarrow 2)} \begin{vmatrix} 40820 \\ 0 \\ 20700 \end{vmatrix}$	$\vec{OD} = \begin{vmatrix} 0,1 \\ 0 \\ -0,2 \end{vmatrix}$
$\vec{P}_{G(\rightarrow 2)} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -15000 \end{vmatrix}$	$\vec{OG} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,6 \end{vmatrix}$
$\vec{PA}_{G(\rightarrow 2)} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 1900 \end{vmatrix}$	$\vec{F}_{G(c \rightarrow 2)} \begin{vmatrix} 1000 \\ 0 \\ 400 \end{vmatrix}$

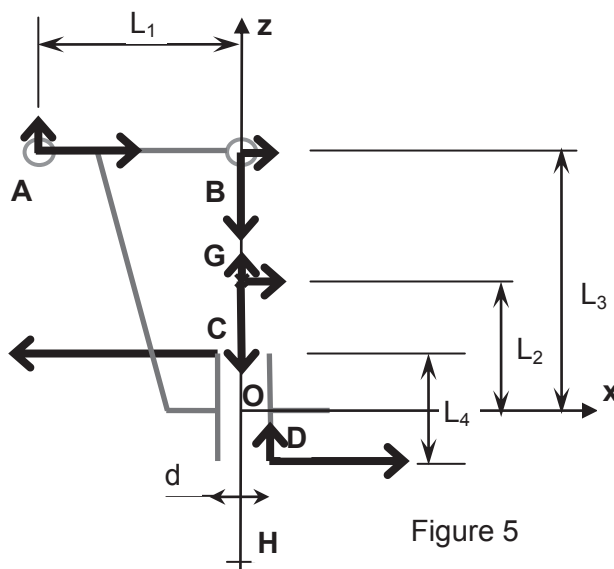


Figure 5

Question 2.5 | A l'aide du tableau des forces associé à la figure 5, **identifier** parmi les composantes  $X_A, X_B, X_C, Z_A, Z_B, Z_G$  et les dimensions  $L_1, L_2, L_3$ , le couple force-distance (X ou Z, L) qui affecte le plus la rigidité radiale de la liaison pivot d'axe Oz.

La liaison pivot est réalisée par l'intermédiaire de bagues. La vitesse de glissement circonférentielle étant très faible, le matériau ne subira pas d'échauffement. Le facteur de dimensionnement de la liaison sera la pression admissible du matériau.

### **DIMENSIONNEMENT DE LA LIAISON PIVOT ENTRE LE BERCEAU ET LE CHÂSSIS FIXE**

La liaison pivot est réalisée par l'intermédiaire de bagues. La vitesse de glissement circonférentielle étant très faible, le matériau ne subira pas d'échauffement. Le facteur de dimensionnement de la liaison sera la pression admissible du matériau.

Les actions de liaison en A, B et les actions en G sont équivalentes à une force :

$$\vec{F}_M \begin{vmatrix} 16000 \\ 0 \\ -20700 \end{vmatrix} \text{ appliquée au point M, avec } \vec{OM} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 1,35 \end{vmatrix}$$

Cette force sollicite la liaison pivot en porte à faux.

Question 2.6 | En sélectionnant le modèle de comportement adapté, **calculer** les pressions de contact. Soit  $p_a$  due à la composante suivant l'axe z (effort axial) de  $\vec{F}_M$  et  $p_r$  due à la composante suivant l'axe x (effort radial) de  $\vec{F}_M$ .

DT17

**Choisir** les matériaux qui conviennent pour ce niveau de pression.

### **RÉCUPÉRATION EXPÉRIMENTALE DES DONNÉES INFLUENTES DU COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE**

Afin de vérifier la résistance de la structure de façon expérimentale, celle-ci est placée dans un bassin d'essai, à l'intérieur duquel peuvent être reproduites les conditions marines d'exploitation de l'hydrolienne. Une chaîne d'acquisition comportant une balance d'efforts est utilisée pour récupérer les valeurs des sollicitations auxquelles la structure est soumise. Cette balance d'efforts est placée de telle sorte que le point de mesure de test se situe au point H précédemment défini.

Outre la balance d'efforts, la chaîne d'acquisition comporte un conditionneur de signal connecté à un ordinateur équipé d'un logiciel adapté à l'exploitation des données recueillies.

*Choix d'une balance d'efforts adaptée :*

Question 2.7 | Un traitement analytique donne l'action mécanique dans la liaison pivot sous la forme T châssis mobile → châssis fixe :  $\{T_{cm \rightarrow c_f}\}$

DT18, DT19

$$H \left\{ \begin{vmatrix} -16000 & 0 \\ 0 & -29600 \\ 20700 & 0 \end{vmatrix} \right\}_{\vec{x} \vec{y} \vec{z}}$$

**choisir** la balance d'efforts la plus adaptée parmi celles proposées sur le DT19. **Justifier** ce choix.

Question 2.8 | **Expliquer** en une phrase simple le principe sur lequel s'appuie la mesure d'effort par jauge extensiométrique.

DT18

*Étude du conditionneur de signal :*

Le conditionneur de signal permet de fournir les tensions d'excitation des différents ponts de jauges de la balance d'efforts, amplifie les tensions images des efforts et moments mesurés, les filtre puis les échantillonne afin de les convertir en données numériques qu'il transmet ensuite, via une connexion USB, à un ordinateur équipé d'un logiciel d'exploitation spécifique.

Question 2.9  
DT18, DT19, DT20

**Déterminer** par le calcul la valeur du coefficient d'amplification à configurer dans le logiciel d'exploitation du conditionneur de signal, pour obtenir une sensibilité finale de  $0,8 \text{ mV}\cdot\text{N}^{-1}$  sur la mesure de l'effort  $F_x$ , dans le cas où la valeur de tension d'excitation du pont est  $E = 10 \text{ V}$ .

Question 2.10  
DT20  
DR9

**Expliquer** l'utilité d'un filtre anti-aliasing (ou anti-repliement de spectre) et **justifier** sa fréquence de coupure ici.

Sur le DR9, **entourer** le profil de filtre correspondant au filtre anti-aliasing utilisé dans le conditionneur de signal.

Les données issues du conditionneur de signal sont envoyées à l'ordinateur équipé du logiciel d'exploitation par l'intermédiaire d'une liaison USB, en utilisant un format de données numériques IEEE754 virgule flottante 32 bits.

Le logiciel de traitement affiche une valeur  $F_x = - 842,75 \text{ N}$ .

Question 2.11  
DT21

**Exprimer** en hexadécimal le codage IEEE754 virgule flottante 32 bits de ce nombre.

Sur la pré-série d'hydroliennes en essai en pleine mer, à environ 3 km de la côte, on désire maintenir le suivi des mesures d'efforts depuis la station Ifremer de Boulogne sur mer.

Question 2.12

**Choisir** le type de liaison le plus adapté à la transmission des données issues du conditionneur de signal (situé dans une bouée à l'aplomb des hydroliennes) vers la station Ifremer.

## **DIMENSIONNEMENT DES BRAS DE LIAISON MEMBRANE-CADRE**

Les bras constituent un élément important. Ils font le lien entre la membrane et la structure. Les contraintes de conception sont : transmettre les efforts de trainée et de portance, souplesse pour favoriser une large amplitude de la membrane, résister à une contrainte de fatigue en flexion-traction, ne pas engendrer de perturbation et résister à l'eau salée. Parmi les matériaux susceptibles de répondre à ces critères de conception, le choix s'est orienté vers le matériau composite carbone-époxy TOHO TENAX STS40.

L'utilisation des matériaux composites à hautes performances tient à leur résistance exceptionnelle à la fatigue lorsqu'ils sont soumis à des sollicitations cycliques. Les bras sont dimensionnés pour une valeur nominale de courant du site d'exploitation. La vitesse de courant retenue est la vitesse  $V = 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Le critère utilisé pour évaluer la durée de vie des matériaux, est celui de la courbe d'endurance  $\sigma$ - $N_c$  (contrainte-nombre de cycles). Le principe en est simple, il s'agit de reporter les sollicitations appliquées (contraintes ou déformations) en fonction du nombre de cycles à la rupture du matériau sur un graphique semi logarithmique.

La durée de vie avant maintenance de reconditionnement souhaitée est de 10 ans. Le chargement impose des contraintes alternées symétriques en flexion avec un rapport de charge  $R = -1$  et des contraintes ondulées en traction qui conditionnent la tenue en fatigue du matériau. Une simulation en statique a permis d'évaluer et de localiser la contrainte maximum dans les bras.

Question 2.13  
DT22

**Relever** la valeur de la contrainte maximum dans les bras.

Concours Général des Lycées		Session 2018
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D		<b>Page 11 / 40</b>

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



Les sollicitations cycliques qui engendrent des contraintes influentes pour la limite d'endurance ont une période de 4,2 s.

Question 2.14 | **Calculer** le nombre de cycles pour une durée de vie de 10 ans.  
DT22 | **En déduire** la limite d'endurance et **vérifier** le respect du critère de durée de vie.

## DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE

Les contraintes de conception de la structure sont : résister aux efforts de trainée et de portance, ne pas engendrer de perturbation et résister à l'eau salée. Parmi les matériaux susceptibles de répondre à ces critères de conception, le choix s'est orienté vers une structure tubulaire soudée sur des tronçons de poutrelle en I à profil normal (IPN). La structure proposée en acier inoxydable ou en acier galvanisé est dimensionnée pour une valeur maximale de courant  $V_c = 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

On a évalué que les sollicitations cycliques qui réduisent la limite d'endurance ne permettent pas de respecter le critère de durée de vie avec les matériaux retenus.

Question 2.15 | **Interpréter** la déformation de la structure sollicitée.

DR8

Question 2.16 | **Proposer** une modification dans la conception de la structure qui doit rester une structure tubulaire soudée. Cette proposition sera représentée à main levée.

DR8

## PARTIE 3 ÉTUDE DE LA STABILITÉ DE L'HYDROLIENNE

La trainée et la portance hydrodynamique peuvent générer des contraintes au sein même de l'hydrolienne mais peuvent aussi affecter la stabilité globale du système. Avant la mise en place de la structure, il est primordial pour la pérennité et l'efficacité de celle-ci de vérifier sa bonne stabilité sous les différentes sollicitations.

**Il vous incombe donc au travers de cette étude de vérifier la stabilité de la structure tant au renversement qu'au glissement, mais aussi au poinçonnement, en prenant en compte l'environnement de l'hydrolienne.**

### JUSTIFICATION DU SYSTÈME DE FONDATIONS

***L'une des premières réflexions dans l'étude de la stabilité porte sur la façon dont les charges vont être transmises au sol. Vous avez donc à proposer, à partir d'un choix raisonné, le système de fondation optimal.***

Question 3.1 | **Indiquer**, dans le tableau, les deux exigences, parmi celles numérotées de 1.2.1 à 1.2.5, qui pourraient orienter le choix du type de fondations.

DT7 ; DR10

Question 3.2 | **Analyser** la simulation d'écoulement sur les différents types de fondations et **compléter** le tableau de choix.

DT23

DR10

**Choisir** les fondations de l'hydrolienne qui répondent au mieux aux exigences techniques, économiques et environnementales. **Justifier.**

### ÉTUDE DU NON GLISSEMENT DE L'HYDROLIENNE



**Pour la suite, quatre fondations cylindriques sont retenues. Une des instabilités d'une structure est son glissement sur le sol support. Nous allons vérifier que la structure ne risque pas de glisser.**

Pour définir l'interaction sol/fondations il faut connaître certaines caractéristiques de la nature du sol, les forces mises en jeu et notamment le poids de la structure.

Question 3.3 | **Réaliser** la descente de charges du châssis compte tenu des informations et dimensions fournies. **Calculer** le poids propre du châssis  $P_c$ .

DT24, DT25

DR11

**Calculer** la charge verticale  $P_{tot}$  somme de toutes les charges verticales dues aux poids propres des différentes parties de l'hydrolienne.

*L'hydrolienne est immergée il faut donc prendre en compte la poussée d'Archimède  $P_{Archimède}$ .*

*Rappel : la poussée d'Archimède correspond à une poussée équivalente au poids de l'eau déplacé par le volume de l'objet immergé :  $P_{Archimède} = \rho \cdot V \cdot g$*

*Le châssis est réalisé en tube et chaque composant de la structure est percé afin que l'eau puisse y pénétrer. Le volume ainsi mobilisé par la poussée d'Archimède est beaucoup plus modeste, de l'ordre de  $0,5 \text{ m}^3$ .*

Question 3.4 | **Calculer**  $P_{Archimède}$ .

DT24 DT25

Pour se placer dans les conditions les plus défavorables, on prendra les valeurs de portances maximales.

**Calculer N** l'effort vertical total repris par le sol.

*On se place dans le cas le plus défavorable en négligeant l'effet de butée  $B_u$ .*

La formule définissant la limite de glissement : 
$$\frac{N \times \tan(\varphi)}{F_t - B_u} = 1$$

Où  $N$  est l'effort vertical appliqué sur le sol  
 $\varphi$  est l'angle de frottement interne du sol  
 $F_t$  est la force de trainée  
 $B_u$  est l'effet de butée

Question 3.5 | À partir de la formule du glissement ci-dessus, **déterminer** l'effort limite de trainée  $F_t$  avant le glissement.

DT24

On rappelle que : 
$$F_t = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V_c^2$$

- $\rho$  masse volumique de l'eau sur site :  $1\,025 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;
- $V_c$  vitesse du courant, avec  $V_{c, \text{maxi}} = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- $S$  surface projetée de l'hydrolienne en  $\text{m}^2$ , avec  $S = 3,2 \text{ m}^2$  ;
- On prendra  $C_x = 1,32$ .

Question 3.6 | **Calculer** la vitesse d'écoulement qui correspond à l'effort limite de trainée  $F_t$ .

DT25

**Conclure** sur la possibilité de glissement de l'hydrolienne.

**Définir** le coefficient de sécurité basé sur le calcul d'effort.

Question 3.7 | Le coefficient de sécurité à atteindre est de 1,8 et pour prendre en compte certains phénomènes tels que le risque d'affouillement (retrait du sol support sous

Concours Général des Lycées		Session 2018
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D		<b>Page 13 / 40</b>

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

la fondation dû à l'écoulement) ou les efforts sismiques, il est possible d'agir sur certains paramètres afin de conserver le principe de non glissement.  
**Énoncer** ces paramètres et **proposer** des pistes de solutions. Les schémas sont conseillés.

## ÉTUDE DU NON RENVERSEMENT DE L'HYDROLIENNE

Pour la suite nous supposons le non glissement de la structure. Les sollicitations pour cette étude sont les plus préjudiciables pour l'hydrolienne. Ces efforts sont rassemblés sur le DT25. L'étude s'effectue dans un plan et le sens du courant marin est imposé.

- Question 3.8  
 DT25  
 DR12
- Compte tenu du sens du courant marin, **indiquer** le point de basculement de l'hydrolienne.
- Pour la suite, on prendra le poids total  $P_{\text{tot}} = 45\,550 \text{ N}$  et la poussée d'Archimède  $P_{\text{Archimède}} = 5\,050 \text{ N}$ .
- Pour chaque effort, **compléter** le tableau d'évaluation des moments par rapport à ce point.
- Question 3.9
- Donner** l'expression littérale du principe de non renversement de l'hydrolienne à membrane.
- Procéder** à l'application numérique et **conclure** sur la stabilité de la structure au renversement.

