Enseignement de spécialité / Sciences de l'ingénieur

(Cycle terminal général)



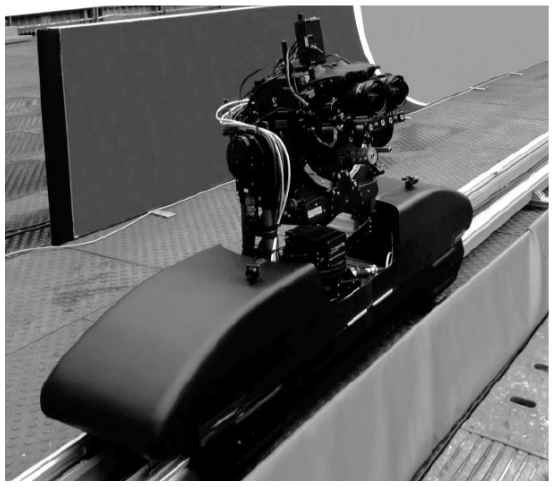




Source : http://technicalillustrators.org/files/2009/11/jhatch_WindTurbine_Orig1.jpg

(L.E.G.T Léonard de VINCI à AMBOISE)

Professeurs S2I : M.COQUELIN et M.LAYEC





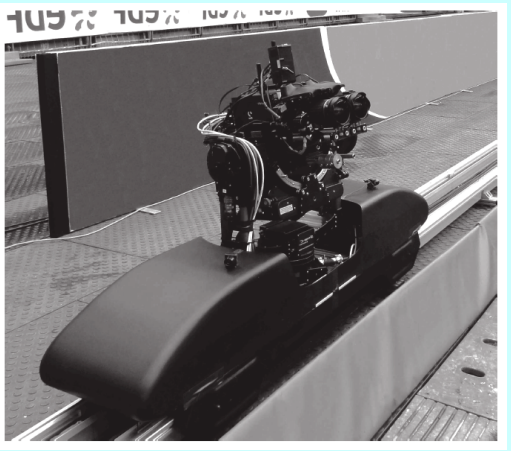
Distributeur automatique de savon



Spécialité Sciences de l'ingénieur
Première et Terminale générale
L.E.G.T Léonard de Vinci -AMBOISE







Le cœur de notre travail et de nos apprentissages :

Quantifier les performances d'un produit sous sa forme simulée (performances simulées) et sous sa forme réelle (performances mesurées), afin de satisfaire le besoin initial (forme souhaitée, cahier des charges fonctionnel)





Performances d'un sytème pluritechnique (ou produit) :

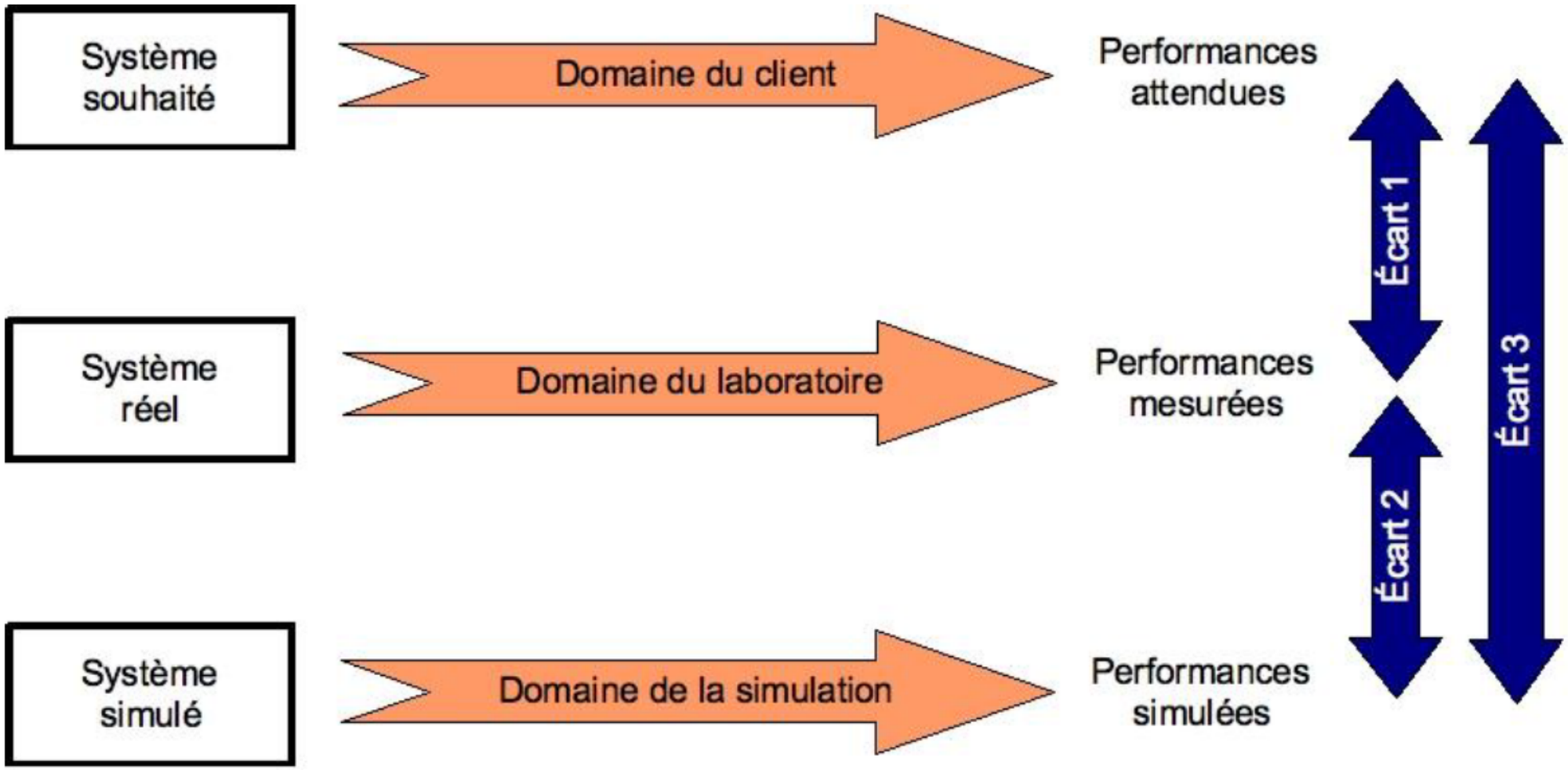
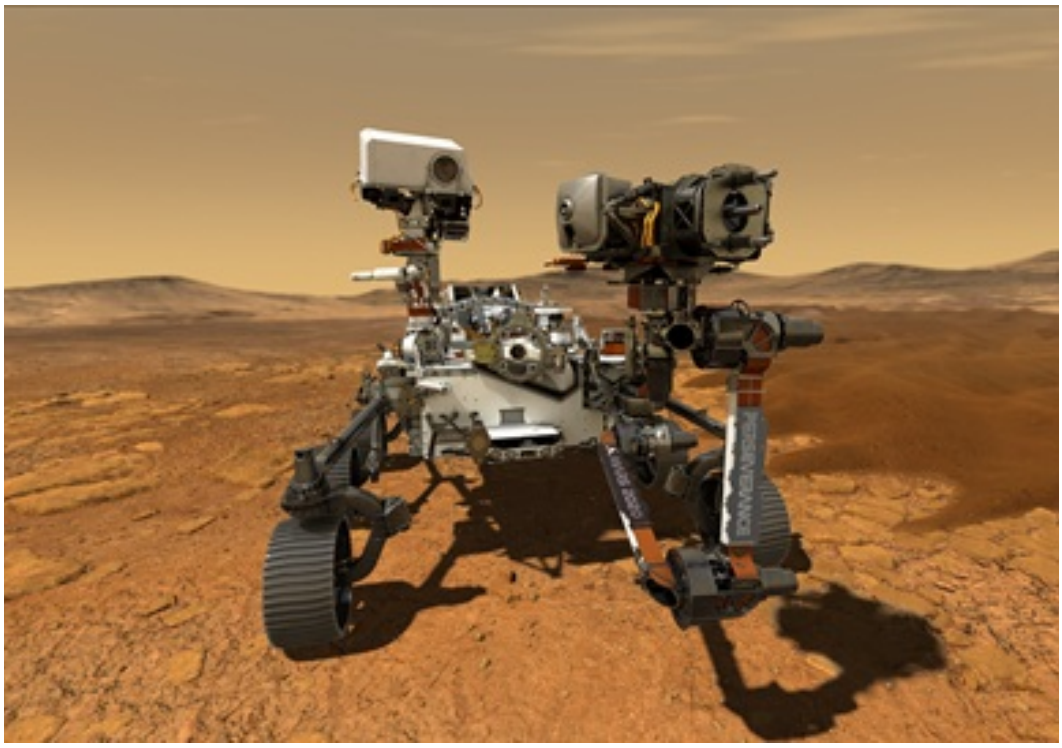


Figure 1 : représentation des différents écarts



L'orientation (la clé de voûte)



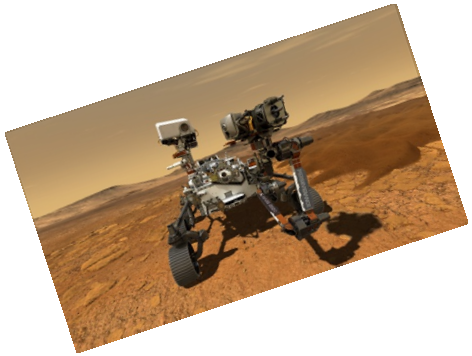
Site à consulter : UPSTI

(Union des Professeurs des Sciences Techniques Industrielles)



L' U.R.L du site ci-dessous

https://www.upsti.fr/



Lycée Léonard de Vinci Amboise

Sciences de l'ingénieur



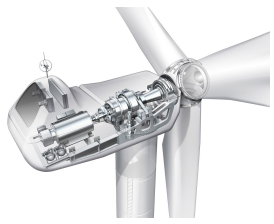
Lycée général

Seconde générale

Enseignement tronc commun
SNT (1h30/semaine)

Enseignement optionnel
CIT ou SI (1h30/semaine)

Cycle terminal



Etude de performances des produits



1ère (SI 4h/semaine) - Terminale (SI 6h/semaine + Physique 2h/semaine)
+ 1 spécialité scientifique au choix : Mathématiques/Physique Chimie/SVT/NSI

Enseignement optionnel Terminale
Mathématiques expertes ou Mathématiques complémentaires

Compétences

- Innover
- Analyser
- Modéliser et résoudre
- Expérimenter et simuler
- Communiquer

Thématiques

- Bâtiments Structures
- Réseaux/IOT
- Energies
- Transports
- Santé Sécurité
- Design Prototypage

Domaines

- Mécanique
- Electricité
- Hydraulique
- Electronique
- Informatique
- Intelligence Artificielle
- CAO/FabLab

Poursuite d'études Post-Bac

Bac +2
Bac +3
Bac +5
Bac +8

STS
BTS
Licence pro.

IUT
DUT
BUT

Université
Licence
Master
Doctorat

Classe Préparatoire Aux Grandes Ecoles

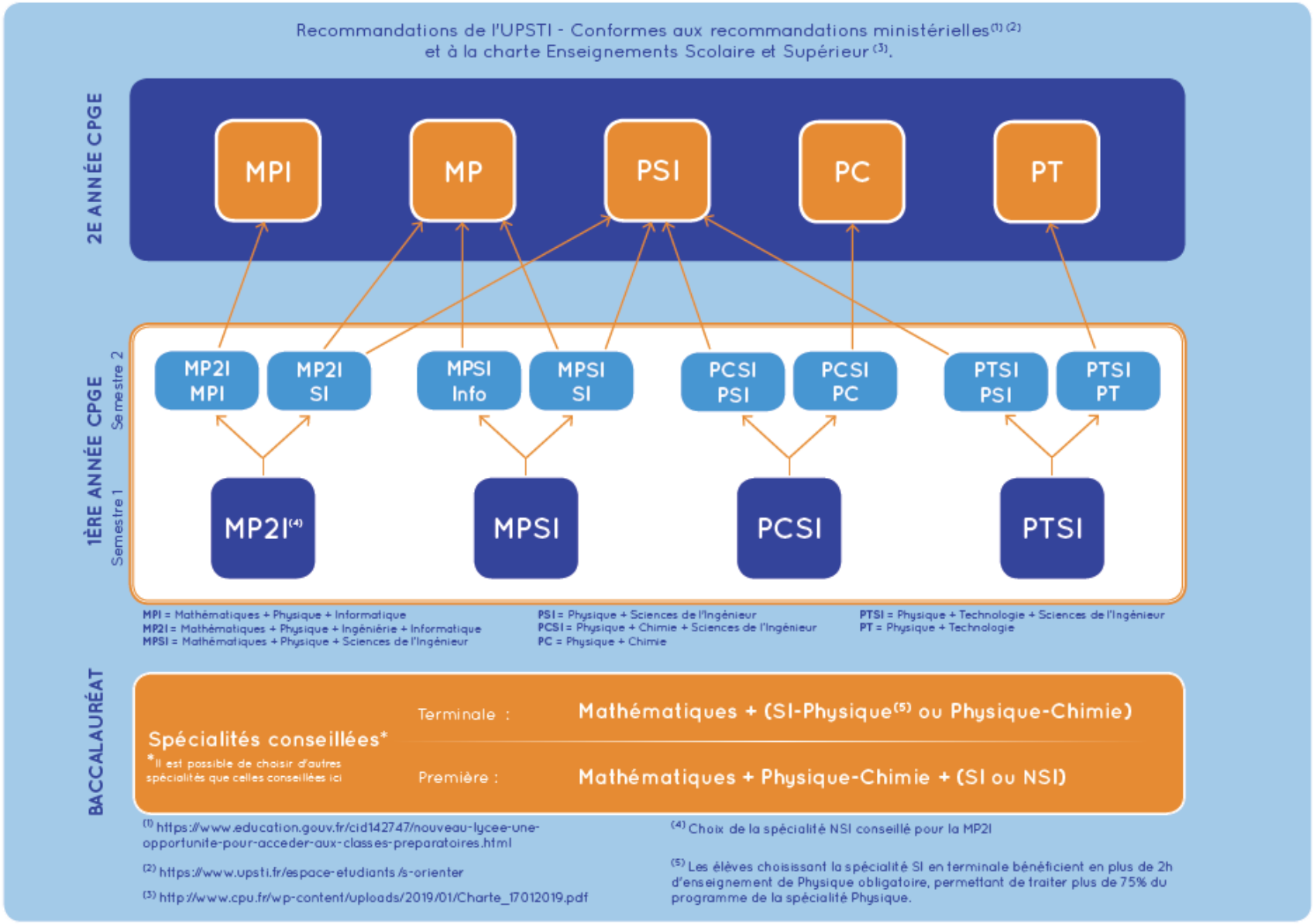
Classe préparatoire intégrée

Ecole ingénieur

Dipôme ingénieur

Effectifs partagés avec les bacheliers techno. et pro. :
- **IUT : 50% gen./50% techno.**
- **BTS : 50% techno./50% pro.**

[C.P.G.E (classes préparatoires aux grandes écoles)] :



Orientation [C.P.G.E (classes préparatoires aux grandes écoles)]

CPGE
1re année

« J'ai choisi la PCSI pour faire principalement de la physique et découvrir les Sciences de l'Ingénieur. Je me suis lancé confiant en me disant que j'allais beaucoup apprendre. Il faut voir la prépa comme un défi qui est loin d'être insurmontable. Il faut juste s'accrocher et garder le moral. »

Jacques D.
CPGE PCSI : 1re année

CPGE
2e année

« J'ai choisi de faire une CPGE pour être libre de mes choix dans la suite de mes études. En effet au lycée, j'avais envie de poursuivre l'apprentissage des sciences. J'ai donc réalisé une journée d'intégration dans une école d'ingénieur où on m'a fait connaître les classes préparatoires CPGE. Elles représentent pour moi un très bon moyen d'entrer dans le post bac, étant très formatrices, et nous permettant d'apprendre à nous connaître. »

Claire T.
CPGE PSI : 2e année

École d'ingénieur
1re année

« Tout le long de ma scolarité au lycée, j'ai toujours eu des résultats moyens en fournissant une dose de travail minime. En classe prépa, ceci est impossible. Ce qui m'a poussé inconsciemment à apprendre à travailler. Mon objectif était de pouvoir intégrer une bonne école d'ingénieurs et améliorer mon niveau théorique dans les matières scientifiques. »

Nitu M.
1re année École d'ingénieur

École d'ingénieur
2e année

« On m'a parlé des étudiants en prépa qui avaient tous l'esprit concours, c'est-à-dire qu'ils ne s'aidaient pas, voire se mettaient des bâtons dans les roues. Au final, l'esprit dans ma classe m'a agréablement surpris, l'entraide était présente avec tous. C'est clairement le souvenir qui me marquera le plus. »

Bastien G.
2e année
École d'ingénieur

École d'ingénieur
3e année

« J'ai été prise en prépa et j'avoue que c'est totalement différent de l'idée que j'en avais. On rencontre des gens formidables et la PTSI est vraiment une filière intéressante grâce à son sens pratique. On voit les systèmes qu'on étudie, on a une application directe de ce que l'on fait en cours. »

Marie C.
3e année École d'ingénieur

DIPLÔME D'INGÉNIEUR.E !

« Après un baccalauréat technologique STI2D, faire une classe préparatoire TSI fut un choix réfléchi que je ne regrette pas du tout. Durant ces deux années, j'ai appris à avoir confiance en moi, à me surpasser et à mieux communiquer. La classe préparatoire m'a apporté une aide tant sur le plan humain que sur le plan intellectuel. »

Martine S.
Ingénieure diplômée

Choix des spécialités en Terminale :

Imaginer, concevoir, créer, innover

Ces compétences demandées aux futurs ingénieurs sont développées par le choix de la spécialité

Sciences de l'Ingénieur

Un enseignement de Sciences concret et appliqué !

CYCLE TERMINAL
Spécialité Sciences de l'Ingénieur

FORMATIONS POST-BAC
intégrant les Sciences de l'Ingénieur

- CPGE : MPSI, PCSI, PTSI, MPII
- IUT BTS
- Écoles d'ingénieurs à prépas intégrées
- Universités Licence SI Master SI



Faire son choix

Choix **obligatoire** de 3 spécialités en première, 2 en terminale

Spécialités Scientifiques		
Sciences de l'Ingénieur (SI)	Mathématiques (M)	Physique-Chimie (PC)
Numérique et Sciences Informatiques (NSI)	Sciences de la Vie et de la Terre (SVT)	

Pourquoi l'UPSTI vous recommande de choisir la spécialité SI ?

Elle permet d'avoir le parcours le PLUS SCIENTIFIQUE au lycée avec 14 heures d'enseignement de spécialités scientifiques (6+6+2), en Terminale. Le choix de la spécialité SI en Terminale est le SEUL permettant de bénéficier de deux heures de physique supplémentaires. Le programme de Sciences de l'Ingénieur intègre aussi un fort enseignement de Mathématiques/Physique/Informatique.

Conseils pour vos études supérieures

- **En PREMIÈRE - 12 h de spécialités**
  SI + M + PC ou SI + M + NSI ou SI + M + SVT
- **En TERMINALE - 14 h de spécialités + 3 h d'option**
  SI avec 2 h de Physique + M + Option Maths Expertes **ou**
  SI avec 2 h de Physique + PC + Option Maths complémentaires

* : d'après le SIES (Systèmes d'Information et des Études Statistiques de la DGESIP) de 2012.
** : d'après le rapport de l'Inspection Générale de l'Éducation Nationale de Décembre 2016.

EN CHIFFRES

En Terminale

17h de sciences concrètes hebdomadaire dont
6h de SI
2h de physique
6h de seconde spécialité
3h d'option maths expertes

EN CHIFFRES

Parmi les élèves ayant suivi l'enseignement SI

90%* ont une carrière d'ingénieur

90%** continuent dans une voie scientifique



Une démarche scientifique affirmée :

* L'approche en sciences de l'ingénieur mobilise une démarche scientifique reposant sur :
- **l'observation**,
- **l'élaboration d'hypothèses**,
- **la modélisation**,
- **la simulation**,
- **l'expérimentation matérielle ou virtuelle**,
- **l'analyse critique des résultats obtenus**.

* Il s'agit de comprendre et de décrire les phénomènes mis en oeuvre et les lois de comportement associées, pour qualifier et quantifier les performances du produit afin de vérifier si le besoin initialement défini est satisfait.



Un enseignement scientifique ambitieux pour se préparer à l'enseignement supérieur :

* La contribution des **STEM** (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) permet une appropriation des concepts scientifiques et technologiques par l'interdisciplinarité.

* L'enseignement de **sciences de l'ingénieur** intègre des contenus propres aux **sciences physiques**. De plus, en classe terminale, les élèves ayant choisi l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur **bénéficient de deux heures de sciences physiques enseignées par un professeur de physique-chimie**. **Ces deux heures sont dédiées aux aspects fondamentaux de sciences physiques**.

* Les champs abordés en sciences de l'ingénieur recouvrent le large spectre scientifique et technologique des champs de la **mécanique**, de **l'électricité et du signal**, **de l'informatique et du numérique**. **Les simulations multi-physiques** sont largement exploitées pour appréhender les performances des produits en établissant des liens entre ces différents champs.

* Ainsi, les élèves qui choisissent **l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur en classe terminale** développent **les compétences attendues** pour **une orientation vers l'enseignement supérieur scientifique**.



Un enseignement intégré dans de grandes thématiques :

*** Les territoires et les produits intelligents, la mobilité des personnes et des biens :**

- les structures et les enveloppes ;
- les réseaux de communication et d'énergie ;
- les objets connectés, l'Internet des objets ;
- les mobilités des personnes et des biens.

*** L'homme assisté, réparé, augmenté :**

- les produits d'assistance pour la santé et la sécurité ;
- l'aide et la compensation du handicap ;
- l'augmentation des performances du corps humain.

*** Le design responsable et le prototypage de produits innovants :**

- l'ingénierie design de produits innovants ;
- le prototypage d'une solution imaginée en réalité matérielle ou virtuelle ;
- les applications numériques nomades.



Des projets innovants / Une approche design :

*** En classe de première**, **un projet de 12 heures** mené **en équipe** permet aux élèves d'imaginer et de matérialiser tout ou partie d'une solution originale. Ce projet peut être commun à toutes les équipes d'une même classe ou d'un établissement sous la forme d'un défi.

*** En classe terminale**, **un projet de 48 heures** conduit **en équipe** est proposé à tous les élèves. **L'objectif** est **d'imaginer tout ou partie d'un produit**, développé sous forme **de réalisations numérique et matérielle** en vue **de répondre à un besoin** et **d'obtenir des performances clairement définies**. **Ces réalisations** matérialisent **tout ou partie d'une solution imaginée** associée à **un modèle numérique**. **Elles** permettent **de simuler** et **de mesurer expérimentalement des performances** et **de les valider**.

Programme et compétences : (en Première)

Innover
- Améliorer l'existant
- Imaginer une solution originale

Analyser
- Analyser le besoin, l'organisation matérielle
- Caractériser la puissance et l'énergie et repérer les échanges
- Analyser les protocoles pour un réseau de communication
- Quantifier les trois écarts de performances

Modéliser
- Proposer/Justifier des hypothèses ou des simplifications
- Caractériser les grandeurs physiques en E/S d'une modélisation
- Associer un modèle aux constituants d'une chaîne de puissance
- Traduire le comportement attendu ou observé d'un objet
- Caractériser les échanges d'information
- Capteurs dans les systèmes asservis
- Modélisation graphique de structure/mécanisme/circuit électrique
- Modéliser les mouvements et les actions mécaniques
- Déterminer les grandeurs de flux et d'effort dans un circuit électrique
- Déterminer les grandeurs géométriques et cinématiques d'un mécanisme

Communiquer
- Rendre compte de résultats
- Collecter et extraire des informations



Programme et compétences : (Cycle terminal)

INNOVER : (Pourquoi cette compétence?)

*Au XXI^{ème} siècle, dans des contextes fortement évolutifs, la compétitivité des entreprises et l'efficience des administrations sont liées à leur capacité à innover de façon permanente. La formation des futurs ingénieurs doit stimuler leur créativité, les préparer à une disposition d'esprit propice à l'innovation et aborder des méthodes de recherche créative et d'organisation de projet.

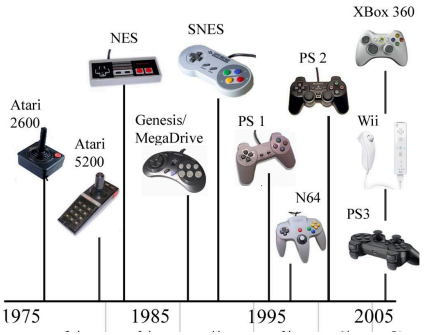
INNOVER : (Typologies à titre d'exemples)

Innovation incrémentale :

La manette de jeu vidéo







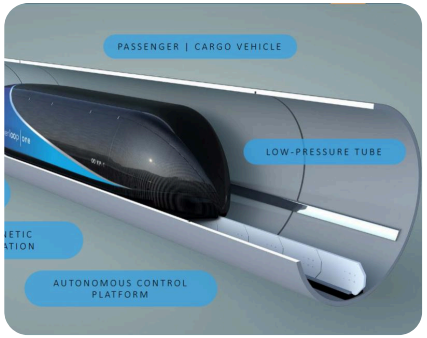
Les élèves étudient une lignée de produits : Manette classique → améliorations ergonomiques → apparition de nouvelles fonctions → amélioration des capteurs → Wii Remote

Innovation de rupture :

Le passage du transport ferroviaire classique à une nouvelle architecture de transport
Par exemple : Train classique → TGV → Hyperloop









ANALYSER: (Analyser les produits existants pour appréhender leur complexité)

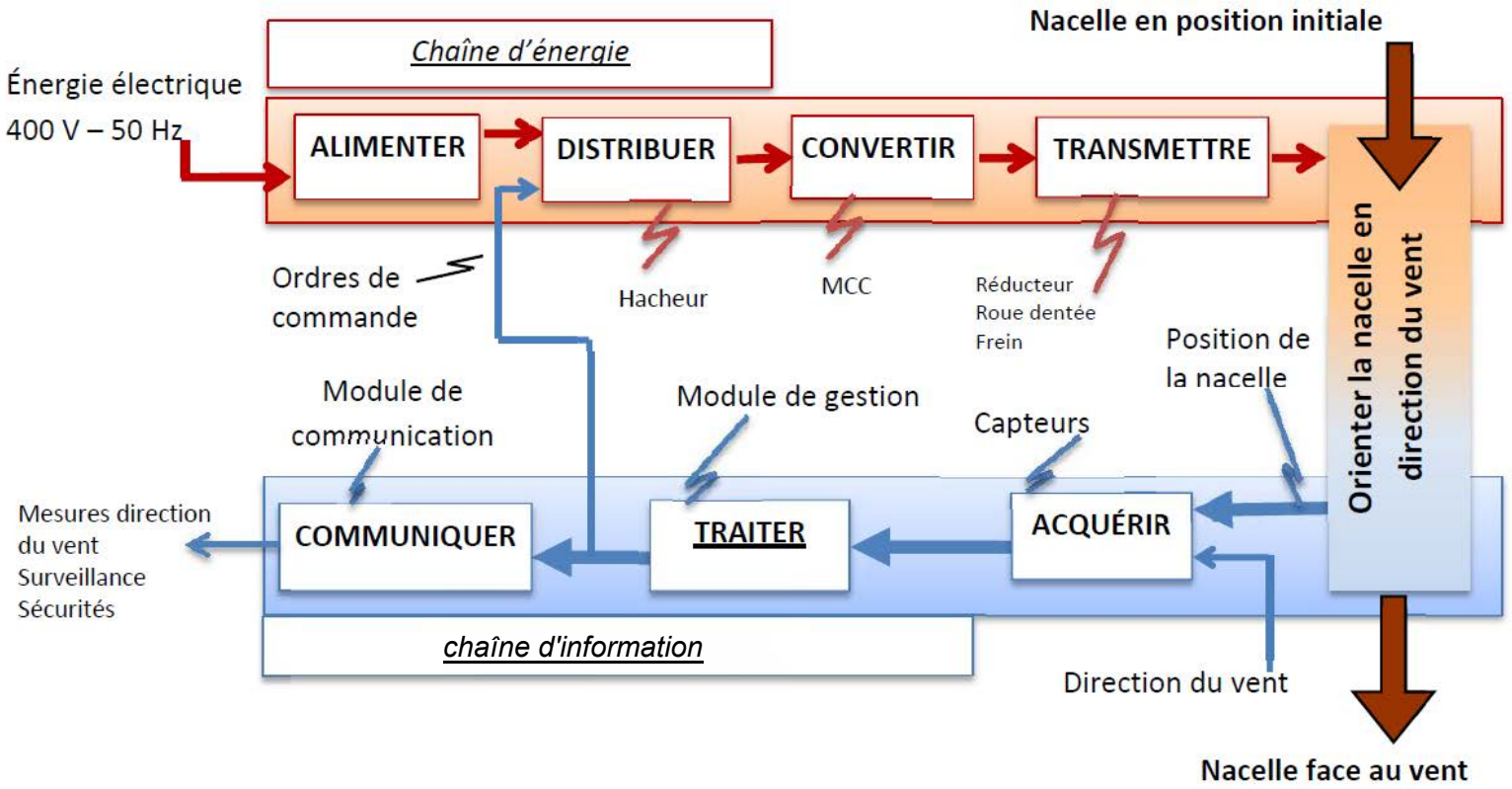
* La société attend des ingénieurs qu'ils lui proposent des solutions nouvelles pour répondre aux besoins émergents. La capacité à proposer des solutions innovantes repose en partie sur une analyse des solutions existantes et des enjeux de société associés. Ainsi, les ingénieurs sont capables de mener une analyse structurée des produits et d'utiliser une base de connaissances scientifiques et technologiques.

