Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + SI, veuillez visiter :
bac-maths-si.fr/annales-sujets-et-corriges

# BACCALAURÉAT Général

## Enseignement de spécialité

## Sciences de l'Ingénieur

# Eléments de correction

## PARTIE1-SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

**HYDROLIENNE**

**BARÈME**

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sous-partie 1** | **Q1** | **Q2** | **Q3** | **Q4** | **Q5** | **Q6** | **Q7** | **Q8** | **Q9** | **Q10** | **Q11** | **Total** |
| | **1** | **1** | **2** | **1** | **1** | **2** | **1** | **1** | **2** | **1** | **1** | **14** |
| **Sous-partie 2** | **Q12** | **Q13** | **Q14** | **Q15** | **Q16** | | | | | | | **Total** |
| | **1** | **1** | **1** | **1,5** | **1,5** | | | | | | | **6** |
| **Sous-partie 3** | **Q17** | **Q18** | **Q19** | **Q20** | **Q21** | | | | | | | **Total** |
| | **1** | **1** | **1,5** | **1** | **1,5** | | | | | | | **6** |

# Partie 1 : Sciences de l’ingénieur

## Mise en situation

Jusqu’au début des années 1990, l’énergie électrique était essentiellement produite à partir d’énergies primaires fossiles (pétrole, gaz, charbon) ou nucléaire. L’inconvénient majeur de ces énergies est qu’elles dégagent des particules dans l’atmosphère (contribuant ainsi au dérèglement climatique) ou posent des problèmes de stockage de déchets (pour le nucléaire). L’alternative à l’utilisation des énergies fossiles et nucléaires est celle des énergies renouvelables ou énergies vertes.

Des accords internationaux ont été ratifiés afin de lutter contre les changements climatiques. Ces différents accords imposent, pour les années 2030, aux pays signataires, dont la France, de réduire de 20 % les émissions polluantes et d’augmenter de 30 % la part d’utilisation d’énergies renouvelables.

La problématique de ce sujet est comment mettre en œuvre des hydroliennes fluviales dans l’estuaire de la Gironde, en association l’énergie solaire.

Les exigences liées à cette problématique sont décrites dans le diagramme de la figure 1.

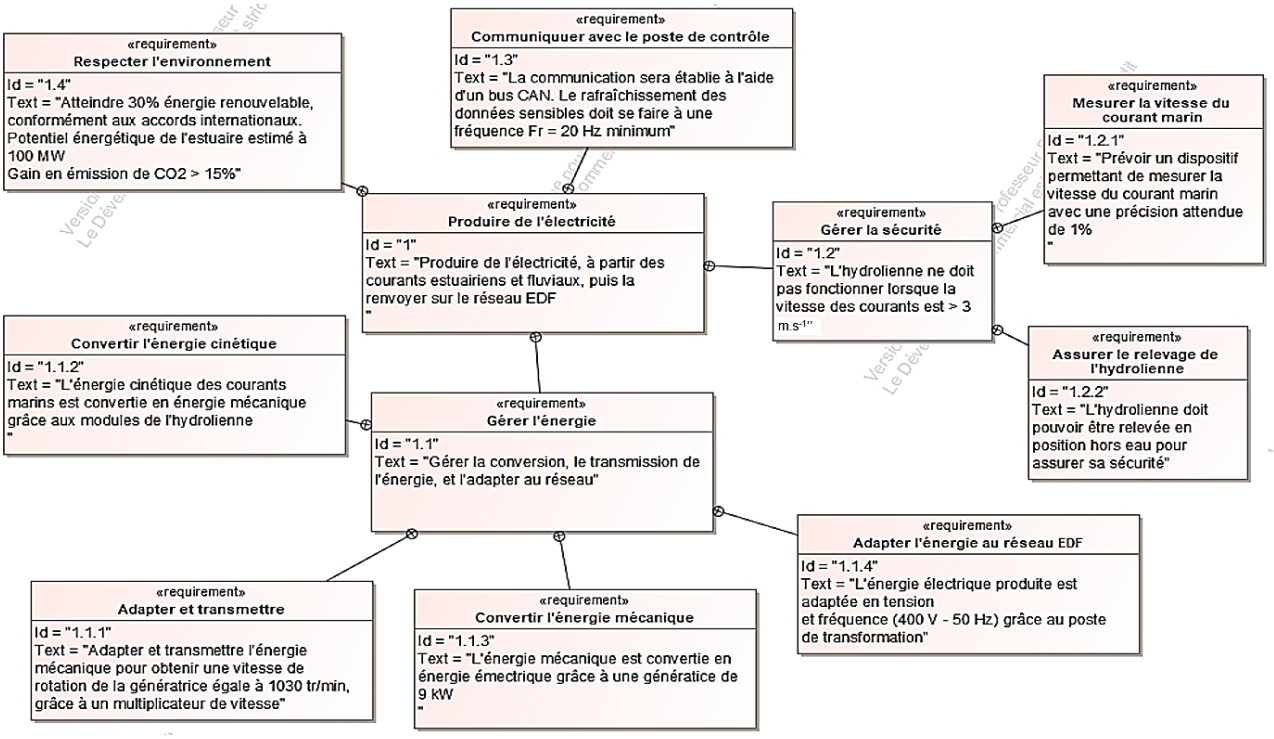



figure 1 - Diagramme partiel des exigences

# Sous-partie 1 – obligatoire

## Production énergétique

L'objectif est de déterminer si l'intégration des hydroliennes associées à l'énergie solaire est une alternative avantageuse par rapport à l'énergie tout nucléaire.

La ville de Bordeaux a un besoin énergétique de 1,5 TWh(1) par an (données RTE 2019). Pour respecter les préconisations environnementales, les élus ont opté pour un mix photovoltaïque-hydrolien (à raison de 20 % de photovoltaïque et 10 % d'hydrolien), et le reste à partir d'énergie nucléaire.

***Question 1*** *Les hydroliennes fonctionnent 24h/24 pendant 310 jours par an (pour tenir compte des jours de maintenance et des jours de forte/faible marée).*

***Calculer*** *l'énergie nécessaire fournie par les hydroliennes pour le respect du ratio attendu. En* ***déduire*** *la puissance moyenne électrique correspondante.*

**Ehyd = 10% . 1,5TWh = 150GWh/an**

**Phyd = $1{,}5.10^{11}$ / 24*310 = 20,16 MW**

***Question 2*** ***Calculer*** *également l'énergie que doivent produire en 1 an les panneaux photovoltaïques pour le respect du ratio attendu.*

*Sachant qu'un panneau photovoltaïque installé à Bordeaux fournit en moyenne sur l'année 229 kWh par an et par $m^2$,* ***calculer*** *la surface de panneaux nécessaires.*

**EPV = 20% · 1,5 · $10^{12}$ = 300 GWh par an**

**SPV = 300 · $10^6$/229 = 1,31 · $10^6$ $m^2$ = 1,31 $km^2$**

Le tableau 1 (source Ademe) donne les valeurs d'impact environnemental du cycle de vie de différents producteurs d'énergie électrique.

| **Producteurs d'énergie** | **Emissions GES (en g eq $CO_2$ par kWh)** |
|---|---|
| Charbon | 1050 |
| Fuel | 664 |
| Gaz | 443 |
| Nucléaire | 66 |
| Panneaux photovoltaïques | 32 |
| Hydrolien | 14 |
| Eolien | 9 |

tableau 1 - Impact environnemental

(1) TWh = $10^{12}$ Wh

Deux cas de production énergétique sont envisagés :

- cas 1 - mix énergétique (20 % panneaux photovoltaïques + 10 % hydrolien) + 70 % nucléaire ;
- cas 2 – 100 % nucléaire.

| | |
|---|---|
| ***Question 3***<br>*Tableau 1* | ***Calculer** pour les deux cas, les émissions en tonnes eq $CO_2$ par an des énergies primaires utilisées.*<br><br>***Comparer** les deux cas et en **déduire** le gain (en %) d'émission de $CO_2$ .* |

Cas 1 - mix énergétique (20% panneaux photovoltaïques + 10% hydrolien) + 70% nucléaire

**Pour les panneaux : $M_{CO2} = 32*3.10^8 = 9,6.10^3$ tonnes eq CO2/an**

**Pour l'hydrolien : $M_{CO2} = 14*1,5.10^8 = 2,1.10^3$ tonnes eq CO2/an**

**Pour le nucléaire : $M_{CO2} = 66*0,7*1,5.\ 10^9 = 6,93.10^4$ tonnes eq CO2/an**

**$M_{TotalCO2} = 8,1.10^4$ tonnes eq CO2**

Cas 2 : 100% nucléaire

**$M_{CO2} = 66 \cdot 1,5 \cdot\ 10^9 = 9,9 \cdot 10^4$ tonnes eq CO2**

$$\mathbf{Gain} = \frac{9,9-8,1}{9,9} = 18,2\ \%$$

| | |
|---|---|
| ***Question 4***<br>*Figure 1* | ***Conclure** en quelques lignes sur le respect des exigences libellées Id1.4 du diagramme des exigences figure 1. En observant le potentiel énergétique de l'estuaire, **évaluer** le pourcentage d'hydrolien possible.* |

**L'exigence Id 1.5 nous indique un potentiel énergétique de 100 MW, ce qui correspond environ à 50% d'hydrolien.**

**On respecterait l'exigence de contrainte environnementale (30% d'énergie renouvelable) juste avec l'énergie hydrolienne.**

Le projet URABAILA (« Eau qui danse » en basque) proposé par la société BERTIN, basée à Tarnos (33) permet de répondre à cette problématique. Ce projet prévoit d'installer des hydroliennes fluviales à flux transverse dans l'estuaire de la Gironde.

Le diagramme de contexte figure 2 donne une vue de l'ensemble des inter-acteurs autour de ce projet. Le diagramme des cas d'utilisation figure 3 présente quant à lui les fonctions principales de l'hydrolienne lors de sa mise en œuvre dans l'estuaire.

