



LYCÉE LA MARTINIÈRE MONPLAISIR LYON

SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR

CLASSE PRÉPARATOIRE M.P.S.I. ET M.P.I.I.



ANNÉE 2025 - 2026

C1 : MODÉLISATION DES SYSTÈMES PLURITECHNIQUES

## TD 2 - Description structurelle et comportementale d'un système (C1-2;1-3)

### Compétences

- **Analyser**
  - Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système.
  - Identifier et décrire les chaînes fonctionnelles du système.
  - Identifier et décrire les liens entre les chaînes fonctionnelles.
- **Communiquer**
  - Lire et décoder un document technique : SysML
  - Lire et décoder un document technique : Schéma Cinématique

## Exercice 1 : Prototype d'une voiture intelligente avec le robot Maqueen

**Source :** Équipe pédagogique PTSI La martinière Monplaisir

### 1 Présentation

#### a) objectifs

**Objectif 1 :**

L'objectif est de mettre en place un système permettant à un véhicule de s'arrêter à une distance donnée d'un obstacle, ou de suivre un autre véhicule en conservant un espace avec ce dernier.



### b) Matériel à disposition

On propose de réaliser une maquette à échelle réduite.

- 1 robot macqueen
- 3 piles 1.5 V
- 1 shield pour carte micro :bit
- 1 câble usb
- 1 ordinateur avec MU editor



## 2 Mise en oeuvre du robot

### a) Mesure de distance

Le principe de fonctionnement du capteur est basé sur une mesure du temps que met le son pour faire l'aller retour entre le capteur et l'obstacle.

Voilà comment se déroule une prise de mesure :

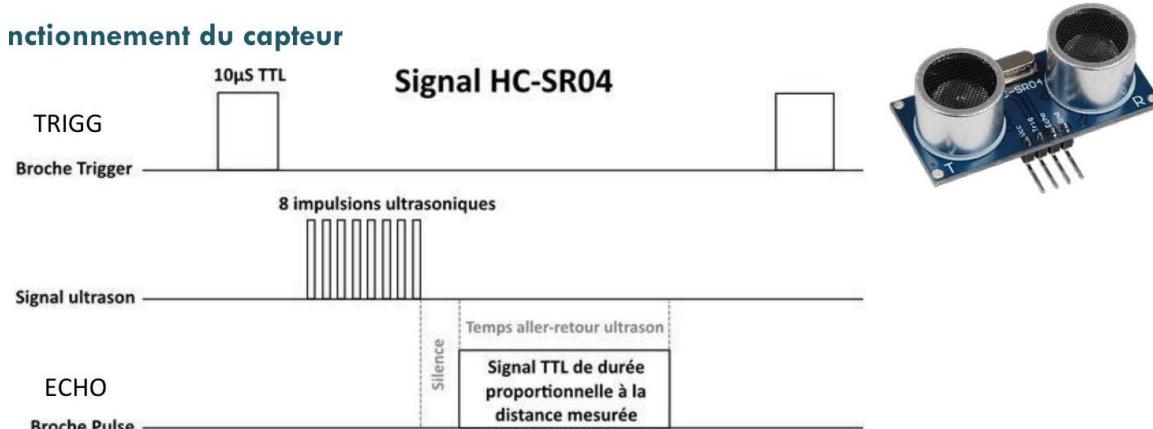
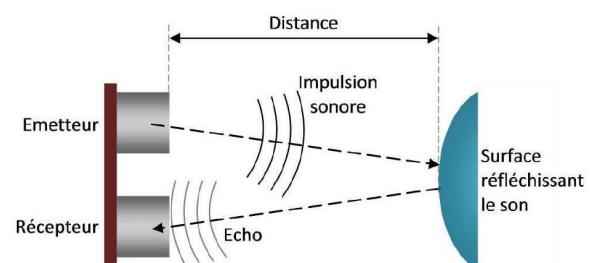


FIGURE 1 – Principe de fonctionnement du capteur ultra-son

1. On envoie une impulsion HIGH de  $10\mu s$  sur la broche TRIGGER du capteur.
2. Le capteur envoie alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40 kHz (inaudible pour l'être humain, c'est quand plus agréable qu'un biiiiiiip).
3. Les ultrasons se propagent dans l'air jusqu'à toucher un obstacle et retourne dans l'autre sens vers le capteur.
4. Le capteur détecte l'écho et clôture la prise de mesure.
5. Le signal sur la broche ECHO du capteur reste à HIGH durant les étapes 3 et 4, ce qui permet de mesurer la durée de l'aller-retour des ultrasons et donc de déterminer la distance.



N.B. Il y a toujours un silence de durée fixe après l'émission des ultrasons pour éviter de recevoir prématièrement un écho en provenance directement du capteur.

### Algorithme 1 :

L'algorithme se trouve sur le site de la classe et se nomme **lire\_us.py**. Vous pouvez l'ouvrir dans **mu editor**.

```
from microbit import *
import utime

def distance():
    # Programme de lecture du capteur ultra son
    # Envoi impulsion TRIG sur P1
    pin1.write_digital(0)
    utime.sleep_us(2)
    pin1.write_digital(1)
    utime.sleep_us(10)
    pin1.write_digital(0)

    # Attente du front montant sur ECHO (P2)
    timeout = utime.ticks_add(utime.ticks_us(), 30000) # 30 ms timeout
    while pin2.read_digital() == 0:
        if utime.ticks_diff(timeout, utime.ticks_us()) <= 0:
            return None
    start = utime.ticks_us()

    # Attente du front descendant
    timeout = utime.ticks_add(utime.ticks_us(), 30000)
    while pin2.read_digital() == 1:
        if utime.ticks_diff(timeout, utime.ticks_us()) <= 0:
            return None
    end = utime.ticks_us()

    # Durée de l'écho
    duration = utime.ticks_diff(end, start)

    # Conversion en cm
    dist_cm = (duration / 2) / 29.1
    return dist_cm

while True:
    d = distance()
    if d:
        # affichage des mesures de disance en cm
        print((int(d),))
    else:
        # on affiche 0 si pas d'echo
        print((0,))
    sleep(50)
```

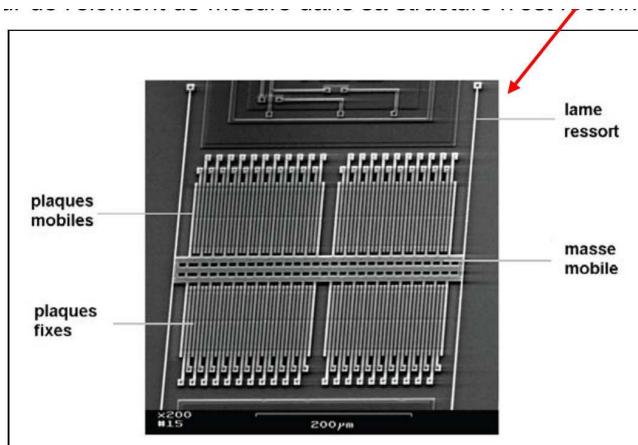
#### Activité 1 :

- ouvrir le logiciel **mu editor** et ouvrir le fichier **lire\_us.py** (on peut faire un glisser depuis le répertoire)
- Téléverser votre programme sur la carte (Flasher)
- Cliquer sur Graphique
- Puis cliquer sur REPL
- Observer les valeurs sur le prompt et le graphique

**Activité 2 :** Mettre en place un protocole permettant de valider la mesure. Conclure sur la linéarité, la justesse, le domaine de validité de la mesure de distance.