ANALYSER : (Situation d'étude)

Aérogénérateur
Structure fonctionnelle globale



Source : http://technicalillustrators.org/files/2009/11/jhatch_WindTurbine_Orig1.jpg



ANALYSER : (Situation d'étude)

étude d'une prothèse de main
Programme en C++
environnement "Arduino"
Mesure de l'effort de saisie

programme_mesure_effort

```
// capteur d'effort connecté sur la broche A0

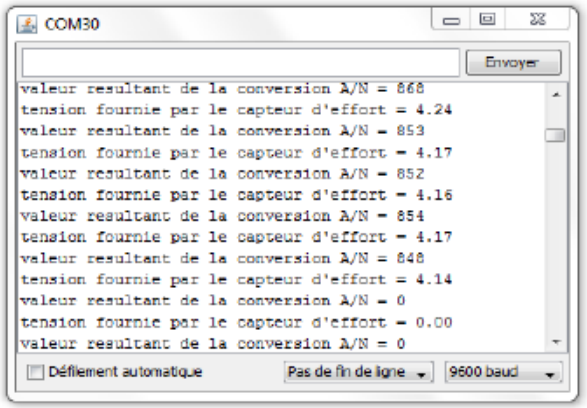
// declaration des variables
int Vcapteffort; // variable contenant la valeur numérique convertie de la tension du capteur d'effort
float voltageEffort; // variable contenant la valeur de la tension recalculée de Vcapteffort

void setup()
  {
   Serial.begin(9600); // configuration pour l'affichage sur le moniteur série (écran de l'ordinateur)
  }

void loop()
{
  Vcapteffort = analogRead(A0); // acquisition et conversion numérique de la tension présente sur la broche A0
  Serial.print("valeur resultant de la conversion A/N = ");
  Serial.println(Vcapteffort); // affichage de la valeur numérique obtenue sur le moniteur série (écran du PC)

  float voltageEffort =Vcapteffort*(5.0/1023.0); // calcul de la tension recalculée de Vcapteffort
  Serial.print("tension fournie par le capteur d'effort = ");
  Serial.println(voltageEffort); // Affichage sur le moniteur série (écran du PC)

  delay(1000); // temporisation entre 2 acquisitions
}
```

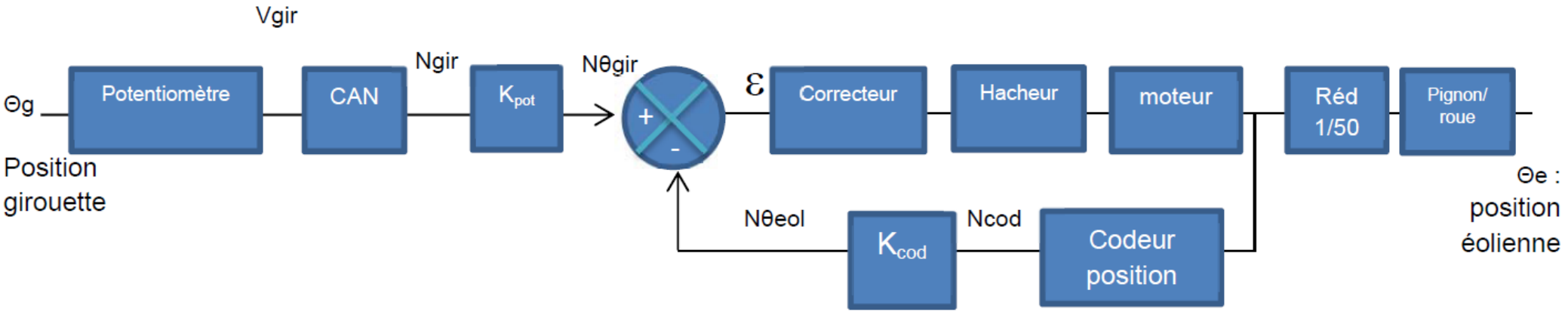




ANALYSER : (Situation d'étude)

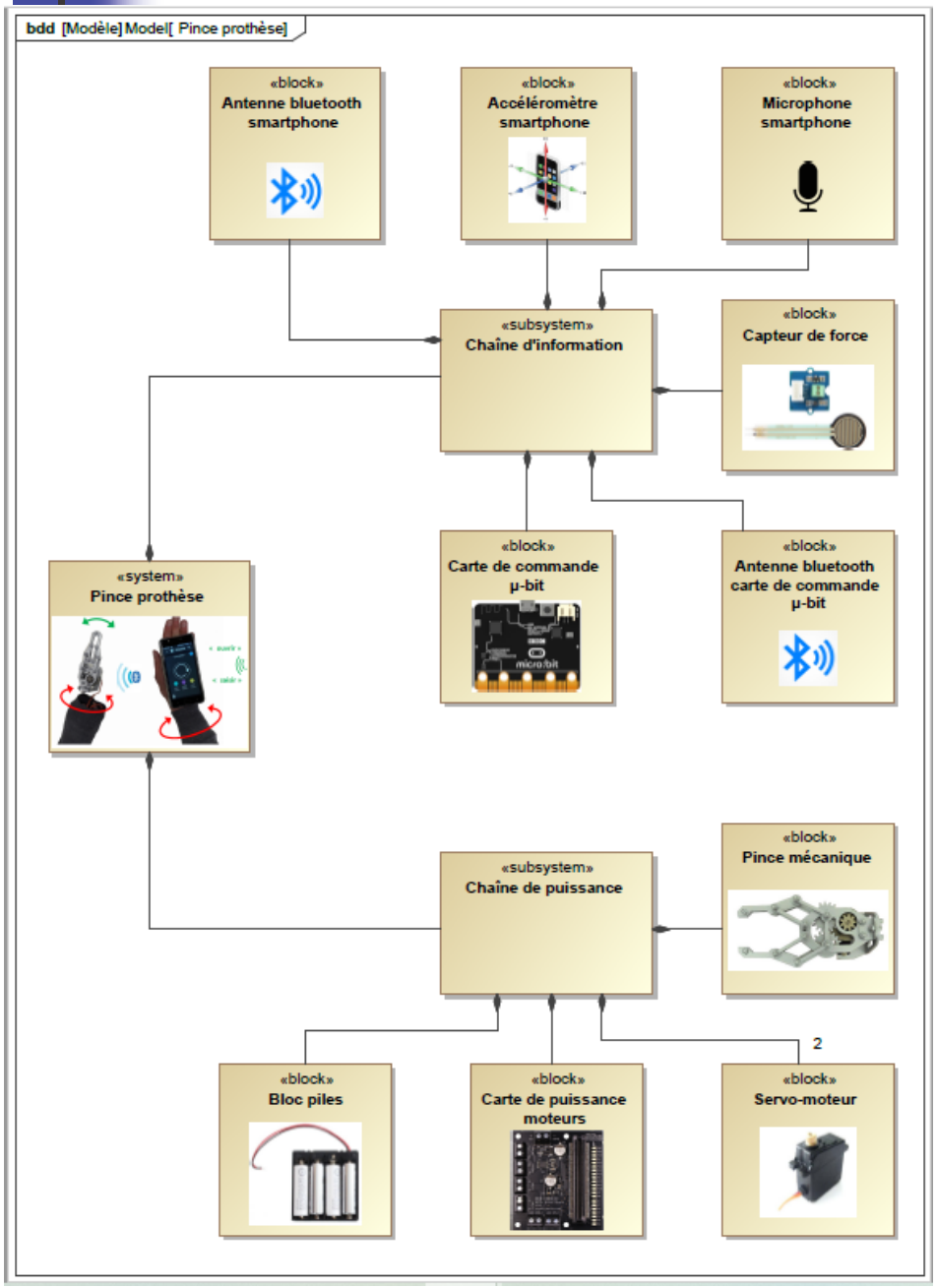
Aérogénérateur (éolienne). Asservissement en position (angulaire)





ANALYSER : (Situation d'étude)

Pince - Prothèse
SYSML / B.D.D





ANALYSER : (Situation d'étude)

Rameur
SYSML / I.B.D



« système »
Rameur

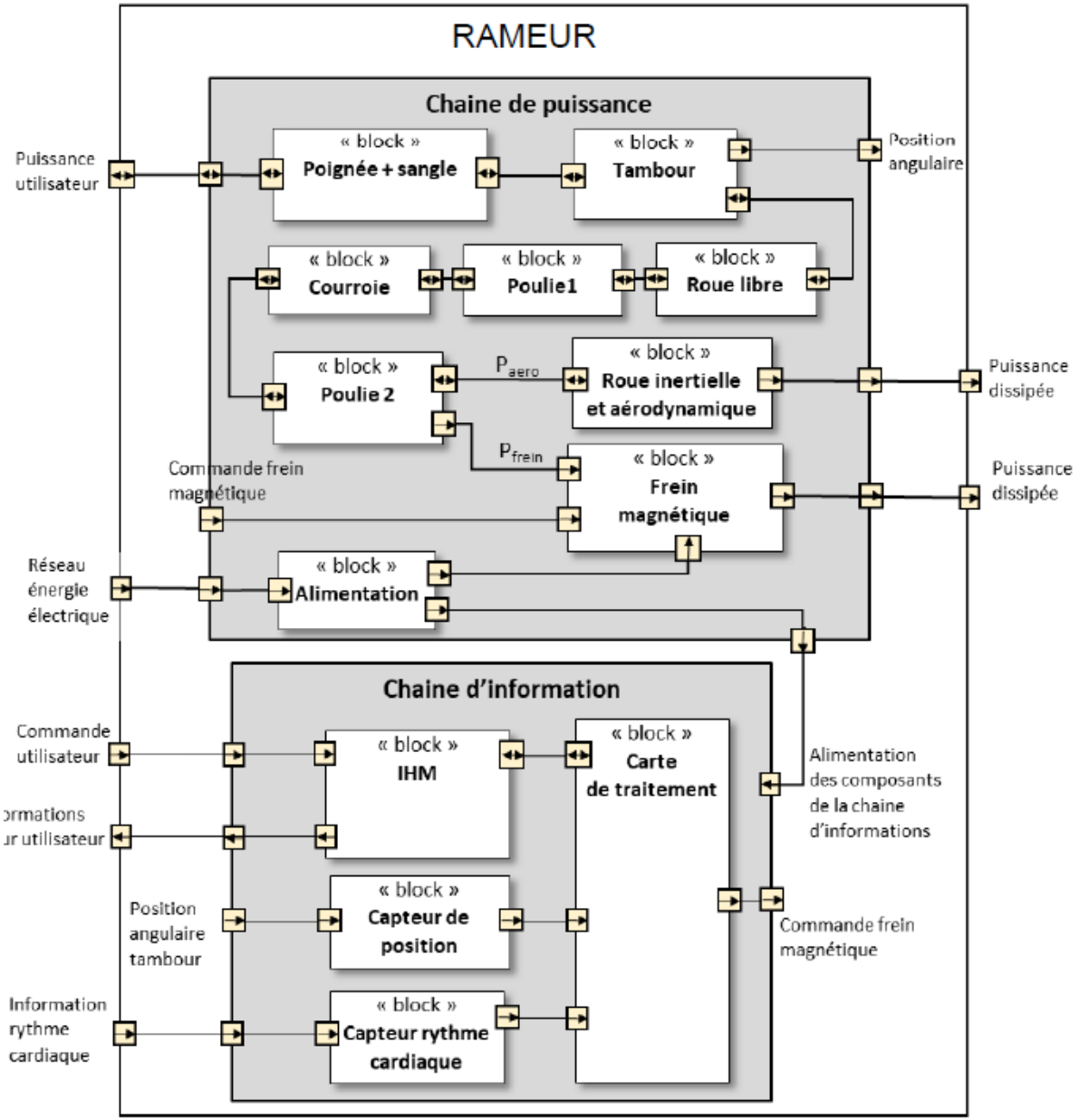


Figure 5 : IBD du rameur



MODÉLISER ET RÉSOUDRE :

(Modéliser les produits afin de prévoir leurs performances)

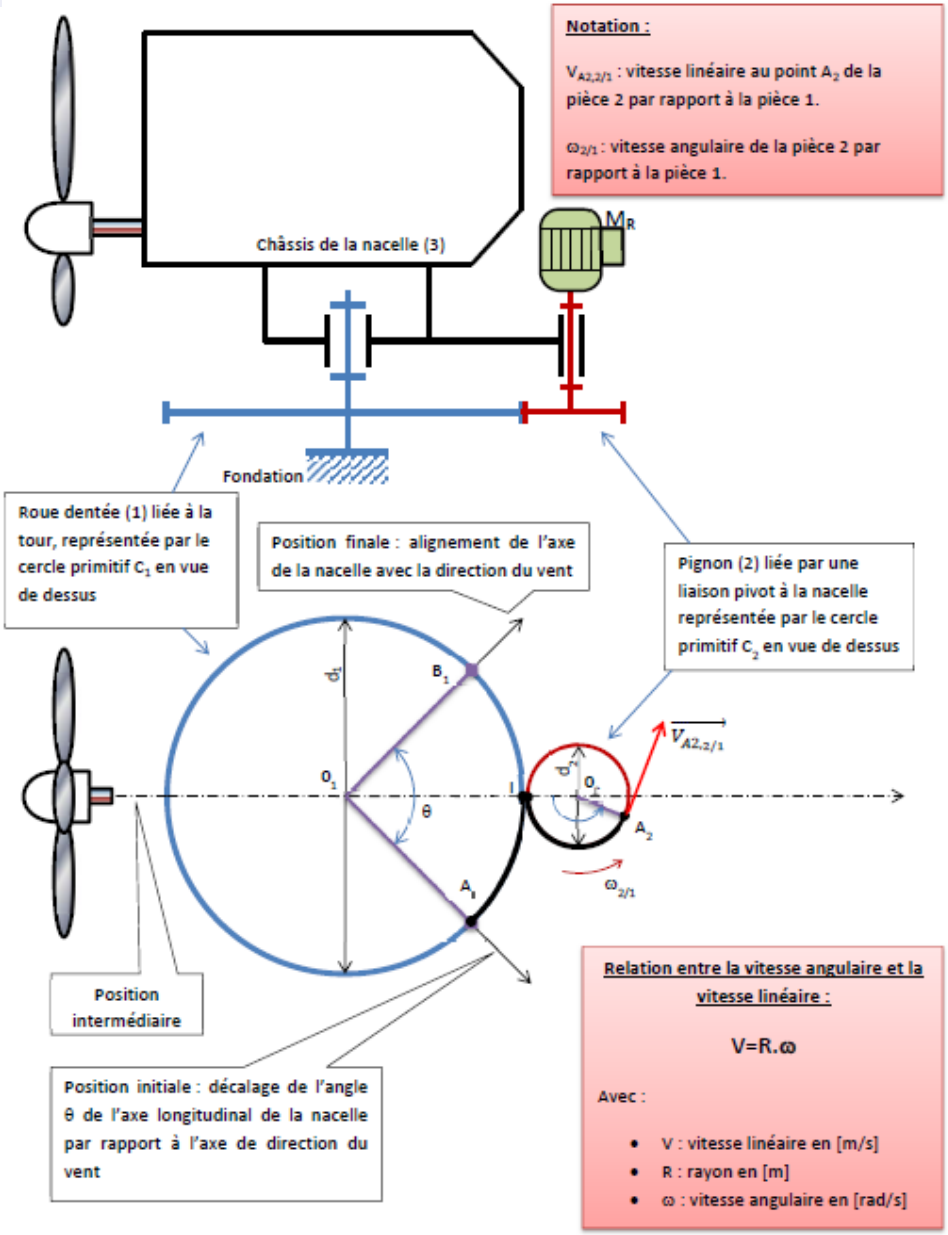
* La création de produits technologiques a pour objectif de répondre à des besoins et d'obtenir des performances préalablement définies. Les ingénieurs, pour prévoir les performances des solutions développées, construisent des modèles. Ils disposent pour cela des outils numériques, logiciels multi-physiques associés à des modeleurs volumiques. Cela permet de construire des modèles à partir d'une organisation fonctionnelle et matérielle existantes ou imaginées. Ils disposent aussi d'outils théoriques leur permettant d'établir des équations de comportement de tout ou partie du produit.

MODELISER : (Situation d'étude)

Aérogénérateur / Nacelle
Schéma de principe



Source : http://technicalillustrators.org/files/2009/11/jhatch_WindTurbine_Orig1.jpg



Notation :

$V_{A2,2/1}$: vitesse linéaire au point A_2 de la pièce 2 par rapport à la pièce 1.

$\omega_{2/1}$: vitesse angulaire de la pièce 2 par rapport à la pièce 1.

Relation entre la vitesse angulaire et la vitesse linéaire :

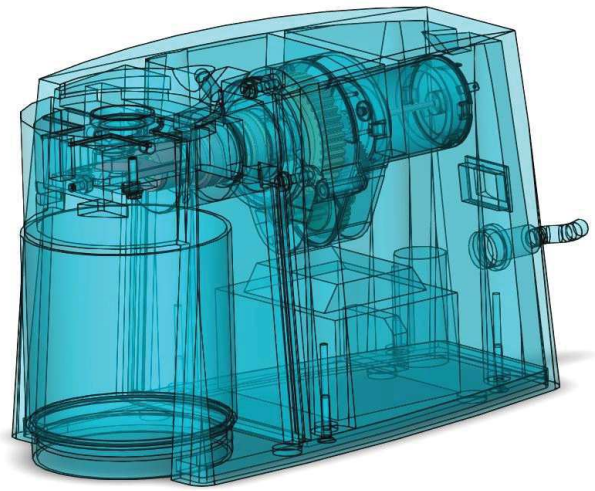
$$V = R.\omega$$

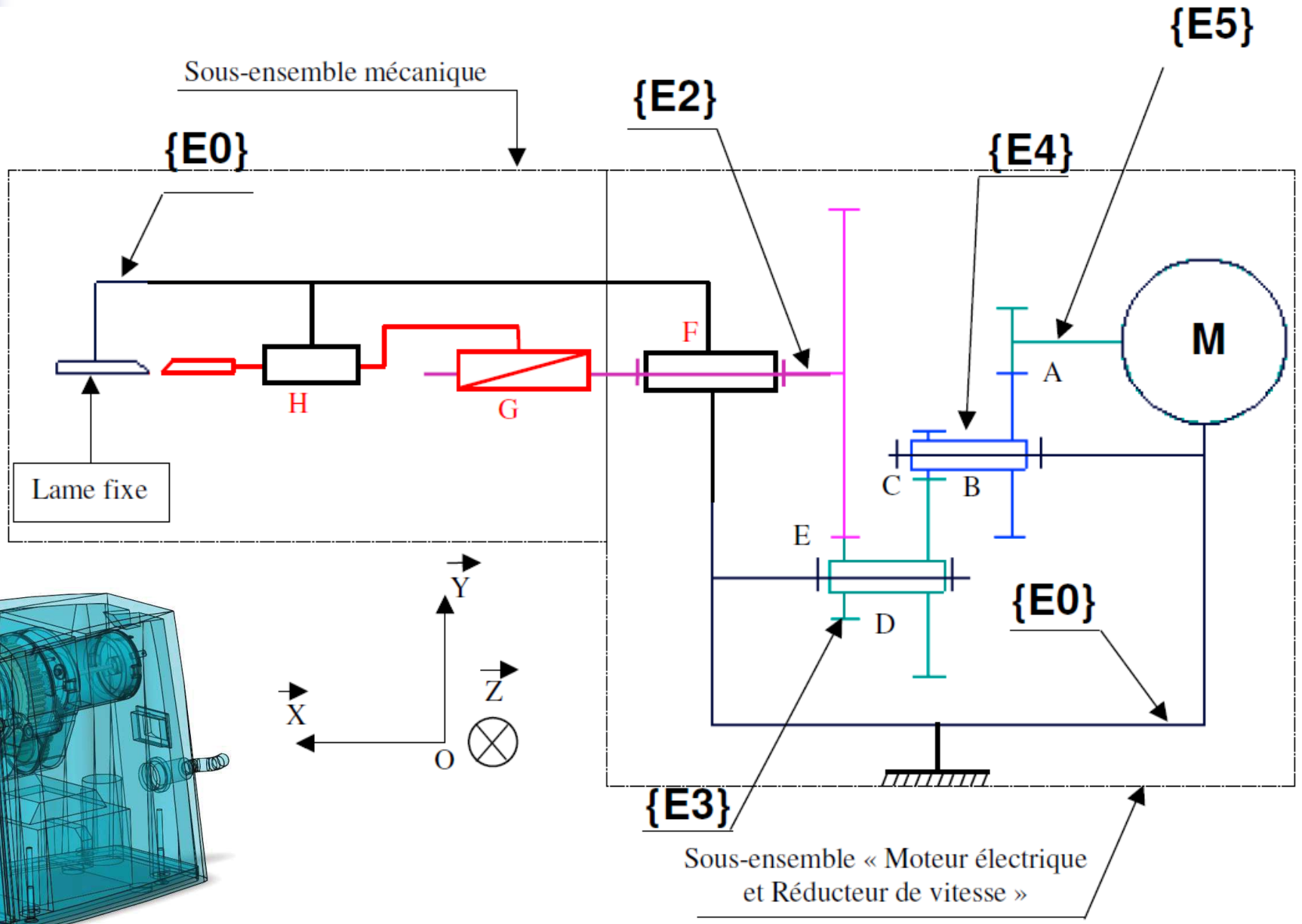
Avec :

- V : vitesse linéaire en [m/s]
- R : rayon en [m]
- ω : vitesse angulaire en [rad/s]

MODELISER : (Situation d'étude)

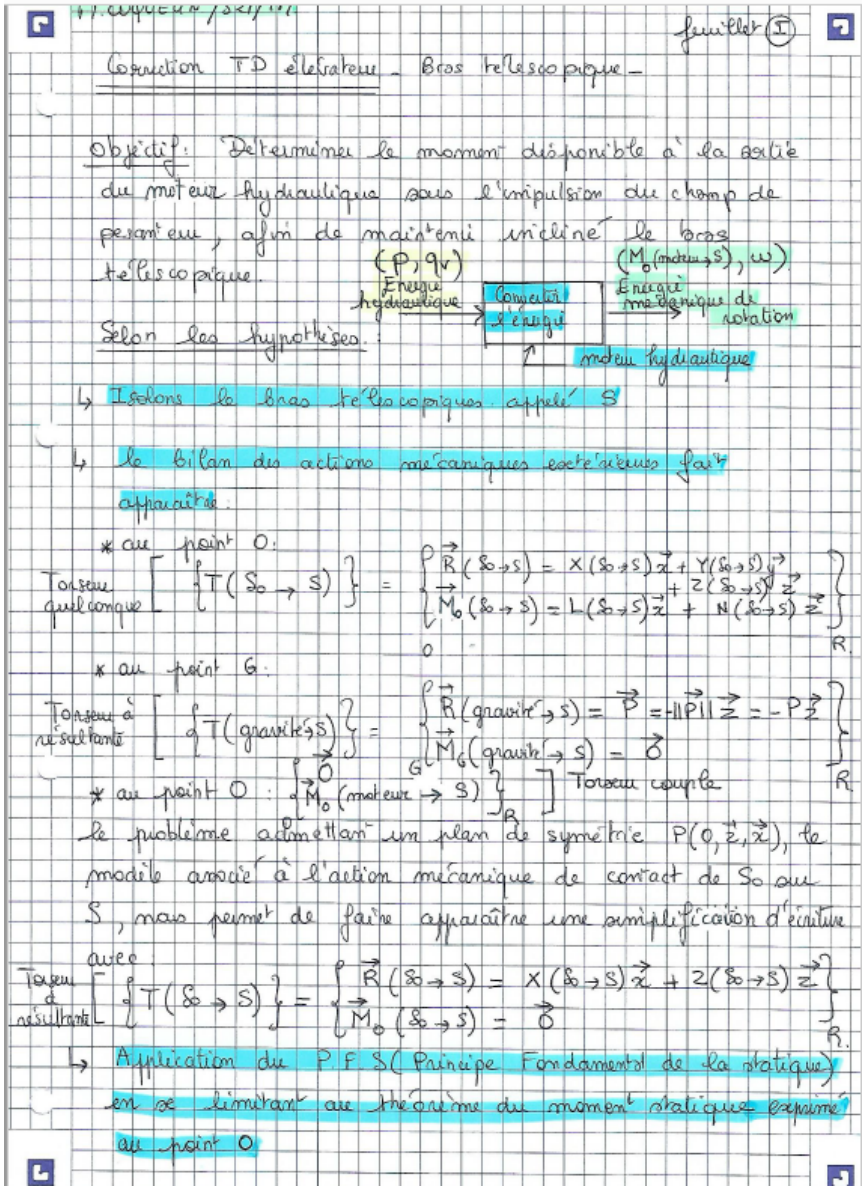
Destructeur d'aiguilles
Schéma cinématique





MODÉLISER & RÉSOUDRE : (Situation d'étude)

(extrait d'un corrigé de statique analytique_emploi du Torseur)



Correction TD élévateur – Bras télescopique –

Objectif : Déterminer le moment disponible à la sortie du moteur hydraulique sous l'impulsion du champ de pesanteur, afin de maintenu incliné le bras télescopique.