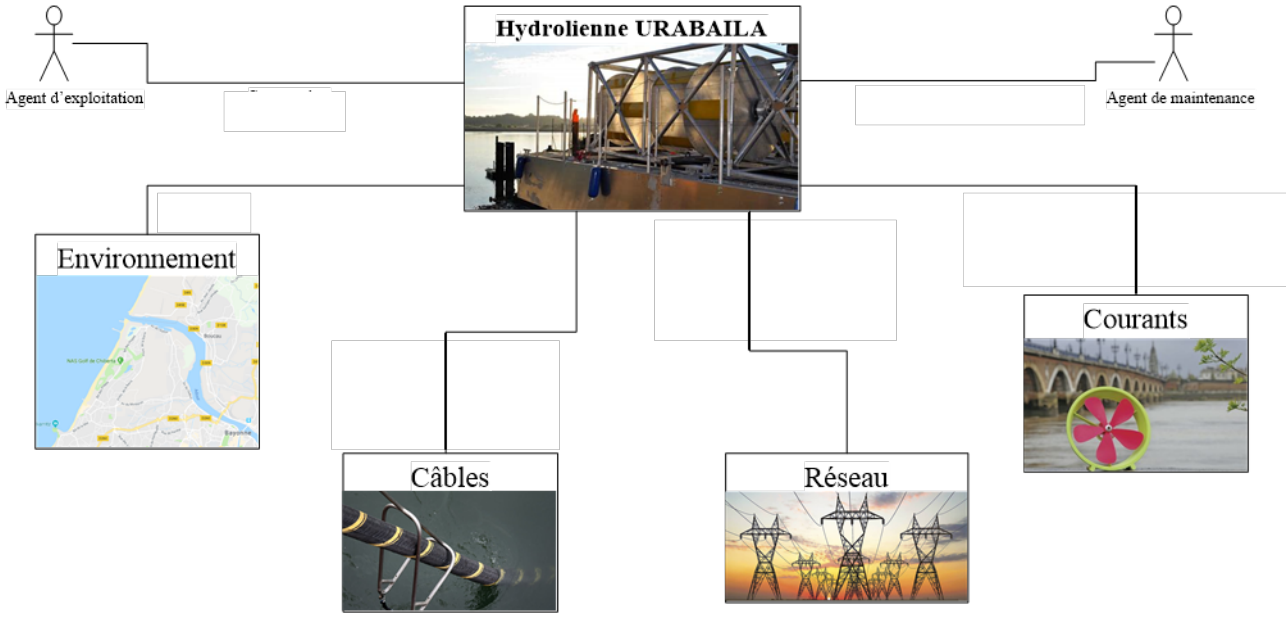



figure 2 - Diagramme de contexte

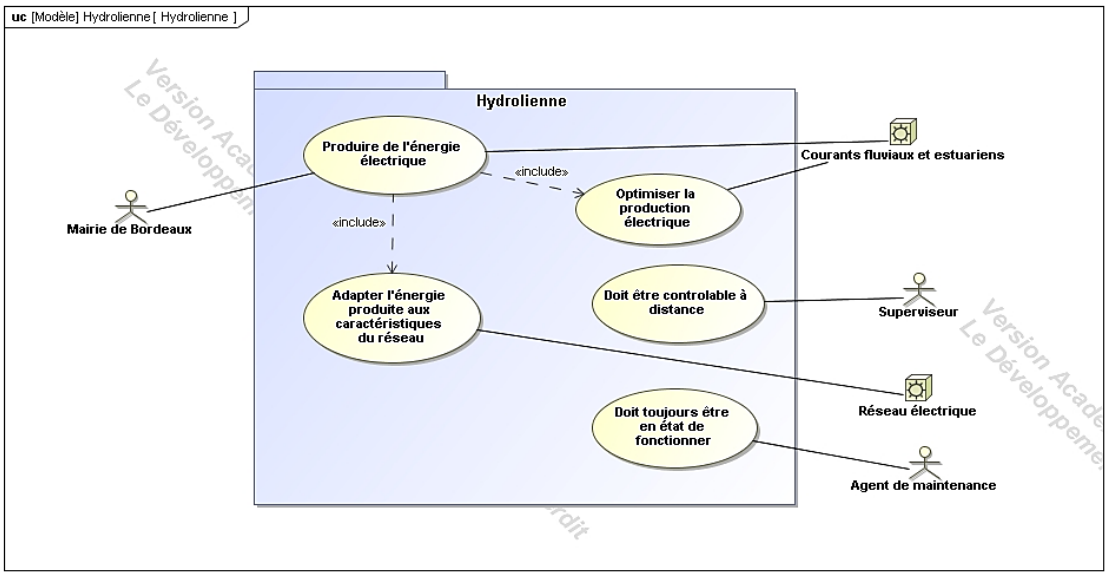



figure 3 - Diagramme des cas d'utilisation

Une hydrolienne fonctionne sur le même principe qu'une éolienne, c'est-à-dire qu'elle convertit l'énergie cinétique d'un fluide en énergie électrique. La composition d'une hydrolienne est décrite sur la figure 4.

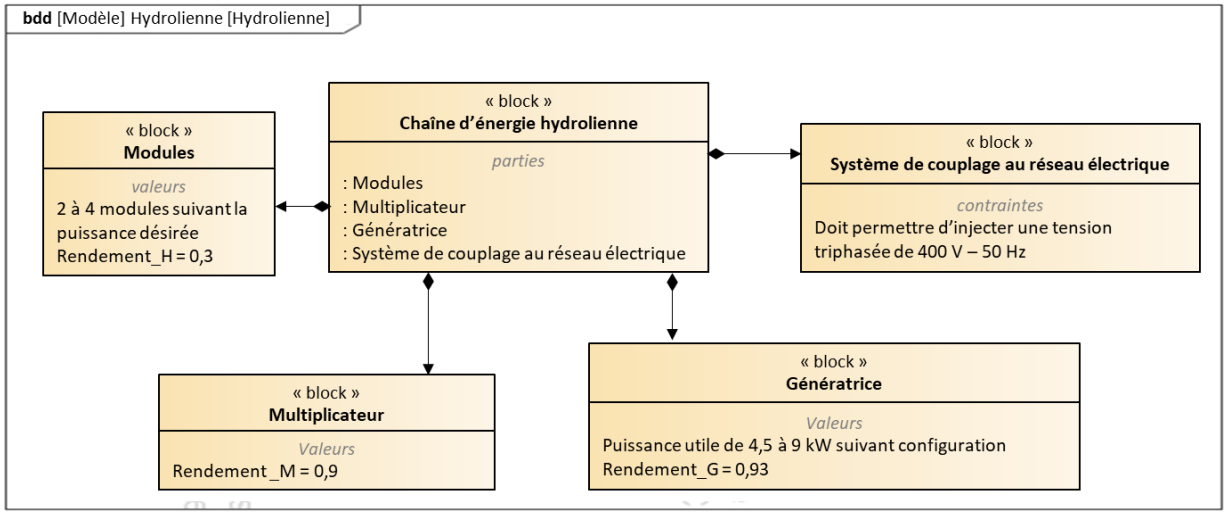
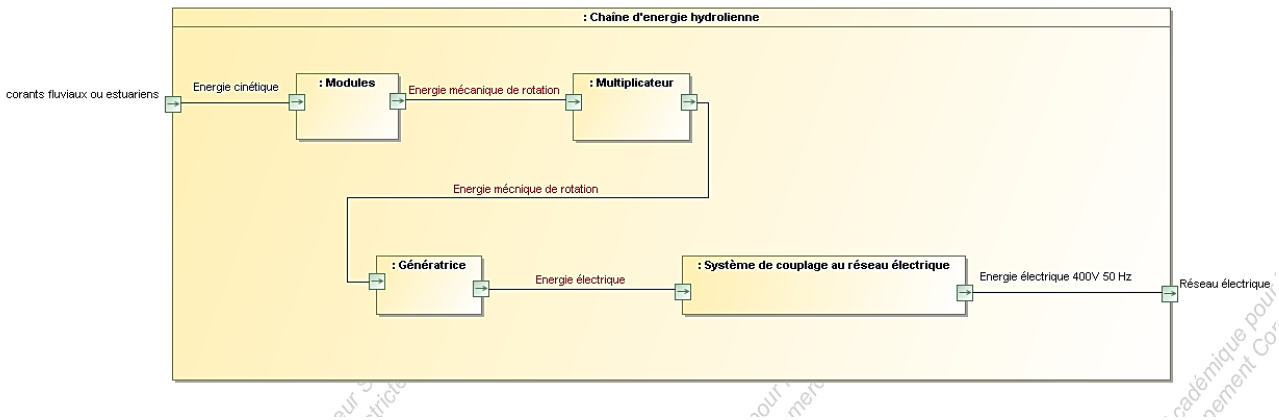



figure 4 - Diagramme de définition de blocs

***Question 5*** *DR1* ***Compléter*** *le document réponse DR1, en renseignant les énergies manquantes du diagramme de bloc interne.*




L'hydrolienne est constituée d'un assemblage de 2 ou 4 modules, suivant les configurations utilisées (figure 5).

Un module est quant à lui constitué d'un disque de diamètre $\varnothing_M$ = 1,5 m sur lequel sont montées (tous les 90°) 4 pales de hauteur $H_P$ = 0,75 m (figure 5).

Les différentes configurations possibles sont données dans le tableau 2.

| Nombre hydrolienne | Nombre de modules hydrolienne | Profondeur mini (m) | V (m·s$^{-1}$) | Puissance installée |
|---|---|---|---|---|
| **2** | **4** | **5** | **> 1,4** | **2 x 9 kW** |
| 2 | 2 | 3,5 | > 1,4 | 2 x 4,5 kW |
| 1 | 4 | 5 | > 1,4 | 1 x 9 kW |
| 1 | 2 | 3,5 | > 1,4 | 1 x 4,5 kW |

tableau 2 - Configurations possibles

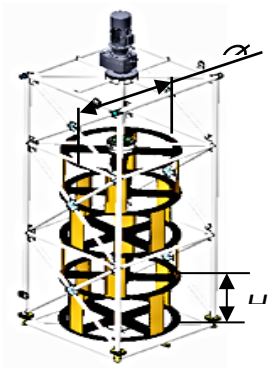


figure 5 - Hydrolienne à 4 modules

La configuration retenue pour l'étude est celle comportant 2 hydroliennes avec une puissance installée de 2 x 9 kW.

Ces deux hydroliennes sont montées sur une barge qui permet de les emmener sur le site d'exploitation (figure 6).