### b) Mesure des accélérations

Les accéléromètres sont composés de deux puces de silicium : l'élément de mesure et le circuit d'interprétation. Il permet de mesurer des accélérations en  $m \cdot s^{-2}$ . Le cœur de l'élément de mesure dans sa structure n'est reconnaissable qu'au microscope. On peut retrouver plus d'informations sur son fonctionnement en annexe.



### Algorithme 2 :

L'algorithme se trouve sur le site de la classe et se nomme **lire\_accelero.py**. Vous pouvez l'ouvrir dans **mu editor**.

```
from microbit import *

while True:
    # Lire des données de l'accelerometer
    acc = accelerometer.get_values()
    # Affichage des données
    print(acc)
    sleep(50) # Pause entre chaque mesure
```

### Activité 3 :

- ouvrir le logiciel **mu editor** et ouvrir le fichier **lire\_us.py** (on peut faire un glisser depuis le répertoire)
- Téléverser votre programme sur la carte (Flasher)
- Cliquer sur Graphique
- Puis cliquer sur REPL
- Observer les valeurs sur le prompt et le graphique

### Activité 4 : Vérifier qualitativement les mesures. Comment pourrait-on trouver les bonnes unités ?

### c) Mesure de présence de ligne

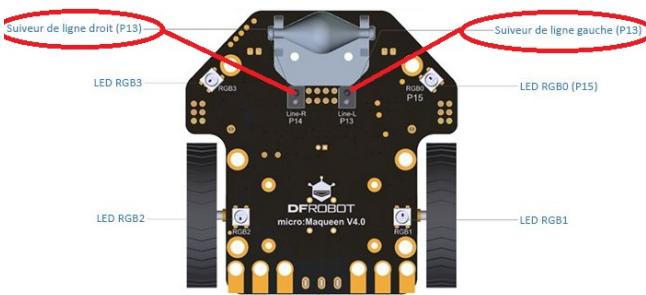
Le Maqueen est équipé de **deux capteurs infrarouges** placés à l'avant du robot :

- Capteur gauche connecté à la broche P13.
- Capteur droit connecté à la broche P14.

Chaque capteur émet un rayon infrarouge et mesure la lumière réfléchie par le sol :

- Si la surface est **claire** (blanche), la lumière est réfléchie ⇒ le capteur renvoie la valeur **1**.
- Si la surface est **foncée** (ligne noire), la lumière est absorbée ⇒ le capteur renvoie la valeur **0**.

Le capteur de ligne à infrarouge renvoie une information logique en fonction de la présence ou de l'absence de ligne noire. Le capteur renvoie 1 (ou VRAI) s'il est au-dessus du noir et 0 (ou FAUX) s'il est au-dessus d'une surface claire.



### Algorithme 3 :

En MicroPython, on lit ces capteurs avec `read_digital()` :

```
from microbit import *

while True:
    gauche = pin13.read_digital()
    droite = pin14.read_digital()

    # 0 = ligne noire détectée
    print("G:", gauche, " D:", droite)
    sleep(200)
```

Valeur lue	Surface détectée
0	Ligne noire (absorbe l'IR)
1	Surface claire (réfléchit l'IR)

#### Activité 5 :

- ouvrir le logiciel mu editor et ouvrir le fichier `lire_capteur_ligne.py` (on peut faire un glisser depuis le répertoire)
- Téléverser votre programme sur la carte (Flasher)
- Cliquer sur Graphique
- Puis cliquer sur REPL
- Observer les valeurs sur le prompt et le graphique

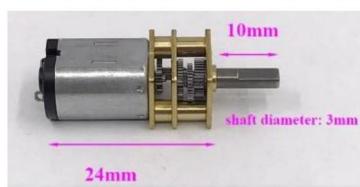
Activité 6 : Vérifier qualitativement les mesures à l'aide des circuit noir et blanc imprimés sur des feuilles A3.

#### d) Mise en mouvement

Le principe de pilotage du motoréducteur est basé sur une communication en I2C entre la carte microbit et le driver (hacheur) implanté dans la carte électronique du châssis.

Le constructeur annonce les caractéristiques suivantes pour le moto-réducteur sur le figure 2

Le constructeur annonce les caractéristiques suivantes pour le moto-reducteur :



**Puissance nominale** : 0.5W  
**Rapport de réduction** : 1:150  
**Rendement** : 0.9  
**Vitesse de rotation sous 5V** : 133 tr/min (en sortie de réducteur)  
**Mode de pilotage en PWM**

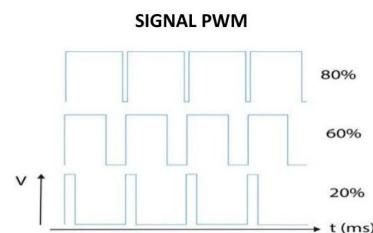


FIGURE 2 – Principe de fonctionnement du moteur

Le pilotage en PWM consiste à envoyer au moteur une tension entre 0 et 5 V hachée sur une période très courte. La période des créneaux étant si faible que le moteur reçoit la tension moyenne du signal, ce qui permet ainsi d'obtenir une variation de la tension à ses bornes, ainsi une variation de vitesse du moteur.

Le pilotage de chaque moteur est indépendant.

Fonctions python permettant le pilotage du moteur en fonction des deux variables sens et vitesse.

### Algorithme 4 :

```
from microbit import *

def moteurDroit(sens, vitesse):
    i2c.write(0x10, bytearray([2, sens, vitesse]))

def moteurGauche(sens, vitesse):
    i2c.write(0x10, bytearray([0, sens, vitesse]))

moteurDroit(0, 255)
moteurGauche(1, 255)
```

La variable sens prend pour valeur **0** pour la marche avant ou **2** pour la marche arrière.

La variable vitesse est une valeur numérique codée sur 8 bits, elle varie donc entre 0 et 255.

✓ A l'aide des instructions en annexe 1, implémenter le programme permettant la mise en route des moteurs pour une vitesse de 125.

✓ A l'aide du tachymètre, mesurer la vitesse obtenue de la roue droite, la vitesse expérimentale correspond-elle à la vitesse théorique?

✓ Reprendre pour un PWM de 80, 180, 255.

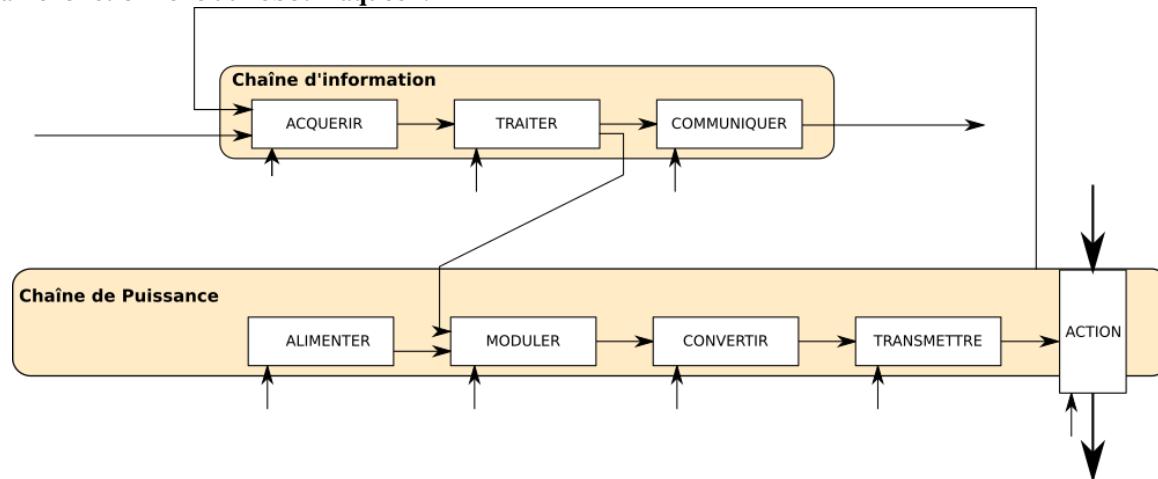
**Activité 7 :** Mettre en oeuvre le programme pour faire tourner le robot sur place, le faire aller en ligne droite ou lui faire prendre un virage.