## VÉRIFICATION AU POINÇONNEMENT

On rappelle que les fondations sont des cylindres de 40 cm de diamètre.  
 Le sol support est du sable ( $\gamma = 1\,650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), comme tout sol pulvérulent il a une cohésion nulle ( $c = 0$ ).  
 La charge apportée au sol doit présenter une pression (contrainte) inférieure à la contrainte admissible pour ne pas atteindre la rupture du sol.

***Nous allons vérifier que le sol ne rompt pas.***

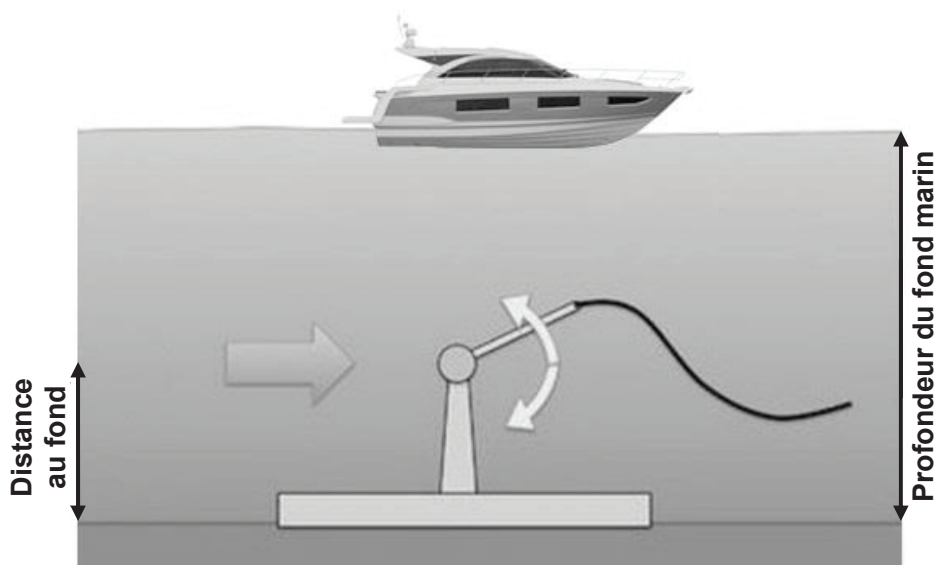
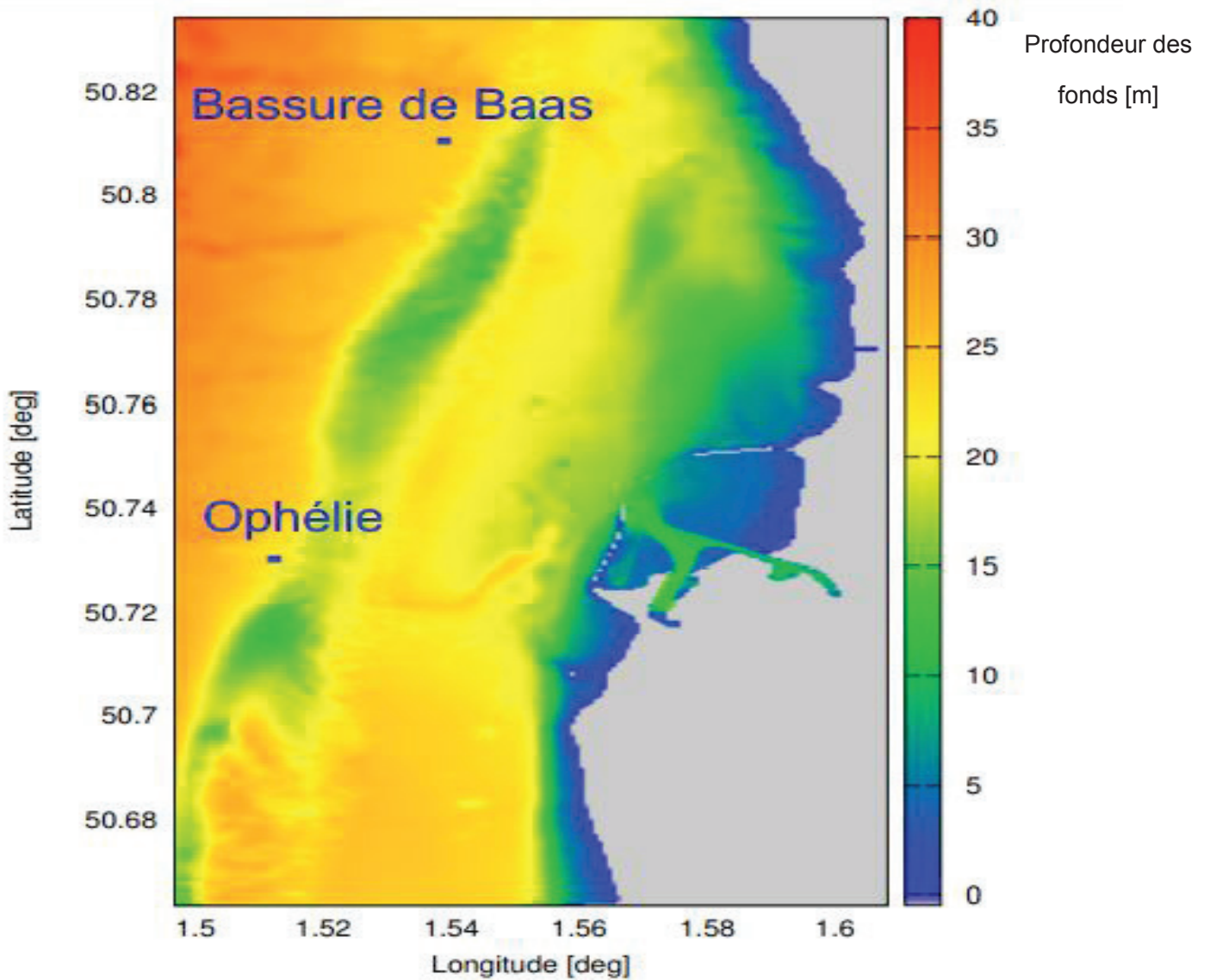
La charge maximale prise en compte est  $N_{\text{max}} = 56\,800 \text{ N}$ .

- Question 3.10  
 DT25
- Définir** le sens de  $\vec{F}_{pm}$  pour lequel la contrainte sous une semelle  $q_{\text{réelle}}$  est maximale.
- Calculer**  $q_{\text{réelle}}$  en Pa puis en MPa. On fait l'hypothèse que la charge totale de la structure  $N_{\text{max}}$  est répartie équitablement sur chaque fondation.
- Question 3.11  
 DT25, DT26
- Calculer** la contrainte ultime selon le DTU 13.12.
- Vérifier** que la contrainte réelle est inférieure à la moitié de la contrainte ultime.
- Conclure** quant à la tenue du terrain.

## CONCLUSION SUR LA STABILITÉ DE L'HYDROLIENNE À MEMBRANE

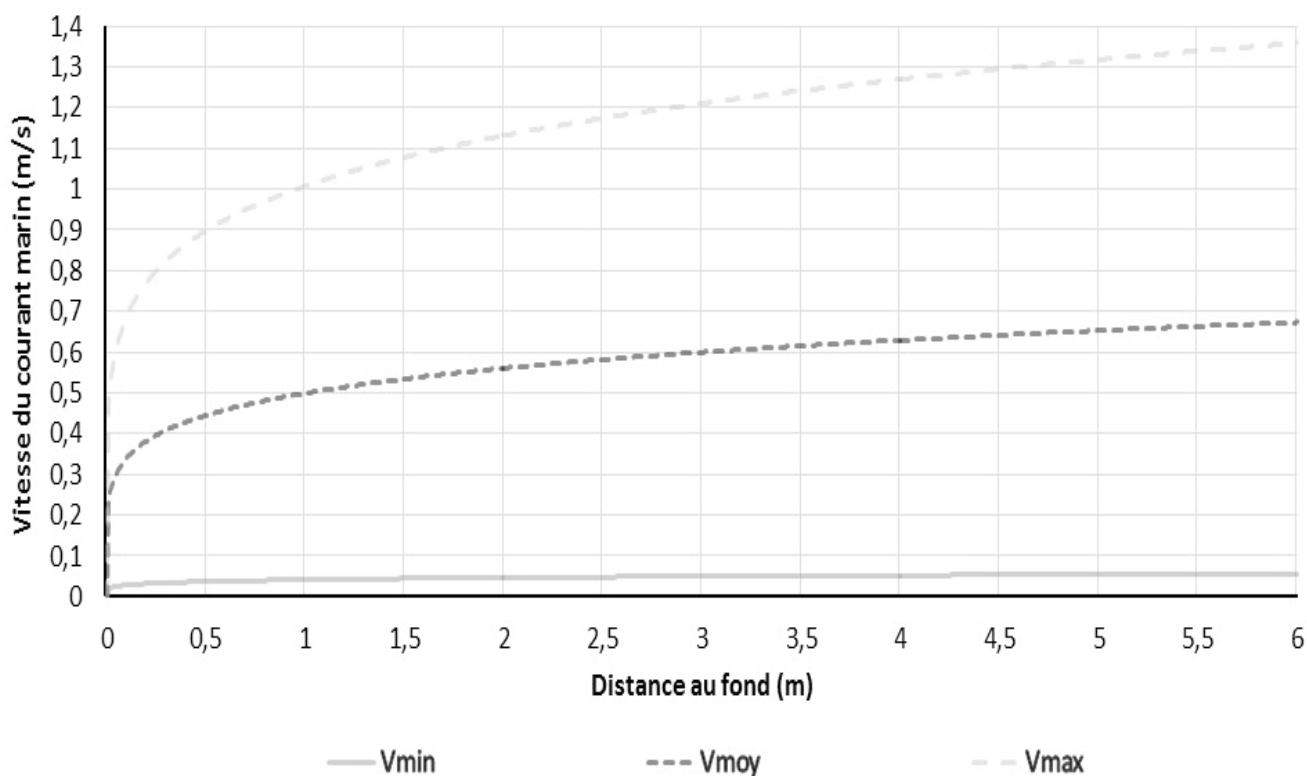
- Question 3.12
- Conclure** de manière globale sur la stabilité de l'hydrolienne à membrane, en intégrant l'ensemble des paramètres influençant celle-ci.

## DT1 – Profondeur des fonds marins

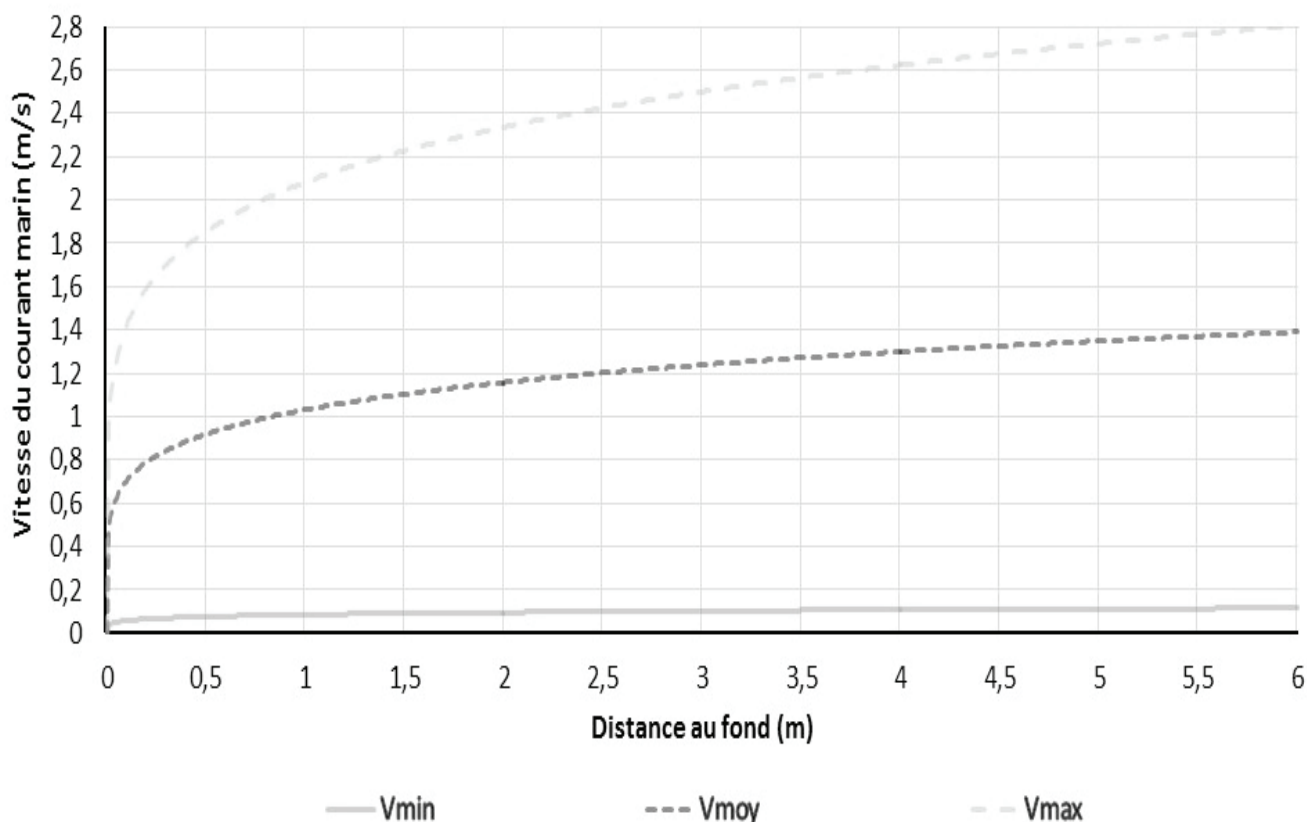


## DT2 – Vitesse du courant au niveau de la bouée Bassure de Baas

Profil de vitesse au niveau de la bouée Bassure de Baas, coefficient de marée 45

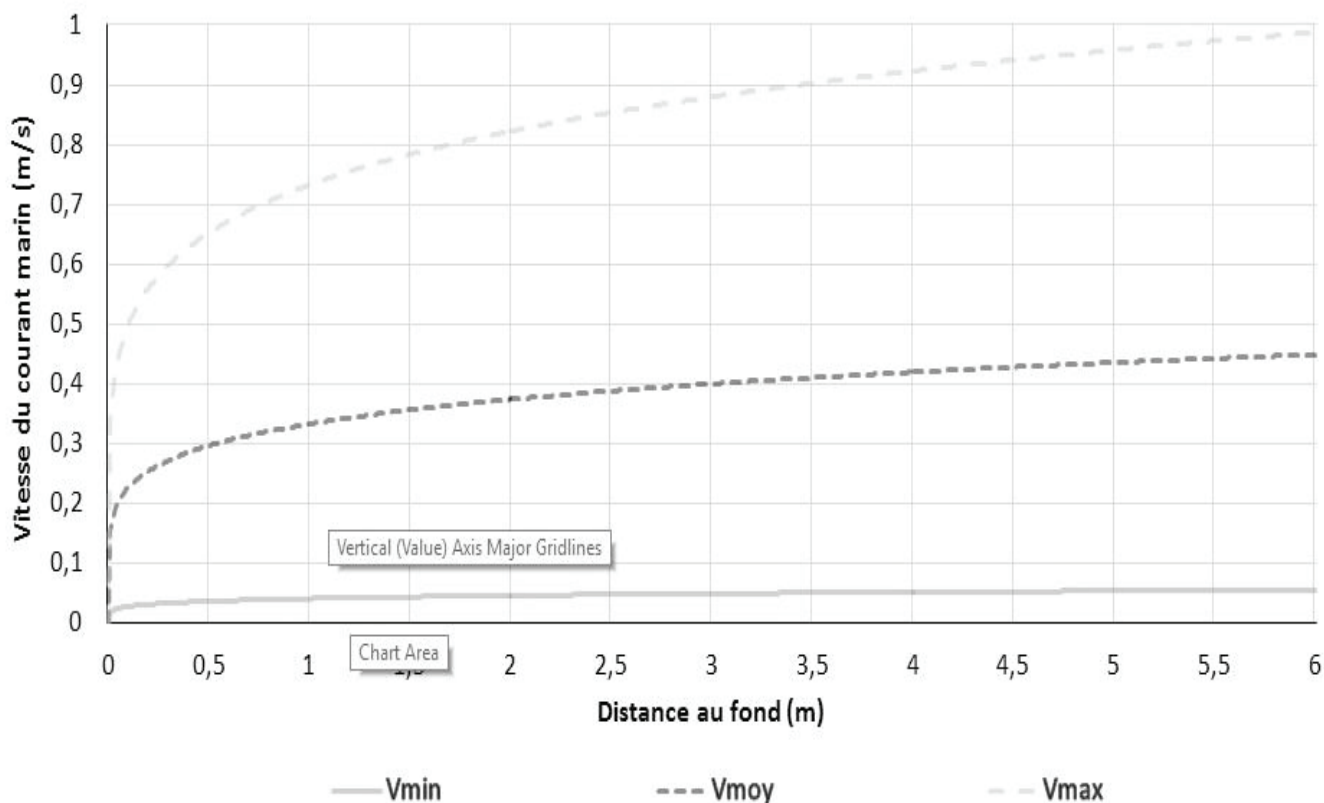


Profil de vitesse au niveau de la bouée Bassure de Baas, coefficient de marée 110