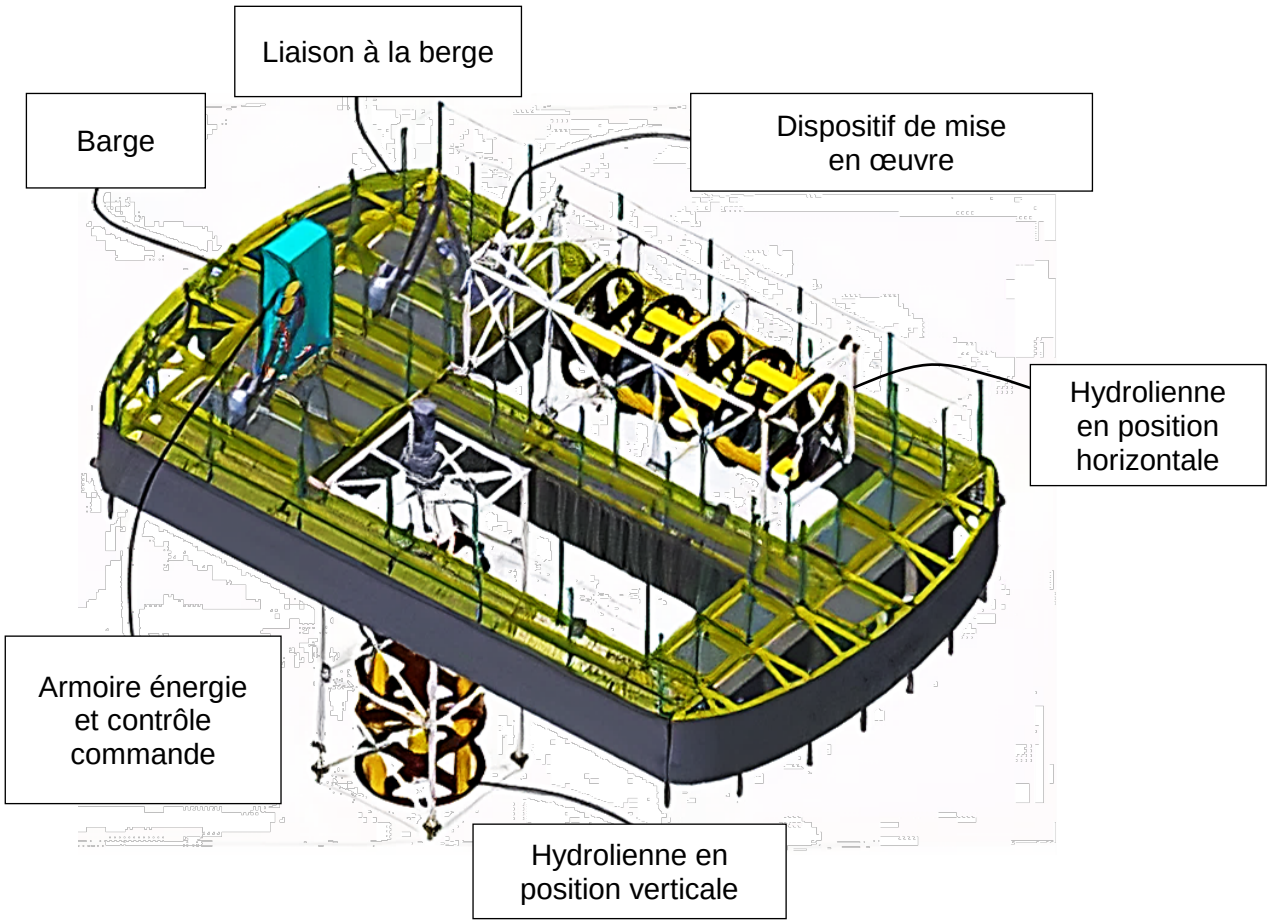



figure 6 - Modèle 3D de la barge avec les 2 hydroliennes

Pour répondre au besoin de production électrique évalué à 20 MW, il est nécessaire de calculer un nombre de barges associé. En première approximation, seule la puissance cinétique de l'eau est retenue car les autres paramètres ont une influence négligeable sur le bilan de puissance.

Les paramètres associés à l'eau sont considérés constants (masse volumique, vitesse) et la relation permettant de calculer la puissance cinétique reçue par module est la suivante :

$$P_{Cin} = \frac{1}{2} \times \rho_{eau} \times S_{pales} \times v^3$$

avec $\rho_{eau}$ , masse volumique de l'eau salée, 1025 kg·m$^{-3}$

$S_{pales}$= $\varnothing_M$ * $H_P$, surface projetée des 4 pales d'un module

$v$ , vitesse du courant, 2,5 m·s$^{-1}$

**Question 6** *Figure 4*

*Après avoir **calculé** $P_{Cin}$, **déterminer** l'expression littérale de la puissance $P_{Gen}$ reçue par la génératrice, en **déduire** sa valeur. **Conclure** quant au choix de la génératrice.*

$$Pcin = \frac{1}{2} \times 1025 \times 1,5 \times 3 \times 2,5^3 = 36\ kW$$

**$P_{Gen} = P_{Cin} \cdot \eta_H \cdot \eta_M \cdot \eta_G \Leftrightarrow P_{Gen} =$ 9 kW**

**Les génératrices choisies ont une puissance de 9 kW.**

**Le choix de la génératrice est donc validé.**

**Question 7** ***En déduire** le nombre de barges nécessaire. **Conclure** quant à la pertinence de ce résultat.*

**Nhyd = $20.10^6$ / $9.10^3$ = 2222 (Soit 1111 barges embarquant 2 hydroliennes)**

**On peut observer qu'avec un tel nombre l'estuaire sera extrêmement encombré et n'offrira plus beaucoup de possibilités pour la navigation fluviale.**

## Communication avec le poste de contrôle

L'objectif est de s'assurer de la fréquence de remontée des informations du capteur de vitesse du courant marin quel que soit le fonctionnement de l'hydrolienne.

L'architecture de communication est donnée en figure 7. Un bus CAN est utilisé car il permet une mise en place efficace et rapide en réduisant les coûts de câblage et de maintenance.

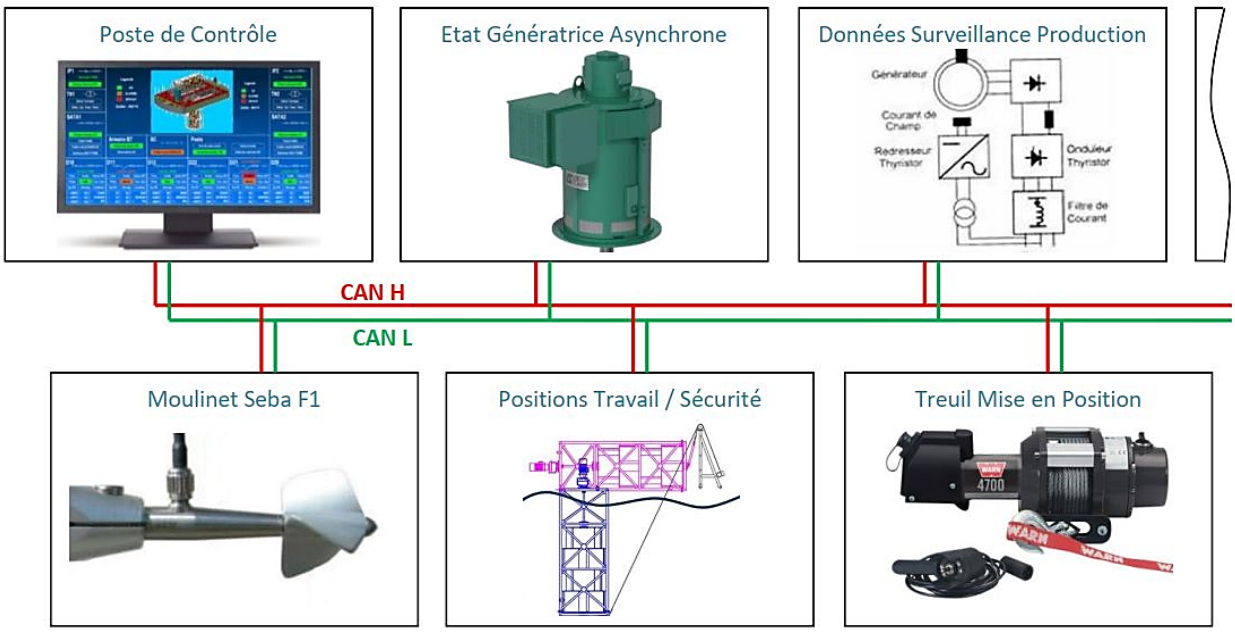



figure 7 - Architecture partielle du bus CAN équipant l'hydrolienne

Ce bus CAN fonctionne à une vitesse de 125 kbits·s$^{-1}$. Il existe deux fréquences d'échange d'informations sur ce bus :

- une plus rapide pour les données dites "sensibles", pour les états des capteurs de vitesse et de fin de course, avec un nombre de données évalué à *Ns* = 40 par seconde ;
- une autre, pour les données dites non "sensibles", qui demandent une surveillance périodique beaucoup moins fréquente, de l'ordre d'un rafraîchissement par seconde.

Un échange complet correspond à une trame de type requête suivie d'une trame réponse. Chaque trame de base nécessite en moyenne deux octets dans le champ de données plus trois bits d'intermission (après fin de trame) comme indiqué figure 8.

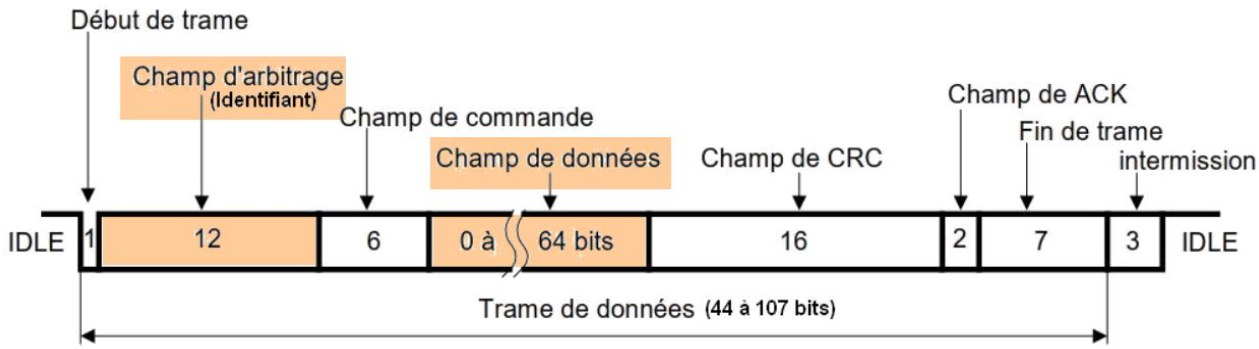



figure 8 - Trame type du bus CAN

***Question 8***
*Figures 8 et 1*

***Calculer*** *$F_{ec}$ la fréquence maximale d'échanges complets (requête + réponse) avec 2 octets de données sur chaque trame, en justifiant vos calculs.*
***Conclure*** *sur le respect du cahier des charges pour la fréquence de rafraîchissement minimale de 20 Hz des données sensibles, c'est-à-dire l'exigence Id1.3 du diagramme des exigences figure 1.*

**1 trame = 44 bits + 2*8 bits de données + 3 bits inter trames**

**donc 1 trame moyenne = 63 bits, soit 126 bits pour 1 échange complet, d'où une fréquence d'échanges Fec = 125 000 / 126 = 992 échanges / s**

**Nombre de données sensibles Ns = 40, donc Fr = 992 / 40 = 24,8 rafraîchissements par seconde qui respecte bien la fréquence minimale de 20 Hz, même s'il ne reste que 5 échanges / s environ pour gérer le reste des données.**

Le bus CAN utilise ici la technique du bit de Stuffing qui impose au transmetteur d'insérer un bit de valeur opposée lorsqu'il détecte 5 bits consécutifs identiques dans les valeurs à transmettre (ce bit supplémentaire est repéré S sur la trame exemple de la figure 9).
Ce bit supplémentaire est utile à la bonne synchronisation des bits transmis.

Ainsi, pour l'exemple de la figure 9 au bit 7, il y a eu 5 valeurs de suite à 0, le bit suivant est donc un bit de Stuffing, puis on reprend la trame au bit n° 8. Le même principe est appliqué au bit 19.