### Activité 8 :

- ouvrir le logiciel mu editor et ouvrir le fichier test\_moteur.py (on peut faire un glisser depuis le répertoire)
- téléverser votre programme sur la carte (Flasher)
- débrancher le câble USB
- mettre sous tension le robot maqueen

## 3 Analyse structurelle du robot

**Q 1 :** A l'aide des activités proposées précédemment, proposer une analyse structurelle sous la forme d'une chaîne fonctionnelle du robot maqueen.



## 4 Pour aller plus loin

**Q 2 :** Proposer un moyen de suivre un circuit en boucle ouverte (sans capteur)

**Q 3 :** Proposer un moyen de suivre un circuit en boucle fermée (avec capteurs)

## 5 Annexes :

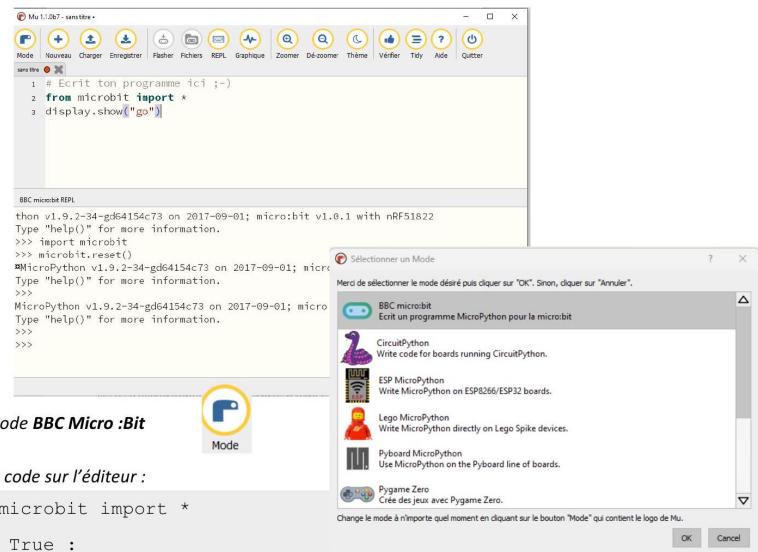
### a) Prise en main de la carte

L'éditeur Python utilisé sera l'éditeur Mu<sup>1</sup>, permettant d'utiliser facilement les cartes microbit.

1. Lien pour installer le logiciel mu : <https://codewith.mu/en/download>

1. Brancher la carte microbit via le port USB au PC.
2. Ouvrir l'éditeur Mu :
3. Choisir le mode BBC Micro :Bit
4. Recopiez ce code sur l'éditeur :

```
from microbit import *
while True :
    display.show(Image.HAPPY)
    sleep(1000)
    display.show(Image.DUCK)
    sleep(1000)
    display.show(Image.GHOST)
    sleep(1000)
```



5. Cliquez sur Flasher pour téléverser le programme.

#### b) Prise en main de MU editor avec le robot Maqueen

- Lancer le logiciel Mu Editor
- Mettre hors tension le robot avec l'interrupteur ON/OFF à l'arrière [1]. La DEL «Power» indique que le robot est sous tension [2].
- Connecter le Maqueen au PC avec le câble USB, l'indication en bas à droite permet de vérifier que le robot est bien connecté [3]. Vous pouvez fermer la fenêtre Windows confirmant la présence de la carte si elle s'ouvre [4].
- Le programme est écrit dans la fenêtre principale [5].
- Il est possible de vérifier les erreurs de syntaxe avec l'outil «Vérifier» [6].
- L'outil «Flasher» [7] permet de copier le programme sur la carte micro bit. Attendre que la DEL à l'arrière de la carte arrête de clignoter [8].
- Si un message s'affiche sur la matrice de DEL, le programme ne fonctionnera peut-être pas à cause d'une ou plusieurs erreurs [9].
- Débrancher le câble USB et mettre le robot sous tension. Le programme s'exécute immédiatement.
- Observer le fonctionnement et mettre le robot hors tension.
- Il est possible d'appuyer sur le bouton «reset» à l'arrière de la carte [10] pour relancer le programme et arrêter le robot.

*Si vous devez attraper le robot en mouvement soyez très précautionneux. Il faut le soulever par le châssis sans toucher aux roues ni à l'électronique.*