(P, qv) Énergie hydraulique → Convertir l'énergie → (M0(moteur→S), ω) Énergie mécanique de rotation

moteur hydraulique

Selon les hypothèses :

↳ Isolons le bras télescopiques appelé S

↳ le bilan des actions mécaniques extérieures fait apparaître :

* au point O :

Torseur quelconque $\left[\{T(S_0 \to S)\} \right] = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}(S_0 \to S) = X(S_0 \to S)\vec{x} + Y(S_0 \to S)\vec{y} + Z(S_0 \to S)\vec{z} \\ \vec{M}_O(S_0 \to S) = L(S_0 \to S)\vec{x} + N(S_0 \to S)\vec{z} \end{matrix} \right\}_R$

* au point G :

Torseur à résultante $\left[\{T(\text{gravité} \to S)\} \right] = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}(\text{gravité} \to S) = \vec{P} = \|\vec{P}\|\vec{z} = -P\vec{z} \\ \vec{M}_G(\text{gravité} \to S) = \vec{0} \end{matrix} \right\}_R$

* au point O : $\{\vec{M}_O(\text{moteur} \to S)\}_R$ Torseur couple

le problème admettant un plan de symétrie $P(O, \vec{z}, \vec{x})$, le modèle associé à l'action mécanique de contact de S_0 sur S, mais permet de faire apparaître une simplification d'écriture avec :

Torseur à résultante $\left[\{T(S_0 \to S)\} \right] = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}(S_0 \to S) = X(S_0 \to S)\vec{x} + Z(S_0 \to S)\vec{z} \\ \vec{M}_O(S_0 \to S) = \vec{0} \end{matrix} \right\}_R$

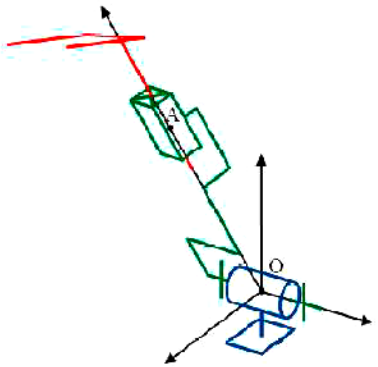
↳ Application du P.F.S (Principe Fondamental de la statique) en se limitant au théorème du moment statique exprimé au point O

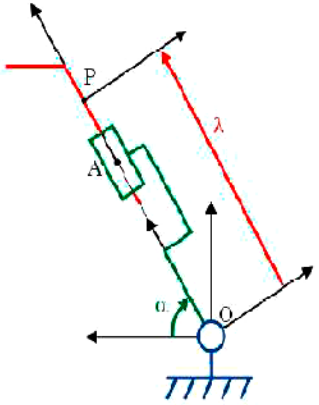
Bras télescopique / élévateur
Étude statique
Effort à produire par le moteur hydraulique

(Modélisations de la Nacelle élévatrice et d'un robot 3 axes, issues du cours de MPSI-PCSI Sciences Industrielles pour l'Ingénieur S. Génouël (28/02/2012))

Nacelle élévatrice





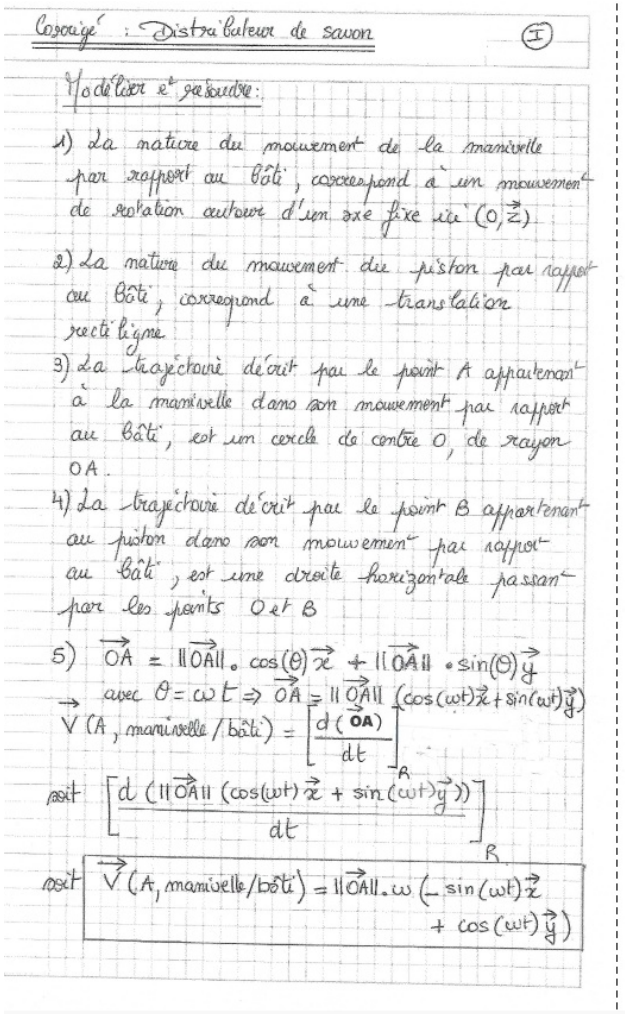


MODÉLISER & RÉSOUDRE : (Situation d'étude)

Distributeur de savon

Établir la loi "entrée - sortie "
Étude cinématique / Analytique

[Extrait d'un corrigé de cinématique analytique (manuscrit)]



Corrigé : Distributeur de savon (I)

Modéliser et résoudre :

1) La nature du mouvement de la manivelle par rapport au bâti, correspond à un mouvement de rotation autour d'un axe fixe ici $(O,\vec{z})$

2) La nature du mouvement du piston par rapport au bâti, correspond à une translation rectiligne

3) La trajectoire décrit par le point A appartenant à la manivelle dans son mouvement par rapport au bâti, est un cercle de centre O, de rayon OA.

4) La trajectoire décrit par le point B appartenant au piston dans son mouvement par rapport au bâti, est une droite horizontale passant par les points O et B

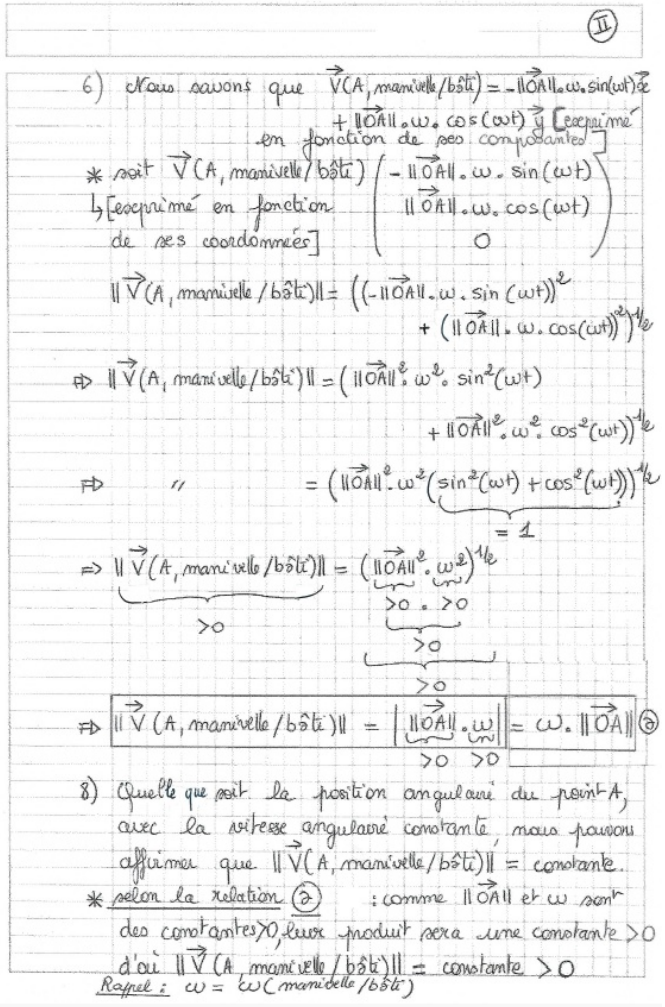
5) $\overrightarrow{OA} = \|\overrightarrow{OA}\| \cdot \cos(\theta)\vec{x} + \|\overrightarrow{OA}\| \cdot \sin(\theta)\vec{y}$

avec $\theta = \omega t \Rightarrow \overrightarrow{OA} = \|\overrightarrow{OA}\| (\cos(\omega t)\vec{x} + \sin(\omega t)\vec{y})$

$\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti}) = \left[\frac{d(\overrightarrow{OA})}{dt}\right]_R$

soit $\left[\frac{d(\|\overrightarrow{OA}\|(\cos(\omega t)\vec{x} + \sin(\omega t)\vec{y}))}{dt}\right]_R$

soit $\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti}) = \|\overrightarrow{OA}\| \cdot \omega (-\sin(\omega t)\vec{x} + \cos(\omega t)\vec{y})$



(II)

6) Nous savons que $\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti}) = -\|\overrightarrow{OA}\| \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)\vec{x} + \|\overrightarrow{OA}\| \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)\vec{y}$ [exprimé en fonction de ses composantes]

* soit $\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti})$ [exprimé en fonction de ses coordonnées] $\begin{pmatrix} -\|\overrightarrow{OA}\| \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \\ \|\overrightarrow{OA}\| \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$

$\|\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti})\| = \left((-\|\overrightarrow{OA}\| \cdot \omega \cdot \sin(\omega t))^2 + (\|\overrightarrow{OA}\| \cdot \omega \cdot \cos(\omega t))^2\right)^{1/2}$

$\Rightarrow \|\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti})\| = \left(\|\overrightarrow{OA}\|^2 \cdot \omega^2 \cdot \sin^2(\omega t) + \|\overrightarrow{OA}\|^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2(\omega t)\right)^{1/2}$

$\Rightarrow$ " $= \left(\|\overrightarrow{OA}\|^2 \cdot \omega^2 (\underbrace{\sin^2(\omega t) + \cos^2(\omega t)}_{=1})\right)^{1/2}$

$\Rightarrow \underbrace{\|\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti})\|}_{>0} = (\underbrace{\|\overrightarrow{OA}\|^2}_{>0} \cdot \underbrace{\omega^2}_{>0})^{1/2}$ $\quad \underbrace{>0 \cdot >0}_{>0}$ $\quad >0$

$\Rightarrow \boxed{\|\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti})\| = \underbrace{\|\overrightarrow{OA}\| \cdot \omega}_{>0 \;\; >0}} = \omega \cdot \|\overrightarrow{OA}\|$ (3)

8) Quelle que soit la position angulaire du point A, avec la vitesse angulaire constante, nous pouvons affirmer que $\|\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti})\|$ = constante.

* selon la relation (2) : comme $\|\overrightarrow{OA}\|$ et ω sont des constantes >0, leur produit sera une constante >0

d'où $\|\vec{V}(A, \text{manivelle}/\text{bâti})\|$ = constante >0

Rappel : $\omega = \omega(\text{manivelle}/\text{bâti})$

Distributeur automatique de savon





EXPÉRIMENTER & SIMULER :

(Valider les performances d'un produit par les expérimentations et les simulations numériques)

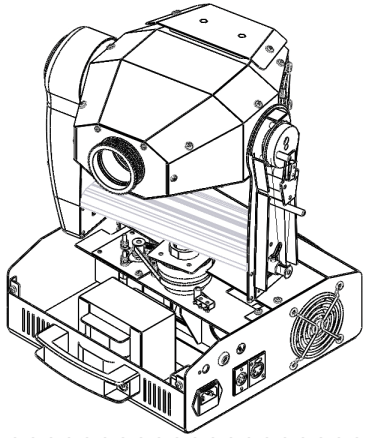
* Pour valider les performances d'un produit, les ingénieurs réalisent des expérimentations et des essais. Ils permettent d'obtenir des valeurs expérimentales de performances à partir du fonctionnement du produit réel.

* Par ailleurs, les ingénieurs simulent le fonctionnement d'un produit à l'aide d'outils logiciels qui exploitent les modèles numériques. Les simulations mobilisant les modèles numériques atteignent un haut degré de fiabilité. **Elles permettent de réaliser des essais virtuels sur un jumeau numérique** qui sont comparables **à des expérimentations sur un objet matériel**, **voire d'effectuer des mesures qui seraient inaccessibles, impossibles ou dangereuses sur l'objet matériel**.

* **La comparaison des écarts entre les résultats de simulation, d'expérience et les niveaux attendus est aussi source de multiples réflexions** quant à la pertinence du modèle, la pertinence du protocole expérimental ou encore la validité de la solution au regard du cahier des charges.

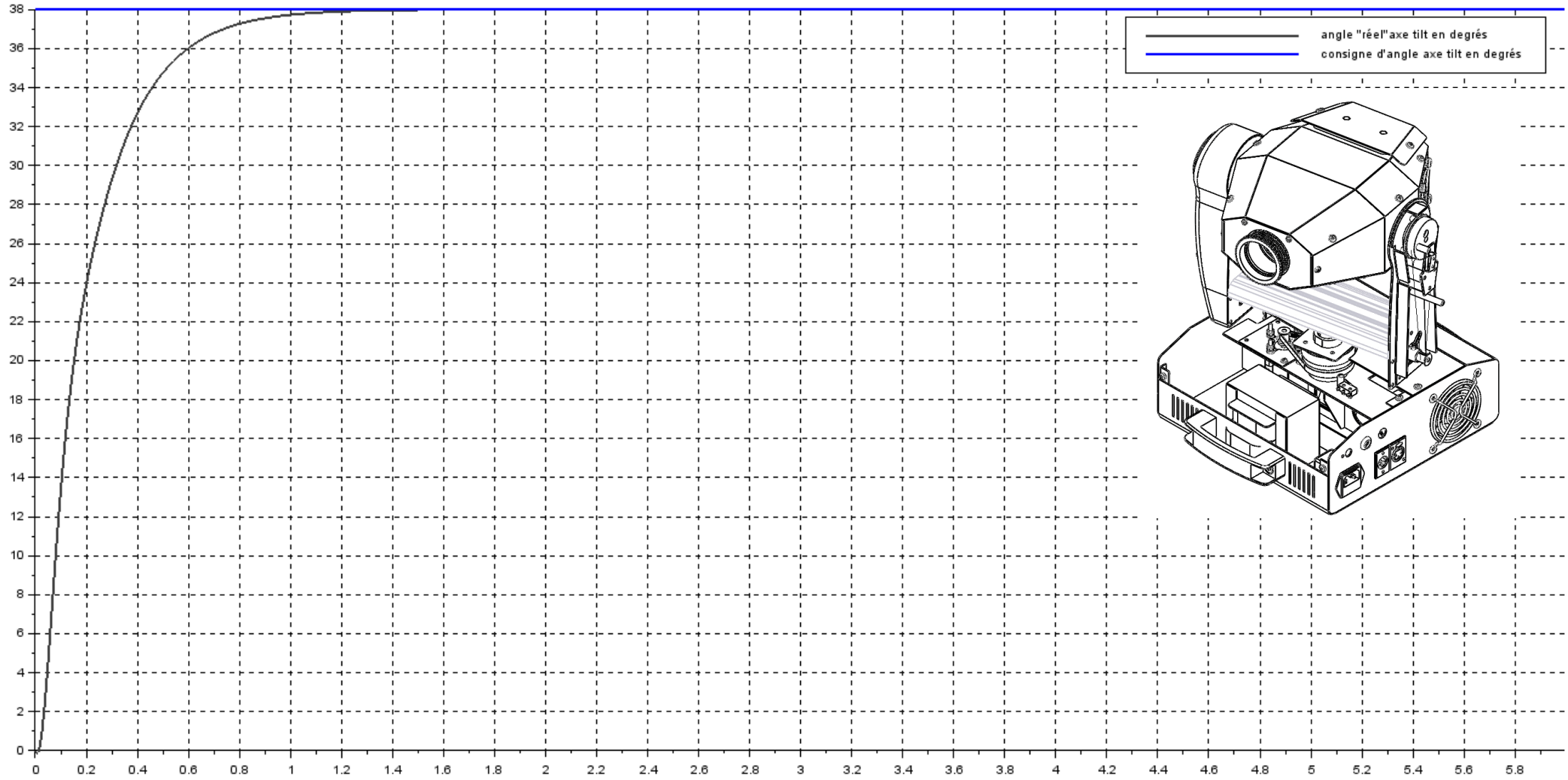
SIMULER : (Situation d'étude)

Lyre de scène automatisée
Simulation sous Xcos/Scilab
Modèle multi-physique



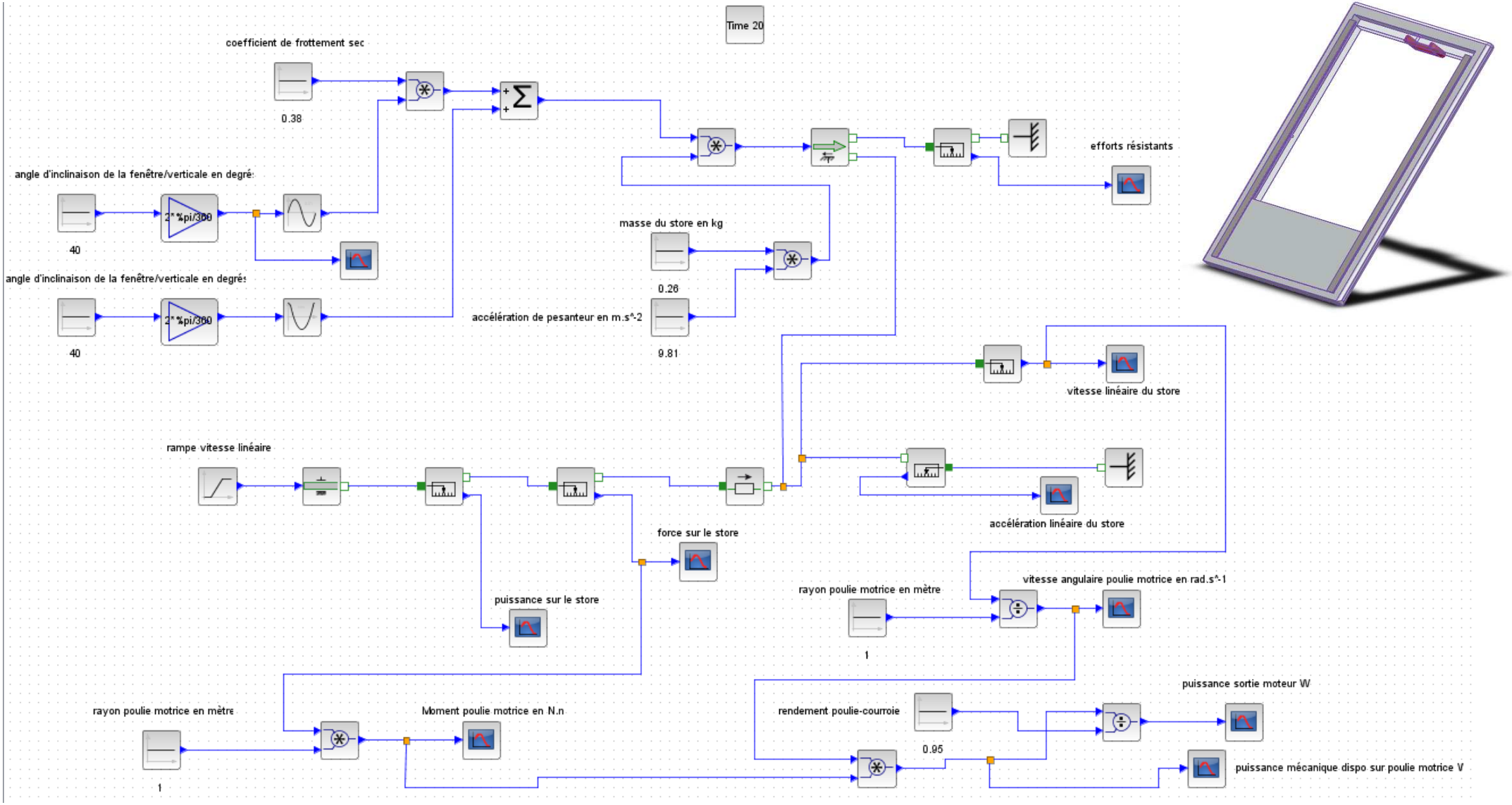
Lyre de scène automatisée
Simulation sous Xcos/Scilab
Temps de réponse et stabilité

SIMULER : (Situation d'étude)



SIMULER : (Situation d'étude)

Fenêtre de toit automatisée
Modèle multiphysique
sous Xcos/Scilab

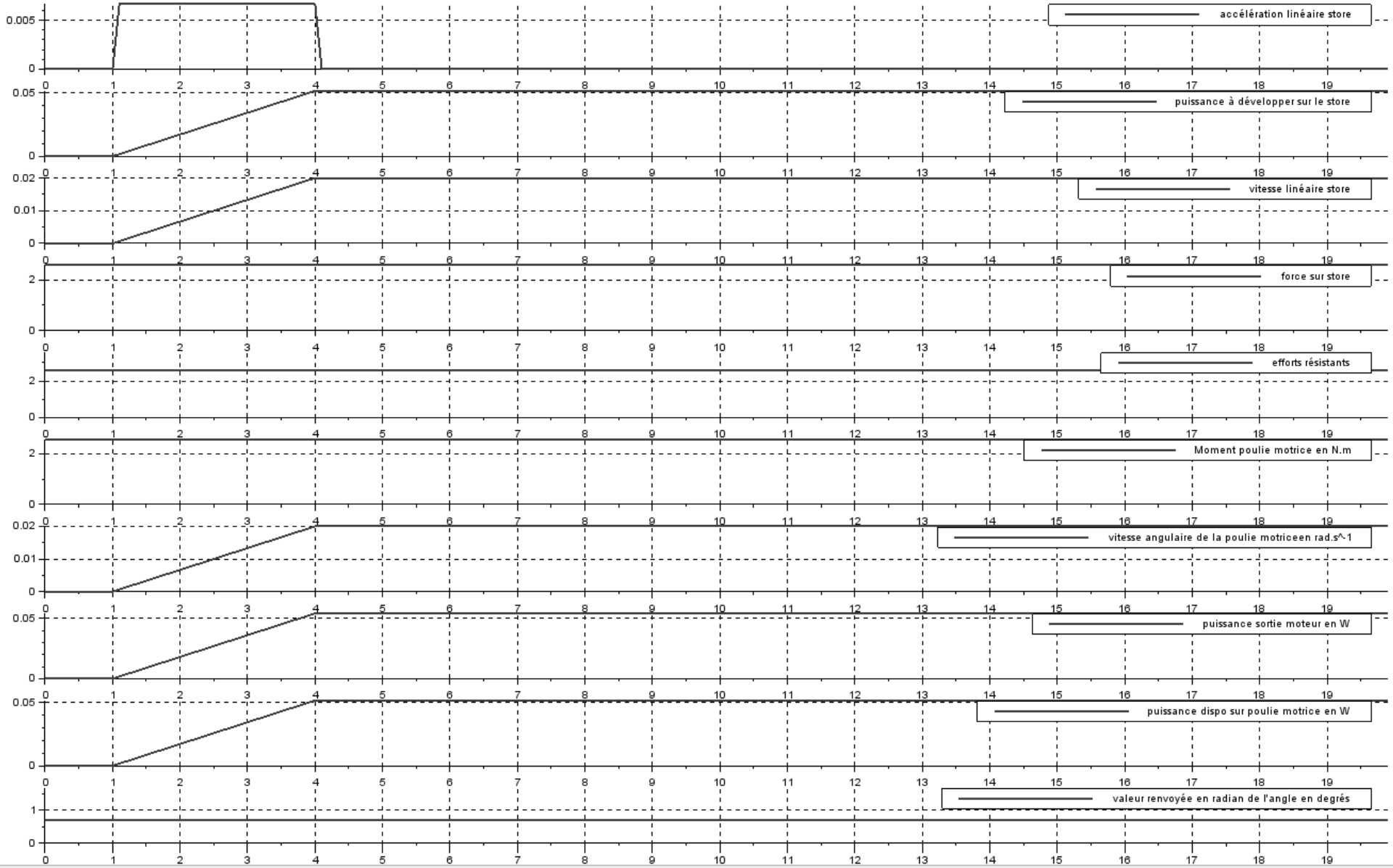


SIMULER : (Situation d'étude)

Courbes issues d'une simulation
(Modèle multiphysique / Xcos Scilab)
[Fenêtre de toit automatisé]

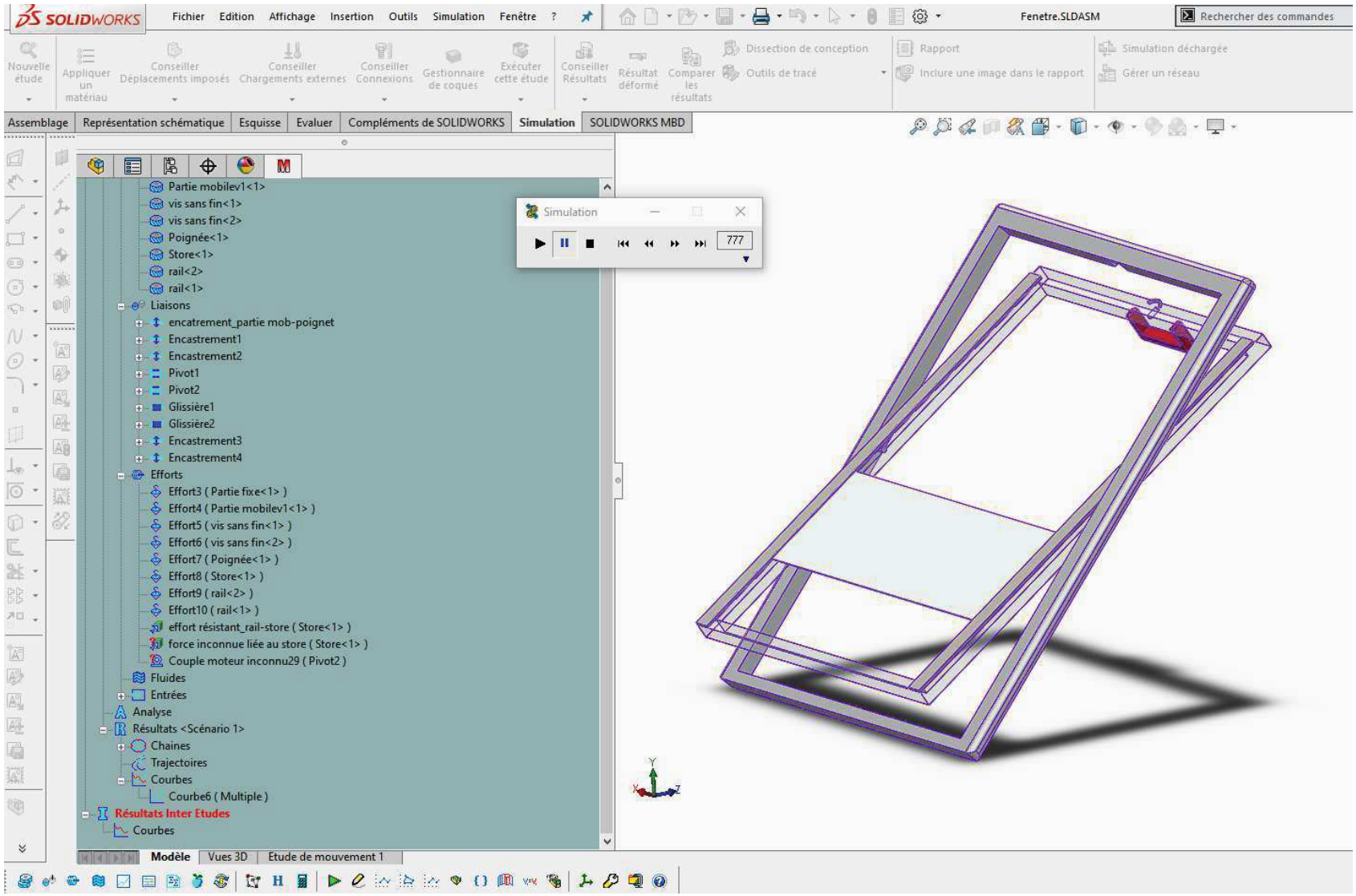






Fenêtre de toit automatisée
Simulation
Maquette numérique
SolidWorks / Méca3d

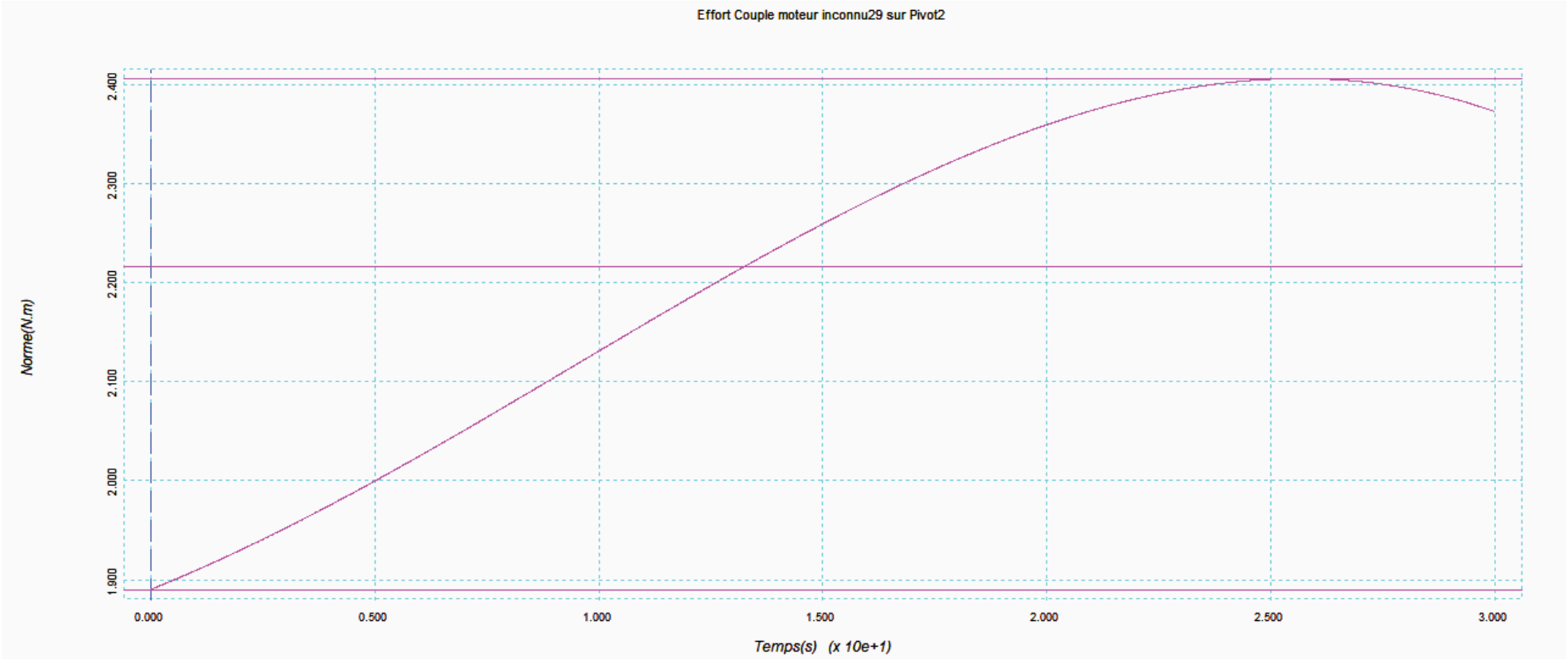
SIMULER : (Situation d'étude)