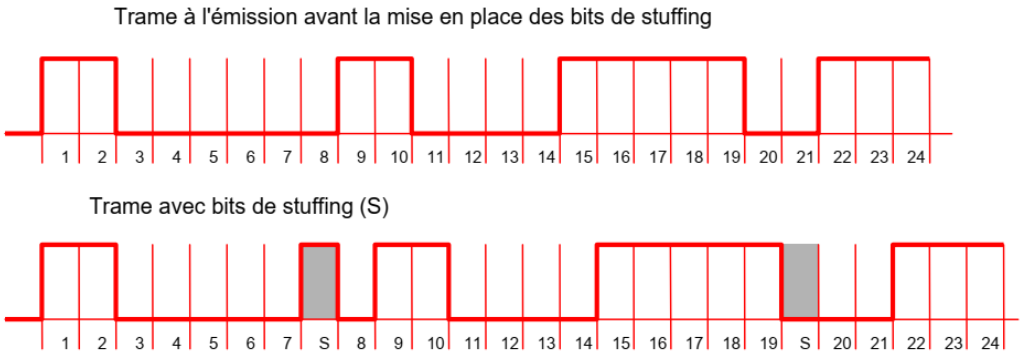



figure 9 - Exemple d'une trame avec bit de Stuffing

En conclusion, le bus CAN assure la bonne communication de tous les organes de l'hydrolienne avec le poste de contrôle. Il permet notamment la remontée des informations de sécurité issues du « Moulinet Seba F1 ». Ces données sont codées en Hexadécimal et un exemple de code est donné sur la figure 10.

| Requête : Identifiant 0x100 | Réponse : Identifiant 0x159 (réponse vitesse du moulinet Seba) |
|---|---|
| Données (2 octets)<br>1 octet pour la sélection du capteur<br>0x50 : capteur Moulinet Seba<br>1 octet pour la commande<br>0x09 : demande vitesse | Données (2 octets) : vitesse du courant en $cm \cdot s^{-1}$ (nombre entier non signé) |

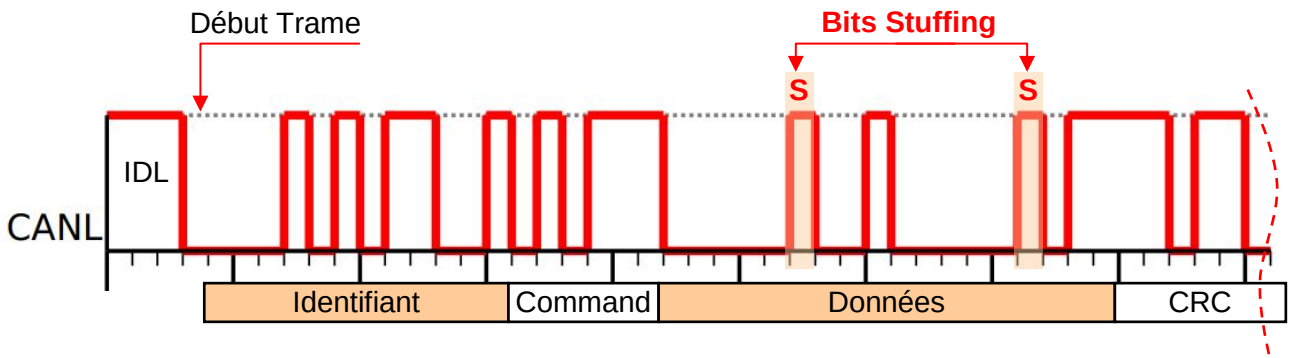
figure 10 - Exemple de codes de communications pour le Moulinet Seba F1
(Codes en hexadécimal)

Une trame prélevée en phase d'installation sur le bus CAN est donnée sur le document réponse DR1.

***Question 9*** *DR1*

***Repérer*** *sur la trame chaque bit de Stuffing en ajoutant un repère S sur le chronogramme du DR1.*
***Extraire*** *les champs "Identifiant" et "Données" en complétant le document réponse puis* ***donner*** *la signification de cette trame.*

La fin de la trame après le code de contrôle (CRC) n'est pas représentée…



| Identifiant en binaire : | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Identifiant en hexadécimal : | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | 5 | | | | 9 | | | |

| Données en binaire : | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Données en hexadécimal: | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | 1 | | | | 0 | | | | 3 | | | |

**Signification de la trame :**

Identifiant = 0x**159, il s'agit donc de la trame réponse vitesse du Moulinet Seba**

Octets de données : 2 octets = 0x**0103, soit 1·256 + 3 = 259 en décimal,**

**ce qui correspond à une vitesse de 259 cm·s$^{-1}$**

Le dernier relevé de trame sur le bus CAN indique une vitesse du moulinet de 259 cm·s$^{-1}$. Pour vérifier le bon étalonnage du moulinet et la fiabilité de transmission du bus CAN, un courantomètre étalon donnait une vitesse moyenne du courant marin de 260 cm·s$^{-1}$ sur la dernière minute d'observation.

***Question 10***
*Figure 1*

***Conclure** sur la cohérence du dernier relevé effectué et sur la fréquence de transmission du bus CAN au regard des exigences Id 1.3 et Id 1.2.1 du diagramme des exigences figure 1.*

**La vitesse moyenne de 260 cm·s$^{-1}$ est conforme à la précision attendue de 1% selon Id 1.2.1 en comparaison avec la vitesse étalon de 259 cm·s$^{-1}$.**

**Cette donnée sensible est transmise à une fréquence de 24,8 Hz qui est bien supérieure à l'exigence attendue de 20 Hz (Id 3).**

## Synthèse de la sous-partie 1

***Question 11***
*DR2*

*En s'appuyant sur les résultats et les conclusions de cette sous-partie 1, **indiquer en complétant** le tableau du document réponse DR2 en quoi le projet Urabaila permet de répondre au mieux aux exigences du cahier des charges sur les aspects environnementaux et communication.*

| Problématiques | Eléments de réponse et numéro(s) de question(s) associée(s) |
|---|---|
| Besoin de production d'électricité en réduisant les émissions de gaz à effet de serre | **Le mix apporte un Gain de 18,2 % sur les émissions de CO2 par rapport au 100% nucléaire.**<br>Question 2<br><br>**L'exigence Id 1.5 nous indique en plus un potentiel énergétique de 100 MW, ce qui correspond environ à 50% d'hydrolien.**<br>**On respecterait l'exigence de contrainte environnementale (30% d'énergie renouvelable) juste avec l'énergie hydrolienne.**<br>Question 3 |
| Mise en œuvre dans l'estuaire de la Gironde | **Le nombre trop important de barges (1120 barges) ne permet pas de respecter le critère environnemental (il faudrait plus de surface de panneaux photovoltaïque !)**<br>Question 7 |
| Communication avec le poste de contrôle. | **La communication par Bus CAN permet de remonter les informations à la fréquence attendue.** |

# Sous-partie 2 – Choix 1

## Gestion de la chaîne de sécurité de l'hydrolienne

L'objectif est de garantir la mise en sécurité du système en cas de courants marins supérieurs à 3 $m \cdot s^{-1}$.

### Choix du capteur de vitesse du courant marin

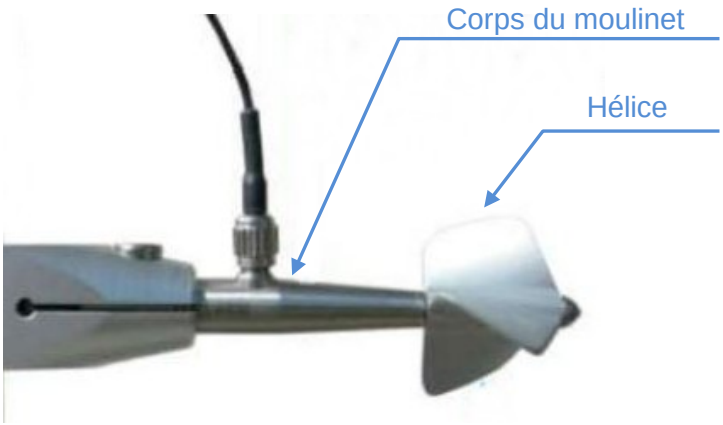
Dans un premier temps, il est nécessaire de choisir le capteur qui mesure la vitesse du courant marin permettant la mise en sécurité.

L'hydrolienne est prévue pour fonctionner avec une vitesse du courant marin comprise entre 0 et 3 $m \cdot s^{-1}$. Si la vitesse maximale est dépassée, le système doit se mettre en position horizontale de sécurité (figure 6) pour ne pas détériorer le matériel.

La surveillance de la vitesse du courant marin s'effectue avec un « Moulinet Universel Seba F1 » placé en amont de la barge et dans l'axe du courant (document technique, figure 11).

Lorsque le flux hydraulique se déplace d'un pas dans l'axe de l'hélice, cette dernière effectue un tour avec une impulsion en sortie du moulinet.
Le pas de l'hélice donne donc la résolution de ce capteur de déplacement fluidique.

Le moulinet permet de mesurer le déplacement du flux hydraulique en comptant les impulsions, la vitesse du courant marin est obtenue en comptant les impulsions sur une période donnée.







**Taille des hélices et plage de mesure**

| diamètre de l'hélice | pas de l'hélice | Vmax. | vitesse de démarrage |
|---|---|---|---|
| 50 mm | 500 mm | 5,0 m/s | 0,05 m/s |
| 50 mm | 350 mm | 3,5 m/s | 0,03 m/s |
| 50 mm | 250 mm | 3,5 m/s | 0,025 m/s |
| 50 mm | 100 mm | 2,5 m/s | 0,025 m/s |
| 30 mm | 100 mm | 2,5 m/s | 0,03 m/s |
| 30 mm | 50 mm | 1,0 m/s | 0,03 m/s |

**Détermination de la vitesse du courant**

Etalonnage du micro-moulinet avec chacune des hélices qui l'équipent suivant l'équation

$$V = k \cdot n + \Delta$$

de manière à ce que la vitesse du courant puisse être déterminée.

V = vitesse du courant en $m.s^{-1}$

k = pas hydraulique de l'hélice (m) (*)

n = nombre de tours de l'hélice par seconde

$\Delta$ = constante vitesse de démarrage ($m.s^{-1}$) (*)

(*) *déterminé par des essais de trainage en canal*

figure 11 - Capteur moulinet SEBA

***Question 12*** *Figure 11*

***Choisir*** *les hélices qui garantissent la mesure dans la plage de vitesse.* ***Sélectionner*** *celle qui donne la meilleure précision possible, en précisant ses caractéristiques dimensionnelles.*

**Choix d'hélice : Vmax = 3,5 $m \cdot s^{-1}$ (doit être supérieur à 3 $m \cdot s^{-1}$) et il faut prendre le pas le plus fin pour la meilleure résolution, soit un pas de 250 mm.**

**Equation Vitesse (m/s) = 0,25 . n + 0,025 avec n = nb imp/s fournie par le capteur**
**n = fréquence des impulsions = (Vitesse - 0,025) / 0,25**
**Pour la vitesse max, n = (3 - 0,025) / 0,25 = 11,9 Hz**

**Question 13** *Figure 11*

*À partir de l'équation fournie dans la documentation figure 11,* ***calculer*** *les coefficients k et Δ de l'équation de la vitesse du courant marin puis la fréquence des impulsions délivrées par le capteur à la vitesse maximale.*

**Equation Vitesse (m/s) = 0,25 . n + 0,025 avec n = nb imp/s fournie par le capteur**
**n = fréquence des impulsions = (Vitesse - 0,025) / 0,25**
**Pour la vitesse max, n = (3 - 0,025) / 0,25 = 11,9 Hz**

**Question 14** *Figure 1*

*Pour respecter la précision de mesure à 1 % (Id1.2.1 du diagramme des exigences figure 1), il faut une période d'observation sur 100 impulsions.* ***Calculer*** *alors la périodicité de mesure Tp permettant de respecter cette exigence.*

**Pour obtenir la précision de 1 %, on doit compter au moins 100 impulsions, la précision de comptage étant dans ce cas de 1 imp pour 100, soit 1% !**

**Avec une fréquence max de 11,9 Hz, il faudra une périodicité de mesure**
**Tp = 100 / 11,9 ≈ 8,4 s**

### Étude de la fonction *Gérer_sécurité()*

Dans un deuxième temps, il est impératif de commander efficacement la mise en sécurité.