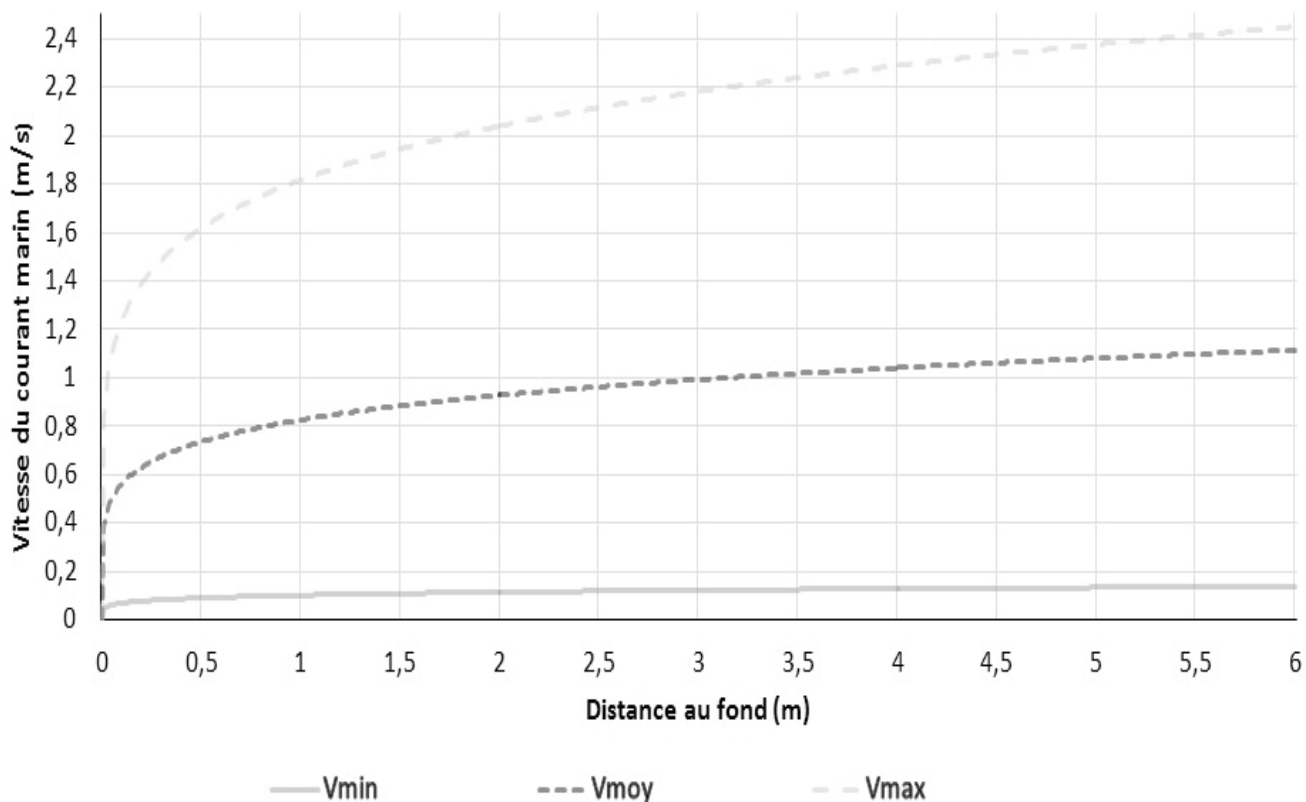


**DT3 – Vitesse du courant au niveau de la bouée Ophélie**

**Profil de vitesse au niveau de la bouée Ophélie, coefficient de marée 45**



**Profil de vitesse au niveau de la bouée Ophélie, coefficient de marée 110**



## DT4 – Latitude & Longitude

### Calcul des distances à partir de la latitude et de la longitude

D représente la distance entre deux points A et B dont les coordonnées sont exprimées en latitude et longitude.

$$D = R \cdot \arccos(V_d)$$

R : rayon moyen de la terre (6 371 km)

Dans cette formule, il faut configurer la calculatrice en radian avec au minimum 9 chiffres significatifs.

$V_d$  représente la valeur décimale d'une fonction trigonométrique.

$$V_d = \sin(\text{Lat}_A) \cdot \sin(\text{Lat}_B) + \cos(\text{Lat}_A) \cdot \cos(\text{Lat}_B) \cdot \cos(\text{Long}_A - \text{Long}_B)$$

Les latitudes et les longitudes sont exprimées en degré.

Coordonnées	Latitude	Longitude
Bouée Ophélie	Nord 50° 43,8652'	Est 1° 30,8535'
Ferme aquacole susceptible d'être située à proximité de la bouée Ophélie	Nord 50° 43,8652'	Est 1° 33,8838'
Bouée Bassure de Baas	Nord 50° 48,5413'	Est 1° 32,9855'
Ferme aquacole susceptible d'être située à proximité de la bouée Bassure de Baas	Nord 50° 49,4432'	Est 1° 35,8426'

### Exemple de calcul de distance entre deux points :

1 degré = 60 minutes

$$[50^\circ 48,5413']_{\text{degrés-minutes}} = 50 \text{ degrés et } 48,5413 \text{ minutes} = 50^\circ + (48,5413 / 60)^\circ = 50^\circ + 0,80902^\circ = [50,80902^\circ]_{\text{degrés}}$$

Distance entre la bouée Bassure de Baas et la ferme aquacole susceptible d'être située à proximité de la bouée Bassure de Baas :

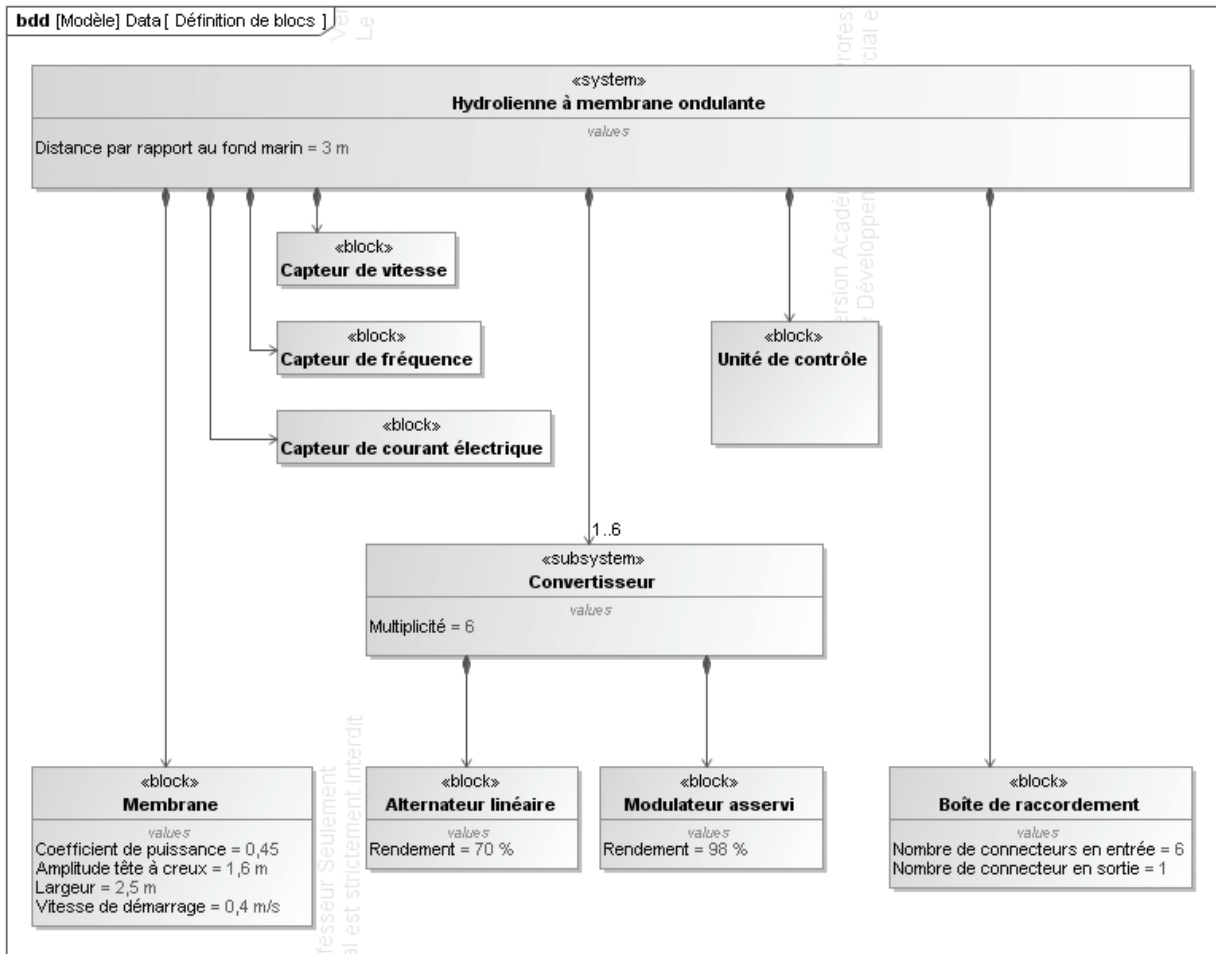
$$V_d = \sin(50,80902) \cdot \sin(50,82405) + \cos(50,80902) \cdot \cos(50,82405) \cdot \cos(1,54976 - 1,59738) = 0,999999828$$

$$D = R \cdot \arccos(V_d) = 6371 \cdot \arccos(0,999999828) = 3,740 \text{ km}$$

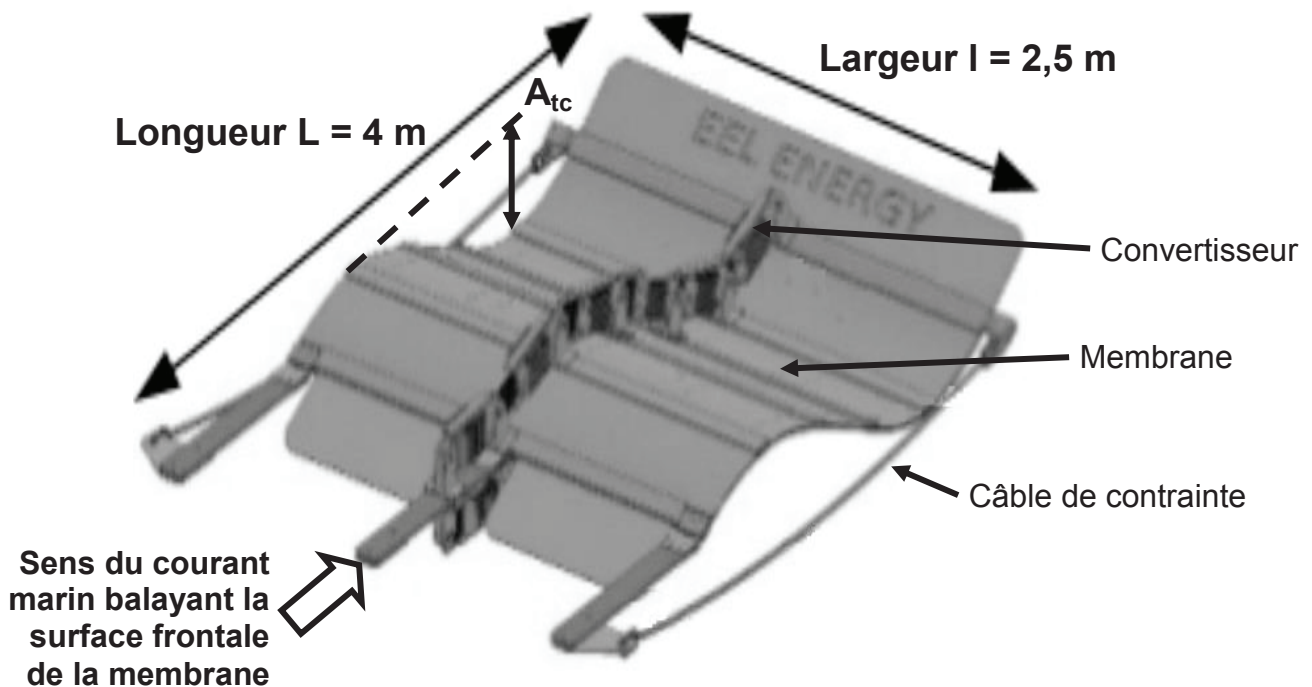
La distance entre la bouée Bassure de Baas et la ferme aquacole susceptible d'être située à proximité de la bouée Bassure de Baas est de 3,74 km.