Fenêtre de toit automatisée
Simulation
sous Méca3d
« Vérification d'effort en situation dynamique »

SIMULER : (Situation d'étude)





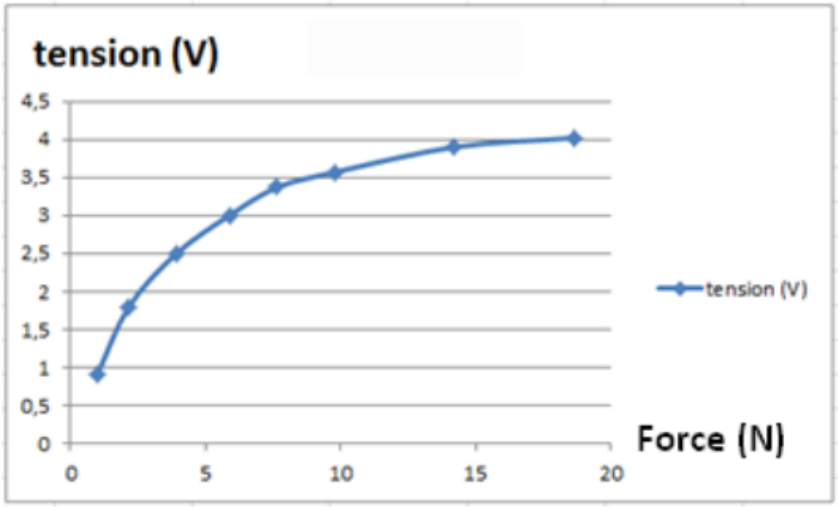
Pince - Prothèse
Expérimentation 1
« Acquisition de l'effort de préhension du gobelet »

EXPÉRIMENTER : (Situation d'étude)









Pince - Prothèse
Expérimentation 2
"Étalonnage /
effort de déformation
du gobelet /matériau"

EXPÉRIMENTER : (Situation d'étude)







Gobelets	Ø initial (mm)	Écrasement max (mm)	F(N)
plastique	55	5,5	1,45
carton	68,5	6,85	9
carton café	52	5,2	3,5

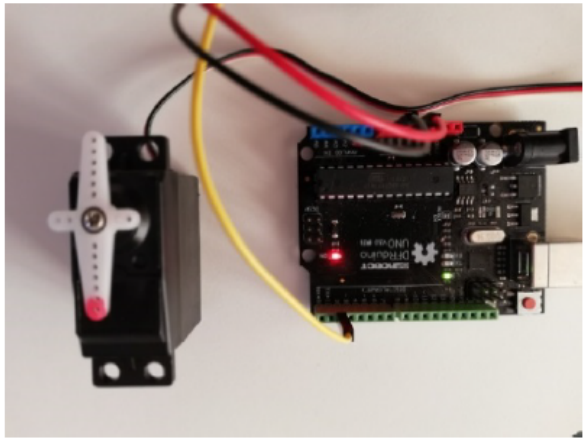
Pince - Prothèse Expérimentation 3 "Comportement du servo-moteur"

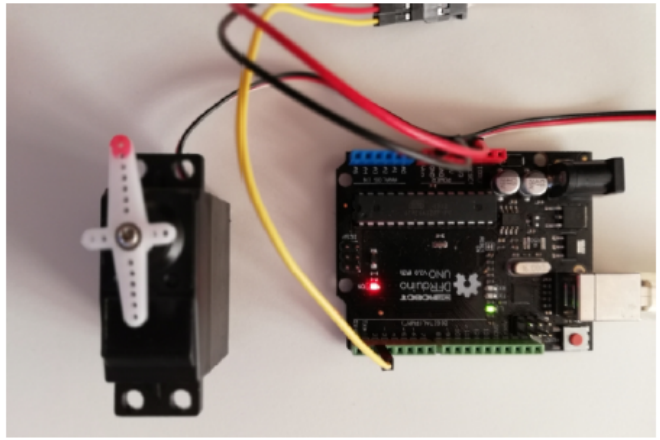
EXPÉRIMENTER : (Situation d'étude)



COM5 (Arduino/Genuino Uno)

```
Impulsion commande servomoteur = 590 microsecondes
Essai de commande= 560
Impulsion commande servomoteur = 560 microsecondes
Essai de commande= 580
Impulsion commande servomoteur = 580 microsecondes
Essai de commande= 570
Impulsion commande servomoteur = 570 microsecondes
Essai de commande= 560
Impulsion commande servomoteur = 560 microsecondes
Essai de commande= 555
```







COMMUNIQUER :

(S'informer, choisir, produire de l'information pour communiquer au sein d'une équipe ou avec des intervenants extérieurs)

* Les ingénieurs communiquent avec de nombreuses personnes. Ils échangent avec des non spécialistes pour comprendre leur besoin ainsi qu'avec de nombreux intervenants au sein de l'entreprise et avec des partenaires.

* Les ingénieurs sélectionnent des informations pertinentes, ils produisent et présentent des informations relatives à leur activité.

* Les ingénieurs proposent des solutions innovantes qu'ils présentent de façon argumentée pour convaincre partenaires et décideurs.



Le projet en classe de première

(12 heures soit un équivalent de 3 semaines de cours continus)



académie Orléans-Tours

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

SCIENCES DE L'INGENIEUR Cycle terminal - Enseignement de spécialité

PROJET DE CLASSE DE PREMIERE

THEMATIQUE :

- **L'HOMME REPARE**
  - **L'AIDE ET LA COMPENSATION DU HANDICAP**

BESOIN :

RENDRE DE L'AUTONOMIE A UNE PERSONNE AMPUTEE D'UNE MAIN ET DU POIGNET, EN LUI FOURNISSANT A MOINDRE COUT, UN SYSTÈME PERMETTANT LA SAISIE ET L'ORIENTATION D'UN OBJET.



académie Orléans-Tours

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

SCIENCES DE L'INGENIEUR Cycle terminal - Enseignement de spécialité

PROJET :

SYSTEME PINCE, PROTHESE DE MAIN ET DE POIGNET AMPUTES, PILOTEE PAR GESTES DE LA MAIN VALIDE ET COMMANDES VOCALES ACQUIS PAR SMARTPHONE.



DEFI :

PAR DEMARCHES SCIENTIFIQUE ET D'INGENIERIE COLLABORATIVE, IMAGINER ET MATERIALISER UNE SOLUTION PERMETTANT LA SAISIE D'UN GOBELET ET LE TRANSFERT DE SON CONTENU.



académie Orléans-Tours

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

SCIENCES DE L'INGENIEUR Cycle terminal - Enseignement de spécialité

COMPETENCES VISEES :

✓ **INNOVER**

- ➤ IMAGINER UNE SOLUTION ORIGINALE, APPROPRIEE, ESTHETIQUE.
  (scénarios d'usage et expériences utilisateurs)

✓ **ANALYSER**

- ➤ ANALYSER LE BESOIN , L'ORGANISATION MATERIELLE ET FONCTIONNELLE D'UN PRODUIT PAR UNE DEMARCHE D'INGENIERIE SYSTÈME.
- ➤ ANALYSER LES RESULTATS DE SIMULATIONS ET D'EXPERIMENTATIONS.

✓ **MODELISER**

- ➤ TRADUIRE LE COMPORTEMENT ATTENDU D'UN OBJET.
- ➤ TRADUIRE UN ALGORITHME EN PROGRAMME EXECUTABLE.
- ➤ MODELISER SOUS FORME GRAPHIQUE UNE STRUCTURE UN MECANISME.



COMPETENCES VISEES (suite):

✓ **EXPERIMENTER, SIMULER**

- ➤ VALIDER UN MODELE NUMERIQUE DE L'OBJET SIMULE.

✓ **COMMUNIQUER**

- ➤ TRAVAILLER DE MANIERE COLLABORATIVE.
- ➤ COLLABORER SUR UNE PLATEFORME VIA UN ESPACE DE FICHIERS PARTAGES.
- ➤ PRESENTER UNE DEMARCHE UNE SOLUTION EN REPONSE A UN BESOIN.
- ➤ PRESENTER UNE IDEE RENDRE COMPTE DE RESULTATS.



SCIENCES DE L'INGENIEUR Cycle terminal - Enseignement de spécialité

Niveaux taxonomiques utilisés:
1 –Niveau d'INFORMATION
2 - Niveau d'EXPRESSION
3 – Niveau de la MAITRISE D'OUTILS
4 – Niveau de la MAITRISE METHODOLOGIQUE

PRE-REQUIS POUR CE PROJET:

INNOVER

✓ Méthodes de brainstorming, cartes heuristiques. **(3)**
✓ Représenter une solution originale par modeleur volumique (création d'esquisses et volumes simples). **(3)**
✓ Mise en œuvre d'outils de prototypage rapide. **(2)**

ANALYSER

✓ diagrammes fonctionnels, définition des exigences et des critères associés, cas d'utilisations, analyse structurelle. **(3)**
✓ Grandeurs physiques mobilisées par le fonctionnement d'un produit (mouvements, déplacements, tension électrique, caractéristiques d'un signal électrique). **(3)**
✓ Algorithme, programme. **(3)**
✓ Description qualitative et quantitative des grandeurs physiques caractéristiques du fonctionnement d'un produit. **(3)**

MODELISER

✓ Liaisons, Schémas cinématiques (lecture). **(3)**
✓ Nature et caractéristiques des signaux, des données pour les échanges d'informations. **(3)**
✓ Structures algorithmiques (variables, fonctions, structures itératives, répétitives, conditionnelles). **(3)**



PRE-REQUIS POUR CE PROJET:

EXPERIMENTER, SIMULER

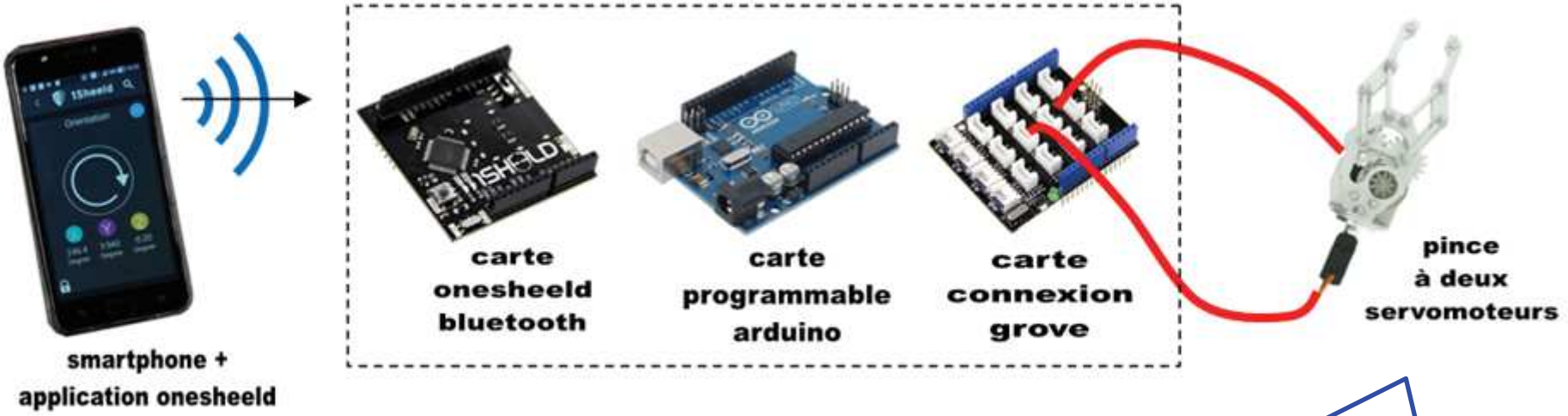
- ✓ Paramètres de simulation : durée, incrément temporel, choix des grandeurs affichées. **(2)**
- ✓ Règles de raccordement des appareils de mesure (grandeurs, signaux électriques). **(3)**

COMMUNIQUER

- ✓ Diagrammes fonctionnels, schéma, croquis. **(2)**
- ✓ Tableaux, graphiques, cartes mentales. **(4)**
- ✓ Espaces partagés et de stockage. **(4)**



STRUCTURE DU SYSTEME



Applications ONESHEELD utilisées :

➡ Acquisition Orientation gyroscopique 3 axes et affichage simultané

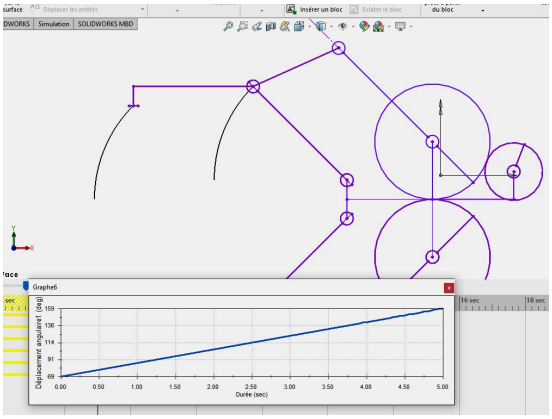
➡ Acquisition vocale

➡ Servomoteur d'ouverture/fermeture

➡ Servomoteur de poignet

Mini-Projet / L'homme réparé Produit : Pince-Prothèse Extraction des données (SolidWorks Motion)		Première générale		Spécialité S.I.	
NOM :	Date :	Tutoriel		Evaluation	
Prénom :	L.E.G.T. Léonard de VINCI	T.D.		Cours	





* **Objectif principal de la tâche confiée :**

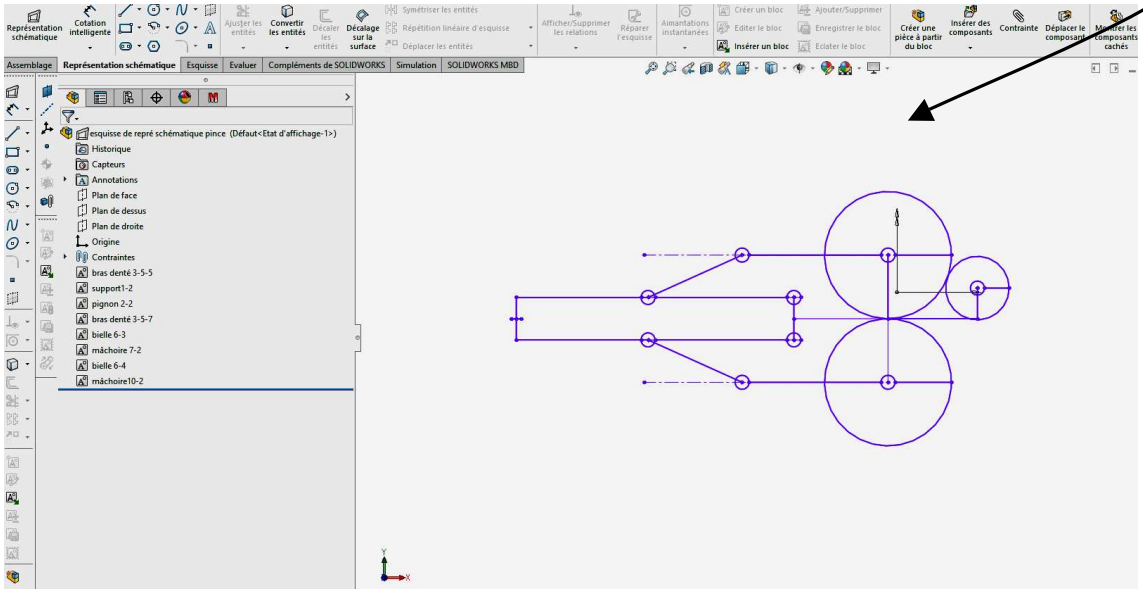
- Établir la loi d'entrée-sortie de la pince, afin d'assurer son pilotage et répondre ainsi, au besoin de préhension d'un objet

* **Objectif de ce mini tutoriel :**

- A partir d'un état simulé du modèle de la pince**,** vous permettre d'extraire les données calculées sous la plate-forme de simulation intitulée "SOLIDWORKS Motion"

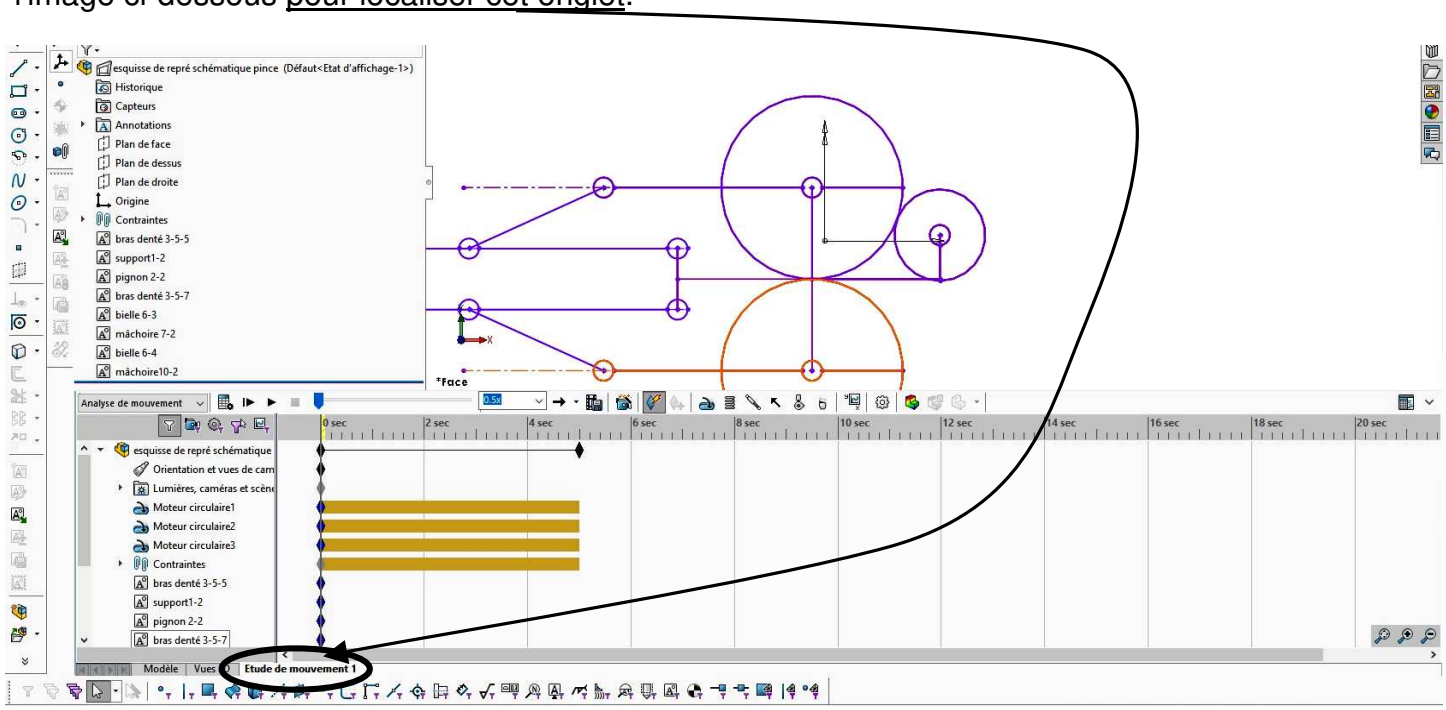
* **On vous donne :**
- L'esquisse de représentation schématique de la pince,
- Les softs "SolidWorks", Latis-Pro, LibreOffice Calc et Excel
- Le dossier technique de la pince.

* **Procédure :**
1) Saisir SolidWorks dans l'invité situé dans la barre de tâches,
2) Lancer SolidWorks,
3) Lorsque la fenêtre principale du soft est ouverte, aller dans le menu "Outils" et sélectionner "Compléments". Dans cet invité, intitulé "Compléments, assurez vous que les cases situées de part et d'autre du complément "SOLIDWORKS Motion " sont bien cochées. Cliquez sur OK.
4) Ouvrir le fichier "esquisse de repré schématique pince.SLDASM" en suivant le chemin d'accès suivant : Mes espaces\Mes groupes\domainUsers\Spé_SI_2019-20\Mini projet\Tâche pince_SW Motion\Esquisse de représentation schématique_Pince_Motion. La fenêtre située ci-dessous, doit s'afficher.

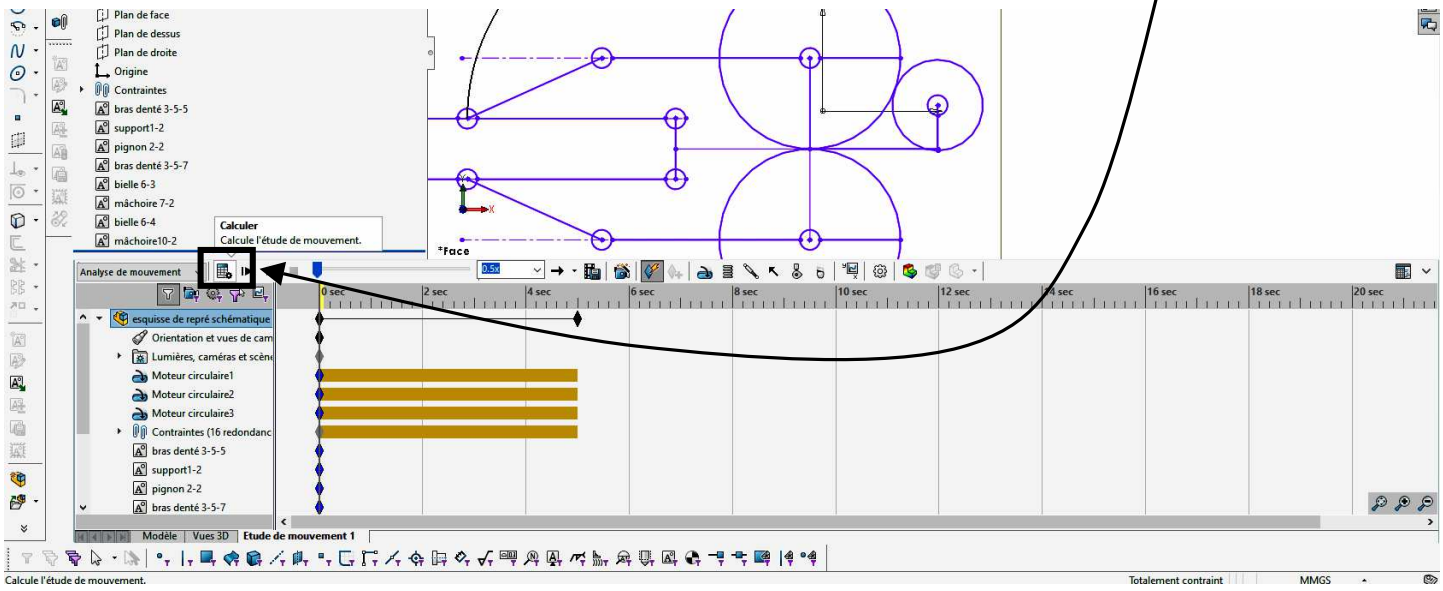


Mini-Projet / L'homme réparé Produit : Pince-Prothèse Extraction des données (SolidWorks Motion)		Première générale		Spécialité S.I.	
NOM :	Date :	Tutoriel		Evaluation	
Prénom :	L.E.G.T. Léonard de VINCI	T.D.		Cours	

5) Activer l'onglet "Etude de mouvement 1" en cliquant gauche sur ce même onglet. Inspirez vous de l'image ci-dessous pour localiser cet onglet.

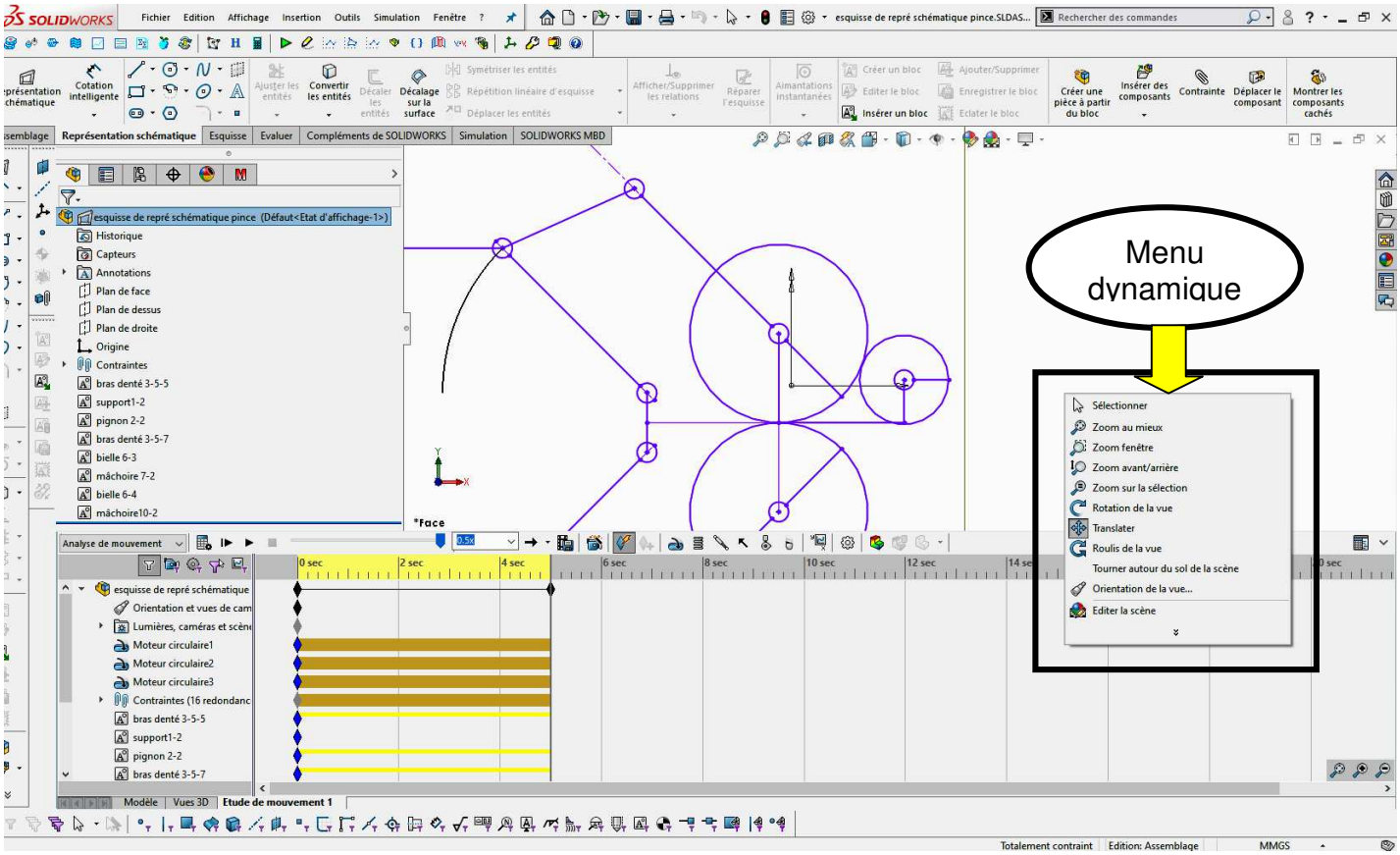


5) Cliquez sur l'icône "Calculer" afin de lancer une session de simulation et par la même occasion lancer une session de calculs. Inspirez vous de l'image ci-dessous pour localiser cette icône.