Si la vitesse dépasse la valeur maximale de 3 $m \cdot s^{-1}$, l'hydrolienne doit se mettre en position de sécurité.
Pour éviter les manœuvres intempestives, 4 alertes de dépassement consécutives doivent être détectées pour déclencher la procédure de mise en sécurité. Si la situation d'alerte de dépassement disparaît, le compteur de nombre d'alertes est remis à 0.

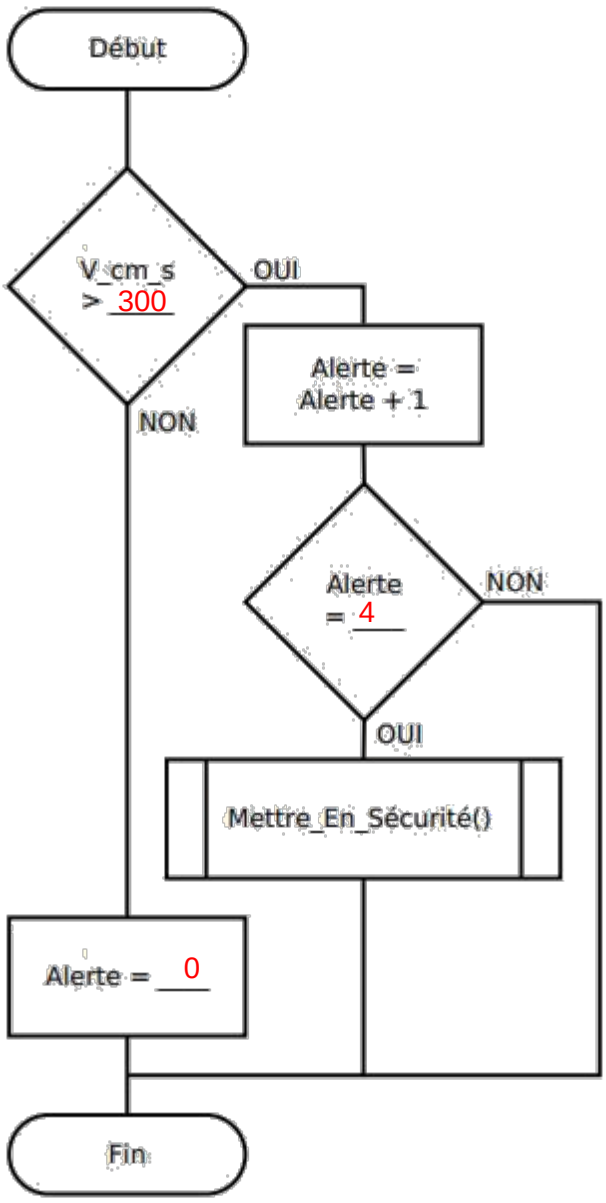
La fonction *Gérer_sécurité()* est appelée périodiquement par le programme principal, une fois toutes les 10 s. Cette fonction gère la détection de survitesse et d'alerte de dépassement. Si besoin, elle fait appel à la fonction *Mettre_en_sécurité()* qui consiste notamment à déverrouiller l'hydrolienne et à la remonter en position horizontale.

**Question 15** *DR3*

***Compléter*** *l'algorigramme de la fonction Gérer_sécurité() du document réponse DR3.*

***Construire*** *ensuite le programme correspondant en langage Python.*

ALGORIGRAMME




PROGAMME PYTHON

```
if  V_cm_s > 300 :
        Alerte = Alerte + 1
        if Alerte = 4 :
                Mettre_En_Sécurité()
else :
        Alerte = 0
```

La fonction *Mettre_en_sécurité()* contrôle l'électroaimant de verrouillage/déverrouillage en position ainsi que le treuil qui assure la remontée de l'hydrolienne.

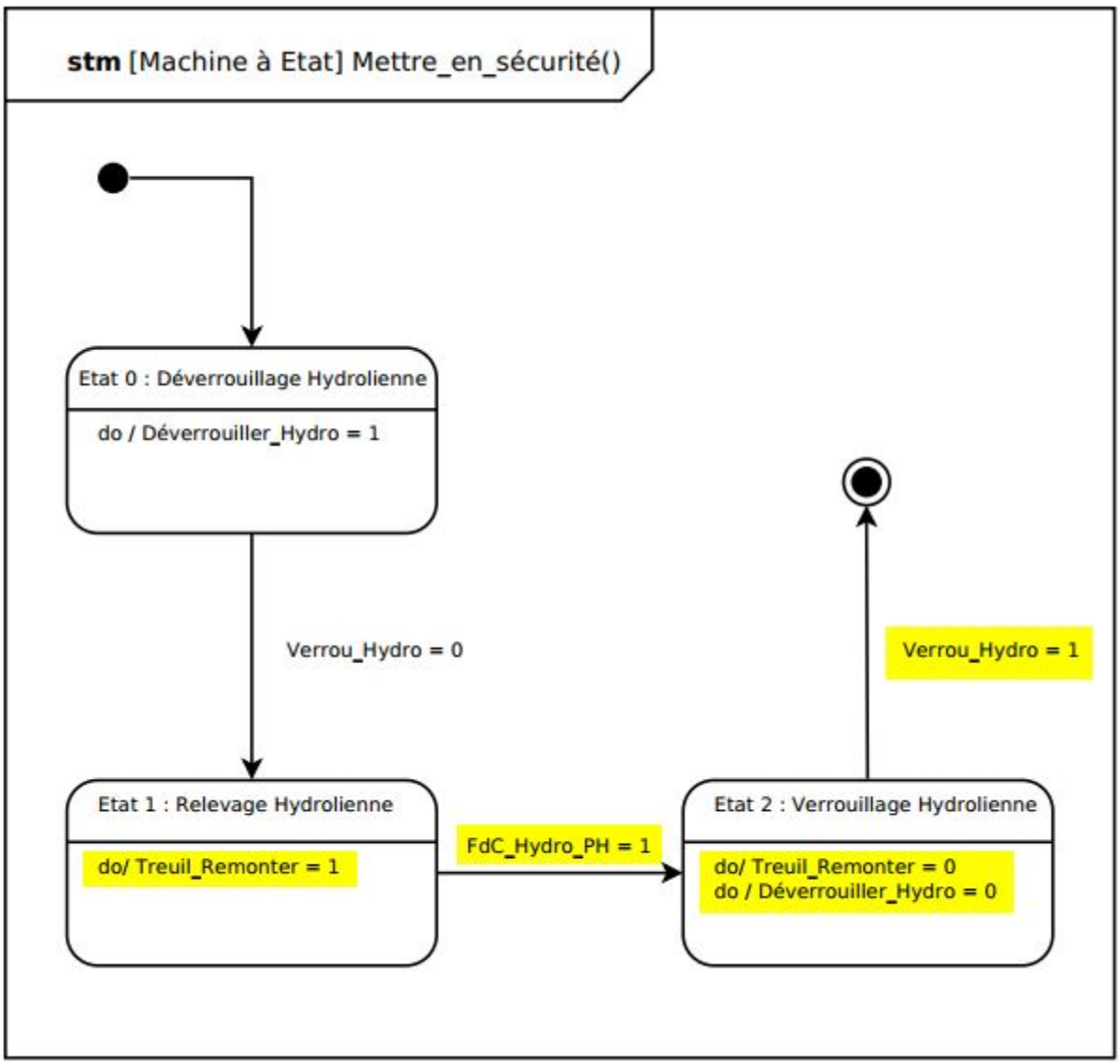
Les capteurs d'entrées sont les suivants :
- **Verrou_Hydro**, ce capteur est au niveau 1 quand la position de l'hydrolienne est verrouillée par l'électroaimant, il est au niveau 0 quand la position est déverrouillée ;
- **FdC_Hydro_PV**, fin de course hydrolienne position verticale (production) ;
- **FdC_Hydro_PH**, fin de course hydrolienne position horizontale (sécurité).

Les sorties de commande sont les suivantes :

**- Déverrouiller_Hydro**, quand elle est activée (niveau 1), la position est déverrouillée, le verrouillage se fait en désactivant cette sortie (niveau 0) grâce à un rappel par ressort ;
**- Treuil_Remonter**, commande la remontée de l'hydrolienne quand elle est activée ;
**- Treuil_Descendre**, commande la descente de l'hydrolienne quand elle est activée.

La séquence d'opérations pour *Mettre_en_sécurité()* est la suivante :
- déverrouiller la position de l'hydrolienne ;
- quand le déverrouillage est réalisé, remonter l'hydrolienne ;
- quand la fin de course hydrolienne en position horizontale est obtenue, stopper la remontée de l'hydrolienne et verrouiller en position.

***Question 16*** *DR4* ***Compléter*** *sur le document réponse DR4 le diagramme d'états (stm) de la fonction Mettre_en_sécurité() en respectant la séquence de commandes proposée et en utilisant toutes les entrées et sorties adéquates.*



# Sous-partie 3 – Choix 2

## Gestion de la remontée de l'hydrolienne

L'objectif est de dimensionner le treuil permettant la remontée de l'hydrolienne.

La remontée de l'hydrolienne est effectuée à l'aide du dispositif de mise en œuvre, composé d'un treuil, d'une poulie de renvoi, et d'un câble (voir figure 12) qui agit sur la structure articulée supportant l'hydrolienne.