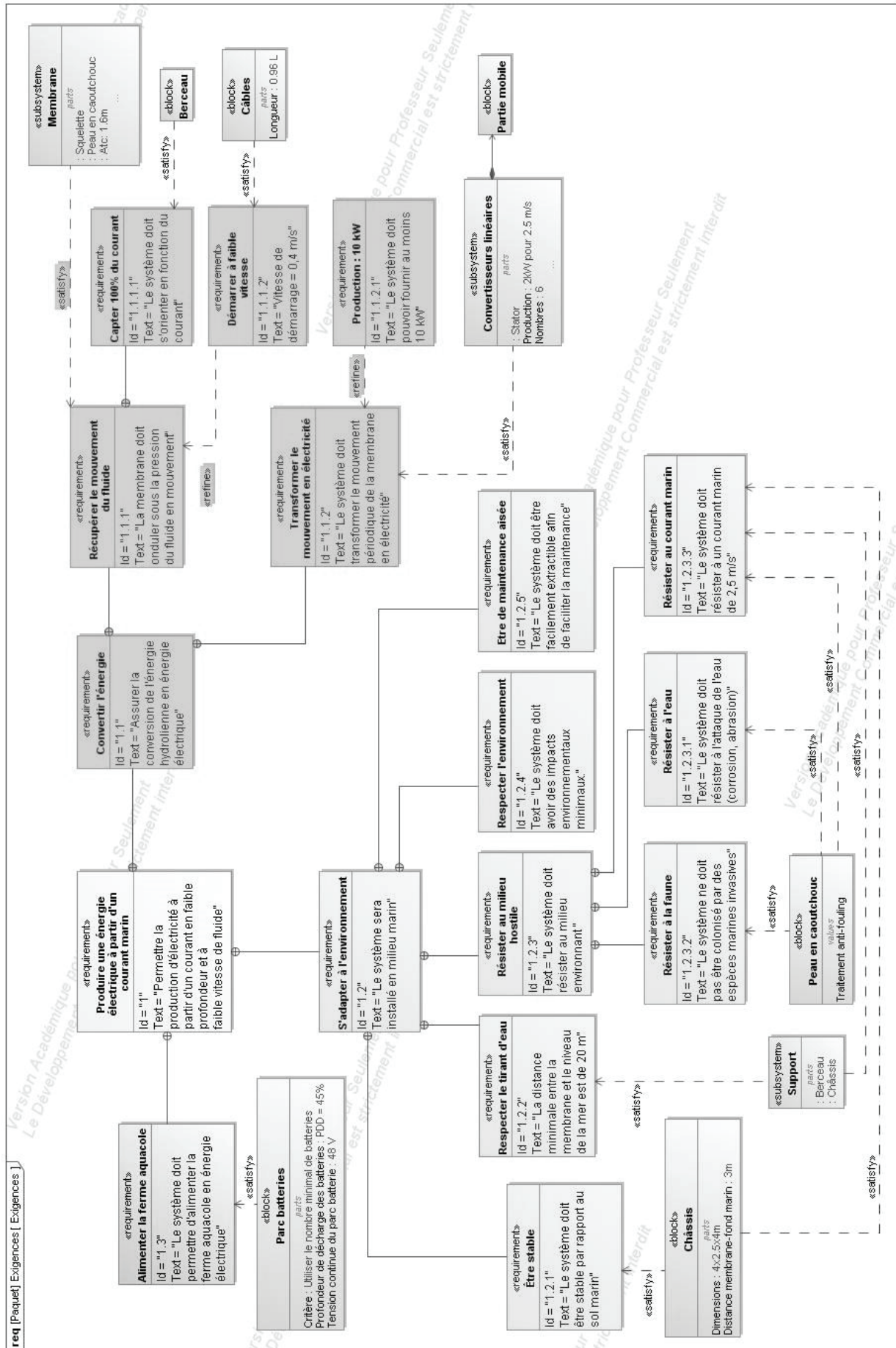
## DT5 – Diagramme de définition de blocs



## DT6 – Caractéristiques de la membrane ondulante

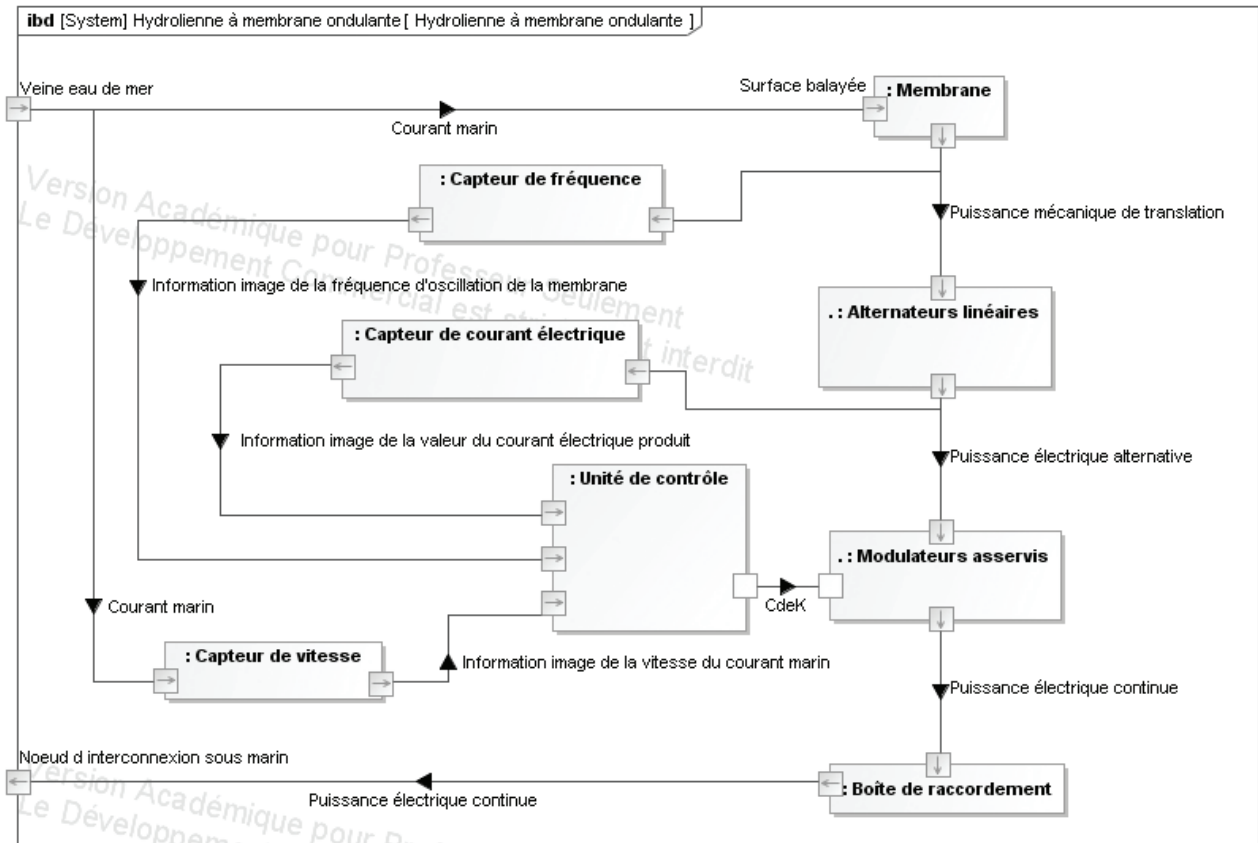


# DT7 – Diagramme d'exigences





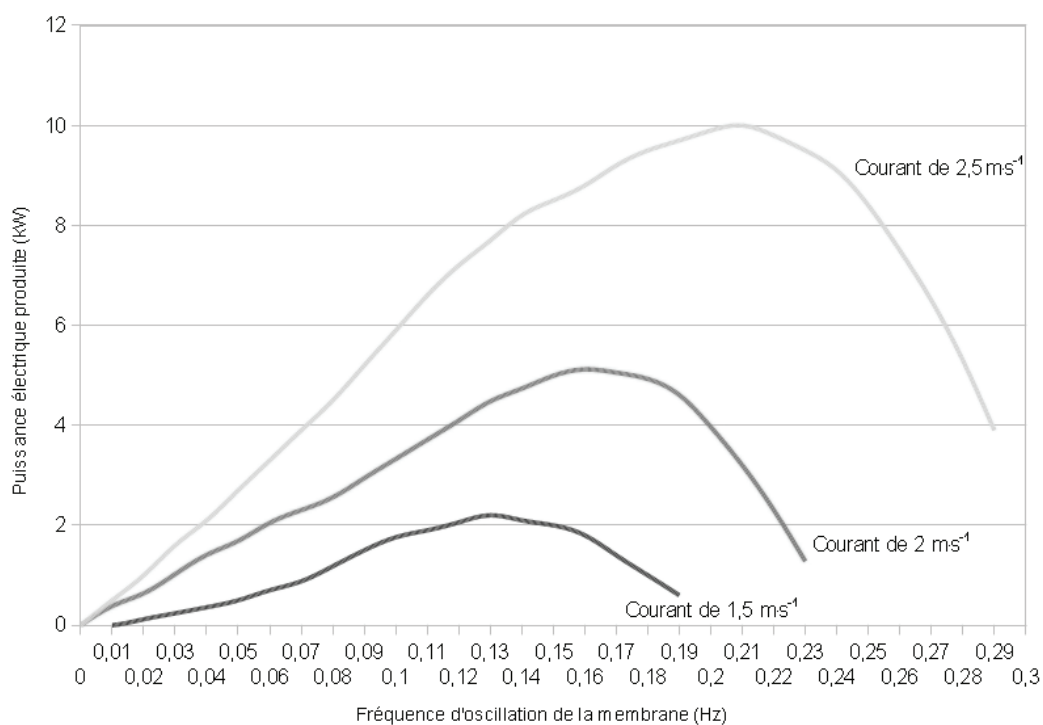
## DT8 – Diagramme de blocs internes partiel



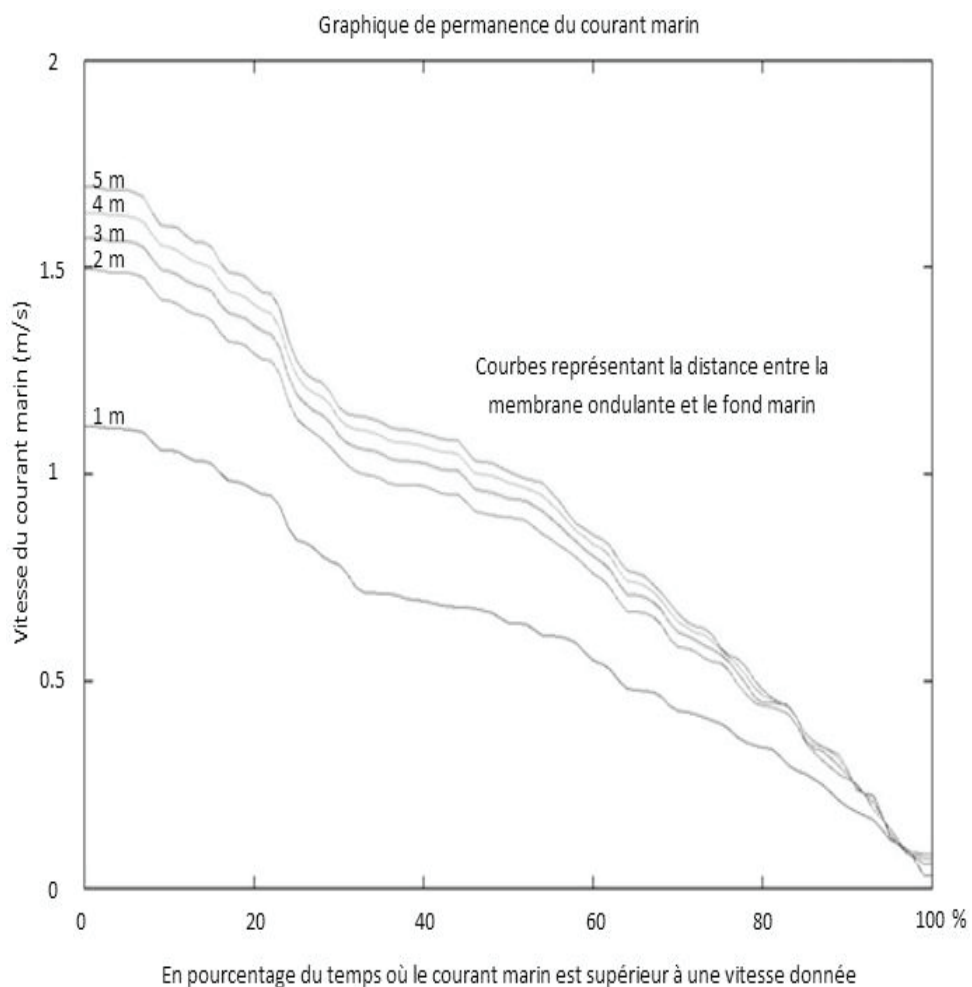
Remarque :

Dans le diagramme de blocs internes partiel, par souci de clarté, un seul alternateur linéaire et un seul modulateur asservi sont représentés, au lieu des six réellement présents.

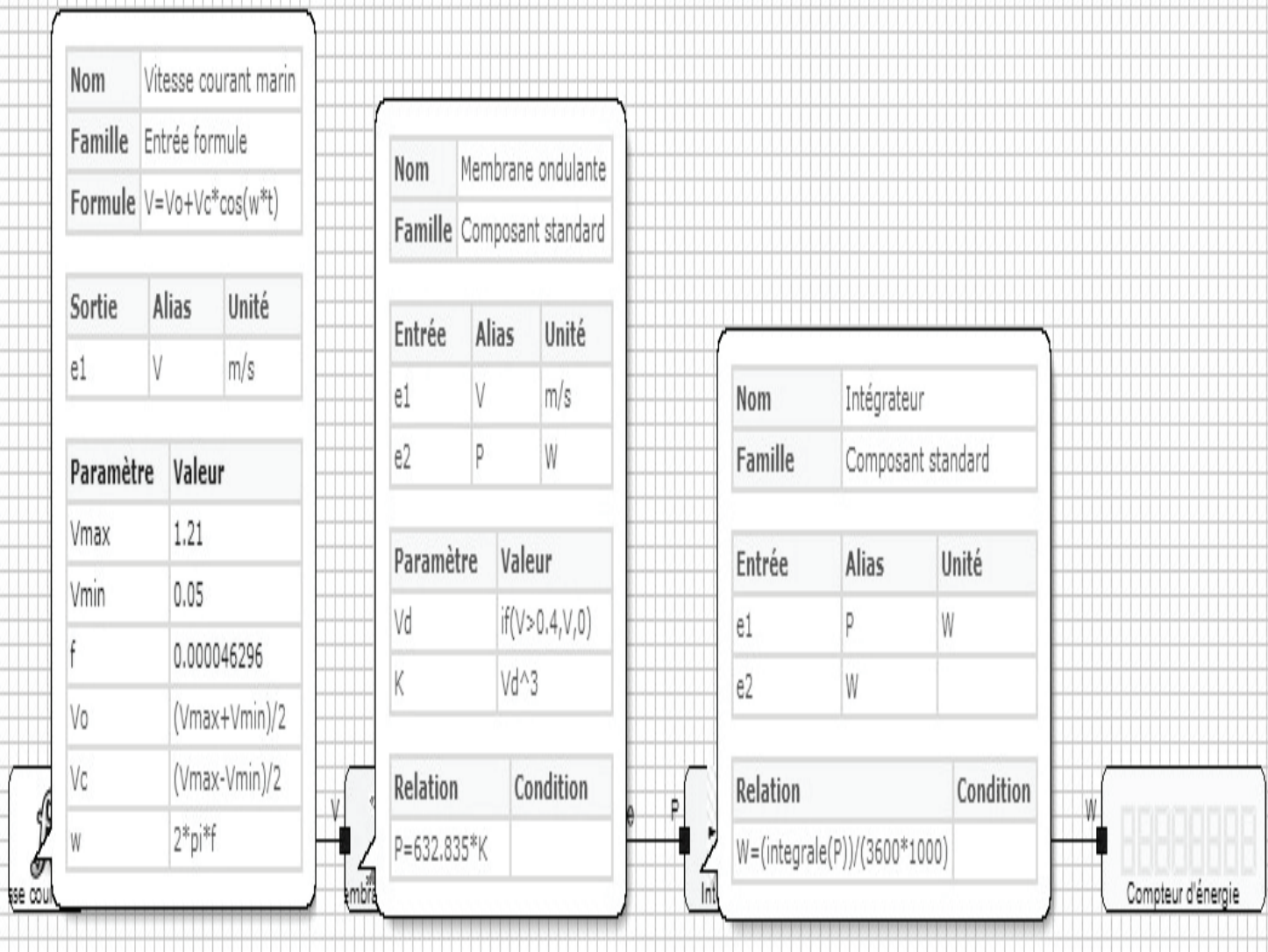
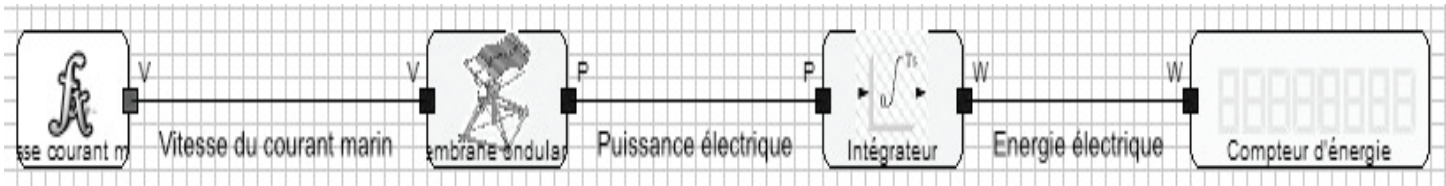
### DT9 – Puissance électrique produite en fonction de la fréquence d'oscillation de la membrane