6) Cliquez droit dans la fenêtre ou est située la représentation schématique de la pince. Un menu dynamique apparaît. Celui, doit vous permettre de redéfinir la taille de l'esquisse via le zoom mais aussi translater cette même esquisse. Ces quelques fonctionnalités "locales" étant là bien évidemment pour mieux visualiser la pince animée. Inspirez vous de l'image proposée en haut de la page suivante pour mieux située ce menu dynamique.

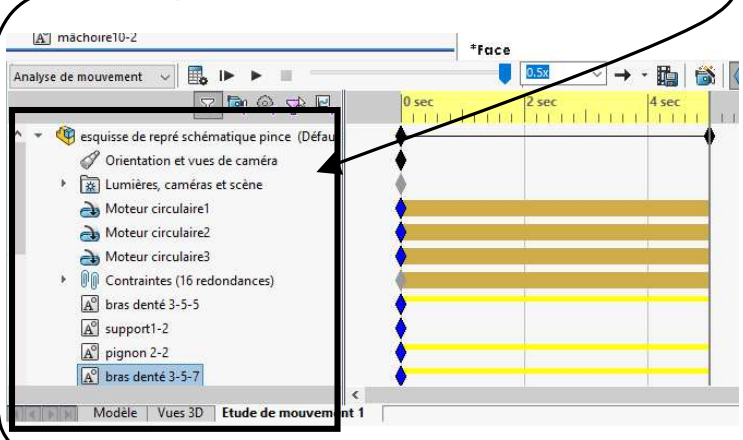
Mini-Projet / L'homme réparé Produit : Pince-Prothèse Extraction des données (SolidWorks Motion)		Première générale		Spécialité S.I.	
NOM :	Date :	Tutoriel		Evaluation	
Prénom :	L.E.G.T. Léonard de VINCI	T.D.		Cours	

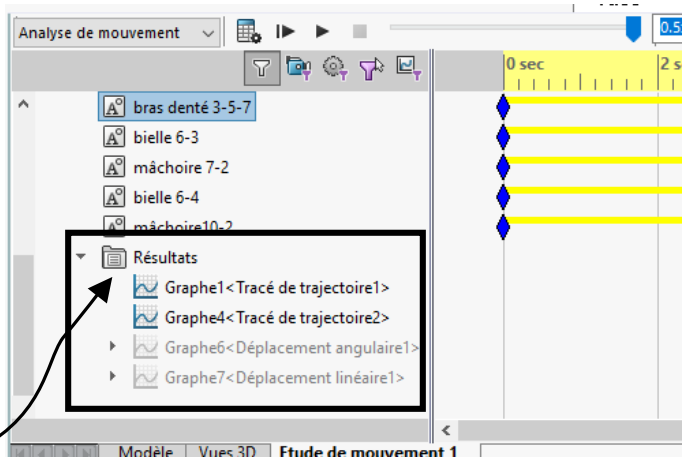


6) Effectuez une lecture du début afin de bien visualiser les particularités cinématiques de l'objet.

7) Accéder à l'affichage des graphes avec respectivement :
- le déplacement linéaire suivant Y d'un point appartenant à la mâchoire supérieure,
- le déplacement angulaire d'un point appartenant au pignon d'entrée 2.

Pour cela, vous devez travailler à partir de l'arbre "Motion" et plus spécifiquement en optant pour le dossier "Résultats". Employez le bouton central de la souris pour faire défiler l'arbre vers le haut.

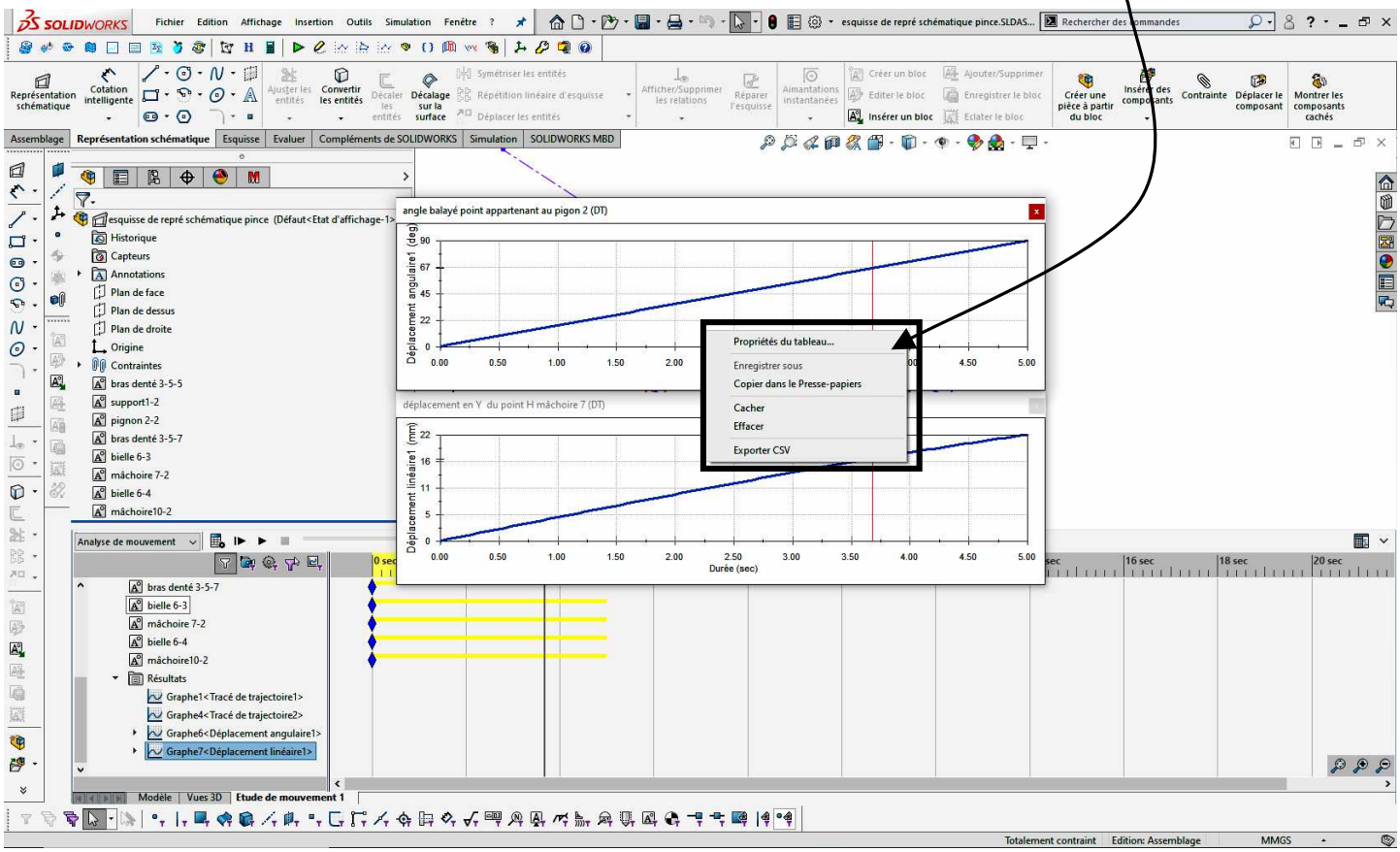




Mini-Projet / L'homme réparé Produit : Pince-Prothèse Extraction des données (SolidWorks Motion)		Première générale			Spécialité S.I.
NOM :	Date :	Tutoriel		Evaluation	
Prénom :	L.E.G.T. Léonard de VINCI	T.D.		Cours	

8) Montrez les graphes en cliquant droit sur "Graphe 6" et opter pour "Montrer le graphe". Réitérer l'action pour le "Graphe 7".

9) Exportez les données calculées, issues de la simulation pour pouvoir les exploiter via un soft tel que " LibreOffice Calc" (tableur). L'objectif étant je le rappelle : de faire apparaître la loi d'entrée sortie de la pince. Pour que cela puisse se faire, il faudra extraire une courbe de tendance "lissée" selon les données calculées. En découlera une mise en forme mathématiques, traduite à l'aide d'une fonction image de la loi d'entrée sortie recherchée. L'exportation des données se fera au format CSV (Comma-separated Values*)* depuis la fenêtre des graphes en cliquant droit dessus et en choisissant "Exporter CSV". Inspirez vous de l'image insérée ci-dessous.





académie Orléans-Tours

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

SCIENCES DE L'INGENIEUR Cycle terminal - Enseignement de spécialité

EXPERIMENTATION DU COMPORTEMENT DU CAPTEUR DE FORCE





programme_mesure_effort

```
// capteur d'effort connecté sur la broche A0

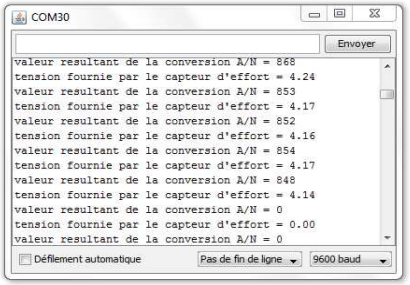
// declaration des variables
int Vcapteffort; // variable contenant la valeur numérique convertie de la tension du capteur d'effort
float voltageEffort; // variable contenant la valeur de la tension recalculée de Vcapteffort

void setup()
  {
   Serial.begin(9600); // configuration pour l'affichage sur le moniteur série (écran de l'ordinateur)
  }

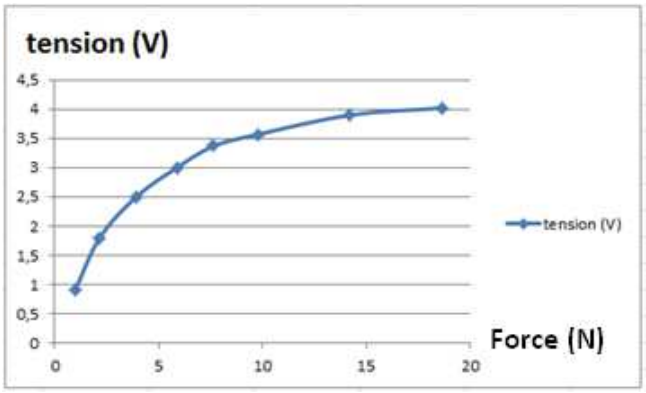
void loop()
{
  Vcapteffort = analogRead(A0); // acquisition et conversion numérique de la tension présente sur la broche A0
  Serial.print("valeur resultant de la conversion A/N = ");
  Serial.println(Vcapteffort); // affichage de la valeur numérique obtenue sur le moniteur série (écran du PC)

  float voltageEffort =Vcapteffort*(5.0/1023.0); // calcul de la tension recalculée de Vcapteffort
  Serial.print("tension fournie par le capteur d'effort = ");
  Serial.println(voltageEffort); // Affichage sur le moniteur série (écran du PC)

  delay(1000); // temporisation entre 2 acquisitions
}
```



masse (g)	effort (N)	tension (V)
100	0,981	0,9
220	2,1582	1,8
400	3,924	2,5
600	5,886	3
780	7,6518	3,37
1000	9,81	3,57
1450	14,2245	3,9
1900	18,639	4,02





EXPERIMENTATION DE LA SAISIE ET DE LA DEFORMATION DE GOBELETS

- Recherche de l'effort de saisie pour maintenir le gobelet entre ses doigts.
- Recherche de l'écrasement du gobelet associé à l'effort de saisie (en fonction du type de gobelet).





Gobelets	Ø initial (mm)	Écrasement max (mm)	F(N)
plastique	55	5,5	1,45
carton	68,5	6,85	9
carton café	52	5,2	3,5



académie Orléans-Tours

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

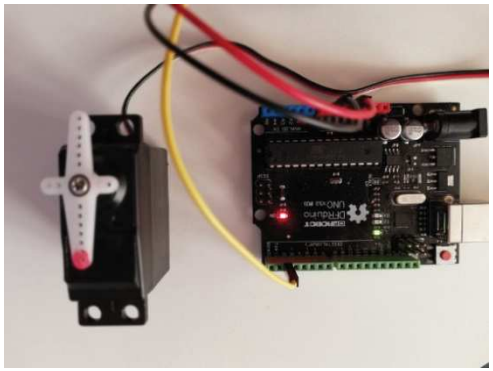
SCIENCES DE L'INGENIEUR Cycle terminal - Enseignement de spécialité

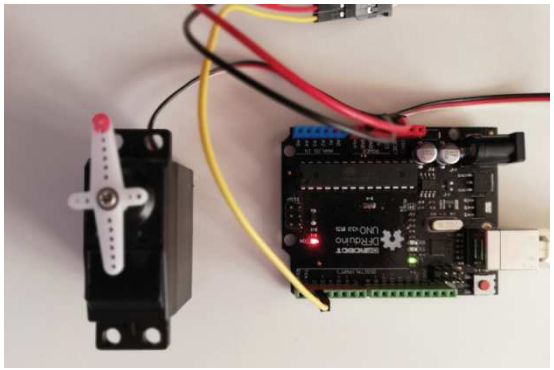
EXPERIMENTATION DU COMPORTEMENT DU SERVOMOTEUR

- **Recherche du lien entre position angulaire et information de pilotage, à partir d'un programme donné.**
- **Création du programme de traitement pour obtenir un angle de rotation.**
- **Expérimentations**

COM5 (Arduino/Genuino Uno)

```
Impulsion commande servomoteur = 590 microsecondes
Essai de commande= 560
Impulsion commande servomoteur = 560 microsecondes
Essai de commande= 580
Impulsion commande servomoteur = 580 microsecondes
Essai de commande= 570
Impulsion commande servomoteur = 570 microsecondes
Essai de commande= 560
Impulsion commande servomoteur = 560 microsecondes
Essai de commande= 555
```







académie Orléans-Tours

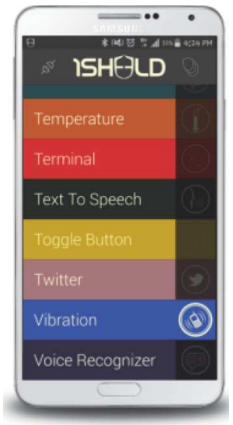
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

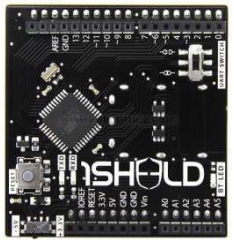
SCIENCES DE L'INGENIEUR Cycle terminal - Enseignement de spécialité

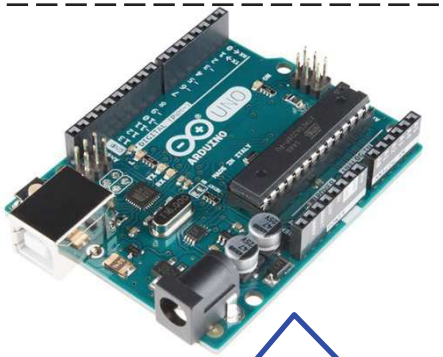
EXPERIMENTATION DE L'ACQUISITION D'INFORMATIONS VIA SMARTPHONE ET LA SOLUTION ONESHEELD

➡ orientation gyroscopique 3 axes

➡Acquisition vocale







➡ afficheur numérique

➡ Création de programmes réalisant une tâche simple (affichage d'un message) en fonction de la commande vocale acquise ou de l'orientation.

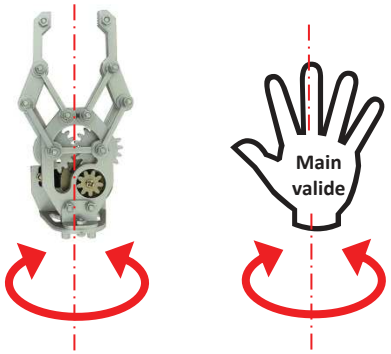


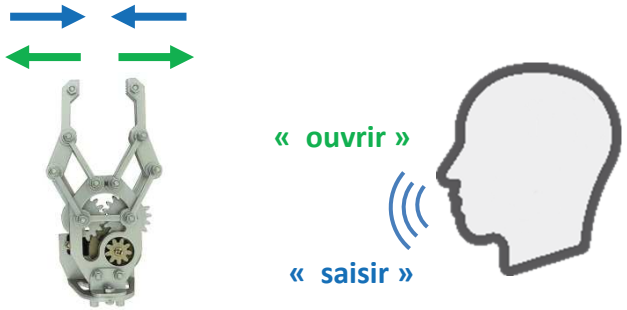
PROPOSITION DE COMPORTEMENT DU SYSTEME:

➡ **Le smartphone est rattaché à la main valide (de manière ergonomique et de façon à garder les doigts libres).**

➡ **Une rotation de la main valide autour de l'axe du bras doit provoquer une rotation symétrique du servomoteur de poignet de pince.**

➡**Une commande vocale avec des mots prédéfinis, doit provoquer la rotation du servomoteur des doigts de la pince.**





➡ **Les paramètres de l'objet unique à saisir (gobelet carton par exemple) sont paramétrés dans le programme de traitement mais une programmation de commandes vocales spécifiques supplémentaires pourrait éventuellement permettre à l'utilisateur de spécifier au départ le type d'objet à saisir (souple, déformable, rigide), afin d'adapter la loi de serrage utilisée.**



PROPOSITION DE COMPORTEMENT DU SYSTEME:

Pour saisir un gobelet carton avec la pince artificielle:

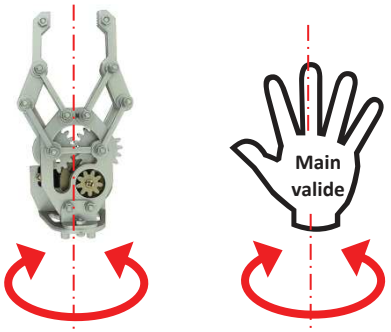
➡ **L'utilisateur avance son bras et la pince vers le gobelet.**

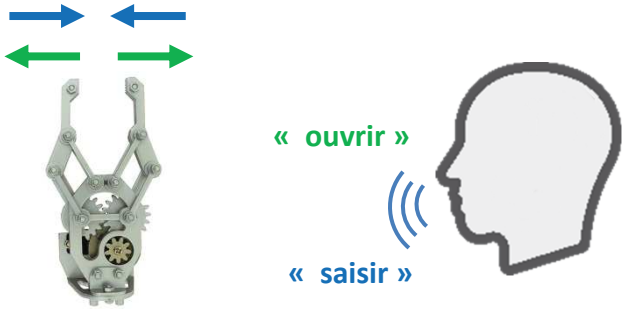
➡ **A l'aide de la main valide et du smartphone, l'utilisateur oriente la pince (rotation du poignet).**

➡ **Pour saisir le gobelet, l'utilisateur appelle la commande vocale « saisir » pour fermer la pince. L'orientation du poignet est alors momentanément figée et la pince se ferme jusqu'à ce que le capteur d'effort fixé sur un doigt détecte le contact. Dès qu'un seuil d'effort est détecté (début de saisie du gobelet) , la pince termine de serrer le gobelet pour obtenir l'écrasement juste nécessaire à une saisie efficace. Cet écrasement est programmé et piloté par la loi physique obtenue par simulation et en fonction de l'écrasement du gobelet mesuré par expérimentation.**

➡ **Une fois le gobelet serré par la pince, l'orientation du poignet se réactive et l'utilisateur peut le déplacer en bougeant son bras amputé et peut le renverser en pivotant sa main valide.**

➡ **Pour relâcher le gobelet, l'utilisateur demande l'ouverture de la pince par la commande vocale « ouvrir ».**





Distributeur automatique de savon

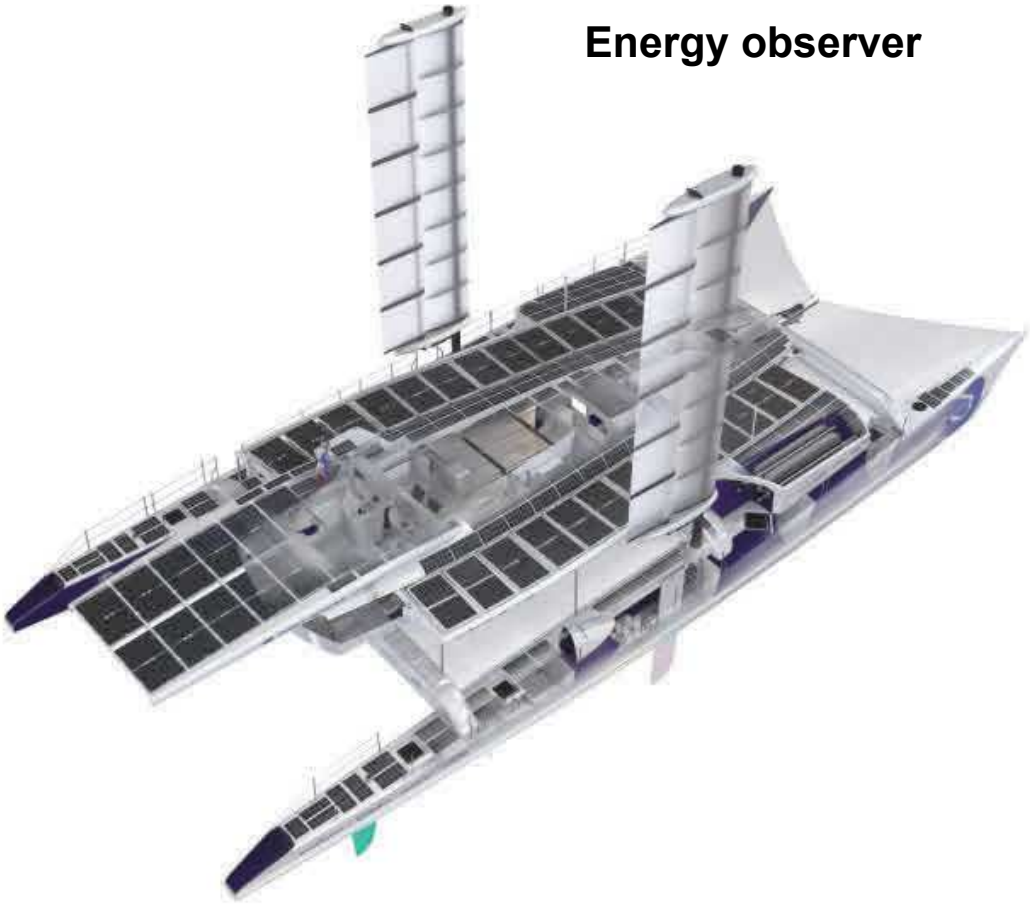


Simulateur dynamique de pilotage automobile



Activités types et systèmes (produits)

Energy observer



Modéliser et résoudre Cinématique du point (mouvement plan sur plan)		Première générale Spécialité S.I			
NOM :	Date :	T.P.		Evaluation	
Prénom :	L.E.G.T. Léonard de VINCI	T.D.		Cours	

Support d'étude : Un **distributeur de savon** (Produit) et son bielle manivelle

Distributeur automatique de savon



1) Problématique sociétale :

Beaucoup de produits sont créés pour améliorer la santé de l'être humain.
La création et la production de ces produits se justifient-elles au regard de l'impact écologique ?
Le doseur de savon fait partie de ces produits de la santé et de l'hygiène de tous les jours.
Ce produit génère-t-il plus de bien qu'il ne procure d'effets néfastes ?

2) Cahier des charges :

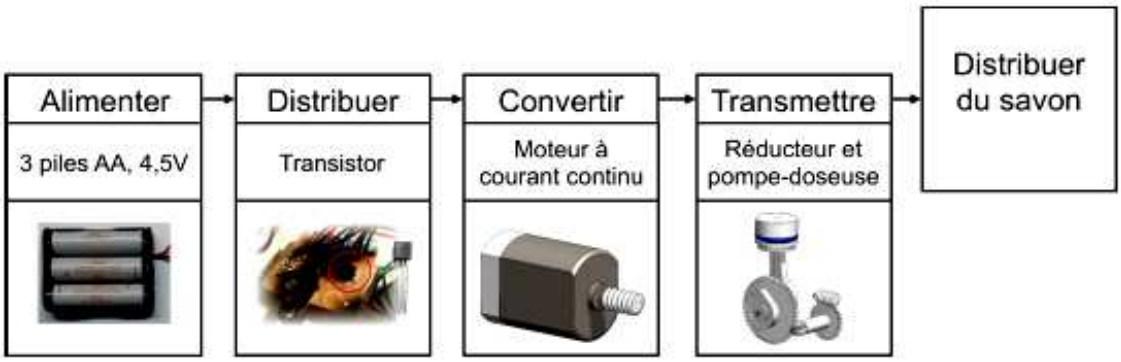
2-1) Présentation :

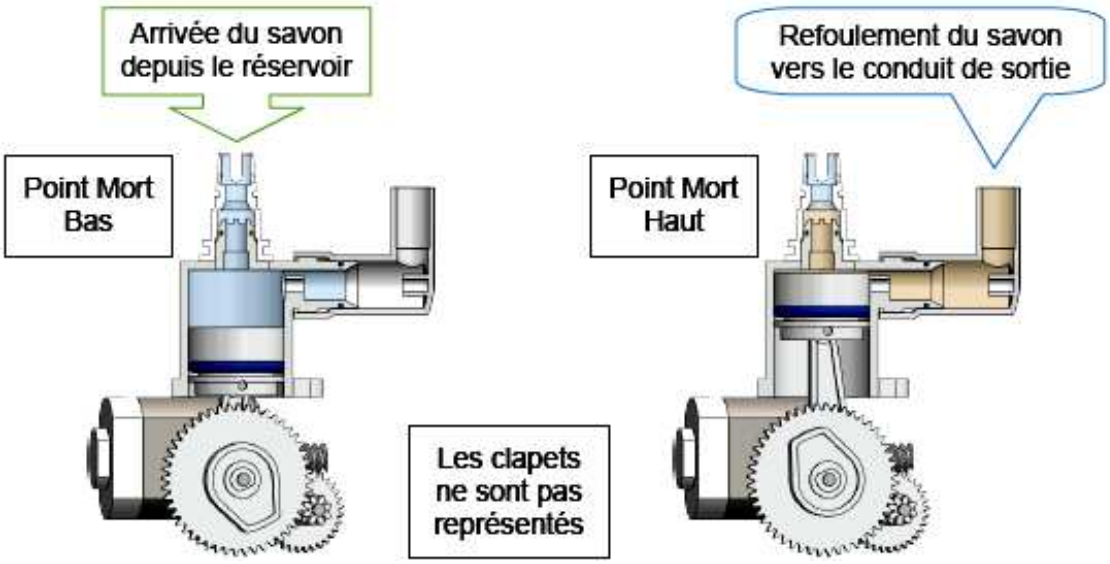
- Le distributeur automatique de savon *No-Touch* aide à réduire la propagation des bactéries.
- L'appareil repère automatiquement vos mains, et vous délivre la quantité de savon nécessaire pour un lavage. Il ne goutte pas, ne salit pas, il est très simple et pratique à utiliser pour toute la famille.
- Enrichies en agents hydratants, les recharges de savon respectent votre peau tout en éliminant 99,9 % des bactéries en 60 secondes. Fonctionne avec 3 piles AA (inclues avec l'appareil).