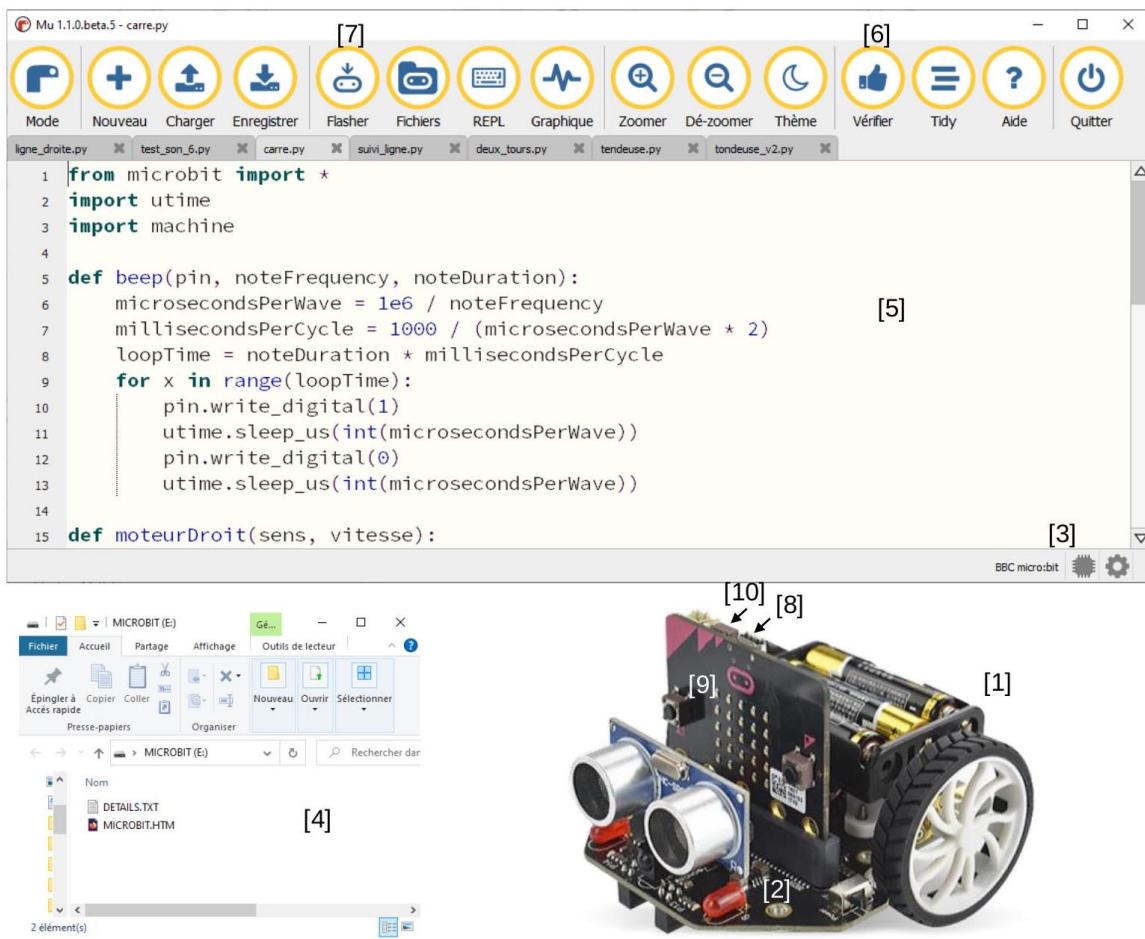
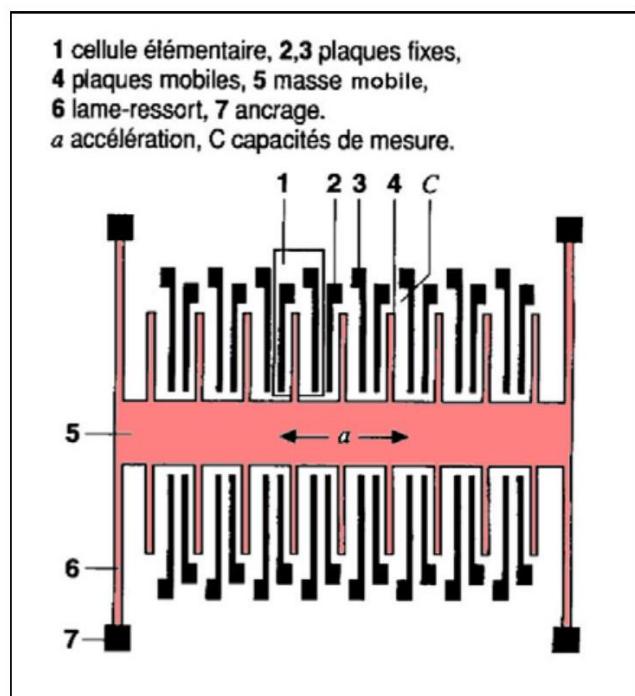


FIGURE 3 – Interface MU editor et présentation du robot

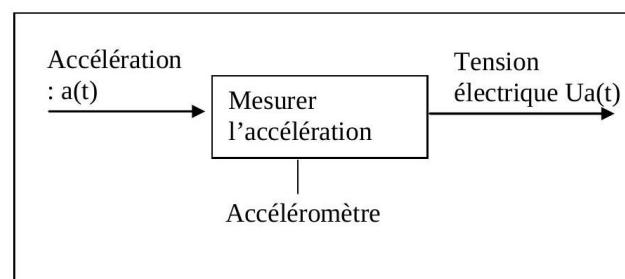
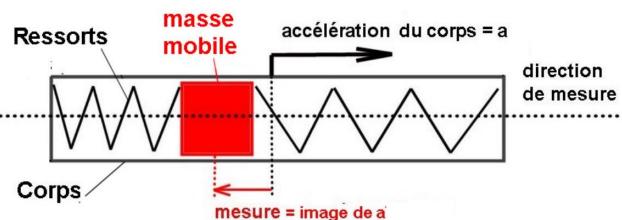
### c) Accéléromètre

Dans le détail, la masse mobile (5) avec ses électrodes en forme de peigne (1,2,3,4) est suspendue de manière souple sur de fines barrettes (6). Des électrodes fixes (2,3) placées sur la puce se trouvent de chaque côté des électrodes mobiles (4).

A l'accélération du capteur, la distance entre les électrodes mobiles et celles fixes se modifie, entraînant une modification du signal électrique dans la puce d'interprétation.



Un schéma équivalent qui représente bien le fonctionnement mécanique de l'accéléromètre à un axe est le «système masseressort» : fonction pour laquelle l'accéléromètre a été conçu : « mesurer l'accélération selon la direction de mesure «dm» »

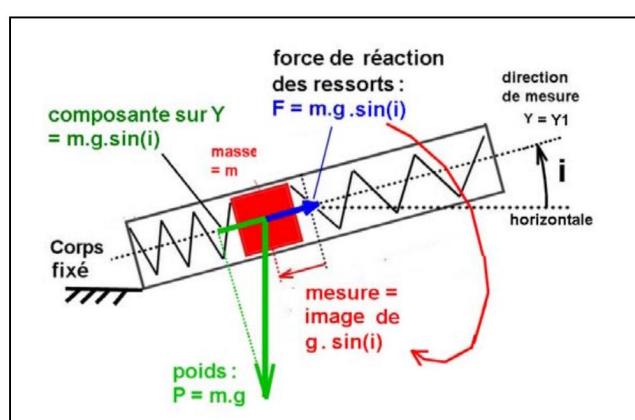


C'est le principe fondamental de la dynamique (ou deuxième loi de Newton) qui nous permet d'écrire que La masse  $m$  est soumise à une force  $F = m.a$ ;

Et donc ce sont les ressorts qui exercent cette force  $F = m.a$ . (en réaction à l'accélération)

La mesure fournie par le capteur est : une image de cette force, et est donc une image de «  $a$  ». si l'accéléromètre est placé verticalement, et fixé au sol, la masse mobile est soumise à la force de pesanteur  $P = m.g$ ; les ressorts exercent sur la masse la force de réaction  $F = m.g$ ; donc l'accéléromètre donne une mesure qui est l'image de l'accélération de la pesanteur : «  $g$  »

On peut se servir d'un accéléromètre comme d'un inclinomètre à condition que le mouvement soit plutôt lent « mesurer l'inclinaison «  $i$  » (voir l'angle «  $i$  » sur la figure ci-contre). Si l'accéléromètre est placé incliné d'un angle «  $i$  » par rapport à l'horizontale, la composante du poids qui intervient dans la direction de mesure est  $P_y = m.g.\sin(i)$ ; en conséquence les ressorts exercent la force de réaction  $F = m.g.\sin(i)$ ; l'accéléromètre fournit donc une image de  $g.\sin(i)$  et permet donc de mesurer l'angle «  $i$  ».



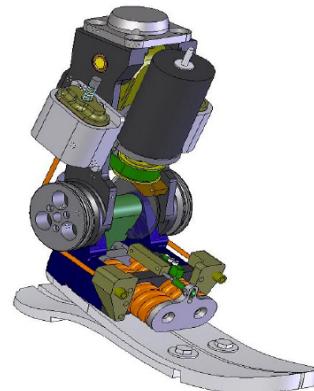
## Exercice 2 : Analyse fonctionnelle d'une prothèse transtibiale

**Source :** Florestan Mathurin

### d) Introduction

La majorité des prothèses transtibiales (pour une amputation en dessous du genou) utilisées aujourd'hui sont purement passives, c'est-à-dire que leurs propriétés mécaniques restent fixes pendant la marche. Ces prothèses sont constituées en général de semelles ressorts en carbone profilées qui emmagasinent et restituent l'énergie mécanique pendant la marche par déformation.