### DT10 – Graphique de permanence du courant marin

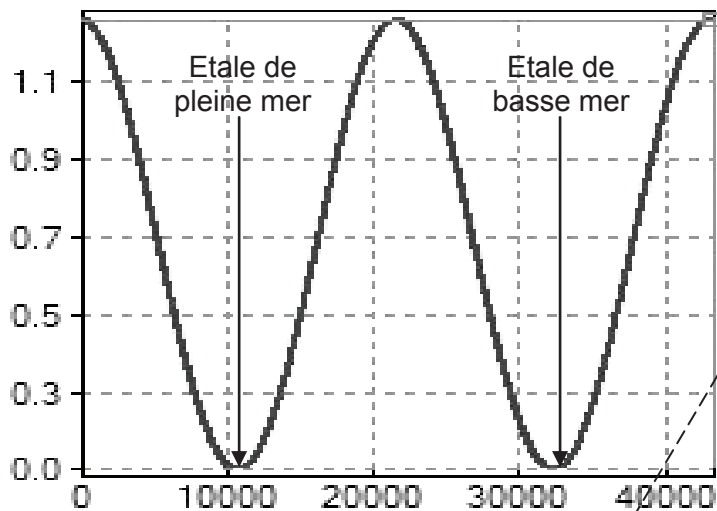


# DT11 – Modèle numérique de la membrane ondulante

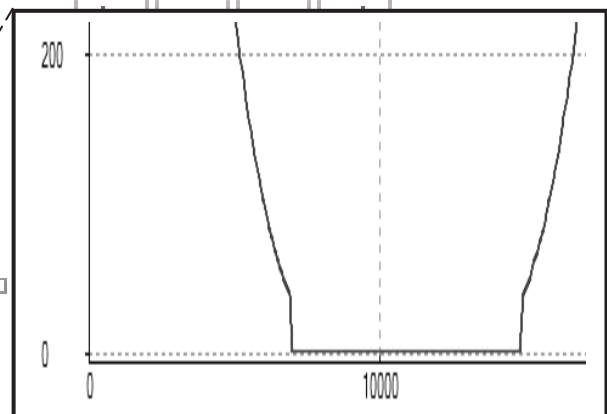


# DT12 – Courbes de simulation numérique : vitesse, puissance, énergie

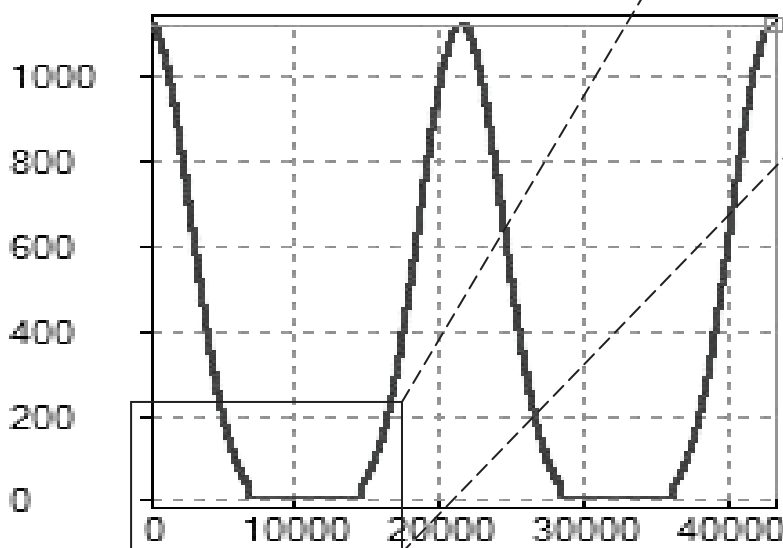
Variation de  $\langle V \rangle$



Temps(s)  
43200  
— V (m/s)  
1.21



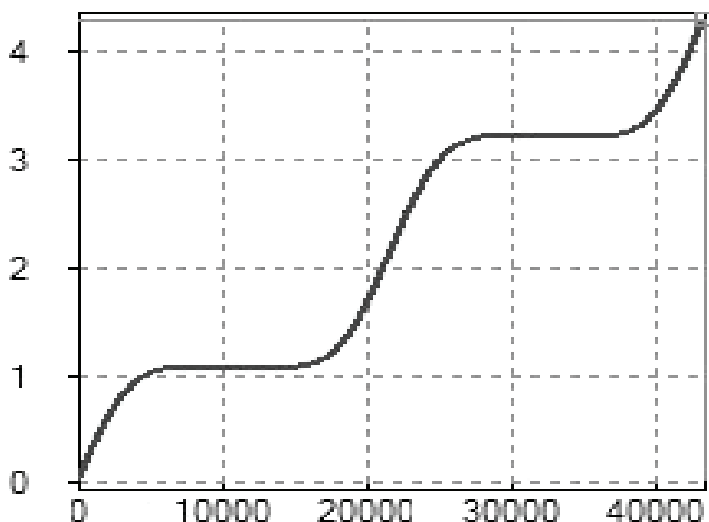
Variation de  $\langle P \rangle$



Temps(s)  
43200  
— P(W)  
1121

|< < > >|

Variation de  $\langle W \rangle$



Temps(s)  
43200  
— W  
4.277

|< < > >|

## DT13 – Les marées

La marée est la variation de la hauteur du niveau des mers et océans causée par des forces de gravitation dues à la lune et au soleil. Elle se manifeste par la montée et la descente des eaux. Le niveau le plus élevé atteint par la mer au cours d'un cycle de marée est appelé pleine mer (marée haute). Par opposition, le niveau le plus bas se nomme basse mer (marée basse).

Pour la Manche, il y a deux pleines mers et deux basses mers toutes les 24h50min. Dans notre étude, on supposera deux marées toutes les 24h. Le courant marin y est essentiellement engendré par les marées montantes et les marées descendantes. Sa vitesse évolue avec le moment de la marée. Entre la marée montante et la marée descendante ou inversement, le courant marin devient quasiment nul, c'est l'étale ou le renversement. Le courant marin est alternatif, sa direction est à peu près constante, mais de sens opposé entre la marée montante et marée descendante.

Les courants marins sont prévisibles à long terme (notamment en consultant les éphémérides) car le courant de marée se retourne régulièrement de façon alternative, avec des amplitudes connues, variables avec la lune et le soleil.

## DT14 – La batterie

Batterie électrolyte liquide Rolls

Une gamme de batteries 6 volts.

Applications : énergies renouvelables

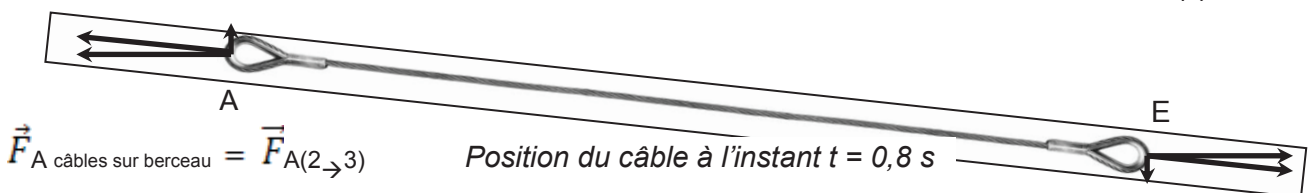
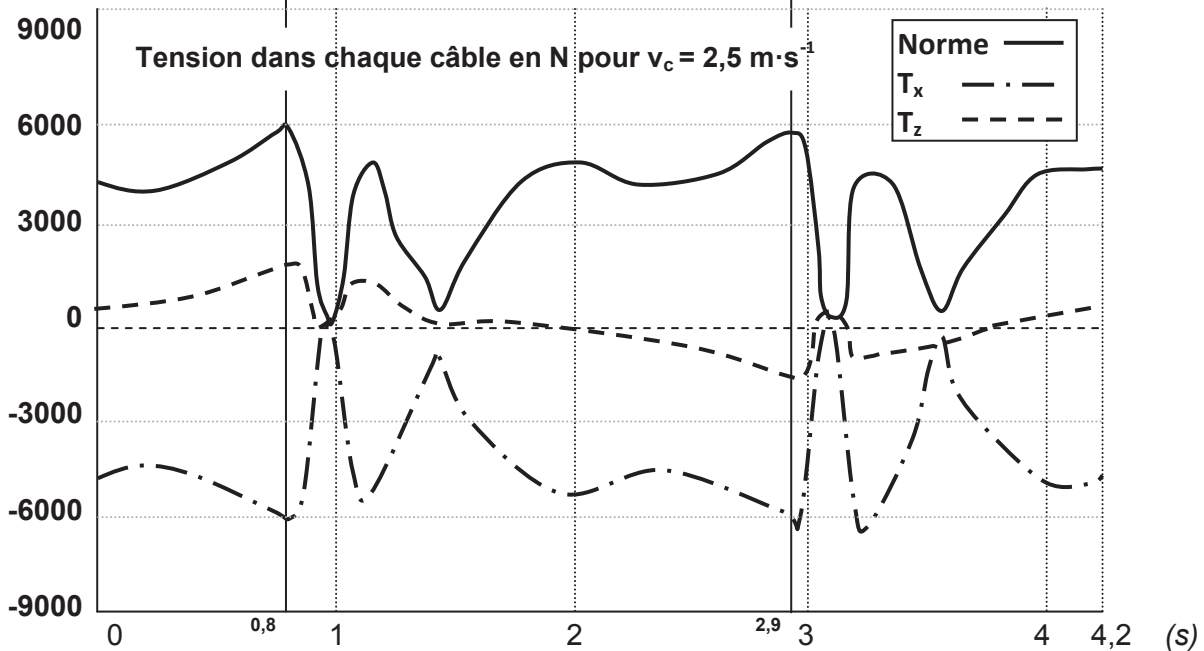
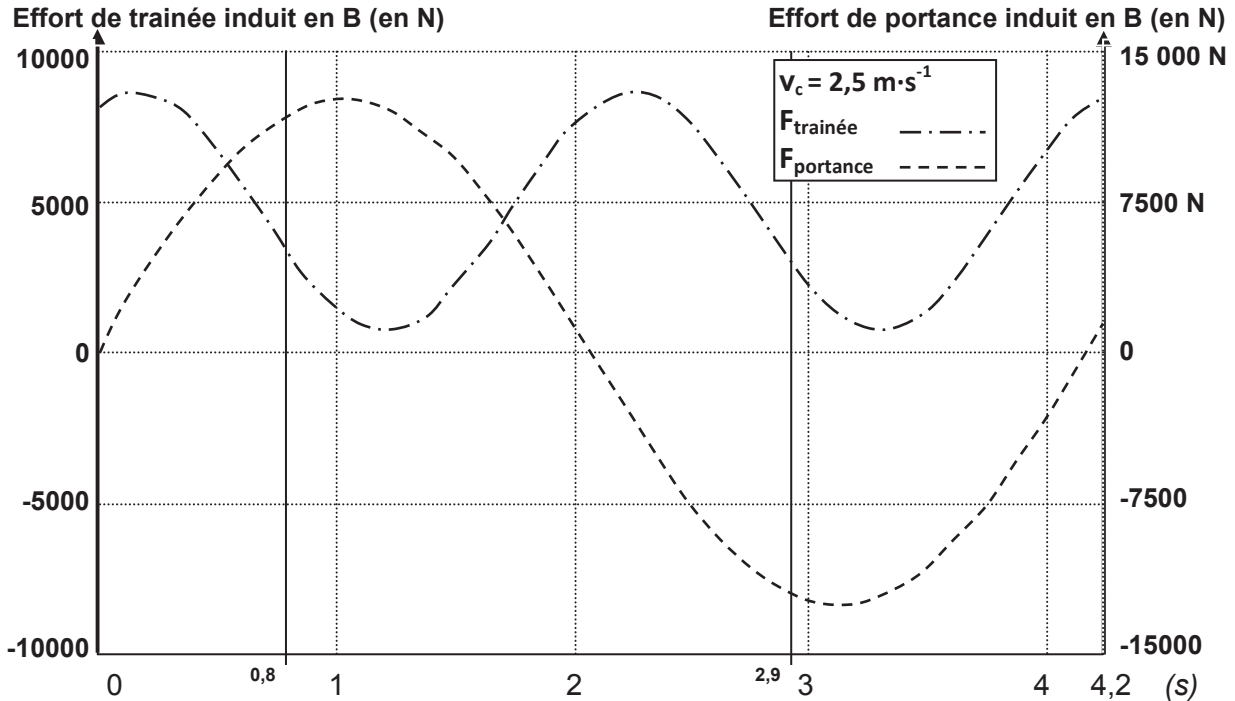
Référence Rolls	S120	S200	S290	S480	S550	S605	S770	S963	S1156	S1253
Capacité A·h	90	150	220	375	428	474	546	683	820	893

## DT15 – Émissions directes en CO<sub>2</sub> des combustibles

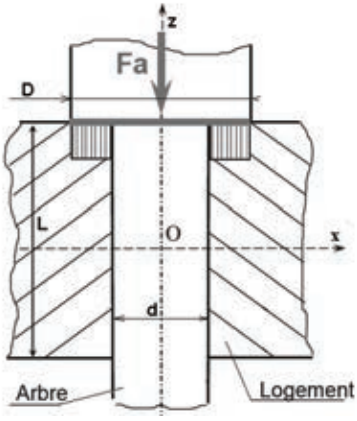
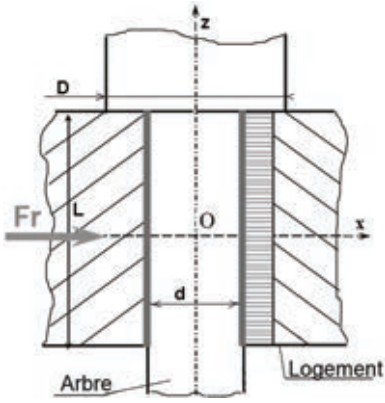
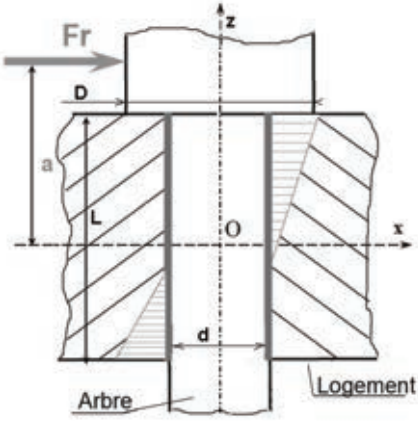
Combustible	Émission directe gCO <sub>2eq</sub> ·kW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>
Charbon	345
Fioul	283
Essence	253
GPL	233
Gaz naturel	204
Bois énergie	18,8

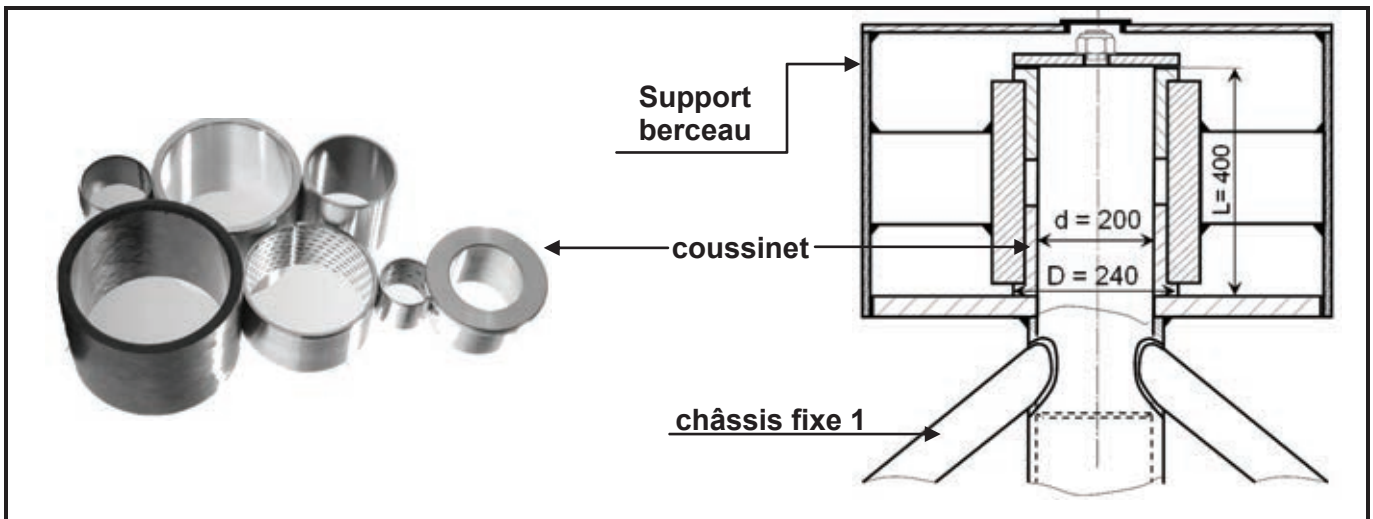
## DT16 - Effort de trainée et de portance, tension dans les câbles.