2-2) Caractéristiques techniques :

- Le doseur de savon est un système autonome, il est donné pour 150 (± 20) doses avant changement de flacon.
- Son poids est de 350 g.
- Sa structure devra résister à une chute d'une hauteur de 1,5 m.
- Le choix des matériaux permet un recyclage et un impact environnemental minime et performant.

3) <u>Structurel (chaîne de puissance) et fonctionnel :</u>

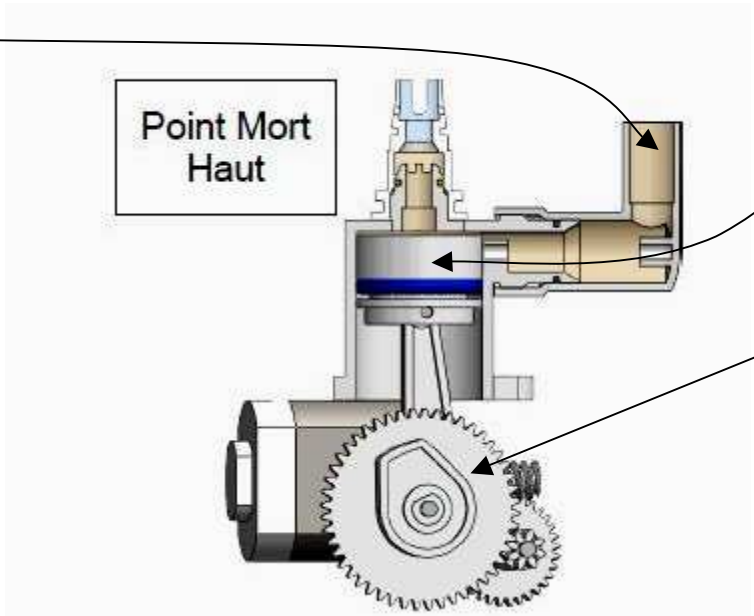




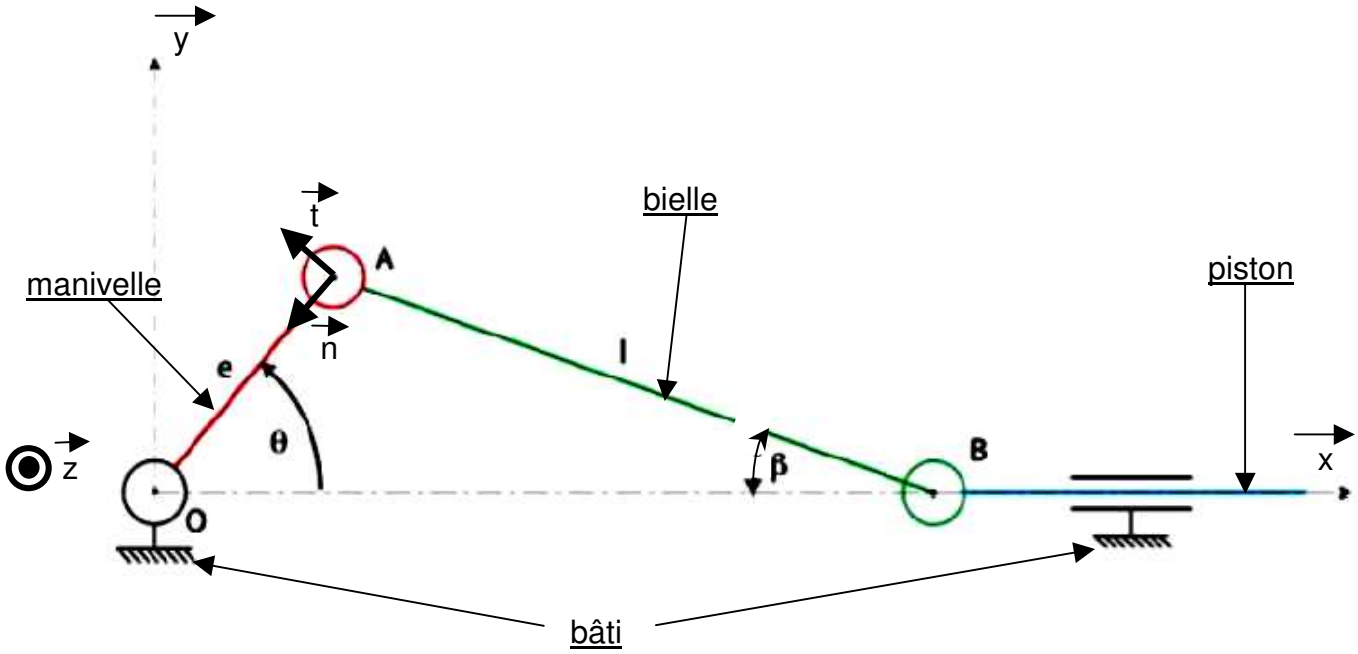
4) <u>Mise en évidence comportementale du transformateur de mouvement :</u>

N.B : Le rôle de manivelle est tenu par la <u>roue « excentrique ».</u>

- Ce constituant présent dans l'architecture du distributeur de savon, permet de transmettre l'énergie avec une particularité cinématique d'entrée-sortie, qui consiste à transformer un mouvement de rotation proposé à l'entrée, en un mouvement de translation rectiligne alternatif proposé à la sortie. In fine, <u>lorsque le fluide est refoulé vers la conduite de sortie</u>, celui-ci « acquière » de l'énergie mécanique de translation afin de se mouvoir grâce à l'action du <u>piston</u> (effecteur de la chaîne cinématique du transformateur).



- Le mécanisme de transformation admettra pour schéma cinématique plan :



- **Données :**

→ θ(t) = f(t) avec θ(t) = ω t

→ ω (manivelle/bâti) représente la vitesse angulaire de la manivelle par rapport au bâti, et elle vaut 6,08 rad.s^{-1}

→ e = 4,8 mm

→ l = 20 mm

- **Questions :**

1) Identifiez la nature du mouvement de la manivelle par rapport au bâti

2) Identifier la nature du mouvement du piston par rapport au bâti

3) Caractérisez la trajectoire du point A appartenant à la manivelle dans son mouvement par rapport au bâti

4) Caractérisez la trajectoire du point B appartenant au piston dans son mouvement par rapport au bâti

5) Déterminez l'expression vectorielle de $\vec{V}$(A, manivelle/bâti), à partir du vecteur position $\overrightarrow{OA}$

6) Exprimez littéralement la norme de $\vec{V}$(A, manivelle/bâti)

7) Déterminez les propriétés géométriques de $\vec{V}$(A, manivelle/bâti)

8) Que peut-on dire de V(A, manivelle/bâti) [correspondant à la norme du vecteur vitesse], quelque soit la position du point A, si on considère que ω (manivelle/bâti) est une constante?



9) Calculez V(A, manivelle/bâti) en $mm.s^{-1}$

10) Tracer le vecteur vitesse du point A sur le schéma cinématique page 1(En ne tenant pas compte d'une échelle des vitesses)

11) Déterminez l'expression vectorielle de $\vec{a}$(A, manivelle/bâti)

12) Exprimez littéralement la norme de $\vec{a}$(A, manivelle/bâti)

13) Calculez , a(A, manivelle/bâti) [correspondant à la norme du vecteur accélération] en $mm.s^{-2}$

14) Exprimez $\vec{a}$(A, manivelle/bâti) dans le plan P(A, $\vec{n}$, $\vec{t}$) [base de Frenet]

15) Exprimez littéralement la norme de $\vec{a}$(A, manivelle/bâti) en fonction des coordonnées attendues dans cette même base de Frenet.

16) Calculez , a(A, manivelle/bâti) en $mm.s^{-2}$. Que constatez-vous et pourquoi?

17) Exprimez le vecteur position $\vec{OB}$ en fonction de son unique composante (employez la relation de Chasles qui lie $\vec{OB}$ à $\vec{OA}$ et $\vec{AB}$, la loi des sinus dans le triangle OAB, et la relation trigonométrique : $\cos^2\beta + \sin^2\beta = 1$)

18) Déterminez l'expression vectorielle de $\vec{V}$(B, piston/bâti), à partir du vecteur position $\vec{OB}$

19) Exprimez littéralement la norme de $\vec{V}$(B, piston/bâti). Que peut-on dire de cette tendance? (est-elle de type constante ?, variable ? et si variable qu'elle est sa spécificité?)

20) Calculer V(B, piston/bâti) en $mm.s^{-1}$ pour t = 258,35 ms

21) Tracer le vecteur vitesse du point B sur le schéma cinématique page 3(En ne tenant pas compte d'une échelle des vitesses)



Modéliser et résoudre
Modéliser sous une forme graphique, une structure, un mécanisme
Modéliser les mouvements

ENERGY OBSERVER



Composition du sujet

I] Mise en situation : Page 2/8 à page 3/8
II] Piloter les ailes : Page 4/8 à page 8/8

I] Mise en situation :

Energy Observer est le premier navire autonome en énergie, zéro émission, zéro particule fine et zéro bruit, produisant son propre hydrogène à partir de l'eau de mer grâce aux énergies renouvelables.



Figure 1 : Energy Observer

Ce navire a déjà parcouru plus de 19 000 milles nautiques depuis avril 2017. Conçu comme un laboratoire opérationnel, Energy Observer expérimente et valide chaque année de nombreuses innovations. Véritable smart grid flottant préfigurant les réseaux énergétiques de demain, il exploite une énergie renouvelable dont il est économe.

Il navigue autour du monde, faisant escale dans de nombreuses cités iconiques à la rencontre des pionniers de la transition écologique et solidaire, mais aussi des élus, décideurs, armateurs et grands acteurs de l'économie. Energy Observer démontre au quotidien qu'une énergie entièrement décarbonée et décentralisée est devenue une réalité applicable à différentes échelles.

Le cahier des charges d'Energy Observer est réuni dans le diagramme d'exigences figure 2.

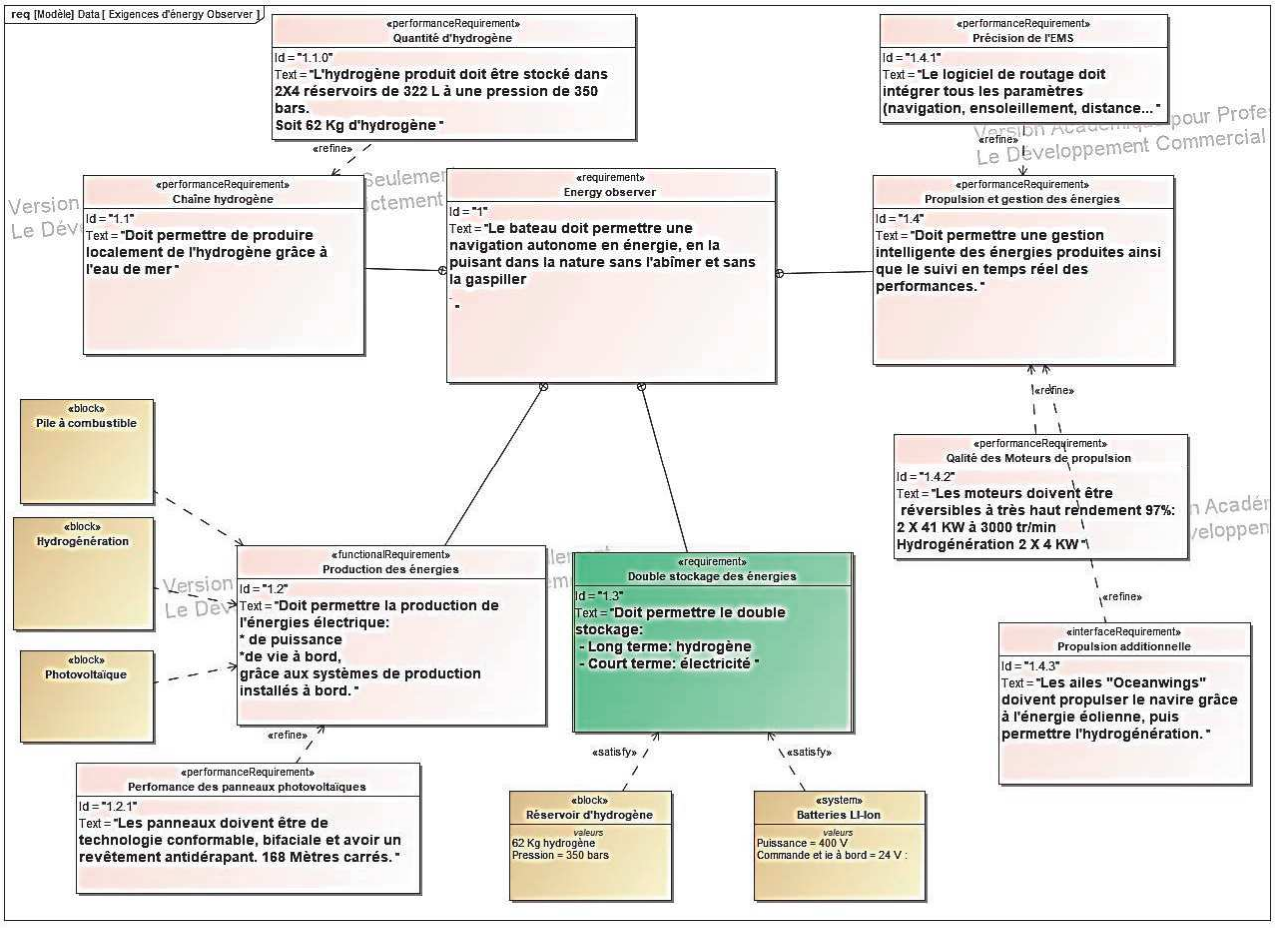


Figure 2 : diagramme des exigences du navire Energy Observer .

La gestion intelligente de l'énergie est réalisée par l'EMS (Energy Management System). L'EMS est programmé pour mieux exploiter le mix énergétique composé de (voir figure 3) :

- une chaîne complète de production d'hydrogène,
- deux systèmes de stockage (hydrogène et électricité),
- deux sources principales d'énergies renouvelables (le photovoltaïque et l'hydrolien).

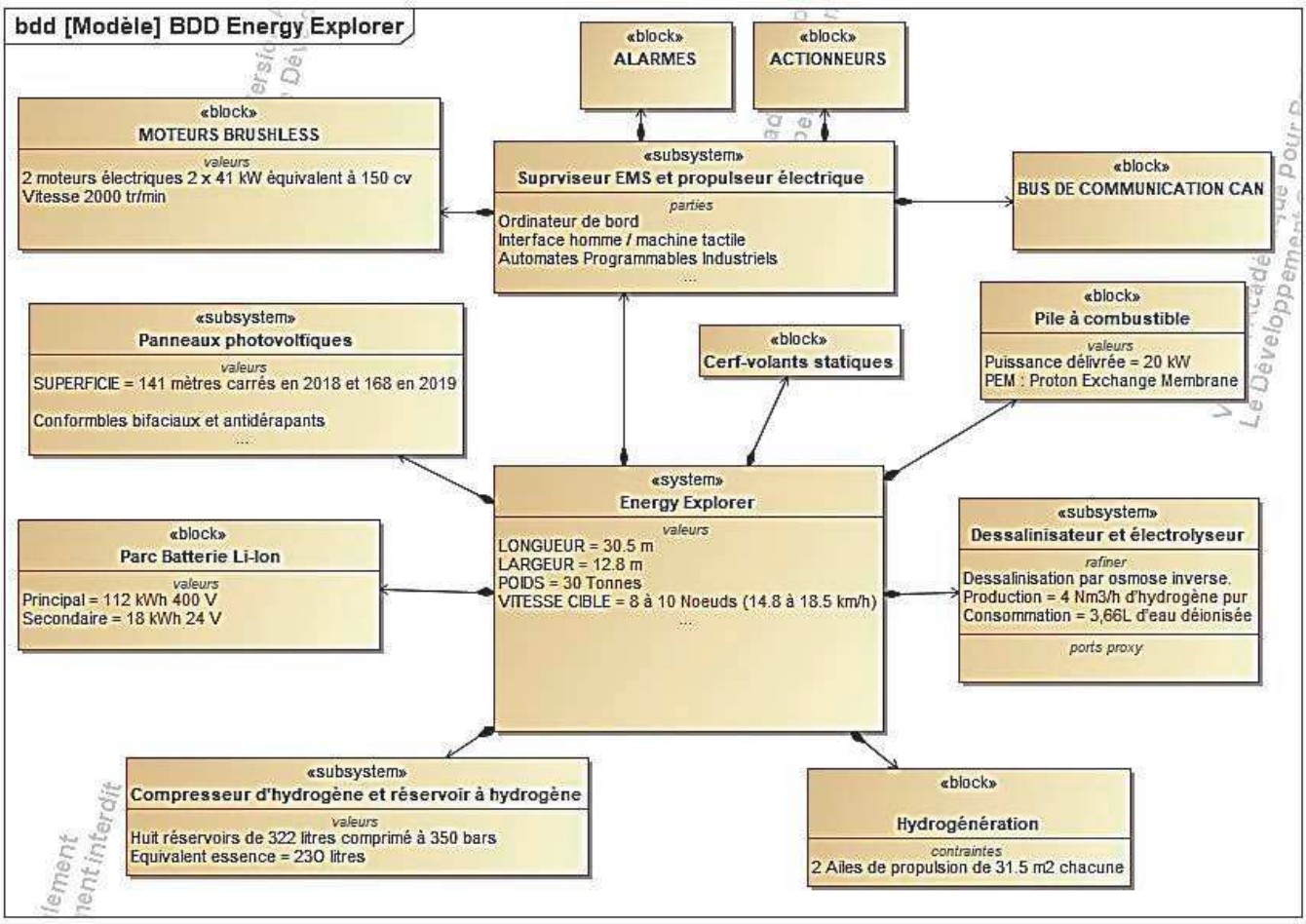


Figure 3 : diagramme de définition des blocs (bdd).

La stratégie de pilotage de l'énergie suit les principes suivants :

- en escale et au port les batteries se chargent grâce aux panneaux photovoltaïques ;
- lorsque les batteries sont chargées le surplus d'énergie fourni par les panneaux est valorisé en produisant de l'hydrogène par électrolyse de l'eau ;
- en navigation, l'EMS équilibre les consommations électriques de propulsion et de vie à bord en exploitant au mieux les énergies renouvelables : solaire, éolienne et hydrolienne) ;
- lorsque les apports d'énergie renouvelable deviennent insuffisants, les moyens de stockage (batteries et pile à combustible) à bord sont utilisés pour assurer la continuité de fonctionnement.

II] Piloter les ailes :

L'objectif de cette partie est de valider la solution technique qui permet de commander la cambrure des ailes (l'étude liée aux efforts ne sera pas traitée ici)

Actuellement Energy Observer est équipé de ses deux ailes qui ont pleinement fait leurs preuves. Les ailes Oceanwings constituent un système propulsif entièrement automatisé. Elles permettent un réglage identique à celui des voiles classiques avec un rendement supérieur.

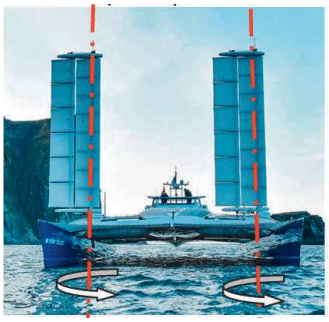
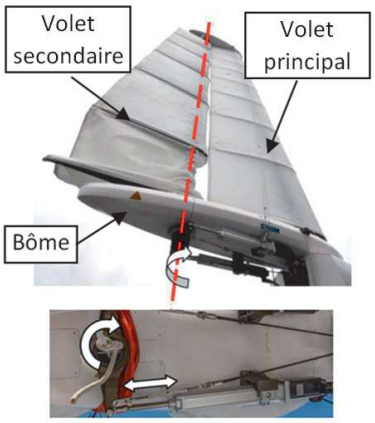
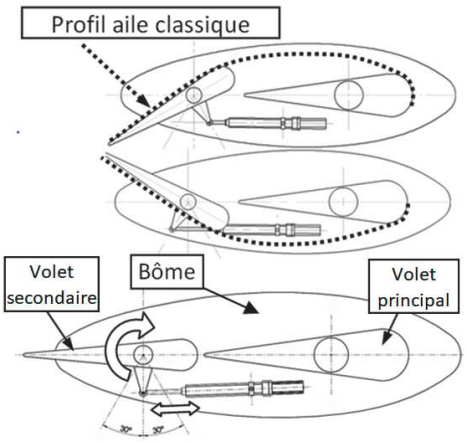
<table>
<tr>
<td>  </td>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="2">Chaque aile est orientable à 360°autour de son mât principal.
Un motoréducteur assure ce réglage.</td>
<td>L'orientation du volet secondaire permet de régler la cambrure de l'aile.</td>
<td>La cambrure de l'aile correspond au creux d'une voile classique.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Un vérin électrique permet de piloter la variation de la cambrure de l'aile, en agissant sur le volet secondaire.</td>
</tr>
</table>

Figure 12 : mobilités des ailes Oceanwings

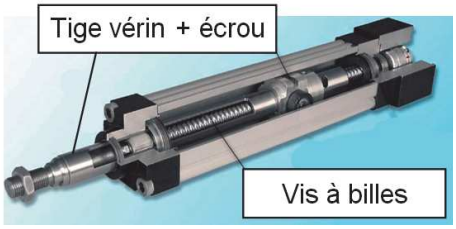
L'effort du vent dans les ailes va produire deux forces de propulsion. En fonction du cap du bateau, de la direction et de la vitesse du vent, il est necessaire de corriger en permanence l'orientation et la cambrure de l'aile pour conserver des forces de propulsion idéales et maintenir une vitesse du bateau optimale.

Un logiciel commande les différents vérins électriques et les motoréducteurs. Des informations récoltées sur des capteurs vont permettre à partir d'une base de données pré-calculées de régler cette aile de façon optimale quelque soit l'allure et la vitesse du bateau.



Figure 13 : propulsion de l'Energy Observer avec les Oceanwings

Caractéristiques du vérin :



Pas de vis du système vis/écrou : 5 mm

Course maximum : 600 mm

Effort maximum en Poussée / traction : 6 500 N

Figure 14 : caractéristiques du vérin de commande des Oceanwings

La figure 15 présente la structure fonctionnelle qui pilote l'orientation du volet secondaire.

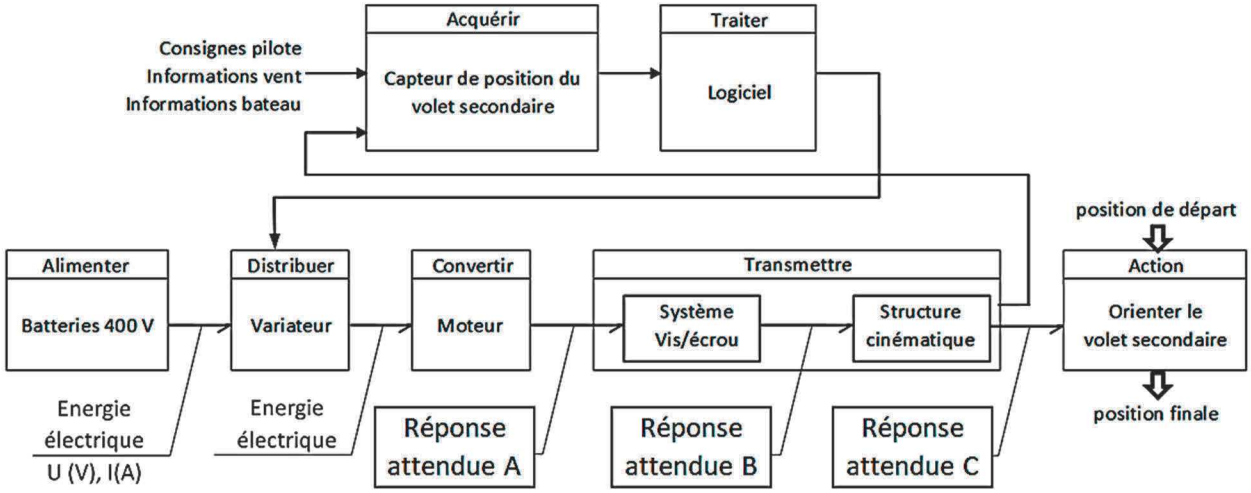


Figure 15 : structure fonctionnelle

Question 1.11 Sur la copie pour les 3 réponses attendues (A, B et C), **indiquer** la nature des énergies dans la chaîne d'énergie et **préciser** les grandeurs de flux et d'effort qui transitent entre chaque bloc et leur unité.

Comme représenté sur la figure 16, pour le réglage de la cambrure, le volet secondaire a un débattement angulaire de 60° entre ses deux positions extrêmes. Le schéma cinématique du mécanisme est donné sur la figure 17.

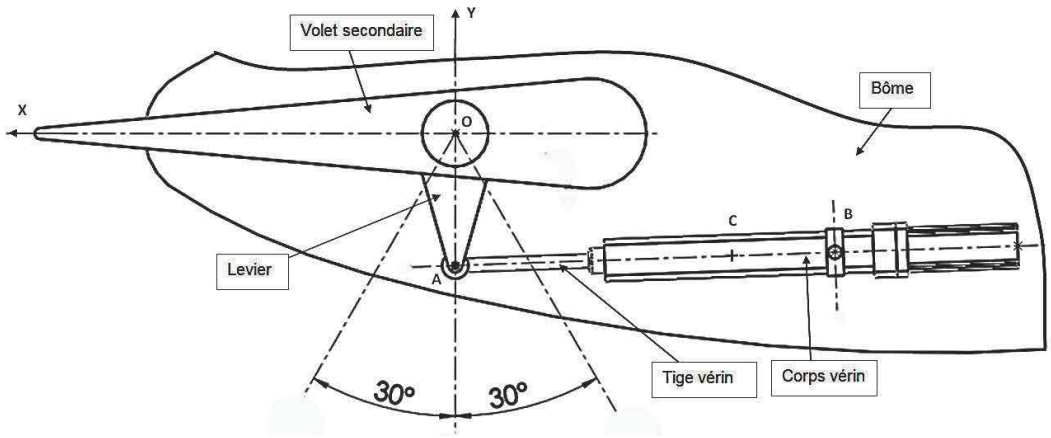


Figure 16 : mécanisme de réglage de la cambrure

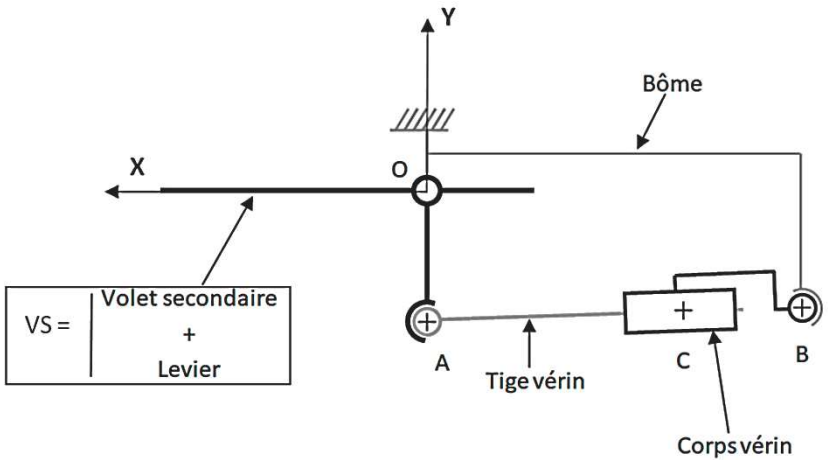


Figure 17 : schéma cinématique du mécanisme de réglage de la cambrure

Question 1.12 Sur le document réponse DR1, **compléter** le graphe des liaisons en précisant les caractéristiques de ces liaisons.