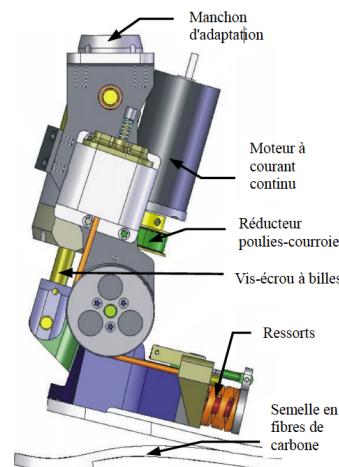
Des ingénieurs du M.I.T. ont mis au point une **prothèse active transtibiale** capable de proposer un comportement similaire à celui des membres non amputés;



### e) Modélisation structurelle

L'actionneur de la prothèse est un moteur à courant continu alimenté par une batterie rechargeable de 16Volts. L'énergie mécanique est transmise par un réducteur de type poulies-courroie suivi d'un système vis-écrou qui adapte cette énergie mécanique pour la prothèse (ensemble de liaisons entre le pied artificiel constitué d'une semelle en fibres de carbone et le manchon ou tibia artificiel).

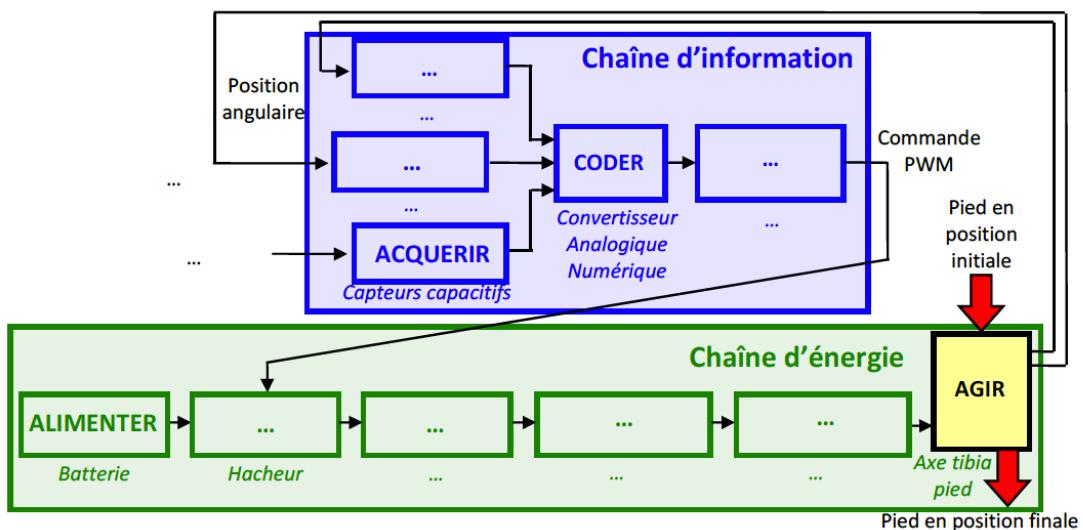
Des ressorts permettent d'ajuster également l'énergie mécanique fournie au pied artificiel. L'effort exercé par les ressorts est directement relié au couple exercé par l'actionneur.



Le système est constitué d'un ensemble de capteurs permettant d'acquérir différentes informations :

- un potentiomètre linéaire qui mesure l'allongement/écrasement du ressort,
- un codeur incrémental placé au niveau de l'articulation pied/tibia,
- plusieurs capteurs capacitifs disposés sous la semelle du pied au niveau du talon  $T_a$  et à l'avant du pied  $P$ .

**Q 4 : Compléter la chaîne structurelle d'information/énergie ci-dessous.**



## Exercice 3 : Analyse fonctionnelle d'un véhicule hybride

**Source :** Florestan Mathurin

### f) Introduction

Dans le contexte actuel d'économie des énergies fossiles et de réduction des émissions de gaz nocifs, le système de propulsion hybride constitue une alternative intéressante à la propulsion classique par moteur thermique seul car il permet de réduire la consommation.

La spécificité de la solution retenue sur la Prius consiste à :

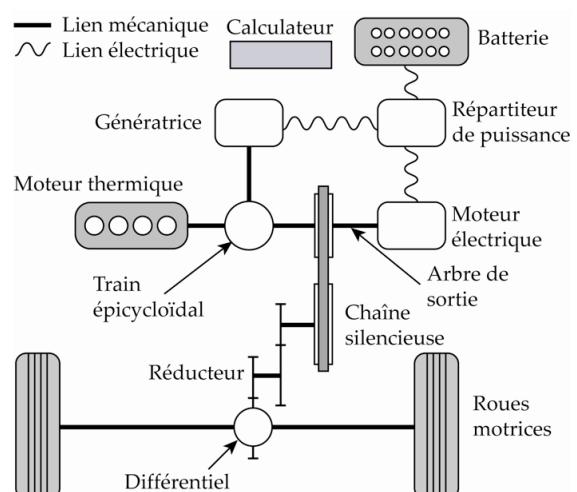
- Récupérer l'énergie du véhicule lors du freinage,
- Exploiter le moteur thermique à son rendement optimal.



### g) Modélisation structurelle

La technologie hybride de TOYOTA, nommée HSD (Hybrid Synergy Drive) associe un moteur thermique à essence et sa transmission, à deux machines électriques et une batterie de puissance.

Le schéma de principe ci-contre met en évidence les deux machines électriques (le moteur électrique et la génératrice) reliées au moteur thermique par un train épicycloïdal.



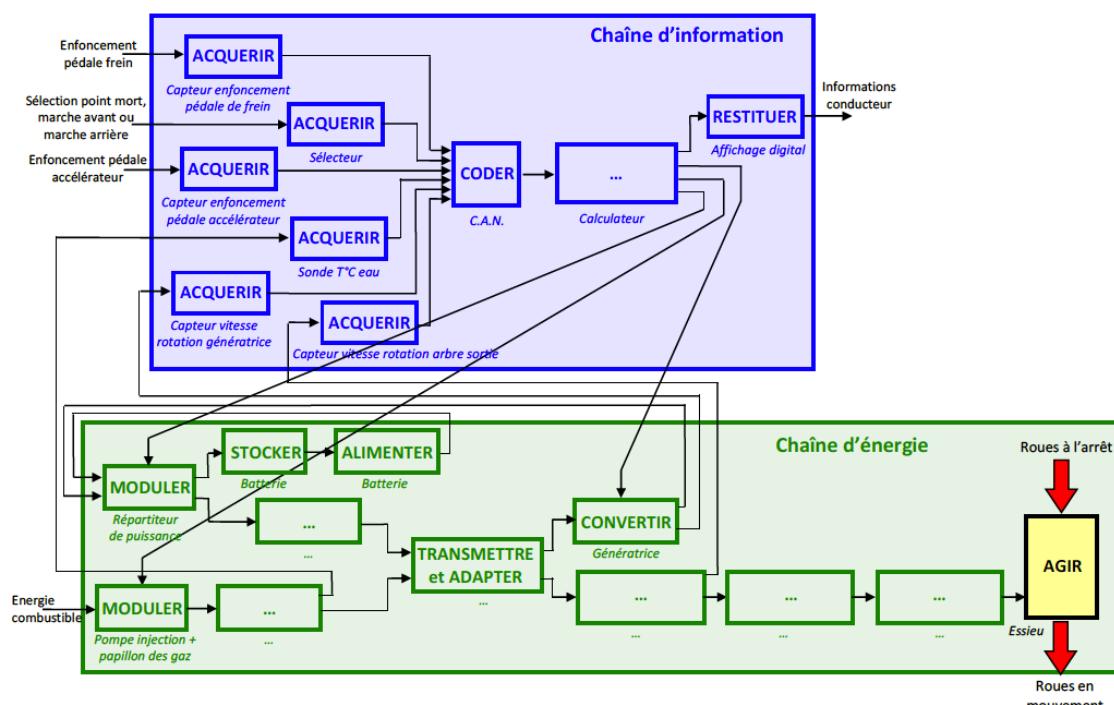
A partir de la position de la **pédale d'accélérateur** et de la vitesse du véhicule, le **calculateur** détermine la **vitesse de rotation optimale du moteur thermique** et la consigne d'ouverture du papillon des gaz. La puissance en sortie du moteur thermique est transmise, grâce à un **train épicycloïdal**, à la **chaîne silencieuse** et à la **génératrice**.