Les efforts de portance ont une période double des efforts de trainée. Les efforts de trainée sont importants lorsqu'une grande surface frontale s'oppose à l'écoulement (la membrane est très inclinée) c'est à dire pour une courbure maximale proche de l'amont de la membrane. Les efforts de portance sont nuls lorsque l'arrière de la membrane s'inverse et maximums au milieu des phases de montée et de descente de la partie arrière de la membrane. Les extremums de portance et de trainée sont légèrement déphasés. Ce déphasage évolue avec la vitesse du courant.



## DT17 - Pression de contact dans une liaison pivot.

 <p>Arbre Logement</p>	 <p>Arbre Logement</p> <p>porte à faux <math>a = 0</math></p>	 <p>Arbre Logement</p> <p>porte à faux <math>a = 1,35 m</math></p>
<p>L'effort axial <math>F_a</math> est transmis par l'appui plan. La répartition de pression <math>p</math> est uniforme</p> $p_a = 4 \cdot \frac{F_a}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}$	<p>La pression de contact est constante le long d'une génératrice et constante sur une demi-circonférence</p> $p_r = \frac{F_r}{L \cdot d}$	<p>La pression de contact est linéaire le long d'une génératrice et constante sur une demi-circonférence</p> $p_{r,maxi} = \frac{F_r}{L \cdot d} \cdot \left(1 + 6 \cdot \frac{a}{L}\right)$



### Performances des coussinets interposés dans une liaison pivot

type	Coefficient de frottement en immersion	Vitesse admissible ( $m \cdot s^{-1}$ )	Température de fonctionnement ( $^{\circ}C$ )	Pression admissible (MPa)	Produit PV admissible ( $MPa \cdot m \cdot s^{-1}$ )
PTFE	0,05	3	-200 à 280	20	0,9
Graphite	0,06	13	400	4	0,5
Bronze-plomb	0,2	7	-40 à 150	20	1,8
Acétal	0,2	3	-50 à 100	7	0,1
Nylon	0,5	7	-80 à 120	7	0,2

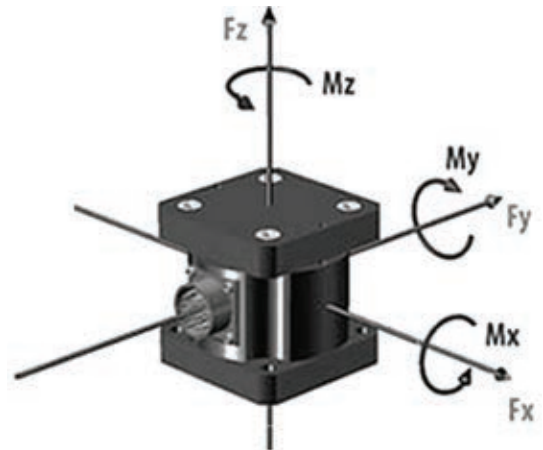


## DT18 – LES BALANCES D'EFFORTS

Les balances d'efforts sont conçues pour fournir des données détaillées concernant les forces et les moments appliqués à leurs surfaces de travail.

Les charges appliquées à une balance d'efforts sont quantifiées en six composantes. Le diagramme ci-contre montre les trois efforts et les trois moments qui sont mesurés lorsqu'ils sont directement ou indirectement appliqués (via un objet attaché) à la surface supérieure d'une balance.

Les composantes de l'effort sont  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$ . Les efforts sont nommés en fonction des axes d'un système de coordonnées conventionnel en  $x$ ,  $y$  et  $z$ .



Chaque composante est donc considérée comme positive ou négative le long des axes  $x$ ,  $y$  et  $z$ . Dans le diagramme, la flèche indique la direction positive ou force de compression le long de chacun des axes.  $F_x$  et  $F_y$  sont les composantes horizontales ou en cisaillement.  $F_z$  est la composante verticale de la force.

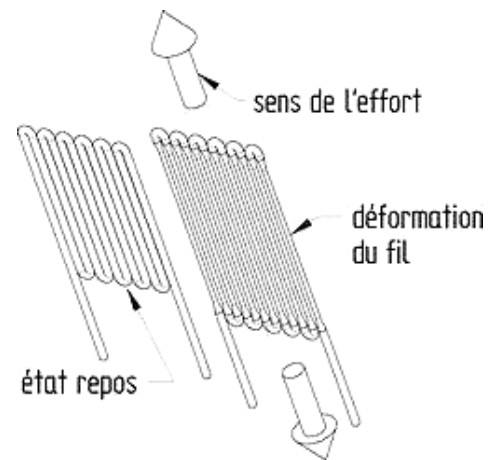
$M_x$ ,  $M_y$  et  $M_z$  sont les trois composantes du moment suivant respectivement les axes  $x$ ,  $y$  et  $z$ .

Ces six composantes peuvent servir à examiner les forces complexes qui sont appliquées à la balance.

### JAUGE DE CONTRAINTE

La plupart des balances d'efforts sont équipées de jauges extensiométriques (aussi appelées jauges de contraintes) qui offrent les mesures d'efforts les plus justes et les plus flexibles.

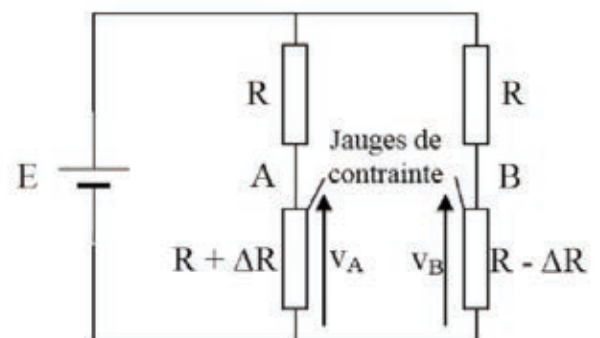
Sous sa forme la plus simple, une jauge extensiométrique est constituée d'un très fin fil conducteur collé sur un support. Cette feuille très mince est arrangée suivant la forme de la figure ci-contre. Les brins de fil constituant la jauge étant principalement alignés suivant la direction de mesure, on peut admettre que le fil subit les mêmes déformations que la surface sur laquelle la jauge est collée. Une variation de la longueur du fil, liée à la déformation du support, entraîne donc une variation de sa résistance ohmique.



La mesure d'effort s'effectue à l'aide d'un pont de Wheatstone, illustré par le schéma électrique ci-contre. Ce montage permet en effet d'obtenir une tension proportionnelle à l'effort appliqué sur le corps d'épreuve auquel la jauge est associée.

Dans les documentations techniques, on exprime la sensibilité du pont de jauge en  $\text{mV} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{N}^{-1}$  (millivolt par volt de tension d'excitation du pont, par Newton).

Par exemple, une jauge ayant une sensibilité annoncée de  $0,2 \text{ mV} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{N}^{-1}$  aura en fait une sensibilité de  $1 \text{ mV} \cdot \text{N}^{-1}$  si la tension d'excitation du pont est de  $5 \text{ V}$  et de  $2 \text{ mV} \cdot \text{N}^{-1}$  si la tension d'excitation du pont est de  $10 \text{ V}$ .





## DT19 – LES BALANCES D'EFFORTS

### Plateforme de force 6 axes MM1A



- Etendues de mesure :
  - Fz : 1800 à 5400 daN
  - Fx et Fy : 900 à 2700 daN
  - Mz : 4,5 à 13,5 kN.m
  - Mx et My : 18 à 54 kN.m
- Température d'utilisation : de 0°C à 52°C
- Protection : IP67
- Masse: 22,7 kg

### Caractéristiques et dimensions

Caractéristiques / Modèle	18AL	36AL	54AL
Etendue de mesure Fz (daN)	1800	3600	5400
Etendue de mesure Fx, Fy (daN)	900	1800	2700
Etendue de mesure Mz (kN.m)	4,5	9	13,5
Etendue de mesure Mx, My (kN.m)	18	36	54
Sensibilité Fz ( $\mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{N}^{-1}$ )	0,04	0,02	0,01
Sensibilité Fx, Fy ( $\mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{N}^{-1}$ )	0,17	0,08	0,03
Sensibilité Mz ( $\mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot(\text{N}\cdot\text{m})^{-1}$ )	0,43	0,21	0,14
Sensibilité Mx, My ( $\mu\text{V}\cdot\text{V}^{-1}\cdot(\text{N}\cdot\text{m})^{-1}$ )	0,09	0,04	0,03

## DT20 – CONDITIONNEUR DE SIGNAL

Gen 5 : Conditionneur de signal à six canaux perfectionné

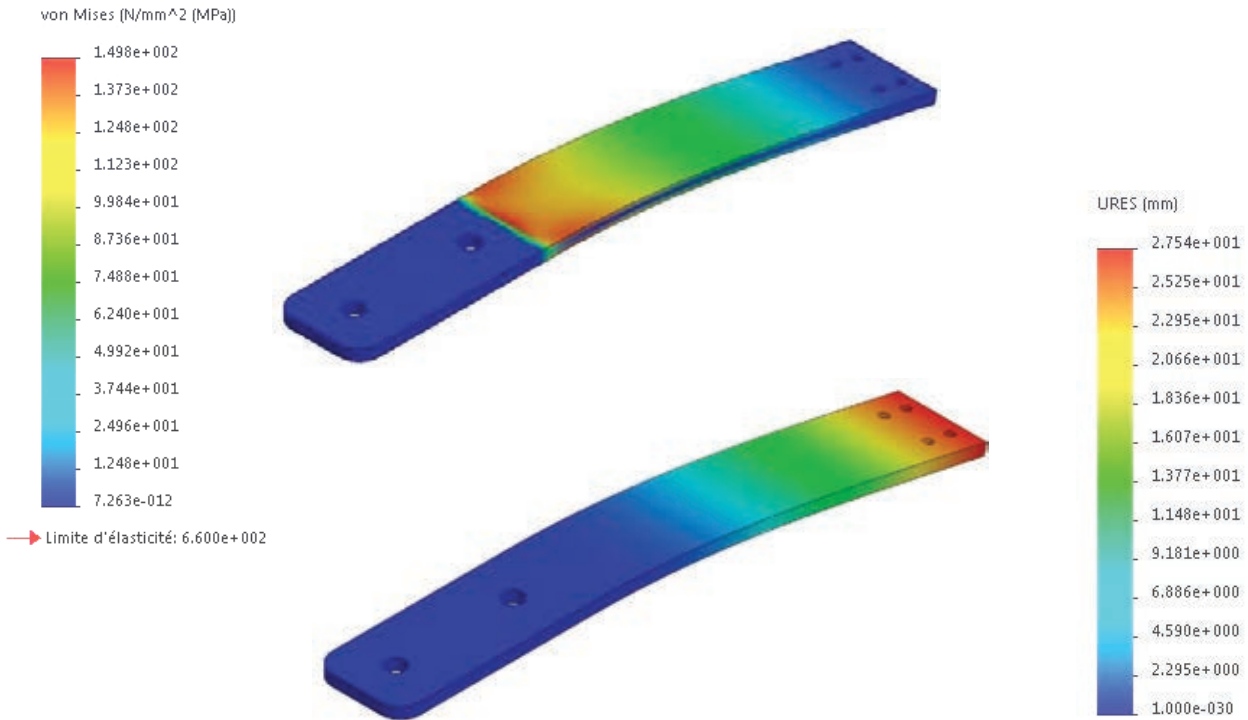
### Gen 5 specifications

Entrées analogiques	6 entrées à pont pour jauges de contrainte (350 Ohm minimum)
Excitation du pont	Indépendante du canal, configurable par logiciel : 5 ou 10 V (CC)
Coefficient d'amplification	Indépendant du canal, configurable par logiciel : 500, 1000, 2000 ou 4000
Mise à zéro (avec possibilité d'offset)	Appui sur le bouton ou par logiciel
Filtre anti-aliasing	Passe-bas 1000 Hz, Butterworth (ordre 2)
Plage de sortie analogique	+/- 5 V
Filtre de reconstruction de la sortie analogique	Passe-bas 1000 Hz, Butterworth (ordre 3)
Sortie analogique CNA	16 bits
Fréquence d'échantillonnage	Max : 2000 Hz par canal Min : 10 Hz par canal
Synchronisation	Genlock, déclencheur externe, horloge interne
Processeur de signal numérique	16 bits
Données numériques	IEEE 754 virgule flottante, 32 bit