On souhaite vérifier que le vérin électrique choisi est bien dimensionné pour piloter le volet secondaire dans la configuration la plus défavorable.

Détermination de la course du vérin

Question 1.13 **Caractériser** les mouvements suivants :

- Mouvement de VS / Bôme
- Mouvement de la tige / corps du vérin
- Mouvement du corps du vérin / Bôme

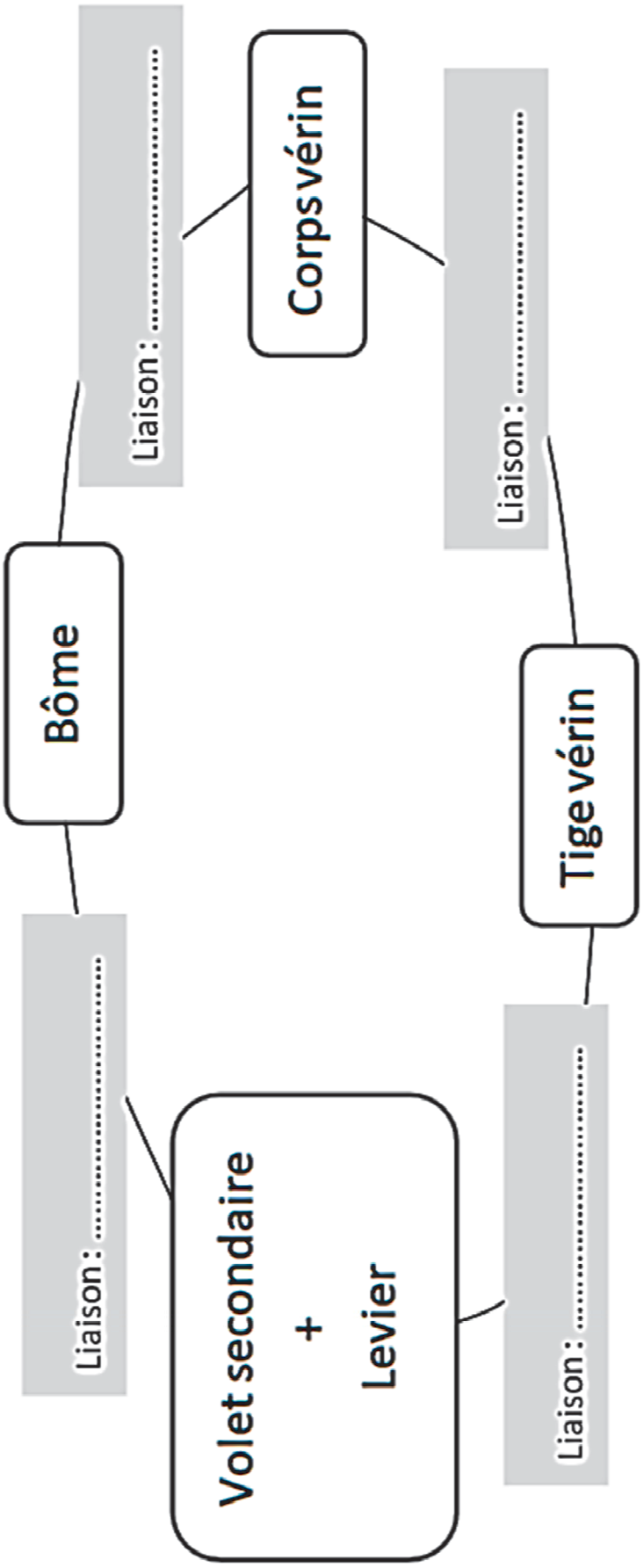
Caractériser les trajectoires suivantes :

- Trajectoire A ∈ Vs / Bôme
- Trajectoire A ∈ Tige / corps du vérin

Question 1.14 Sur le document réponse DR2 présentant les deux positions extrêmes du volet secondaire déterminer la course du vérin en faisant apparaitre vos tracés et votre méthode.

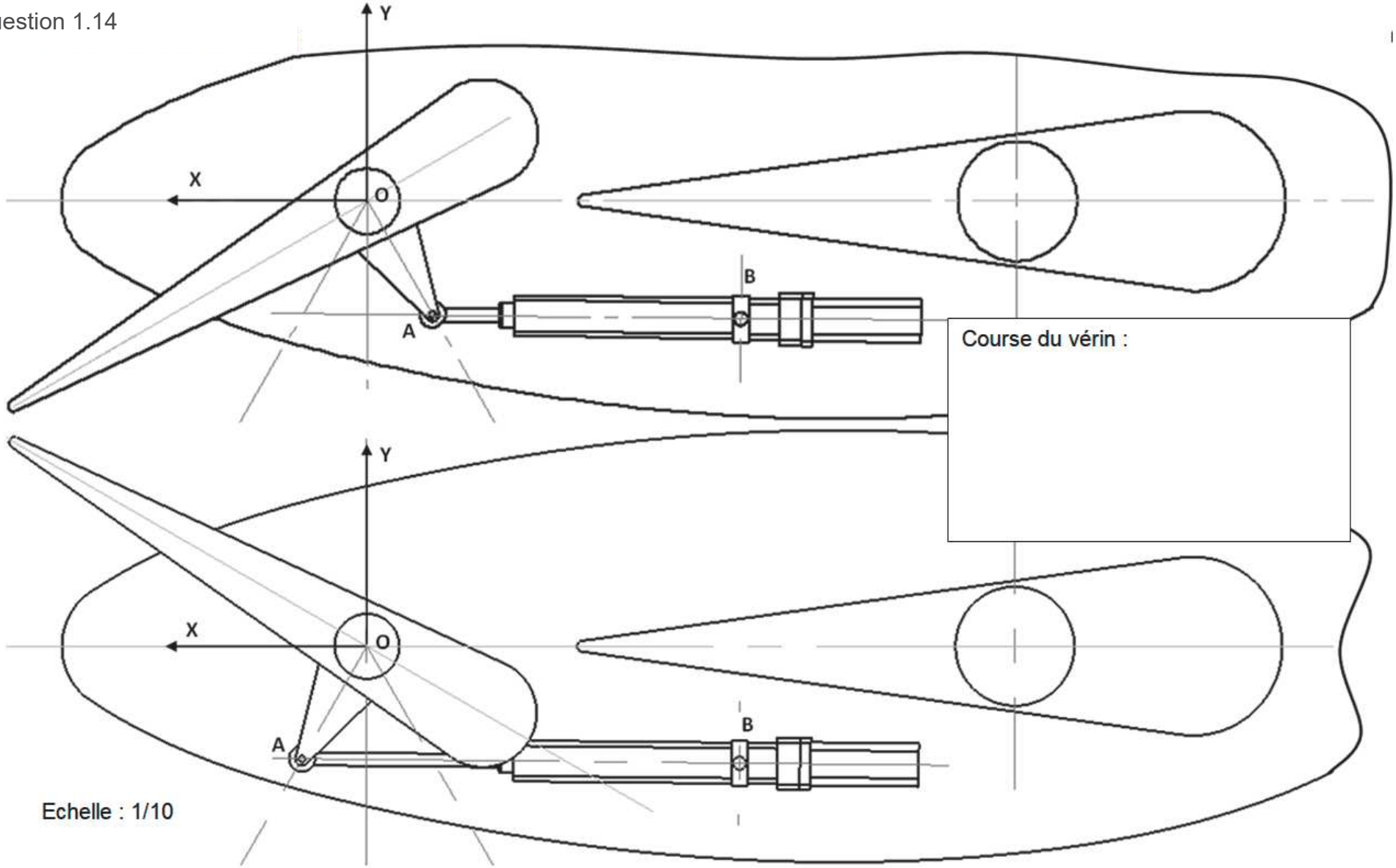
Document-réponse DR1

Question 1.12



Document-Réponse DR2

Question 1.14





Modéliser et résoudre
Modéliser sous une forme graphique, une structure, un mécanisme
Modéliser les mouvements

Simulateur dynamique de pilotage automobile



Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 1 à 7
- Documents réponses..... page 8

Mise en situation

La société Simersion développe, produit et commercialise des simulateurs de pilotage permettant à l'utilisateur de vivre une expérience de jeu avec des sensations ressenties proches de la réalité. Le modèle GUEPARD 2X (figures 1 et 2) est un simulateur dynamique compact et mobile, développé en collaboration avec des pilotes automobiles professionnels. Le produit peut être destiné à un usage soit professionnel (écurie de course, école de conduite), soit grand public (show-room événementiel, particulier). Il peut être connecté sur un réseau local pour réaliser des compétitions.



Figure 1 : simulateur GUEPARD 2X de la société Simersion

Une interface tactile, nommée HUB Simersion, intégrée au produit permet de choisir une expérience de simulation parmi une large gamme de jeux compatibles et d'adapter en temps réel les amplitudes de mouvement du siège.

Le simulateur GUEPARD 2X est doté d'un pilotage en fonction de l'évolution du jeu vidéo. Le siège de ce modèle peut être animé en mouvement autour de deux axes comme présenté sur la figure 2.

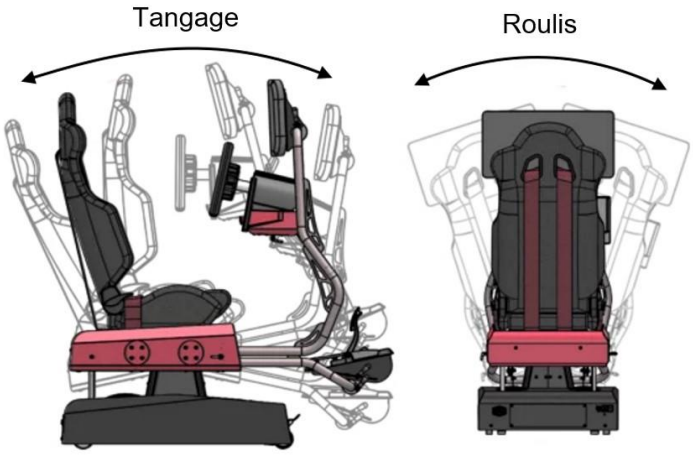


Figure 2 : amplitudes de mouvement du siège

Les performances fonctionnelles sont données dans le diagramme des exigences de la figure 3.

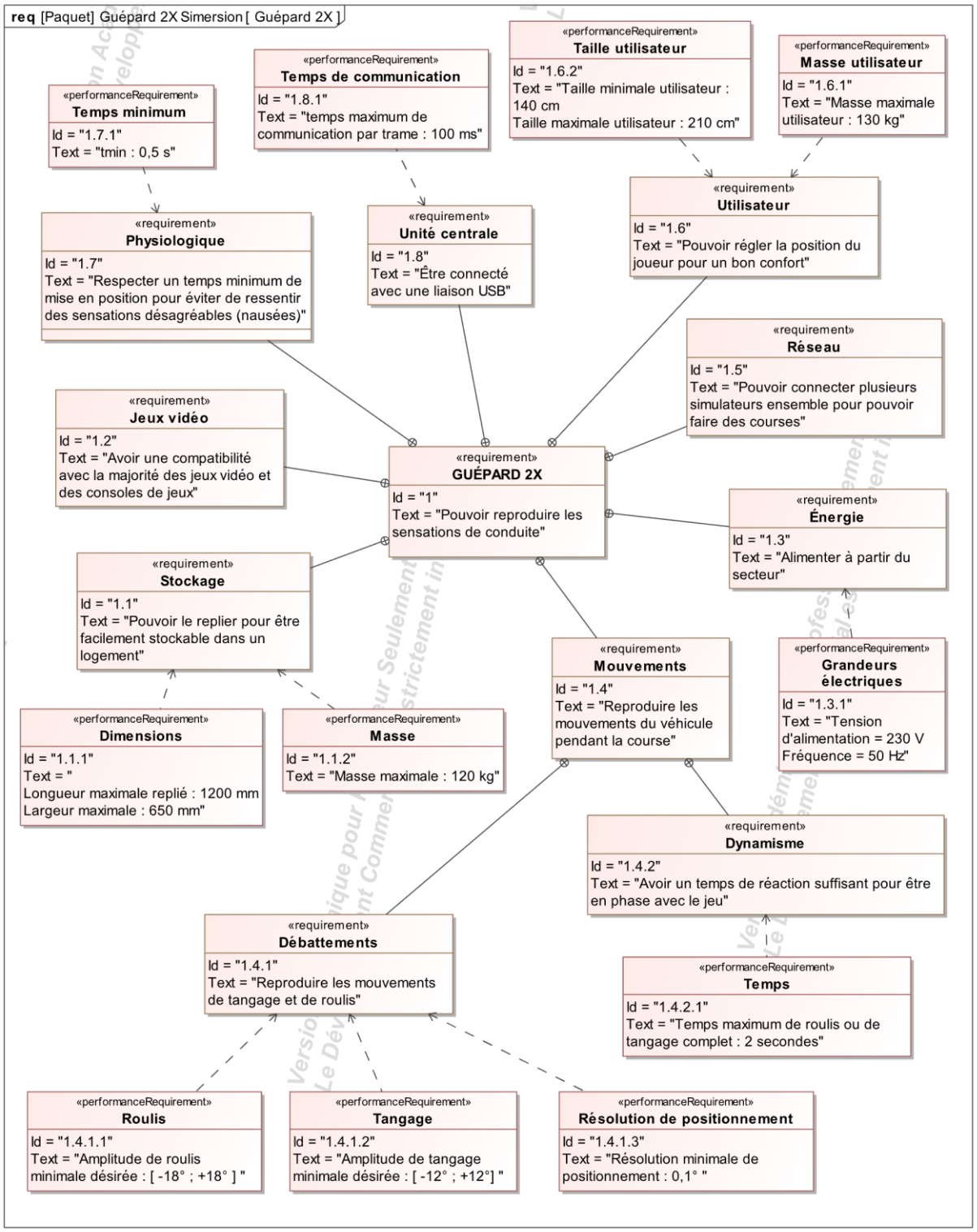


Figure 3 : diagramme des exigences

L'étude proposée permet de vérifier les performances attendues par le simulateur en répondant aux problèmes techniques suivants :

- l'architecture matérielle des chaines de puissance permet-elle de garantir les mouvements de roulis et de tangage du siège ?
- la réponse en mouvement est-elle cohérente avec le réalisme d'un jeu vidéo ?
- la gestion de la communication est-elle en adéquation avec le jeu vidéo ?

Sous-partie 1 : validation de l'architecture matérielle permettant les mouvements du simulateur

L'objectif de cette sous-partie est de valider les performances cinématiques de l'architecture matérielle du simulateur, notamment les exigences 1.4.1 et 1.7.

Le simulateur GUEPARD 2X possède deux chaines de puissance (droite et gauche) pour mettre en mouvement le siège, son schéma cinématique spatial est donné sur la figure 4, et comporte :

- 2 motoréducteurs : (MR_G) et (MR_D) ;
- 2 bras excentriques : (3_G) et (3_D) ;
- 2 bielles : (2_G) et (2_D) ;
- 1 croisillon : (4) ;
- 1 plateforme : (1) solidaire du siège.

Le châssis (0) du simulateur est supposé fixe par rapport au sol horizontal.

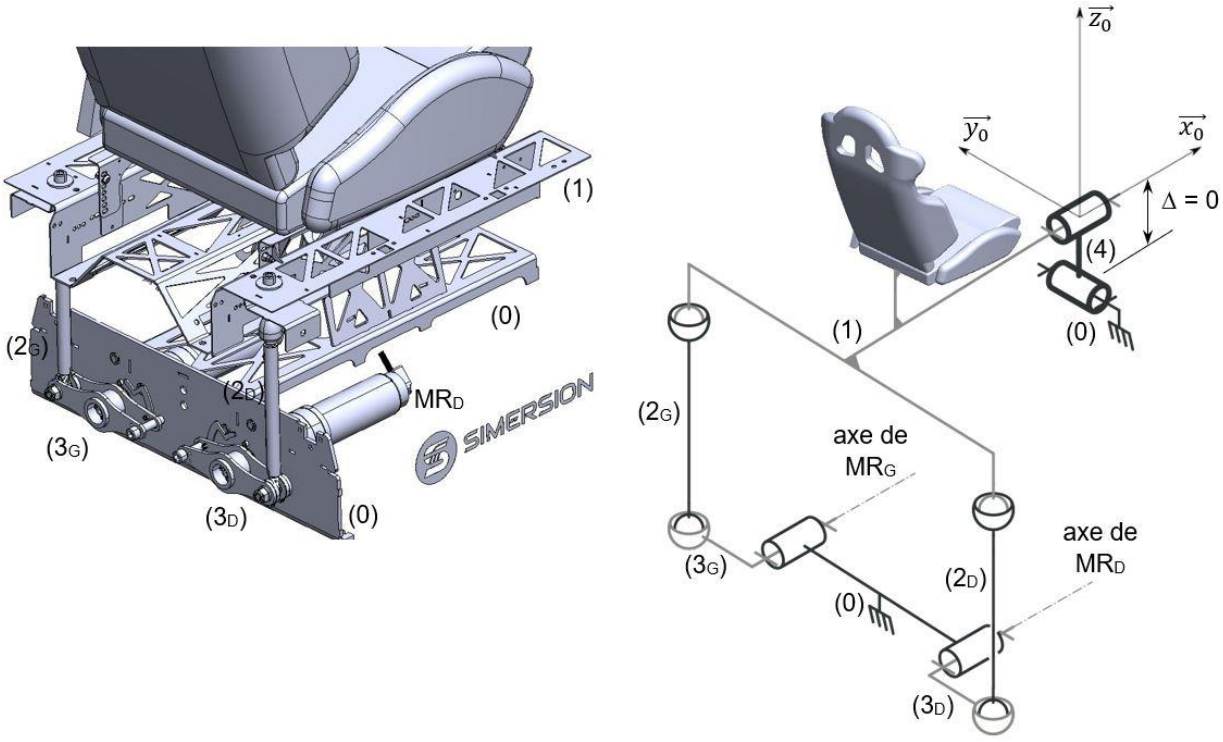


Figure 4 : représentation 3D et cinématique du mécanisme du simulateur

La définition géométrique des angles de mouvement du siège est donnée sur la figure 5.

Les notations suivantes sont utilisées :

- la base $(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$ est liée au châssis (0) considéré comme fixe ;
- l'angle du tangage θ est défini par le mouvement de rotation du siège autour de l'axe $\overrightarrow{y_0}$: $\theta = (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_t}) = (\overrightarrow{z_0}, \overrightarrow{z_t})$;

- l'angle du roulis φ est défini par le mouvement de rotation du siège autour de l'axe $\overrightarrow{x_0}$: $\varphi = (\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_r}) = (\overrightarrow{z_0}, \overrightarrow{z_r})$;
- l'angle α définit la position angulaire des excentriques par rapport à l'horizontale.

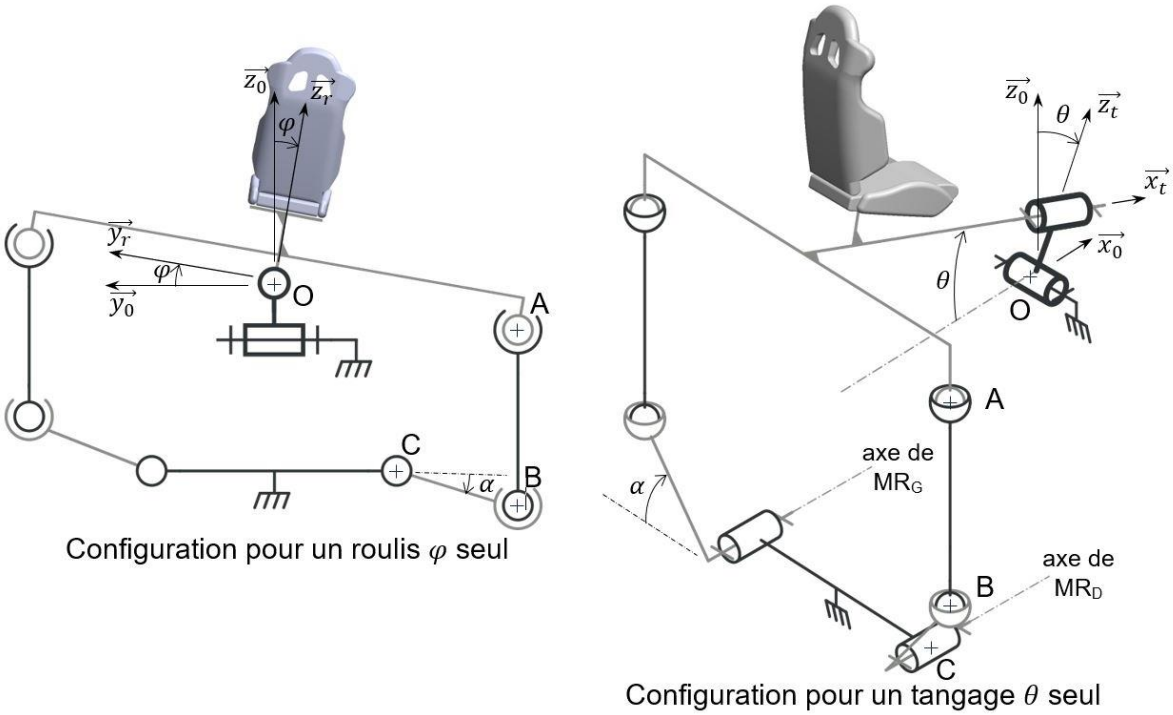


Figure 5 : schémas cinématiques pour deux configurations particulières

Le constructeur a choisi de commander la rotation de chaque excentrique (3) sur une plage maximale $\alpha_{excentrique}$ [−60° ; +60°] par rapport à l'horizontale.

L'étude suivante concerne le roulis φ seul.

Les trajectoires des points A et B, notées respectivement $T_{A \in 1/0}$ et $T_{B \in 3/0}$, sont définies sur la représentation du document réponse DR1.

Les solides sont supposés indéformables.

Question 1. DR1 Figures 4 et 5 Figure 3	Pour une commande en rotation de l'excentrique droit (3_D) de +60° et de −60°, **déterminer** par construction graphique sur le document réponse DR1, les valeurs extrêmes de roulis du siège et l'amplitude totale du roulis. **Conclure** sur votre copie quant à la capacité de ce mécanisme à respecter l'exigence 1.4.1.1.

L'étude suivante concerne le tangage θ seul.

Une série de mesures a été effectuée sur le simulateur afin d'évaluer l'amplitude totale du tangage seul du siège, noté $\theta_{tangage}$ en fonction de l'angle imposé sur les excentriques (3), noté $\alpha_{excentrique}$.

Cette loi entrée-sortie est présentée sous une forme graphique sur la figure 6.

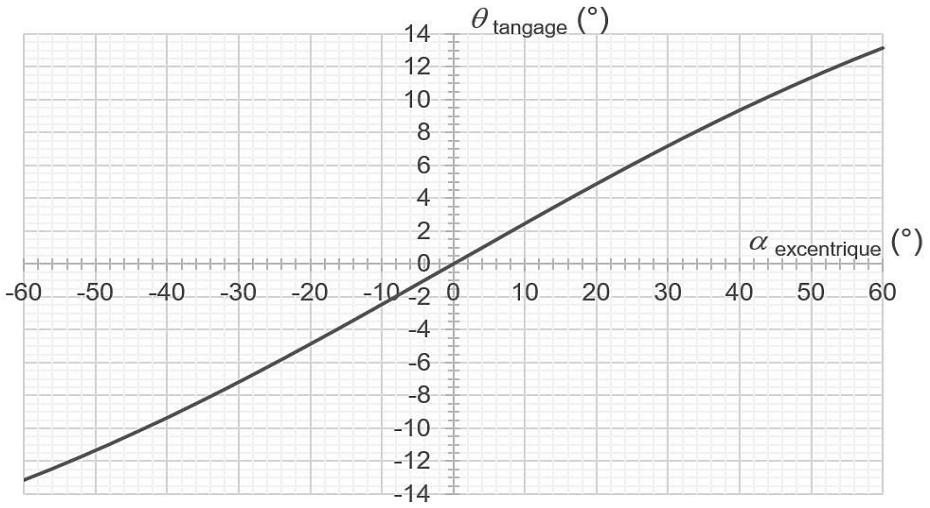


Figure 6 : résultats des mesures du tangage seul du siège

Question 2. Figures 3 et 6	**Conclure** d'après la courbe figure 6 si l'amplitude du tangage est conforme à l'exigence attendue 1.4.1.2.

Le sens positif de commande en position angulaire des excentriques (3) pour chaque motoréducteur est défini sur la figure 7.

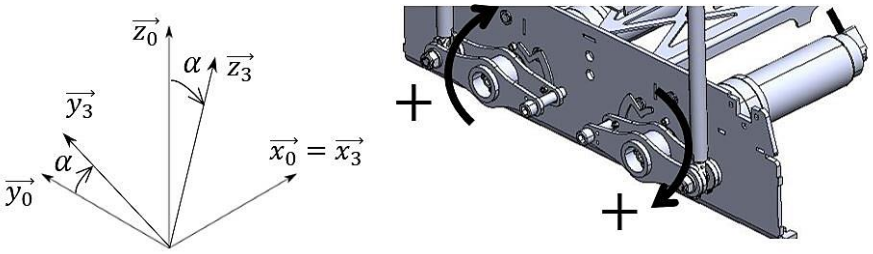


Figure 7 : définition du sens positif de commande des excentriques (3)

Question 3. DR1 Figures 5 et 7	**Compléter** le tableau du document réponse DR1 en définissant le sens de commande (positif + ou négatif –) de chaque motoréducteur pour animer en mouvement de rotation le siège du simulateur (roulis et tangage indépendamment).

Le dynamisme du siège offre des sensations réalistes pour son utilisateur. Lors d'un jeu de course de voiture célèbre, le constructeur a remarqué que le roulis maximal n'excède pas une amplitude de 8° du siège du simulateur.

Pour éviter les risques de nausées subis par l'utilisateur, la limite minimale de temps d'un mouvement du siège (pour un angle de roulis de 8°), notée t_{min}, est fixée à 0,5 seconde conformément à l'exigence 1.7.1.

Le constructeur définit la loi de commande de vitesse pour chaque excentrique représentée sur la figure 8.

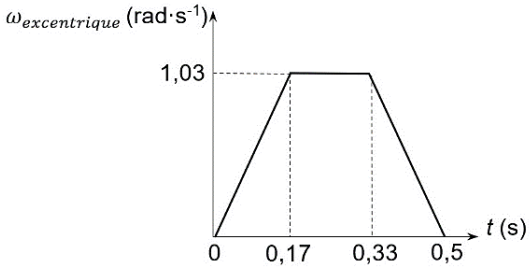


Figure 8 : loi de commande de vitesse de chaque excentrique (3)

Les paramètres choisis par le constructeur pour chaque excentrique sont :

- vitesse angulaire $\omega_{excentrique}$ maximale 1,03 rad·s^{-1} ;
- accélération angulaire $\dot{\omega}_{excentrique}$ maximale 6,06 rad·s^{-2} ;
- durées d'accélération et de décélération identiques.

Hypothèses :

- pour la plage d'étude, il y a proportionnalité entre la valeur du roulis et l'angle des excentriques : un roulis du siège de 8° correspond à un angle de chaque excentrique (3) de 20° ;
- l'aire sous la courbe de la figure 8 représente le déplacement angulaire total de l'excentrique.