**Un asservissement en vitesse** de la génératrice permet de contrôler la vitesse de rotation du moteur thermique.

**Le répartiteur de puissance** gère les échanges de puissance électrique entre la **génératrice**, le moteur électrique et la batterie.

Le **moteur électrique** entraîne la chaîne silencieuse, seul ou en complément du moteur thermique. Il récupère également l'énergie cinétique ou potentielle du véhicule lors des phases de ralentissement.

**Q 5 : Compléter le diagramme chaîne d'information/chaîne d'énergie.**



## Exercice 4 : Analyse de la propulsion du voilier

**Source :** Concours général des lycées STI 2016 - Equipe PTSI La Martinière Monplaisir

### 1 Présentation

Le voilier spécifié est équipé d'une propulsion hybride. Cette propulsion repose sur deux moteurs électriques actionnant chacun une hélice ; les moteurs sont alimentés en énergie par des batteries et/ou par un groupe électrogène. Les moteurs permettent également un fonctionnement génératrice pour recharger les batteries.

La commande des 2 moteurs est indépendante ; elle s'effectue depuis le poste de pilotage par 2 manettes de commandes.



**Objectif 2 :**

L'objectif de cette partie est de vérifier certaines caractéristiques de la propulsion motorisée du voilier et de justifier le choix des batteries.

## 2 Identification des flux d'énergie et des fonctions relatives à la propulsion motorisée

**Q 6 : Le voilier étudié doit pouvoir être propulsé autrement que par ses voiles. Citer la raison et préciser les exigences d'autonomie en termes de distance et de durée de fonctionnement motorisé (voir diagramme d'exigence sur la propulsion motorisée DT1 en annexe.).**

Les moteurs peuvent être utilisés selon 3 modes :

- Mode 1 : Moteurs alimentés par l'énergie des batteries seulement.
- Mode 2 : Moteurs alimentés par le groupe électrogène.
- Mode 3 : « Moteurs » en fonctionnement génératrice, lorsque la propulsion à voile permet d'entraîner les hélices pour charger les batteries.

**Q 7 : Sur le document réponse, surligner (en précisant le sens du flux) le flux d'énergie correspondant au mode 1 en bleu, le flux d'énergie correspondant au mode 2 en trait interrompu (=pointillé) bleu et le flux d'énergie correspondant au mode 3 en vert.**

**Q 8 : Compléter les fonctions proposées sur le document réponse (F1 à F6) sous les blocs correspondants.**

### a) Vérification du choix de batteries

#### *Vérification de la tension de fonctionnement*

**Q 9 : A l'aide des caractéristiques des constituants (voir DT2 à DT5), vérifier que la tension de fonctionnement du pack de batterie est compatible avec la tension de sortie du groupe électrogène ainsi qu'avec la tension d'alimentation des moteurs et des variateurs de vitesse.**

**Vérification du courant nominal Q 10 : Vérifier que le pack de batterie peut fournir le courant nominal pour alimenter les 2 moteurs ST 74. On se placera sans « active cooling ».**

**Vérification de l'autonomie** L'étude considère que le déplacement du voilier est rectiligne, à vitesse établie à 2.5 m/s, en propulsion motorisée seule (sans voile)

**Q 11 : Sur le DT6, relever l'effort de trainée du voilier (force de résistance à l'avancement du voilier) lorsque celui-ci se déplace à  $2.5 \text{ m s}^{-2}$ . En déduire la force que doit exercer une hélice.**

**Q 12 : A l'aide de la caractéristique d'une hélice (voir DT7), déduire :**

- la vitesse de rotation N (tr/min) ;
- le couple résistant C (en Nm) sur l'arbre d'une hélice à cette vitesse.

**Q 13 : Exprimer la puissance mécanique de l'hélice  $P_h$  en fonction du couple et de la vitesse de rotation. Calculer ensuite cette puissance.**

**Q 14 : Le rendement des moteurs étant de 87%, vérifier que la puissance consommée  $P_m$  par les 2 moteurs dans ces conditions est de l'ordre de 2000W.**

**Q 15 : Vérifier que le pack de batteries (DT3) permet d'avoir la durée de fonctionnement spécifiée au cahier des charges. (On considérera que pour la propulsion motorisée sans voile à une vitesse de  $2.5 \text{ m s}^{-1}$ , le pack de batteries doit fournir 2100W).**

#### *Identification des critères de choix*

**Q 16 : Le tableau (DT8) présente les caractéristiques de différents types de batteries. Classer selon 3 niveaux (prioritaire, moyennement prioritaire, secondaire) ces caractéristiques (Energie massique, Nombre de cyclage, Prix, Sécurité) qui ont amené à choisir le modèle Lithium-Fer-Phosphate.**

## 3 Etude du système de quille pendulaire

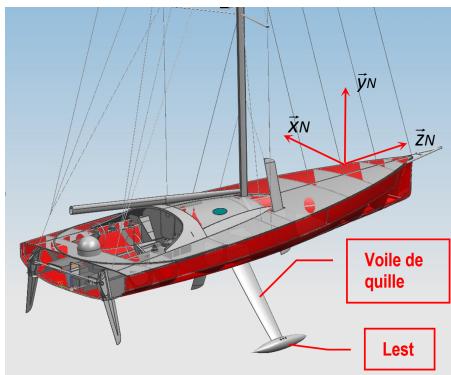
### a) Présentation

Afin de ne pas se retourner lorsque le vent pousse sur les voiles, les voiliers monocoques sont munis d'un lest qui tend à redresser le navire. Afin d'obtenir une puissance vélue supérieure, certains modèles de compétition disposent

d'une quille (élément qui supporte le lest) mobile. Cela permet aussi au plan de voilure d'être établi à un angle plus proche de la verticale qui est meilleur pour les performances aérodynamiques.