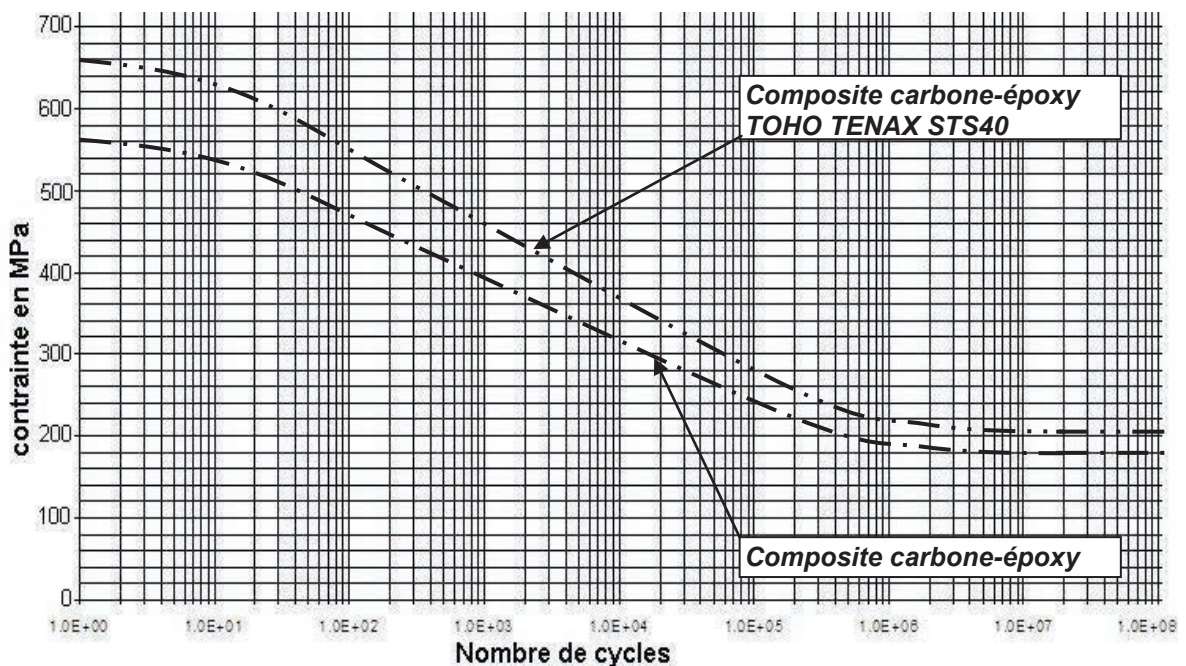
## DT22 – Contraintes, déformations et limite d'endurance dans un bras de liaison



Matériaux	Masse volumique ( kg·m <sup>-3</sup> )	Module de Young E (Gpa)	Rupture ≈ Re
Fibre carbone unidirectionnel*	1 770	Traction 240-250	4 000
Composite CFRP carbone époxy**	1 600	Traction 120 Flexion 130	660

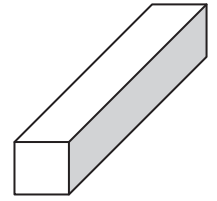
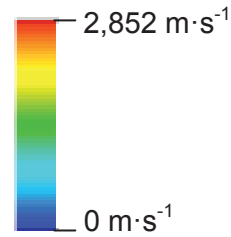
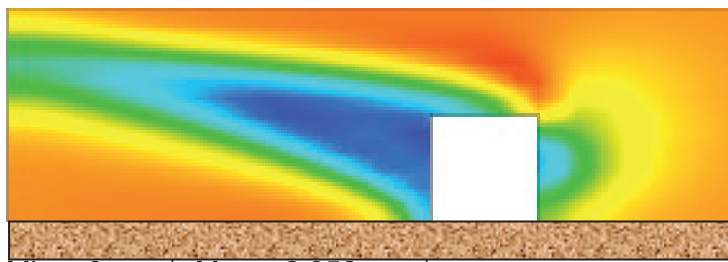
\*fibre unidirectionnel **TOHO TENAX** STS40 F13 24k 1600tex ;  
 \*\* mesuré sur éprouvettes après vieillissement accéléré en eau salée.

Courbes d'endurance  $\sigma$ -Nc (contrainte-nombre de cycles)



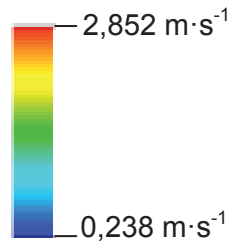
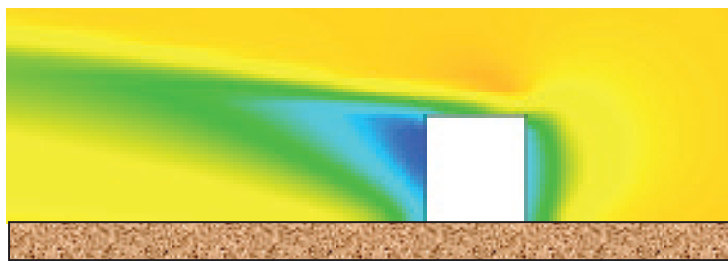
## DT23 – Simulation d'écoulement sur les fondations

Perturbations de la vitesse de l'écoulement autour de la fondation parallélépipédique  
Vitesse ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )



Min =  $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  Max =  $2,852 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Perturbations de la vitesse de l'écoulement autour de la fondation Cylindrique  
Vitesse ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )



Min =  $0,238 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  Max =  $2,852 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

## DT24 – Hydrolienne et nomenclature

Nomenclature

Rep	Désignation
1	Patin
2	Tubulure principale de l'embase
3	Bracon
4	Fût du châssis
5	Pivot



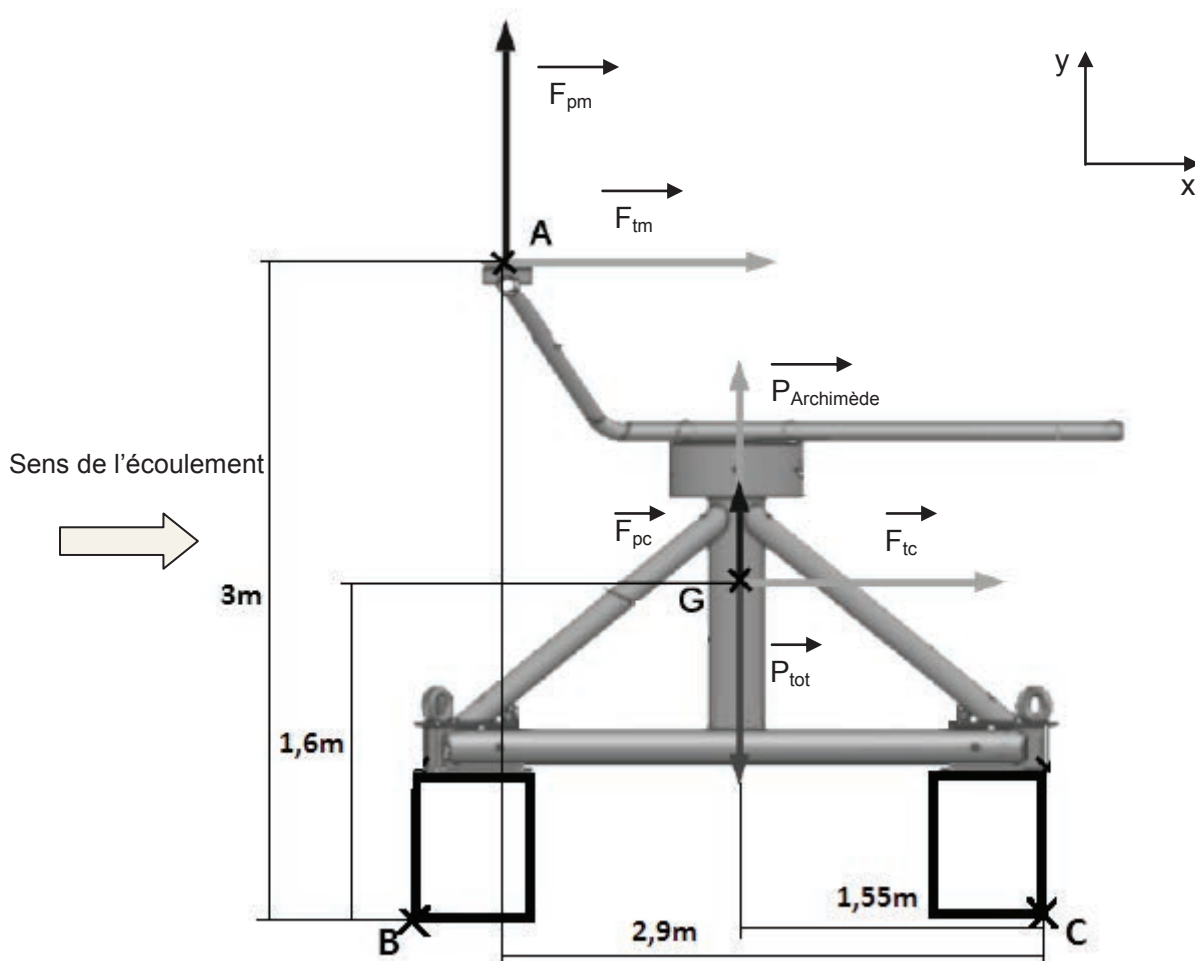
Informations complémentaires :

$\rho_{\text{eau de mer}} = 1\,025 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Volume de l'hydrolienne =  $0,5 \text{ m}^3$

Gravité :  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Sol sable : angle de frottement interne  $\varphi = 35^\circ$



**Valeurs maximales :**

Force de portance membrane  $F_{pm} = 7\,910\text{ N}$

Force de portance du châssis  $F_{pc} = 3\,255\text{ N}$

Poussée d'Archimède  $P_{Archimède}$ .

Poids de l'hydrolienne  $P_c + P_m = P_{tot}$

Force de trainée de la membrane  $F_{tm}$

Force de trainée du châssis  $F_{tc}$

Force de trainée totale  $F_t = F_{tc} + F_{tm}$



## DT26 – Données géotechniques

Formule de la contrainte ultime :

$$q_u = 0.5 \cdot S_\gamma \cdot \gamma'_2 \cdot B \cdot N_\gamma + S_q \cdot q_0 \cdot N_q + S_c \cdot c \cdot N_c$$

où

$\gamma'_2$  : poids volumique du sol déjaugé,  $\gamma'_2 = \gamma_{\text{sable}} - \gamma_{\text{eau}}$

B : largeur de la fondation ou diamètre

$q_0$  : charge en cas de recouvrement de la fondation ici l'eau,  $q_0 = \gamma_0 \cdot D$

c : cohésion du sol

$N_\gamma$ ,  $N_q$ ,  $N_c$  : coefficients dépendant de l'angle de frottement

$S_\gamma$ ,  $S_q$ ,  $S_c$  : coefficients dépendant de la forme de la fondation

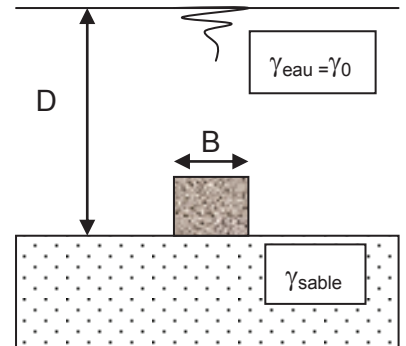


Tableau de portance en fonction de l'angle de frottement  $\varphi$  selon de DTU 13.12 :

$\varphi(^{\circ})$	$N_\gamma$	$N_q$	$N_c$	$\varphi(^{\circ})$	$N_\gamma$	$N_q$	$N_c$
0	0	1	5,14	25	8,1	10,7	20,7
5	0,1	1,6	6,5	30	18,1	18,4	30,0
10	0,5	2,5	8,40	35	41,1	33,3	46,0
15	1,4	4,0	11,00	40	100	64,2	75,3
20	3,5	6,4	14,80	45	254	135	134

Coefficients correcteurs définis par les règles du DTU 13.12

$$S_\gamma = 1 - 0,2 \frac{B}{L} \quad S_q = 1 \quad S_c = 1 + 0,2 \frac{B}{L}$$

Si la fondation est cylindrique B = L.

Données :

D = 25 m

$\gamma_{\text{sable}} = 19\,000 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$

$\gamma_{\text{eau}} = \gamma_0 = 10\,250 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$



**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**



## DR1 – Document réponse 1

Question 1.1

Lieu géographique	Bouée Ophélie	Bouée Bassure de Baas
Profondeur des fonds marins		

## DR2 – Document réponse 2

Question 1.1

Lieu géographique	Bouée Ophélie	Bouée Bassure de Baas
Plage de vitesse moyenne du courant marin	Entre ..... et .....	Entre ..... et .....

## DR3 – Document réponse 3

Question 1.2

	Bouée Ophélie	Ferme proximité Ophélie	Bouée Bassure de Baas	Ferme proximité Bassure de Baas
Latitude en degré minute	Nord 50° 43,8652'	Nord 50° 43,8652'	Nord 50° 48,5413'	Nord 50° 49,4432'
Latitude en degré			Nord 50,80902°	Nord 50,82405°
Longitude en degré minute	Est 1° 30,8535'	Est 1° 33,8838'	Est 1° 32,9855'	Est 1° 35,8426'
Longitude en degré			Est 1,54976°	Est 1,59738°

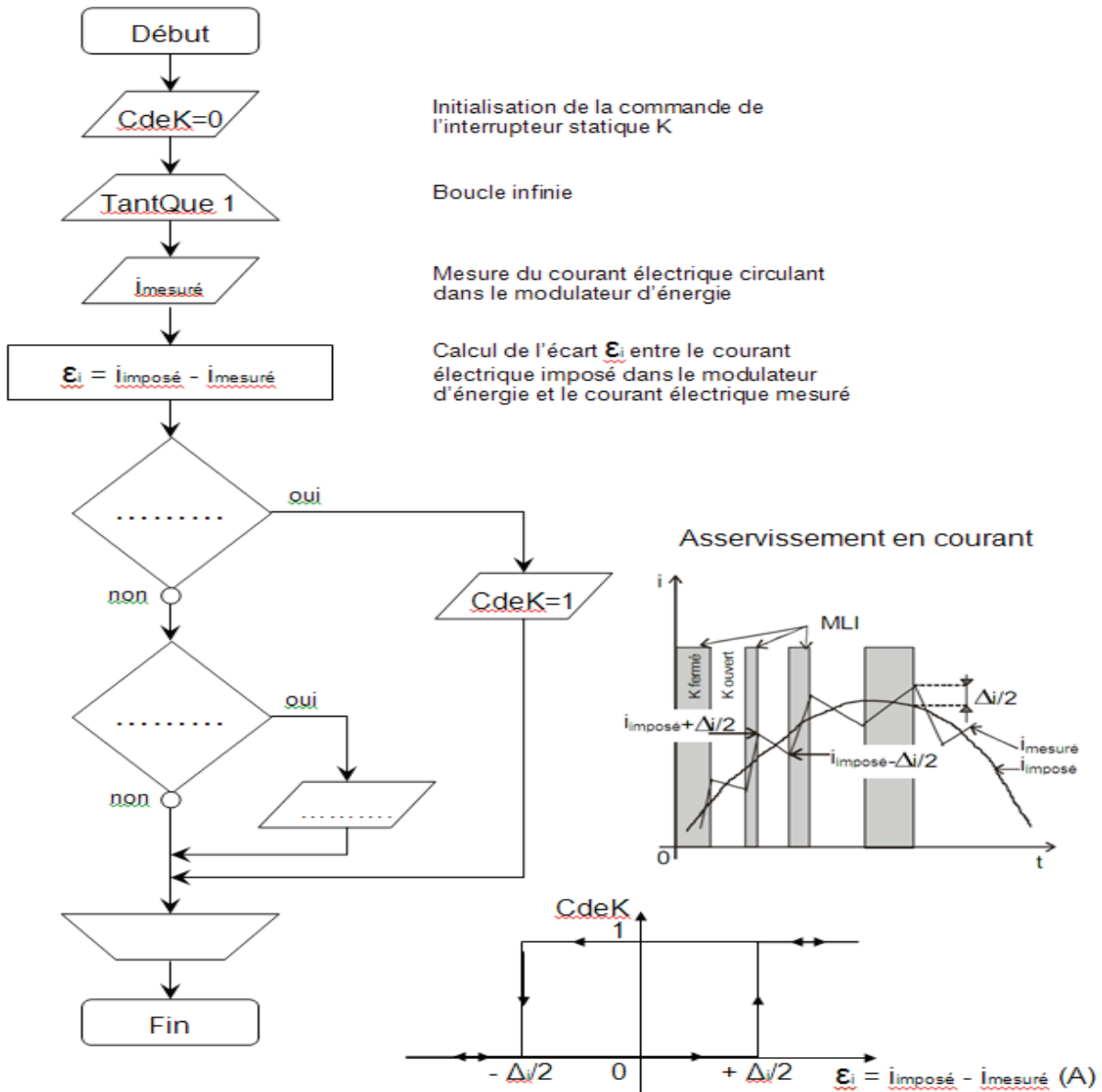
## DR4 – Document réponse 4

Question 1.3

$V \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$	0,6	1,5	2,5
$P_{cs} \text{ (W}\cdot\text{m}^{-2}\text{)}$			