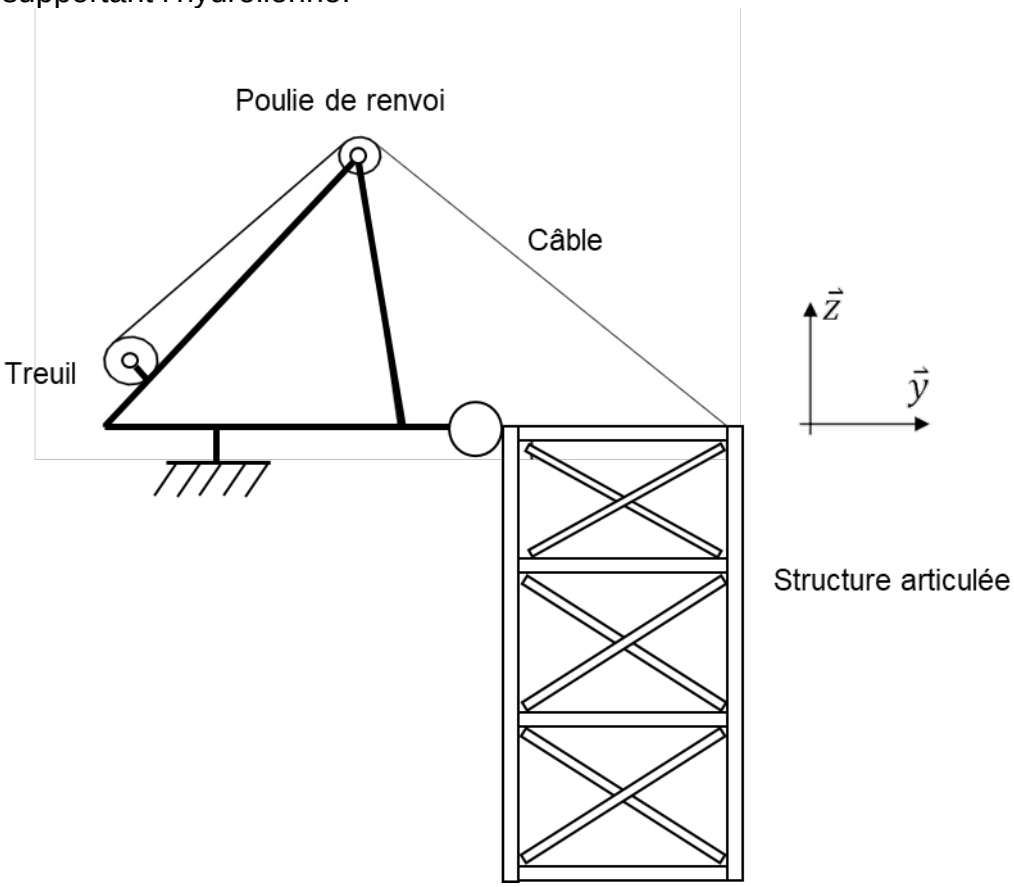



figure 12 - Schéma de principe du système de mise en œuvre

Au regard des vitesses relativement faibles lors du relevage, une étude quasi statique peut être entreprise. Le problème est considéré comme plan (plan de symétrie (O, **Erreur ! Signet non défini.Erreur ! Signet non défini.**$\vec{y}$, $\vec{z}$), voir document réponse DR5). Les coordonnées (**Erreur ! Signet non défini.Erreur ! Signet non défini.**$\vec{y}$, $\vec{z}$) associées au point d'application des forces sont données en mètre.

Lors de la phase de remontée l'ensemble E = {Génératrice + Structure + Hydrolienne} est soumis aux efforts suivants :

$\vec{P}_{g\to G} = -P_G\,\vec{z}$ de point d'application *G1* de coordonnées (0,8 ; 0) modélise le poids de la génératrice ($P_G$ = 2400 N) ;

$\vec{P}_{g\to S} = -P_S\,\vec{z}$ de point d'application *G3* de coordonnées (0,8 ; -2,175) modélise la résultante du poids de la structure immergée moins la poussée d'Archimède ($P_S$ = 1700 N) ;

$\vec{P}_{g\to H} = -P_H\,\vec{z}$ de point d'application *G2* de coordonnées (0,8 ; -0,175) modélise la résultante du poids de l'hydrolienne immergée moins la poussée d'Archimède ($P_H$ = 1250 N) ;

$\vec{F}_{câble\to E}$ de point d'application *A* de coordonnées (1,6 ; 0) modélise l'action mécanique du câble du treuil sur l'ensemble E ;

$\vec{F}_{eau\to S} = -F_{Hydro_S}\,\vec{y}$ de point d'application *B* de coordonnées (1,6 ; -2,175) modélise l'action hydrodynamique sur la structure ;

$\vec{F}_{eau\to H} = -F_{Hydro_H}\,\vec{y}$ de point d'application *C* de coordonnées (1,6 ; -2,85) modélise l'action hydrodynamique sur les éléments de l'hydrolienne ;

Liaison pivot entre la barge et la structure en *O* de coordonnées (0 ; 0)**.**

Les efforts hydrodynamiques de l'eau sont appliqués sur les éléments immergés, à savoir la structure et les éléments de l'hydrolienne. Les paramètres associés à l'eau sont là encore considérés constants (masse volumique, vitesse), ainsi la relation permettant de calculer l'intensité de l'effort hydrodynamique est la suivante :

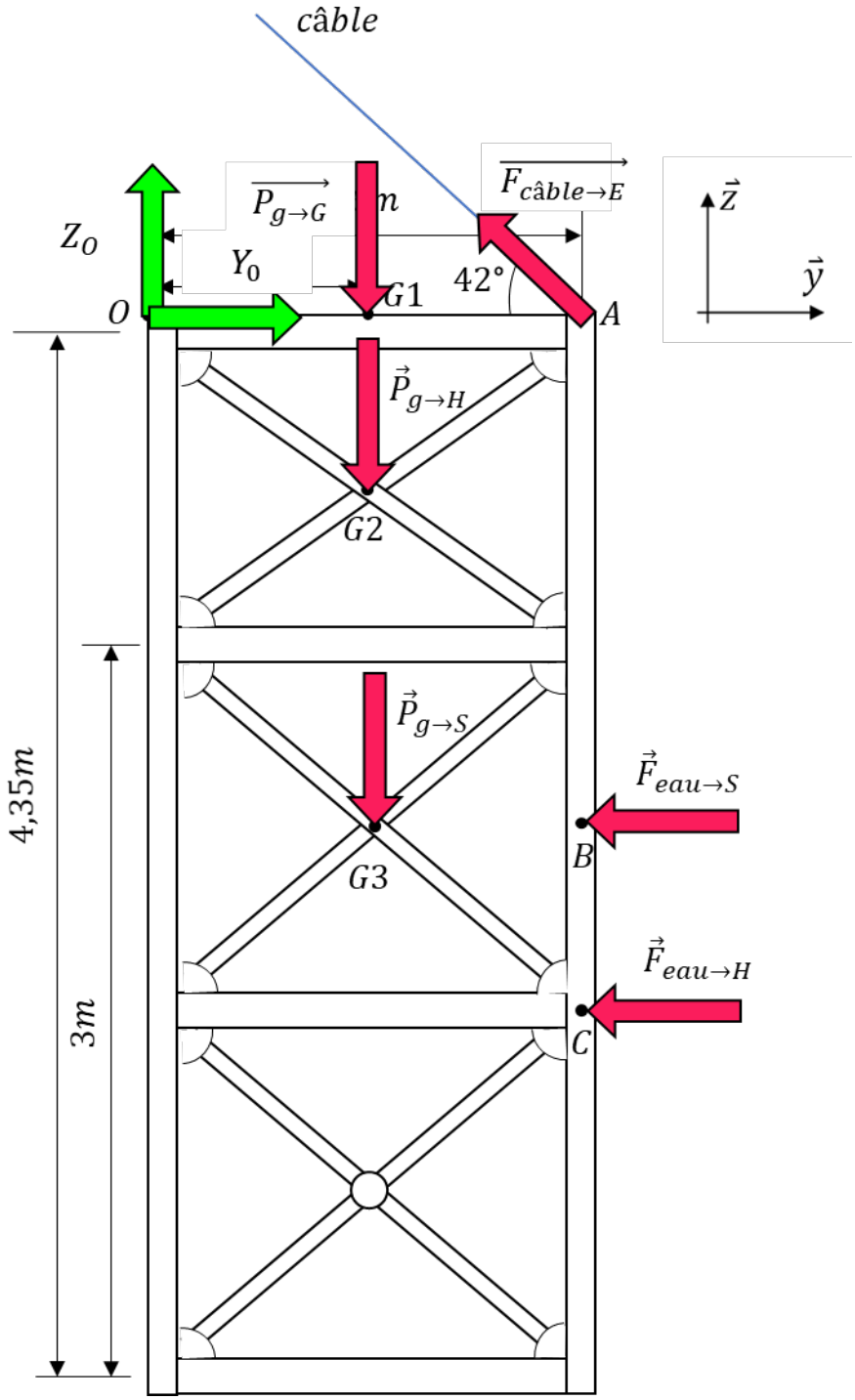
$$F_{Hydro} = \frac{1}{2} \times \rho_{eau} \times S \times v^2 \times K$$

avec $\rho_{eau}$ , masse volumique de l'eau salée, 1025 kg·m$^{-3}$ ;
$S$, surface projetée en m$^2$ ;
$v$, vitesse du courant, 2,5 m·s$^{-1}$ ;
$K$ , coefficient hydrodynamique.

Les efforts hydrodynamiques pris en compte sont les suivants :

$F_{Hydro_S}$ appliquée sur la structure ($S$ = 1 m$^2$ et $K$ = 1)
$F_{Hydro_H}$ appliquée sur les éléments de l'hydrolienne ($S$ = 4,5 m$^2$ et $K$ = 0,27)

| | |
|---|---|
| ***Question 17*** *DR5* | ***Représenter*** *sur le document réponse DR5 les actions mécaniques en A, G1 et O.* |




***Question 18*** ***Calculer*** *l'intensité de l'effort hydrodynamique des deux efforts de l'eau sur la structure et sur l'hydrolienne.*

**$F_{Hydro_S}$ = 0,5*1025*1*2,5²*1 = 3203 N**

**$F_{Hydro_H}$ = 0,5*1025*4,5*2,5²*0,27 = 3892 N**

Pour la suite de l'étude, les efforts retenus sont : $F_{Hydro_S}$ = 3200 N et $F_{Hydro_H}$ = 4000 N.

| | |
|---|---|
| ***Question 19*** | *En isolant l'ensemble E = {génératrice + structure + hydrolienne}, **écrire** l'expression littérale du théorème du moment statique en projection suivant l'axe (**Erreur ! Signet non défini.**O,**Erreur ! Signet non défini.Erreur ! Signet non défini.**$\vec{x}$).*<br><br>***Effectuer** l'application numérique, puis **déterminer** l'intensité de l'action mécanique exercée par le câble du treuil sur la structure.* |

**Bilan des actions mécaniques sur E ( écrit rapidement ) :**

**- actions en O : $Z_O$ et $Y_O$**
**- les 3 poids $P_G$ , $P_S$ , $P_H$**
**- les 2 actions de l'eau $F_{Hydro_S}$ et $F_{Hydro_H}$**
**- l'action du treuil via le câble $F_{Treui}$**

**Théorème du moment statique en projection suivant l'axe (**Erreur ! Signet non défini.**O,**Erreur ! Signet non défini.Erreur ! Signet non défini.$\vec{x}$**) :**

**$- 0{,}8*(P_G + P_S + P_H) + 1{,}6*F_{Treui}*\sin 42° - 2{,}175*F_{Hydro_S} - 2{,}85*F_{Hydro_H} = 0$**

**$\Leftrightarrow F_{Treuil} = 21147$ N**

Un modèle multiphysique du dispositif de mise en œuvre a été établi, figure 13.