*Vélique = qui se rapporte aux voiles d'un navire*

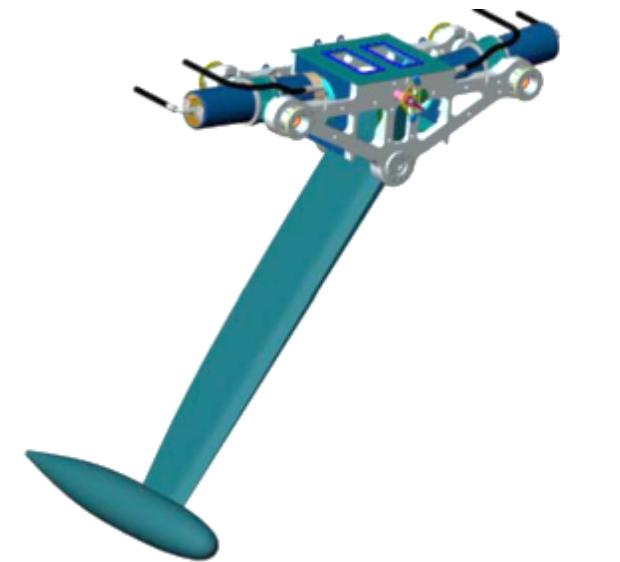
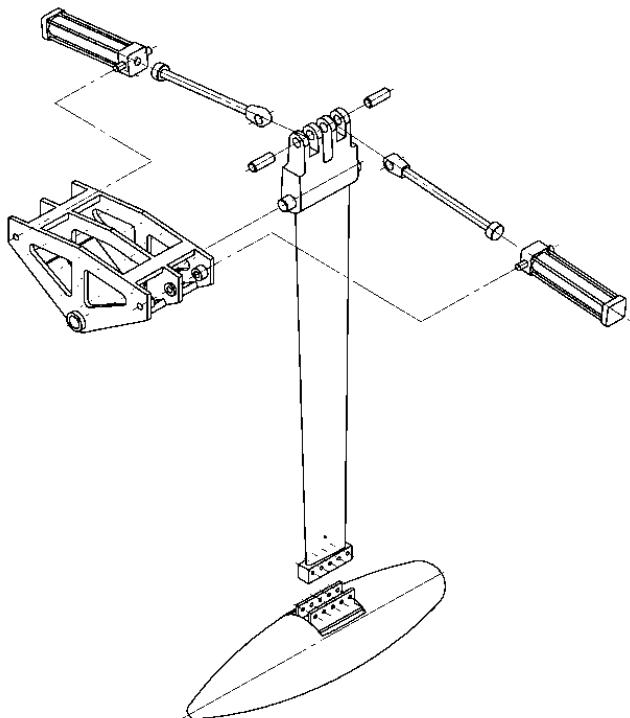
*Effort vélique = effort sur la voile*



La quille est manœuvrée par deux vérins hydrauliques. Chacun d'eux est piloté par une servovalve de débit. Ce composant délivre un débit  $q(t)$  proportionnel à sa tension de commande  $v(t)$ .

L'angle de rotation de la quille par rapport au bâti est mesuré par un capteur potentiométrique.

Une barre de liaison montée sur roulement à bille permet de transmettre l'action du vérin au voile de quille. Une carte électronique à microcontrôleur est utilisée pour exécuter le programme de contrôle. Le marin dispose d'une télécommande sans fil pour envoyer les requêtes de mouvement et dispose d'un afficheur LCD pour contrôler l'état et la position de la quille. Un système d'accumulateur hydraulique permet d'emmageriser du fluide sous pression en prévision du mouvement. Une pompe électrohydraulique remplit ces accumulateurs.



Modèle CAO

Représentation éclatée de l'ensemble

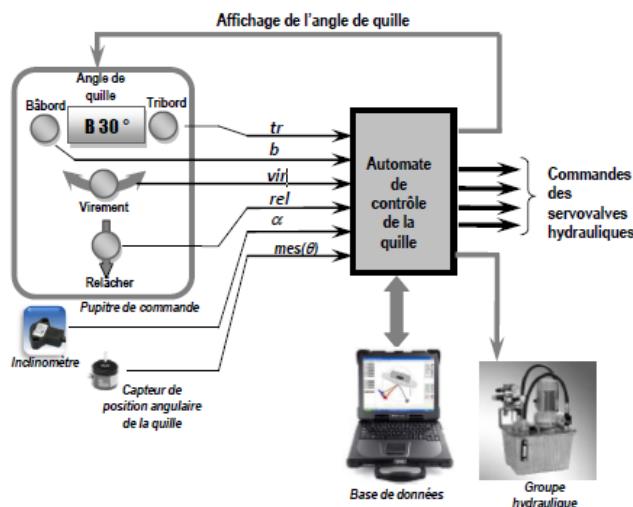


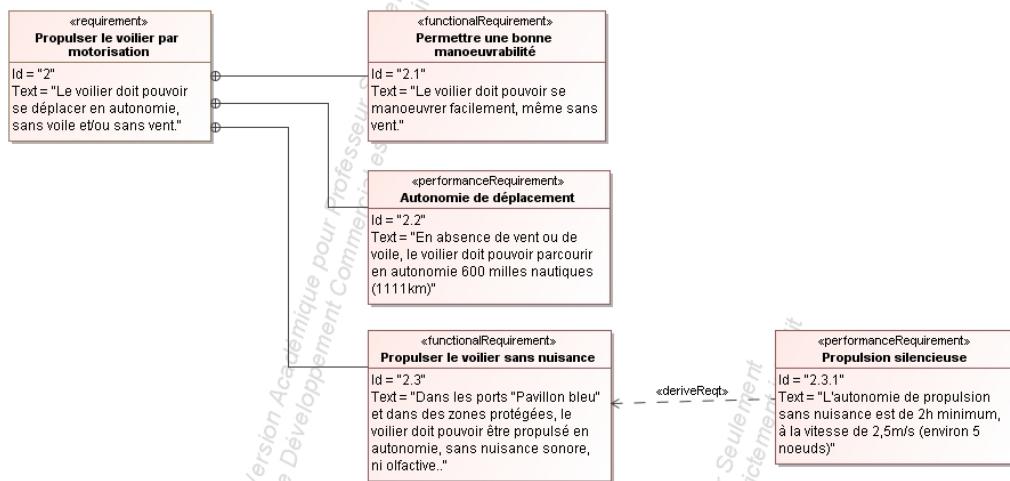
FIGURE 4 – Structure de la commande

### b) Chaine d'énergie

**Q 17 : Réaliser le schéma fonctionnel présentant la chaîne d'énergie et la chaîne d'information du système de quille pendulaire avec la fonction de chaque élément.**

## 4 DOCUMENTS TECHNIQUES

### a) DT1 : Diagramme d'exigences « propulser le voilier par motorisation »



b) DT2 : Moteur électrique type ST 74



ST 74

Moteur ST 74	
Type	Brushless
Puissance de sortie	9 kW
Vitesse nominale	860 tr · min <sup>-1</sup>
Couple nominal	100 Nm
Tension continue	144 V
Courant nominal	64 A
Masse	65 kg

c) DT3 : Pack de batteries



Le pack est constitué de 45 cellules LiFePO4 Lithium-Fer-Phosphate type IB-B-FHE-160, associées en série. Un circuit électronique gère la charge et la décharge en surveillant l'état de chaque cellule.