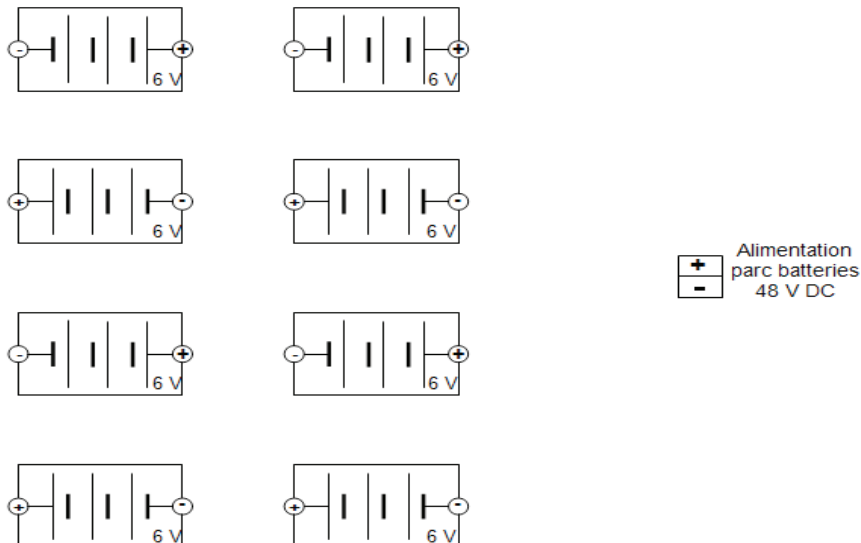
# DR5 – Document réponse 5

Question 1.12



# DR6 – Document réponse 6


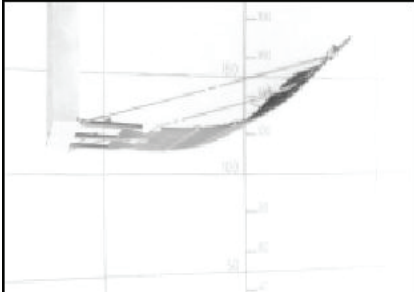


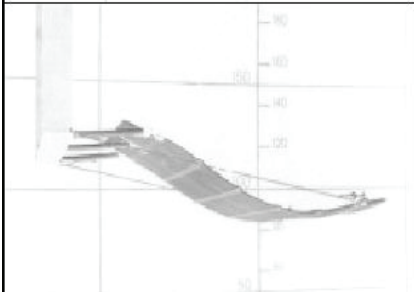


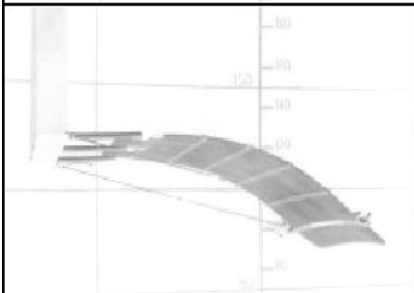


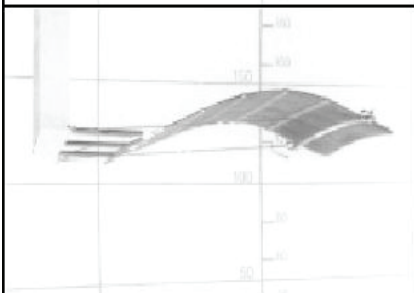


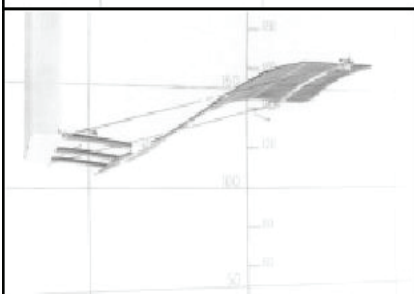

Question 1.18





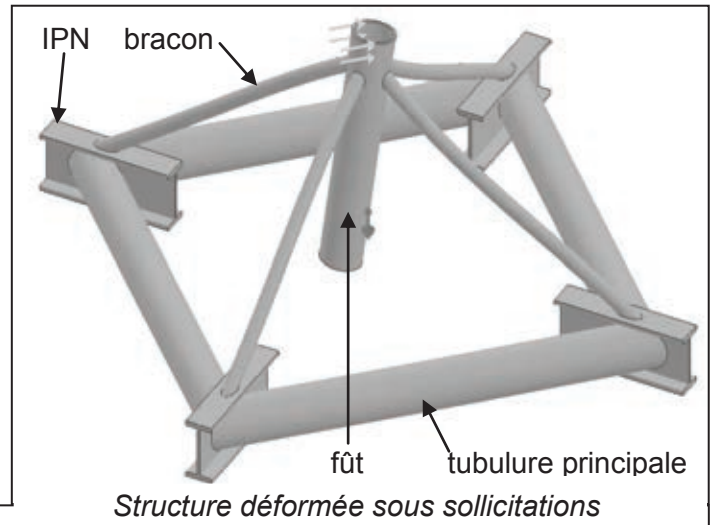
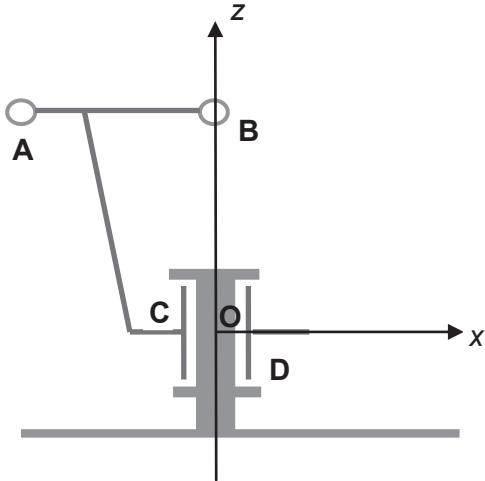
**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

Question 2.2

situation		Déformée de la membrane sur une période pour différents modèles.		
instant en (s)		Modèle analytique	Modèle expérimental	Modèle numérique
1	.....			
2	0,5 s			
3	1,5 s			
4	2 s			
		Tension dans les câbles avec $T_z \approx 0$		
5	.....			

## DR8 – Document réponse 8

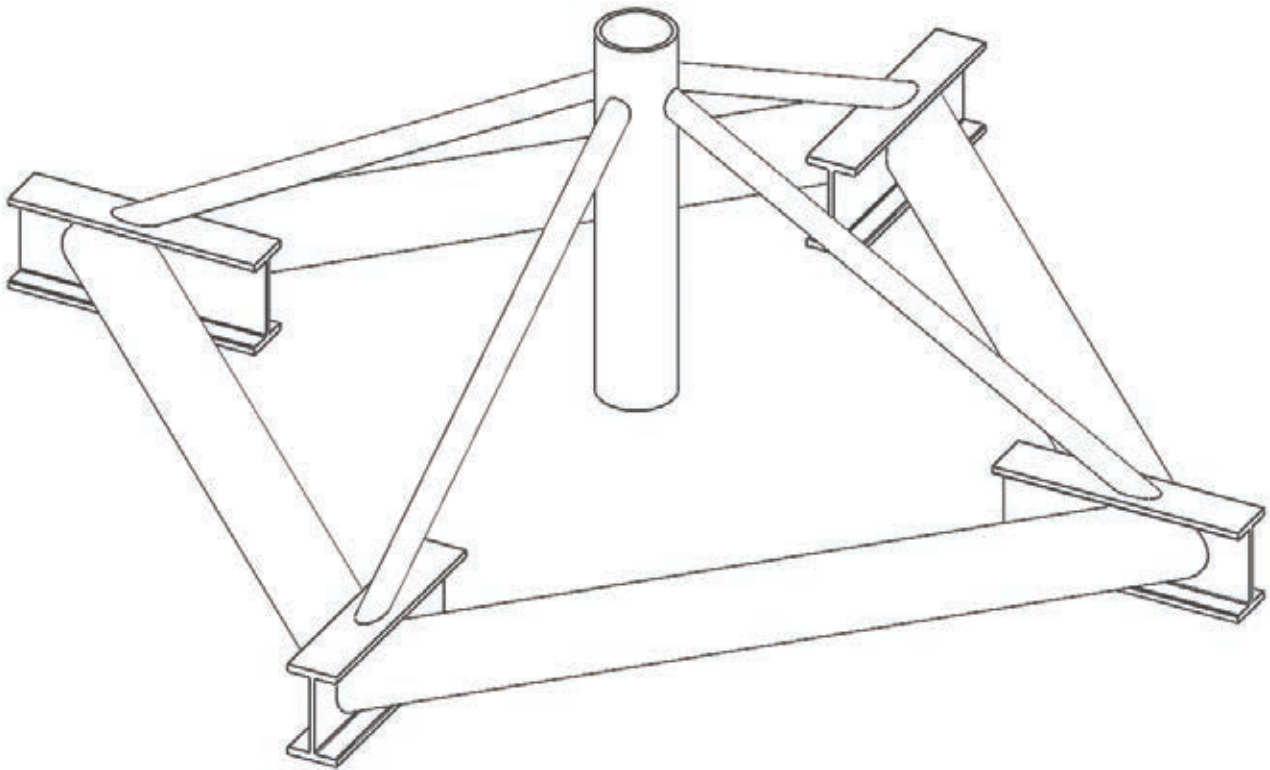
Question 2.3 et question 2.4



Question 2.15

Question 2.16

Structure à modifier :



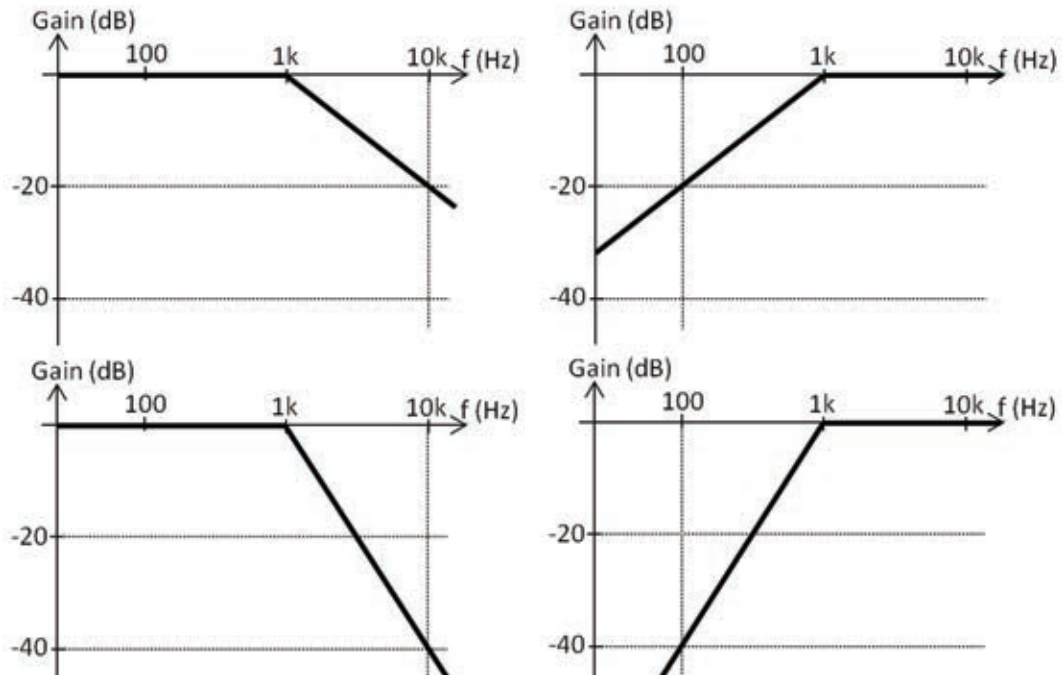




**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

## DR9 – Document réponse 9

Question 2.10



## DR10 – Document réponse 10

Question 3.1 et 3.2

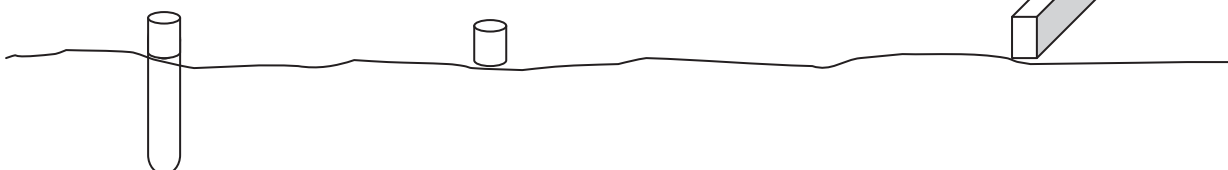
Utiliser un signe « + » ou un signe « - » pour apprécier la pertinence de chaque solution.

Exigences Retenues / Types de fondations			Minimiser le coût tout au long de la vie de l'hydrolienne	Limiter les perturbations du courant à proximité de la membrane
Fondations profondes par pieux ancrés dans le sol marin			-	
Fondations gravitaires par plots cylindriques			+	
Fondations gravitaires par poutres			+	

Pieu ancré

Fondation gravitaire cylindrique

Fondation gravitaire poutre



## DR11 – Document réponse 11

Question 3.3 : On attend des résultats arrondis au Newton.

Tableau de descente de charges du châssis					
Rep.	Désignation	Dimensions	Nb	Charge unitaire	Charge totale par repère (N)
5	Pivot		1		2 350
4	Fût du châssis	Longueur = 1,20 m $\varnothing_{\text{int}} = 0,26 \text{ m}$ $\varnothing_{\text{ext}} = 0,30 \text{ m}$	1	$\rho_{\text{inox}} = 8\,160 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	
3	Bracons	Longueur = 1,87 m		Poids linéaire = $300 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$	
2	Tubulures principales du châssis	Longueur = 3,62 m		Poids linéaire = $1\,220 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$	
1	Patins	IPN 200 longueur 0,50 m Section du profilé : $0,00334 \text{ m}^2$ $\rho_{\text{inox}} = 8\,160 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$		Poids linéaire = ( $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ) .....	
0	Massifs cylindriques en béton	Diamètre du massif = 0,40m Hauteur = 0,50 m		$\gamma_{\text{béton}} =$ $24 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$	
Poids du châssis $P_c =$					
6	Bras du berceau		1		9 500
7	Membrane, câble et système de conversion		1		5 500
Poids du berceau et de la membrane équipée $P_m =$					
Poids total de l'hydrolienne $P_{\text{tot}} =$					
On ne prendra en compte ni la boulonnerie, ni les anneaux de préhension.					

## DR12 – Document réponse 12

Question 3.8

Désignation de la force	Point d'application	Intensité (N)	Bras de levier (m)	Moment (N·m)
Poids de l'hydrolienne à membrane $P_{\text{tot}}$				
Force de trainée sur la membrane $F_{\text{tm}}$		6 035		
Force de portance sur la membrane $F_{\text{pm}}$		7 910		
Force de trainée sur le châssis $F_{\text{tc}}$		8 123		
Force de portance sur le châssis $F_{\text{pc}}$				
Poussée d'Archimède $P_{\text{Archimède}}$				