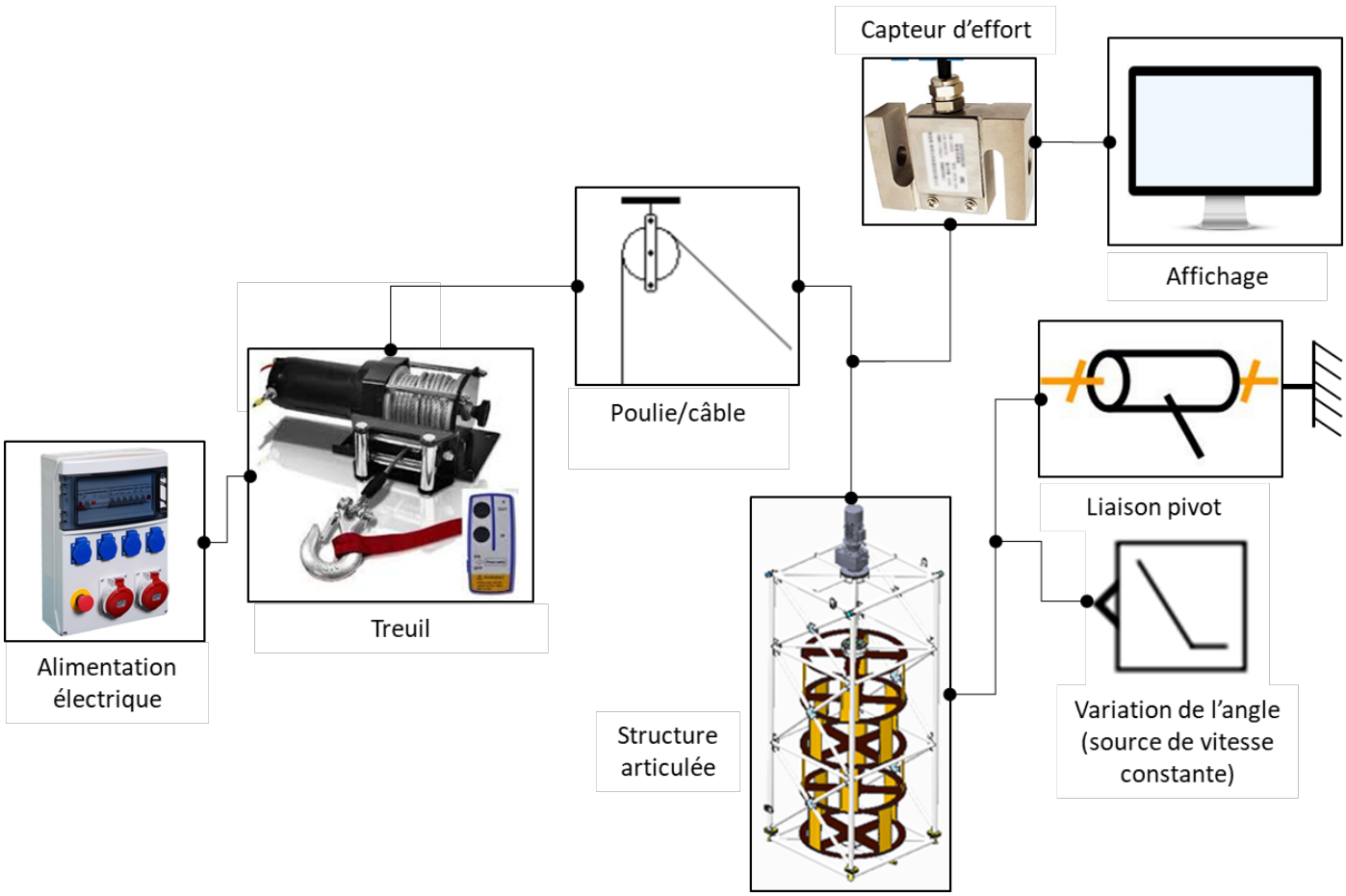



figure 13 - Modèle multiphysique du dispositif de mise en œuvre

La simulation de relevage de l'ensemble de l'hydrolienne associée à ce modèle, a permis de relever la courbe de l'effort du câble en fonction de l'angle de rotation de la structure articulée, représentée figure 14. Les positions extrêmes de l'angle de rotation de la structure sont les suivantes :

- 0° si la structure est en position verticale ;
- 90 ° si la structure est en position horizontale.

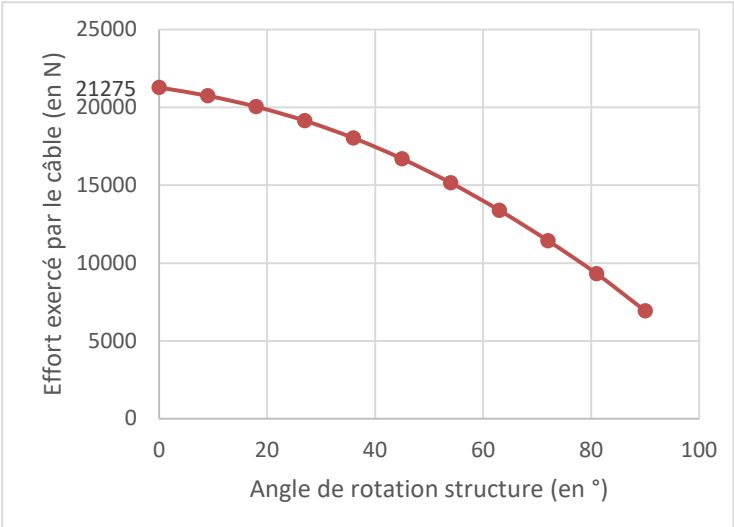



figure 14 - Évolution de l'effort exercé par le câble en fonction de l'angle de rotation de la structure

***Question 20*** *Figure 14*

***Commenter*** *l'allure de la courbe figure 14 et* ***proposer*** *une explication à la diminution de l'effort dans le câble lors de la remontée.*

**La valeur de l'effort exercé par le câble diminue lorsque la structure se relève.**

**Le bras de levier des actions mécaniques du poids devrait augmenter avec l'angle de rotation mais il semble compensé par l'angle du câble.**

**On imagine alors que les effets de l'eau (hydro) sont de moins en moins importants lorsque la structure sort de l'eau !**

Deux tableaux de performances de treuils sont donnés ci-dessous :

| Référence Warn DC 4700 | | |
|---|---|---|
| Couche | Effort (daN) | Enroulement (m) |
| 1 | 2130 | 2 |
| 2 | 1800 | 5 |
| 3 | 1560 | 8 |
| 4 | 1380 | 11,5 |
| 5 | - | 18 |

| Référence Warn 9.5 CTI | | |
|---|---|---|
| Couche | Effort (daN) | Enroulement (m) |
| 1 | 4310 | 6 |
| 2 | 3927 | 12 |
| 3 | 3595 | 21 |
| 4 | 3359 | 30 |
| 5 | - | 38 |

tableau 3 - Performances des 2 treuils

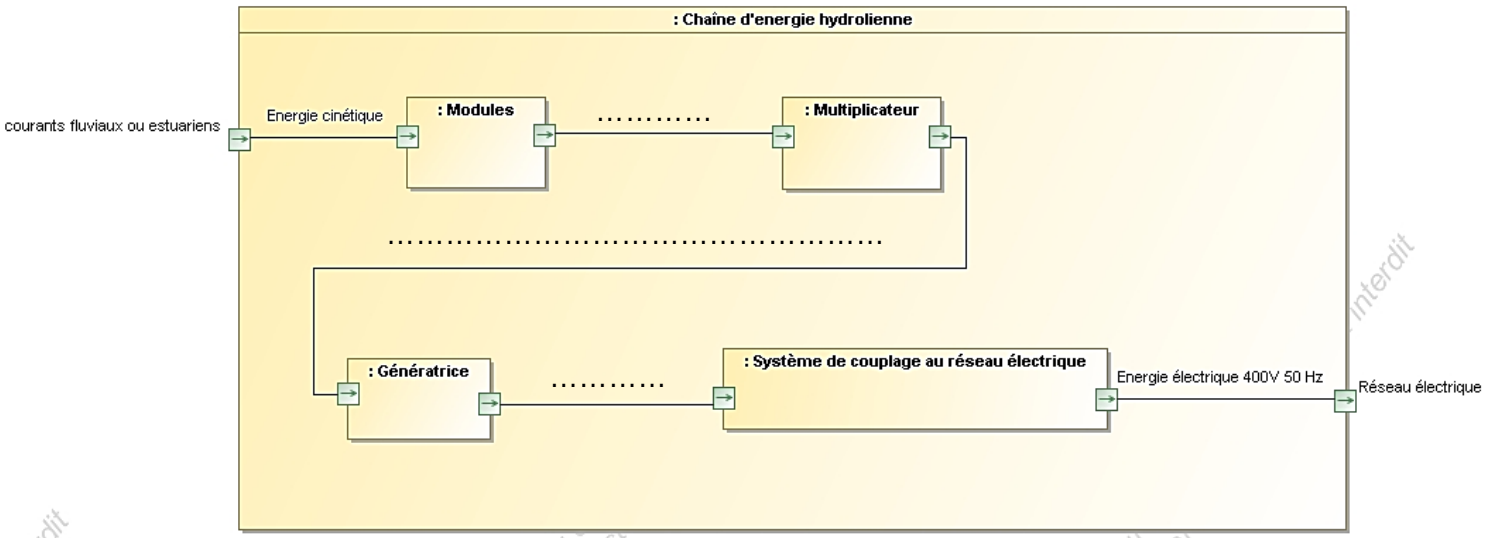
| | |
|---|---|
| ***Question 21***<br>*Tableau 3* | ***Choisir** un des 2 treuils dans le tableau 3, en justifiant sa capacité à fournir l'effort en fonction de son enroulement. Prendre un coefficient de sécurité de 1,2 pour tenir compte des hypothèses simplificatrices.* |

**L'effort maxi donné par la courbe est de 2127 daN. La lecture des tableaux de performance nous donne un effort maxi (en couche 1) de 2130 daN pour le treuil ref DC 4700, et de 4310 daN pour le treuil ref 9.5 CTI.**

**Le 1er treuil assure juste le fonctionnement (2130 daN pour un effort maxi de 2127 daN). Il ne peut être choisi, compte tenu des hypothèses simplificatrices. Nous choisirons donc le treuil ref 9.5 CTI.**

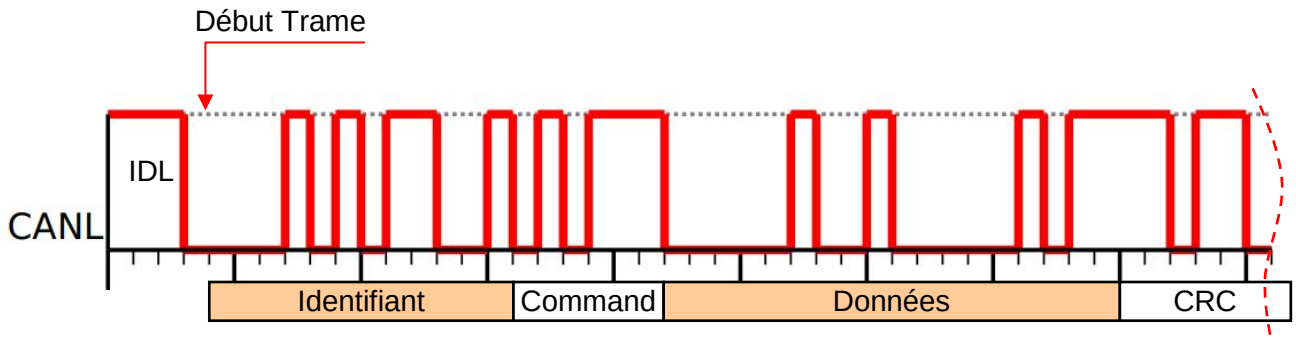
# Document Réponse DR1

## *Question 5 - Obligatoire*




## *Question 9 - Obligatoire*

La fin de la trame après le code de contrôle (CRC) n'est pas représentée.




| **Identifiant en binaire** | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | |
| **Identifiant en hexadécimal** | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

| **Données en binaire** | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Données en hexadécimal** | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

Signification de la trame :

Identifiant = 0x .....