Caractéristiques du pack de batterie	
Capacité nominale	23kWh

LiFePO4 Packaged Cells		
Specification	Condition	IB-B-FHE-160
Nominal Voltage	(C/3)	3.2 Volts
Nominal Capacity	(C/3)	160 Ah
Nominal Energy	(C/3)	512 Wh
Specific Energy	(C/3)	94 Wh/Kg
Self-Discharge Rate	Monthly, RT	<3%
Cycle Life @ 25 °C	100% DOD	>2000 Cycles
Cycle Life @ 55 °C	100% DOD, 1C, Active Cooling	>1000 Cycles
Cell Weight	Integrated Cell	5.4 Kg
Recommended Cutoff Voltages	Charge Discharge	3.6 Volts 2.5 Volts
Max Continuous Charge Current	100% DOD	80 A (C/2)
Max Continuous Charge Current	100% DOD, Active Cooling	160 A (C)
Max Continuous Discharge Current	10% to 90% DOD	160 A (C)
Max Continuous Discharge Current	10% to 90% DOD, Active Cooling	480 A (3C)
Charging Efficiency (Ratio of charge/discharge time)	100% DOC @ C/3 10% to 90% DOC @ C/3	90% 98%
Operating Temperature	Charge Discharge	0°C to 50°C -20°C to 55°C

d) DT4 : Variateur de vitesse AVB125A200



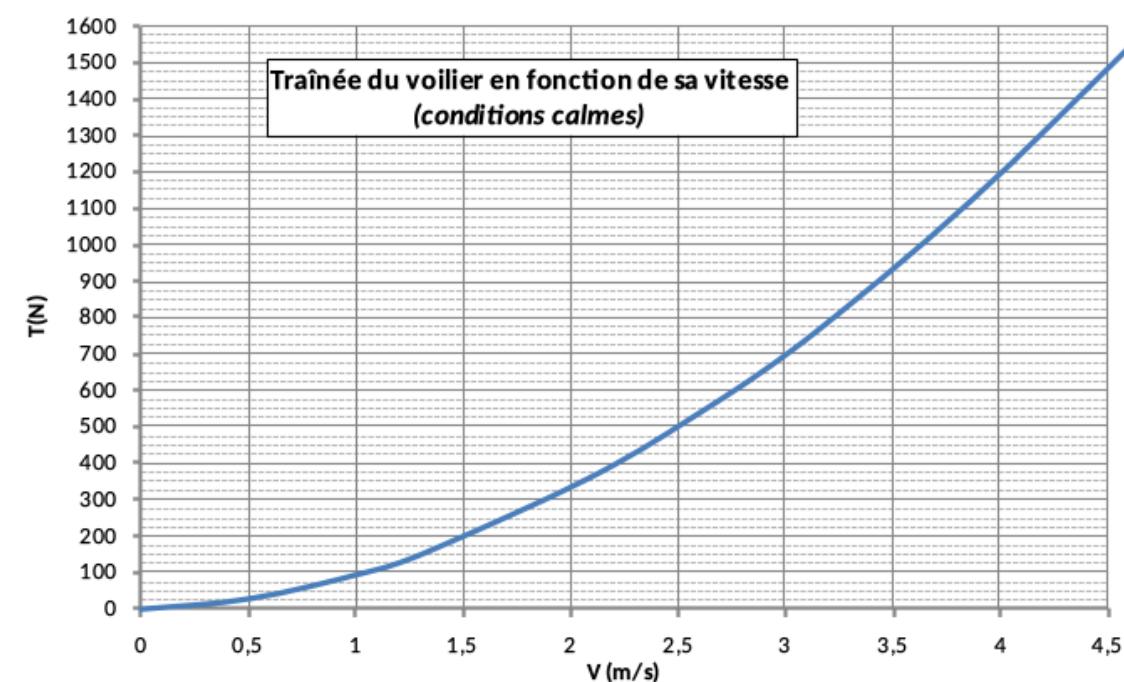
Caractéristiques de puissance	
Gamme de tension d'alimentation	40 – 175 Vdc
Seuil de surtension	190 V
Seuil de sous-tension	36 V
Courant max en crête	125 A
Courant max permanent	80 A
Caractéristiques de commande	
Information de commande	0 - 5 V ou 0 - 5 kΩ

e) DT5 : Groupe électrogène PDC 8220VP-30

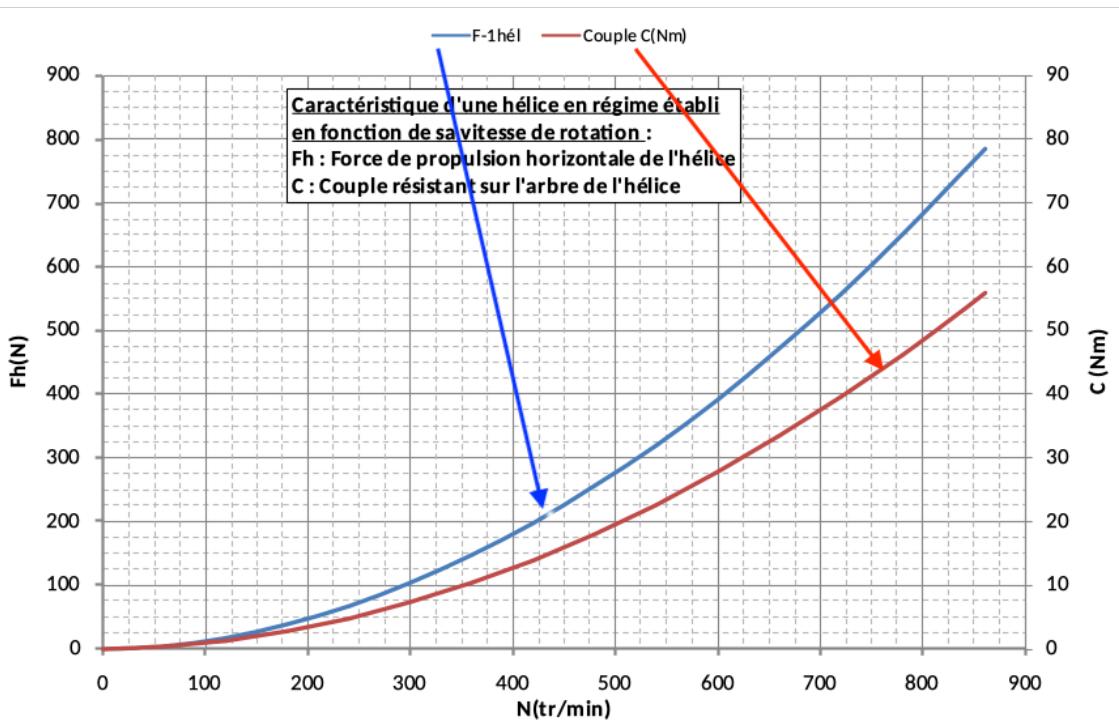


<b>PDC 8220VP-30</b>	
<b>Ratings kW (continuous)</b>	14kw
<b>Output DC Voltage</b>	48 - 144V
<b>Engine RPM</b>	2900
<b>Cylinders</b>	3
<b>Cylinder Volume</b>	1.13 Liters
<b>Weight</b>	153kg/337lbs
<b>Operating Temperature</b>	-20°C to 72°C
<b>Fuel Consumption</b>	0.34 L/kWhr (calculated)
<b>Hard Enclosure Dimensions</b>	Length: 700mm/27.6" Width: 535mm/21" Height: 650mm/25.6"

f) DT6



## g) DT7



## h) DT8 : Caractéristiques pour différents types de batteries

Type de batterie	Plomb (Pb)	NiMH	Li-ion	
Energie massique (Wh/kg)	30 - 50	60 - 120	Cobalt LiCoO <sub>2</sub>	Phosphate LiFePO <sub>4</sub>
Nombre de cycle charge/décharge	100 – 1000 (selon profondeur de décharge)	300 - 800	1000	2000
Coût	< 100 €/kWh	~ 1000 €/kWh	500 – 1000 €/kWh	500 – 1000 €/kWh
Sécurité (risque d'emballage thermique)	Version AGM : Pas de risque de fuite ou d'explosion	Pas de risque	Risque potentiel d'emballage thermique	Pas de risque