Octets de données : 2 octets = 0x .....

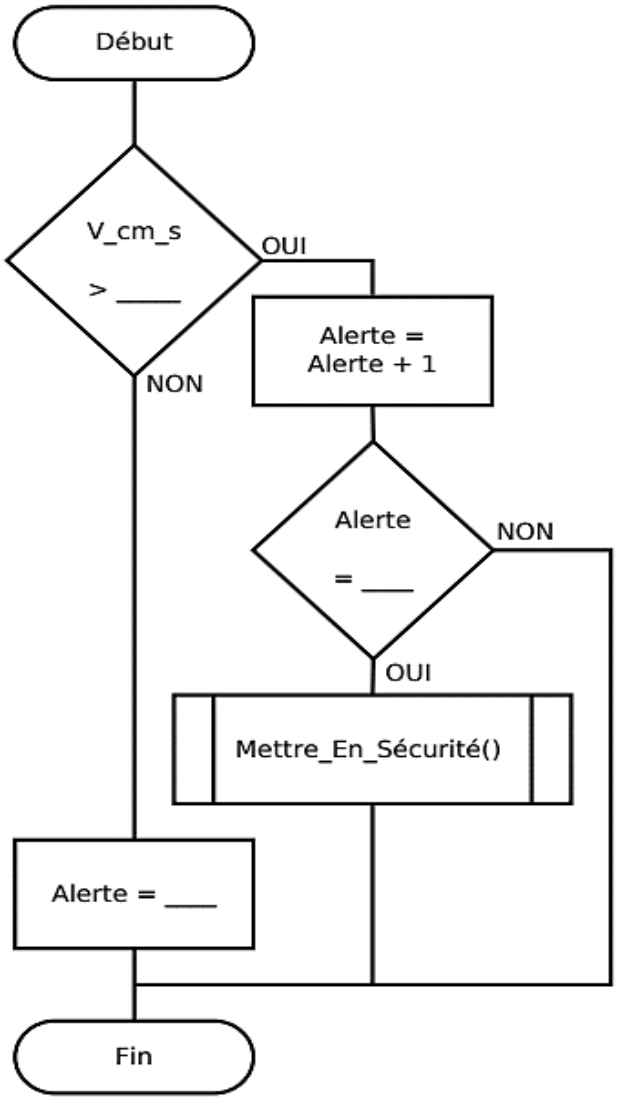
# Document Réponse DR2

***Question 11 - Obligatoire***

| **Problématiques** | **Eléments de réponse et numéro(s) de question(s) associée(s)** |
|---|---|
| Besoin de production d'électricité en réduisant les émissions de gaz à effet de serre | |
| Mise en œuvre dans l'estuaire de la Gironde | |
| Communication avec le poste de contrôle. | |

# Document Réponse DR3

***Question 15 – Choix 1***




Variables utilisées :
**V_cm_s** : nombre entier non signé indiquant la vitesse du courant en $cm \cdot s^{-1}$, la variable est mise à jour par un mécanisme d'interruption hors étude

**Alerte :** entier non signé

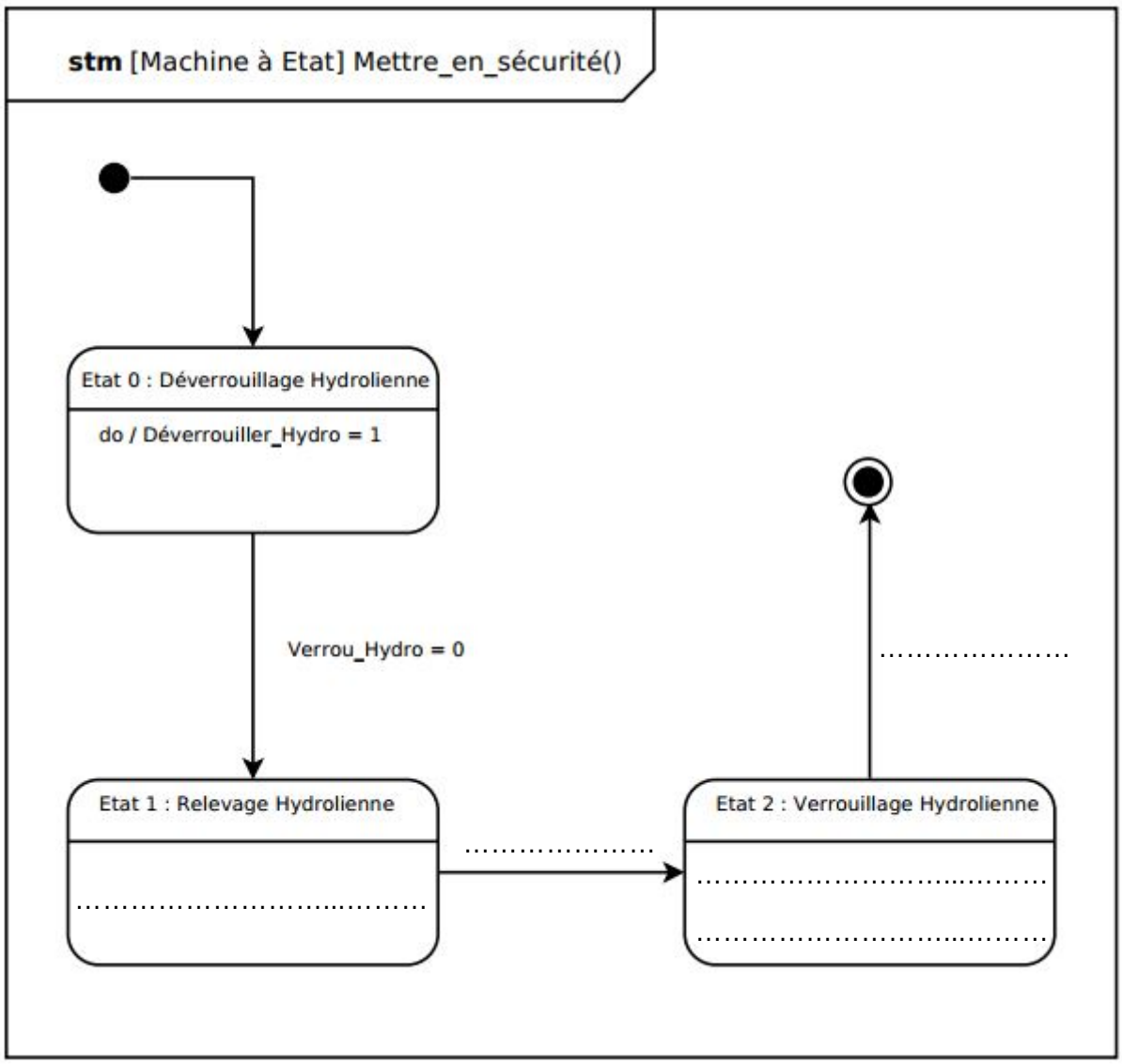
Sous-programme appelé : *Mettre_En_Sécurité()*

| PROGRAMME PYTHON |
| --- |
| if V_cm_s > |

# Document Réponse DR4

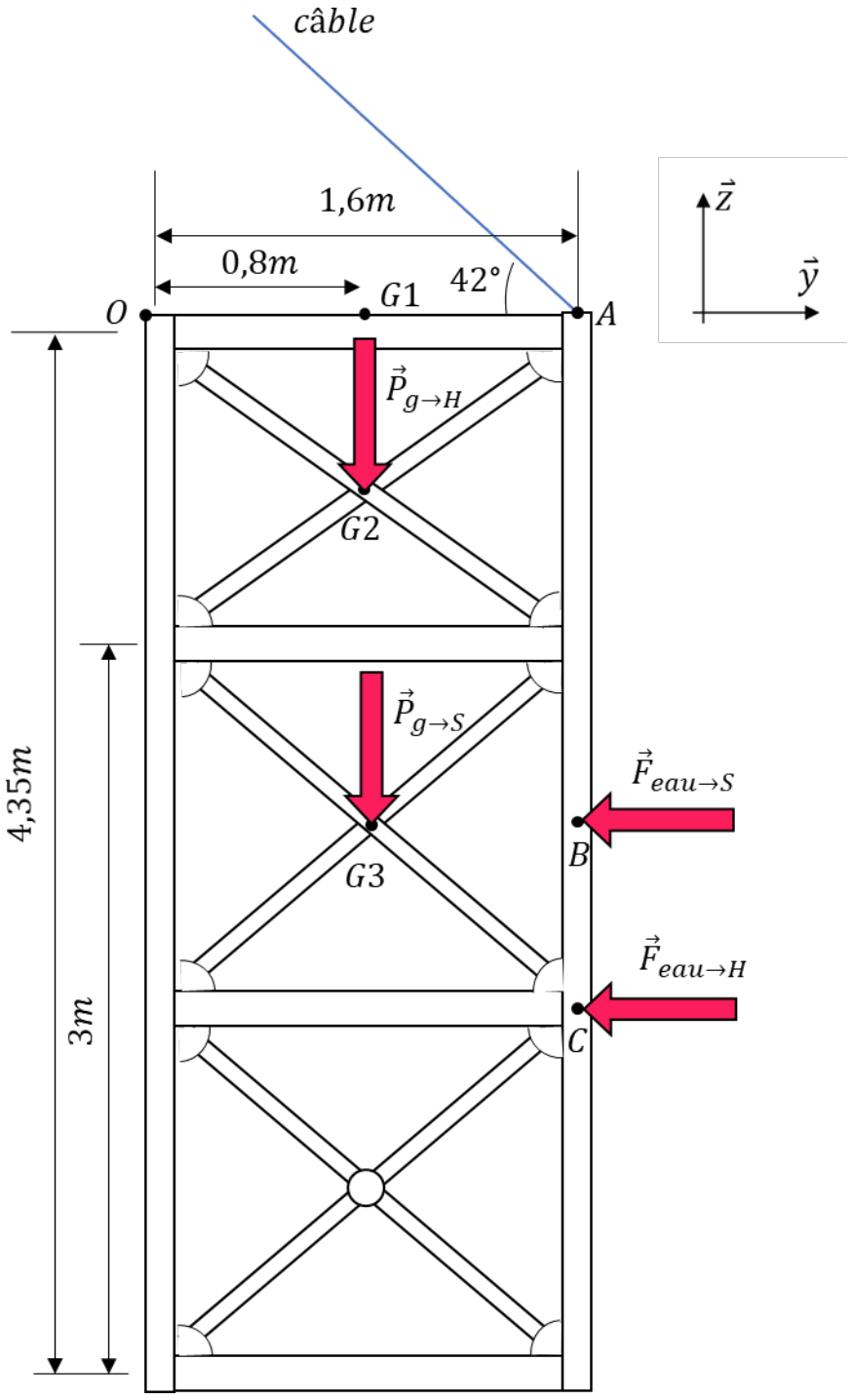
***Question 16 – Choix 1***

Diagramme d'états *Mettre_en_sécurité()*



# Document Réponse DR5

***Question 17 – Choix 2***



Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.