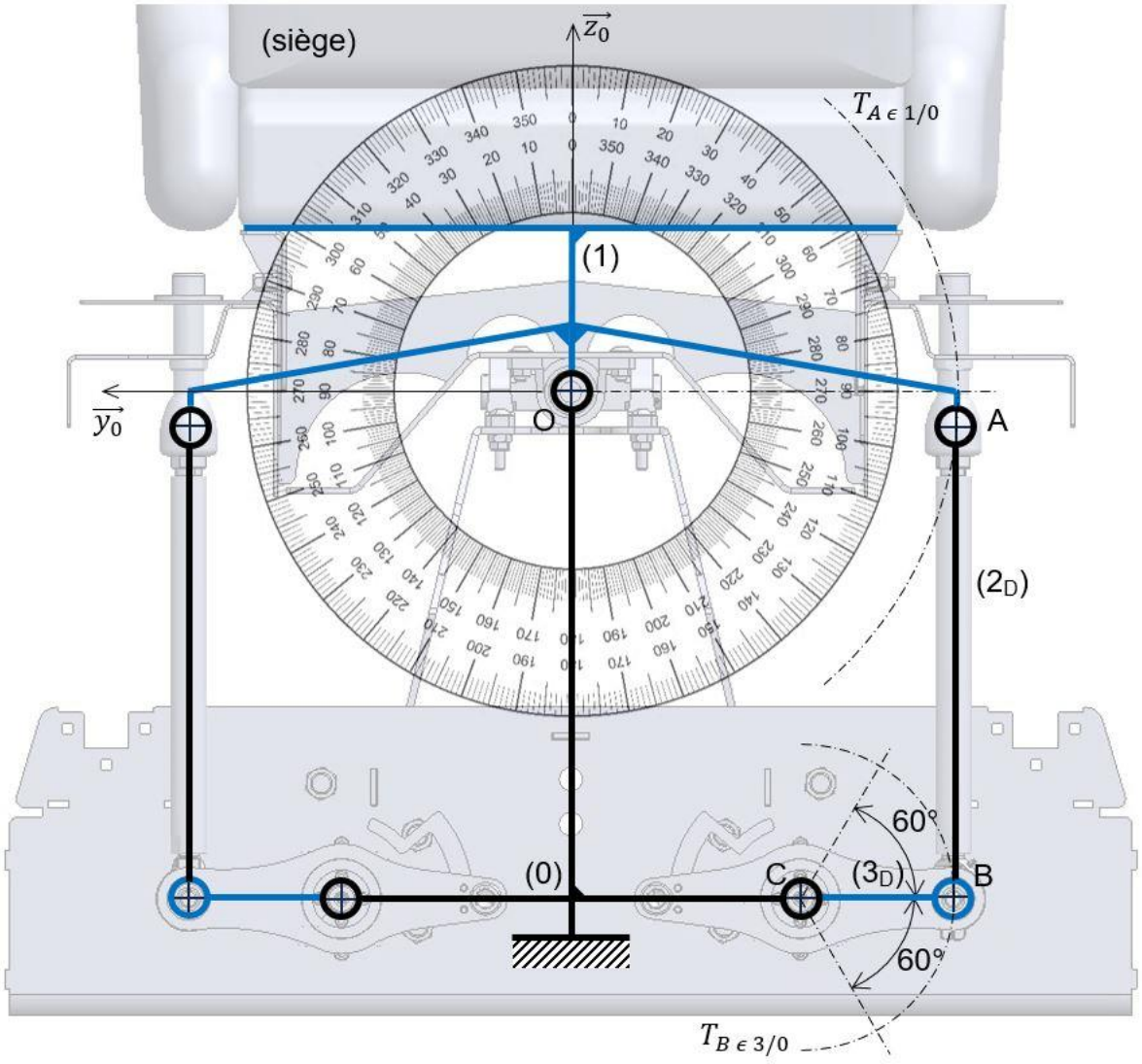
Question 4.	**Montrer que** la valeur de l'angle de l'excentrique en degré pour la loi de commande de la figure 8 est proche de 19,5°.
Figure 8 Figure 3	**En déduire** la valeur de l'angle de roulis. **Vérifier** si les paramètres choisis par le constructeur répondent à l'exigence 1.7.1 de t_{min} pour un roulis maximal du siège de 8°.

Question 5.	**Conclure** quant à la capacité des chaines de puissance du simulateur à transmettre les mouvements de roulis et de tangage dans des conditions physiologiques satisfaisantes pour son utilisateur.

Document réponse DR1

Question 1.

Remarque : les liaisons sphériques en A et B ont été remplacées par des liaisons pivots pour rendre la modélisation plane.



Question 3.

Remarque : la commande en angle sur chaque motoréducteur doit être égale en valeur absolue afin d'obtenir un tangage seul.

Positions angulaires du siège	Tangage $\theta = 0$		Roulis $\varphi = 0$	
	Roulis sens positif	Roulis sens négatif	Tangage sens positif	Tangage sens négatif
Commande MR_G	+			
Commande MR_D	+			



Sujet d'écrit type
(baccalauréat)

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Transport par boucle urbaine



Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 1 à 13
- Documents réponses ..... pages 14 à 16

Transport par boucle urbaine

Urbanloop est un nouveau concept de déplacement en milieu urbain actuellement développé par une entreprise de Nancy (région Grand Est).

Ce système de transport est conçu pour répondre aux trois objectifs sociétaux suivants :

- concurrencer efficacement l'utilisation de la voiture en ville ;
- minimiser la consommation d'énergie, l'impact sur l'environnement ;
- garantir un haut niveau d'accessibilité et de sécurité.

L'innovation majeure de ce moyen de transport réside dans le déplacement autonome de passagers dans des capsules équipées de deux places assises (figure 1). Ces capsules transportent les passagers de façon entièrement automatique après la sélection de la destination sur leurs téléphones portables.

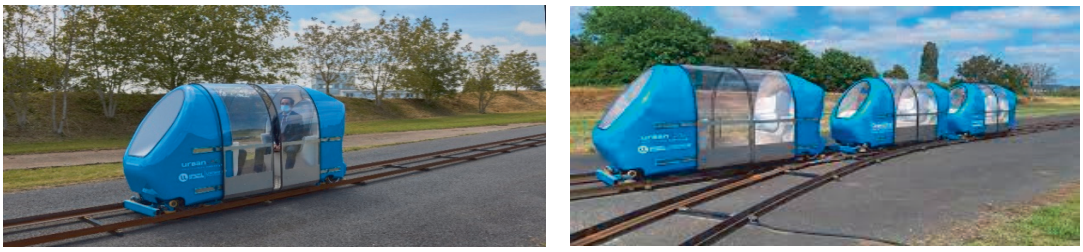
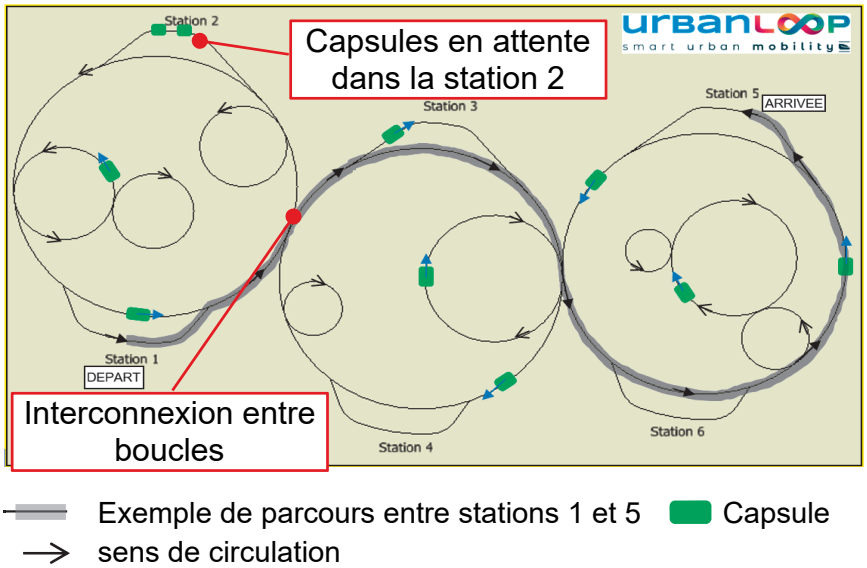


Figure 1 : vue d'une capsule seule et capsules se trouvant à une interconnexion



Le concept est basé sur un réseau de voies uniques formé de boucles interconnectées sur lesquelles circulent les capsules entièrement autonomes (figure 2). Le sens de circulation au sein d'une boucle reste toujours le même quels que soient les lieux de départ et d'arrivée.

Figure 2 : vue globale des voies et des boucles avec parcours entre deux stations

Les capsules sont propulsées par deux « moteurs-roues » électriques alimentés par un rail en basse tension (72 V).

Sous-partie 1

Validation du système de changement de voie afin d'assurer la sécurité des passagers

L'objectif de cette sous-partie est de valider la chaîne de puissance du dispositif de changement de voie.

En effet, lorsque la capsule veut changer de voie, le dispositif de changement de voie doit se mettre en place et l'ordre de descente des roulettes de guidage escamotable doit être émis à une certaine distance d'une interconnexion. Cela permet aussi d'arrêter éventuellement la capsule avant une intersection si une défaillance au niveau du dispositif est constatée. La validation consistera donc à vérifier que la somme de la distance parcourue pendant la descente du dispositif de changement de voie et de la distance d'arrêt de la capsule n'excède pas 100 m.

Les capsules sont guidées par deux rails en « L ». La partie verticale du rail sert à les diriger dans les virages ou dans un aiguillage. La figure 3 permet de visualiser le système de guidage.



Figure 3 : vue du système de guidage sur le rail

Le changement de voie, à une interconnexion, s'effectue grâce à un mécanisme positionné à proximité de chaque roue. Celui-ci permet à des roulettes escamotables de descendre du côté vers lequel doit se diriger la capsule. Une visualisation du mécanisme de changement de voie et des positions basse et haute de la roulette de guidage amovible est proposée sur la figure 4.

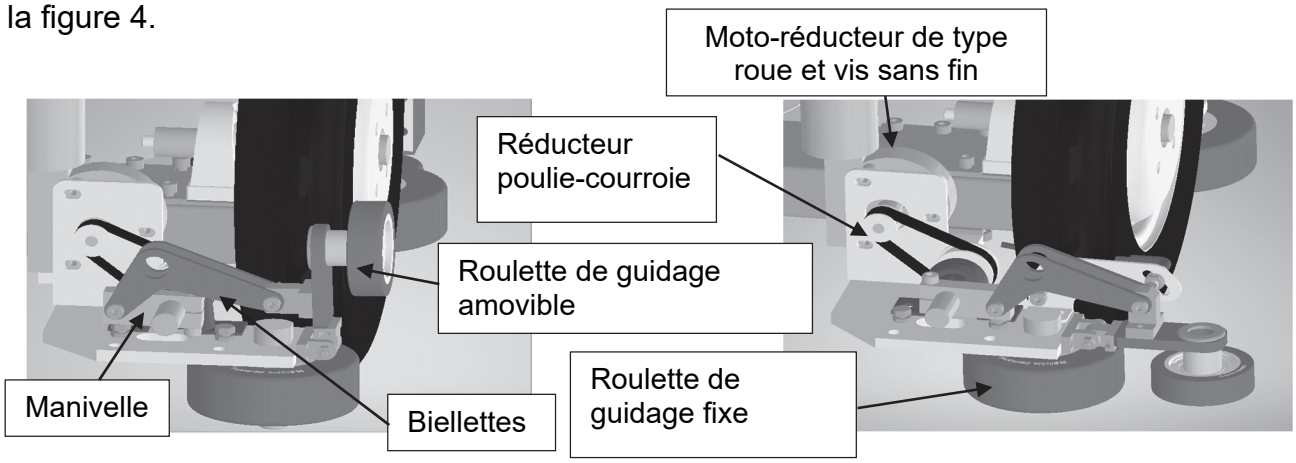


Figure 4 :
système de guidage en position haute (vue de gauche) et en position basse (vue de droite)

Question 1.1 DR1	À l'aide des figures 3 et 4, **compléter** sur le document réponse DR1 la chaîne de puissance du système de guidage, en renseignant les rectangles vides avec les éléments qui remplissent les différentes fonctions ainsi qu'avec les grandeurs d'efforts et de flux et leurs unités.

Le schéma cinématique du système de changement de voie en position haute est représenté figure 5.

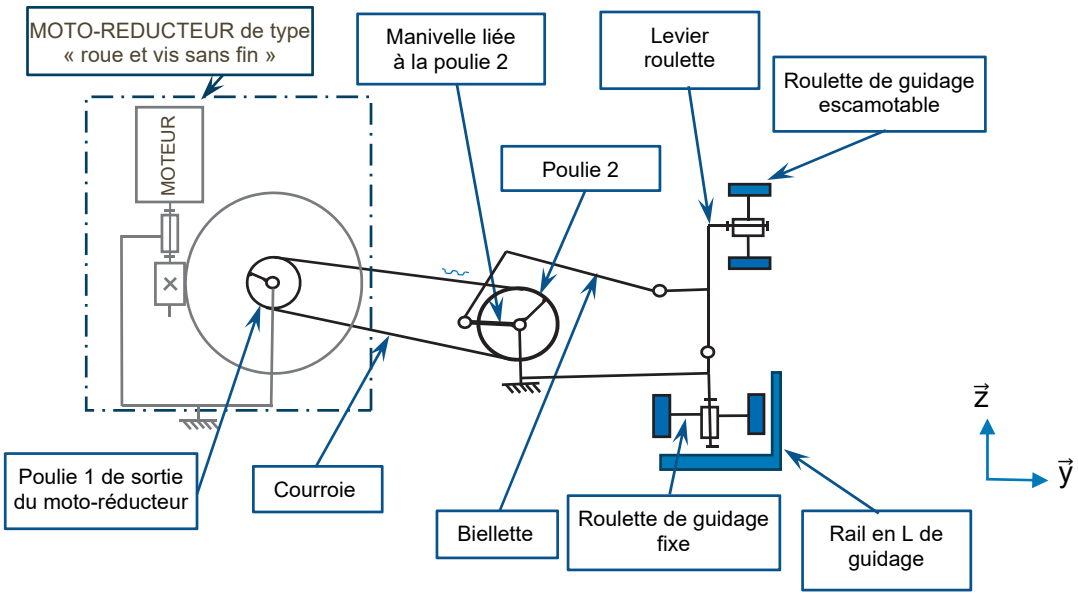


Figure 5 : schéma cinématique du mécanisme de guidage

Les caractéristiques techniques du moto-réducteur sont :

- tension nominale 12 V ;
- vitesse nominale N_1 en sortie du moto-réducteur 40 tr·min^{-1}.

La poulie 1 comporte $Z_1 = 15$ dents et la poulie 2 comporte $Z_2 = 28$ dents.

Hypothèse : lors de la rotation du motoréducteur, les phases d'accélération et de décélération sont négligées et la vitesse de rotation est considérée comme constante.

Question 1.2 DR1	À l'aide de la figure 5, **compléter** sur le document réponse DR1 le schéma cinématique en position basse du mécanisme de changement de voie. **Identifier** un élément de la chaîne de puissance permettant d'obtenir un mécanisme irréversible.

Question 1.3	À partir des caractéristiques des poulies, **calculer** le rapport de réduction du réducteur poulie-courroie $r = \frac{N2}{N1}$, puis en **déduire** la vitesse de rotation N_2 de la poulie 2.

La manivelle qui est liée à la poulie 2 effectue une rotation de 180° pour positionner la roulette de guidage en position basse.
Afin d'assurer la sécurité des passagers, si 1,5 s après avoir reçu l'ordre de descente des roulettes de guidage, la position basse de la roulette n'a toujours pas été détectée alors un arrêt d'urgence est automatiquement déclenché.

Question 1.4 **Vérifier** par le calcul que le temps de descente t_d de cette roulette est inférieur à la valeur limite pour garantir la sécurité des passagers.
Calculer la distance d_1 parcourue par la capsule pendant 1,5 s si la capsule roule à la vitesse maximale de 60 km·h^{-1}.

Si le dispositif de changement de voie ne se trouve pas en position basse 1,5 s après avoir reçu l'ordre de descente, il est impératif de vérifier que la capsule pourra s'arrêter avant l'intersection.

Hypothèses :

- la voie est considérée comme un plan horizontal. La capsule pourra être considérée comme un système possédant un plan de symétrie longitudinal ;
- l'étude est menée dans un plan $(O,\vec{z},\vec{x})$ considéré comme plan de symétrie géométrique et pour les actions mécaniques ;
- le repère $R(O,\vec{z},\vec{x})$ lié à la voie repérée 12 est supposé galiléen ;
- la capsule repérée 11 est considérée comme un unique solide indéformable de centre de masse *G* et de masse totale *m.* Elle est animée par rapport au repère R d'un mouvement de translation rectiligne uniforme jusqu'au début de la phase de freinage objet de l'étude ;
- la décélération est considérée comme constante ;
- seules les roues arrières sont freinées et le contact entre les pneumatiques et les rails de la voie 12 est considéré comme ponctuel de normale $\vec{z}$ avec adhérence en A ;
- la masse m_c de la capsule est de 300 kg ;
- la masse m_p de deux passagers est de 160 kg ;
- la vitesse maximale V_{maxi} est de 60 km·h^{-1} ;
- l'accélération de pesanteur terrestre *g* est de 10 m·s^{-2}.

La figure 6 illustre la modélisation des actions mécaniques extérieures appliquées sur la capsule lors du freinage, ainsi que sa décélération. Les roues de la capsule sont constituées d'un pneumatique monté sur jante.

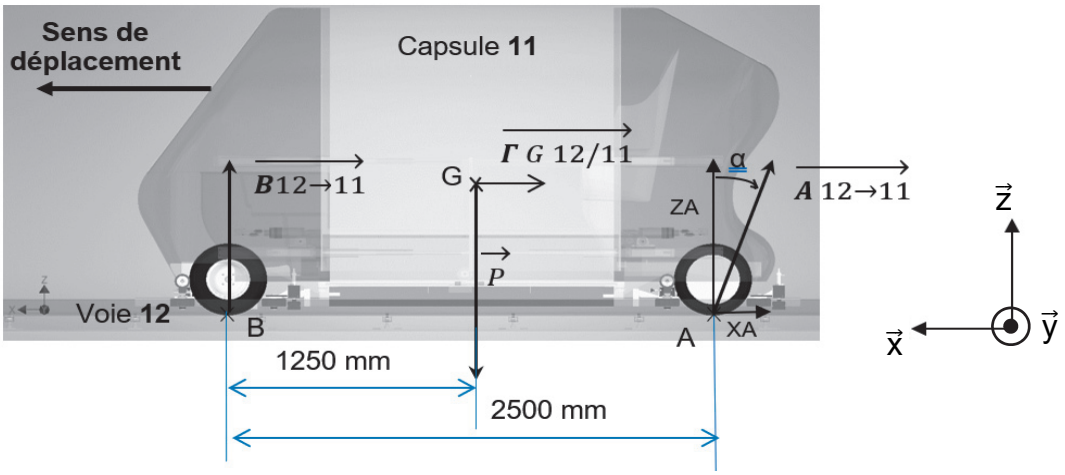


Figure 6 : modélisation des actions mécaniques extérieures appliquées sur la capsule

La capsule 11 est isolée. Le véhicule est soumis à trois actions mécaniques extérieures représentées sur la figure 6 :

- action mécanique à distance de la pesanteur sur 11 exprimée au centre de gravité *G* du véhicule : $\{\tau_{pes\to 11}\}=\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -4600 & 0 \end{Bmatrix}_{R}^{G}$, dont la résultante est représentée par $\vec{P}$;
- action mécanique de contact de la voie 12 sur la roue arrière au point *A* :

$$\{\tau_{12\to 11}^{A}\}=\begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ 0 & 0 \\ 2300 & 0 \end{Bmatrix}_{R}^{A}$$, dont la résultante est représentée par $\vec{A}_{12\to 11}$;

- action mécanique de contact de la voie 12 sur la roue avant au point *B* :

$$\{\tau_{12\to 11}^{B}\}=\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 2300 & 0 \end{Bmatrix}_{R}^{B}$$, dont la résultante est représentée par $\vec{B}_{12\to 11}$.

Question 1.5 **Déterminer** X_A à partir de l'équation algébrique du théorème de la résultante dynamique en projection sur $\vec{x}$ appliqué à la capsule avec deux passagers, dans le cas d'un arrêt d'urgence et pour une décélération a_G. **Donner** la valeur numérique de X_A pour la décélération maximale admissible a_G = - 2 m·s^{-2}.

Les valeurs des facteurs de frottement en fonction des matériaux en contact sont données dans le tableau figure 6.

	Valeurs indicatives de f (f = tan ϕ)	
Nature des matériaux en contact	À sec	Lubrifié
Acier sur acier	0,15	0,09
Acier sur bronze	0,1	0,09
Pneu sur route	0,6	0,4 sur sol humide
Pneu sur acier	0,5	0,4 sur sol humide

Figure 6 : valeurs indicatives du facteur de frottement pour différents couples de matériaux

La valeur absolue de *Xa* est prise par la suite égale à 920 N.

Question 1.6 **Calculer** |tan α| en fonction des valeurs de Z_A et de X_A.

Conclure sur la possibilité de l'arrêt de la capsule pour cette décélération de - 2 m·s^{-2} d'après le facteur de frottement réel roues/rails en acier défini dans le tableau de la figure 6.

La distance d_1 parcourue pendant le temps de descente (estimé à 1,5 s) de la roulette de guidage est prise égale à 25 m.

Question 1.7 **Calculer** la distance d_2 parcourue par la capsule pendant la phase de décélération si le temps d'arrêt est de 8,33 s, si l'accélération est égale à - 2 m·s^{-2} et si la capsule roule à sa vitesse maximale.

Conclure si la distance parcourue $d_t = d_1+d_2$ entre le moment où l'ordre de descente de la roulette de guidage a été donné et le moment où la capsule est arrêtée, respecte bien la distance de moins de 100 m imposée dans le cahier des charges.

Sous-partie 2

Modélisation et optimisation de la consommation énergétique de la capsule

L'objectif de cette sous-partie est de reprendre la démarche d'ingénierie qui a permis de battre le record du monde de la plus faible consommation énergétique au kilomètre pour un véhicule autonome sur rail.

La consommation visée devait être inférieure à 50 W·h par kilomètre pour une vitesse constante de 60 km·h^{-1}.

Dans un premier temps, une simulation multiphysique a été réalisée afin de valider les choix technologiques.
Pour assurer la propulsion de la capsule, le choix s'est porté sur deux « moteurs-roues » (figure 7) positionnés sur l'essieu arrière.
Le « moteur-roue » intègre un moteur de type brushless ainsi qu'une transmission mécanique et une jante équipée d'un pneu gonflable.
Dans un souci de simplification, la modélisation multiphysique de la motorisation de la capsule (figure 7) et les deux chaînes de puissance ont été regroupées en une seule comme présenté sur la figure 8.



Figure 7 : moteur-roue

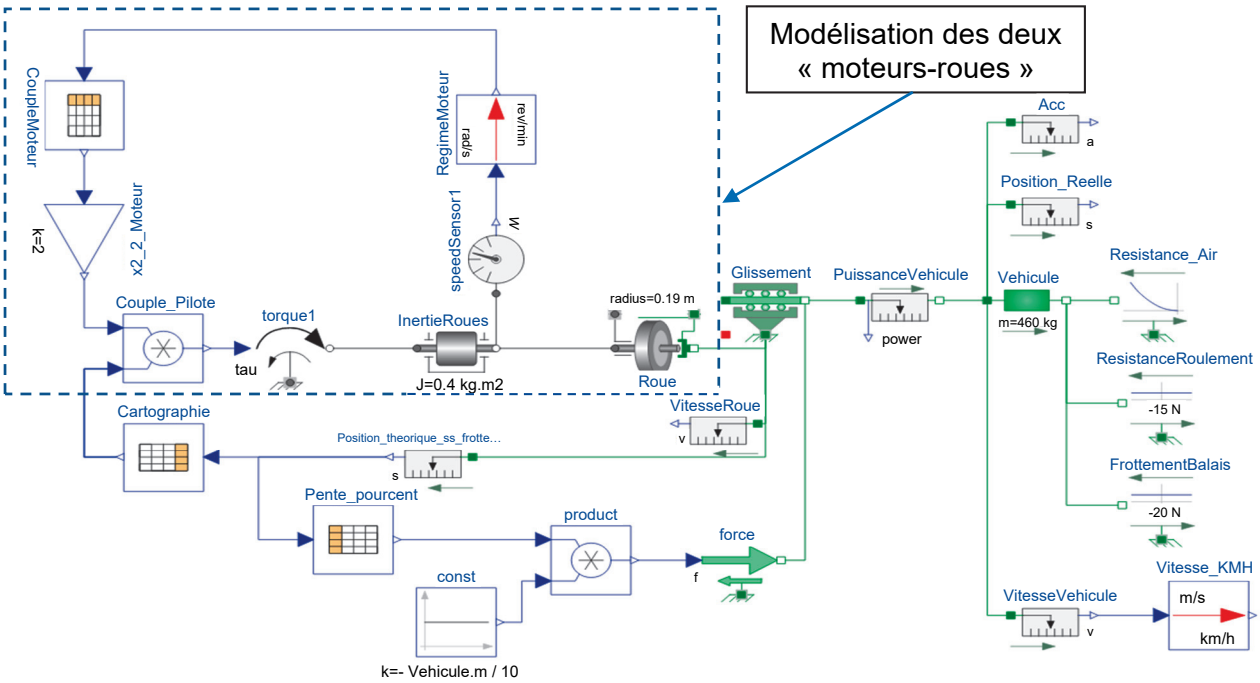


Figure 8 : modélisation multiphysique du système de motorisation de la capsule

Question 1.8 DR2	À l'aide de la modélisation multiphysique de la figure 8, **compléter** le diagramme ibd sur le document réponse DR2 en indiquant dans les rectangles en pointillé la nature des puissances et en renseignant le nom des composants dans les trois blocs vides avec les termes suivants : roue, moteur et capteur tachymétrique.

Les courbes proposées figures 9 et 10 ont été obtenues à partir du modèle multiphysique. Elles représentent la variation de la vitesse et de la puissance en fonction du temps sur sol horizontal et sur 1 km de parcours lorsque la vitesse devient constante.

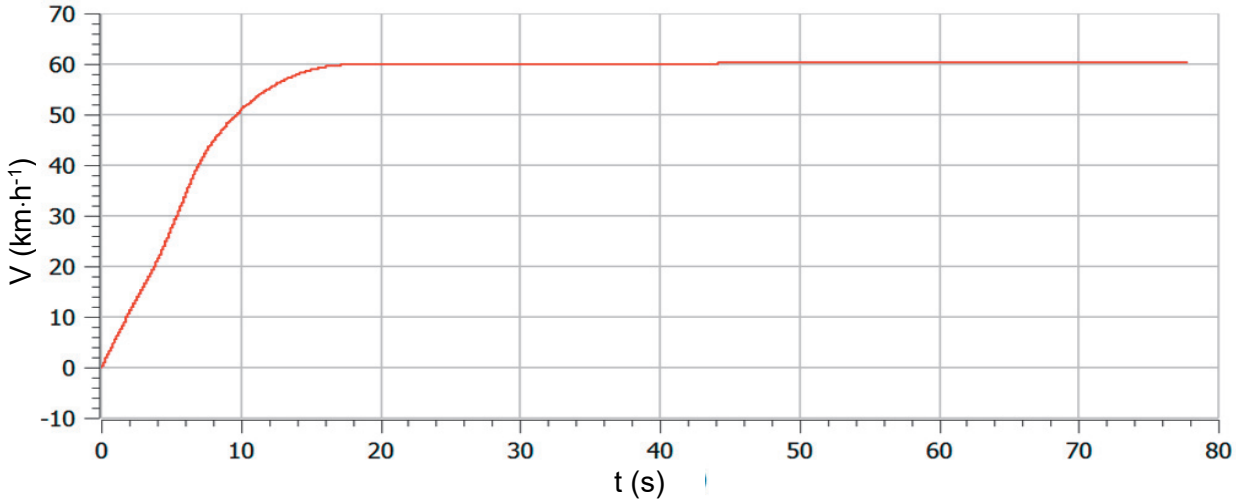


Figure 9 : résultat de la simulation multiphysique représentant la vitesse en fonction du

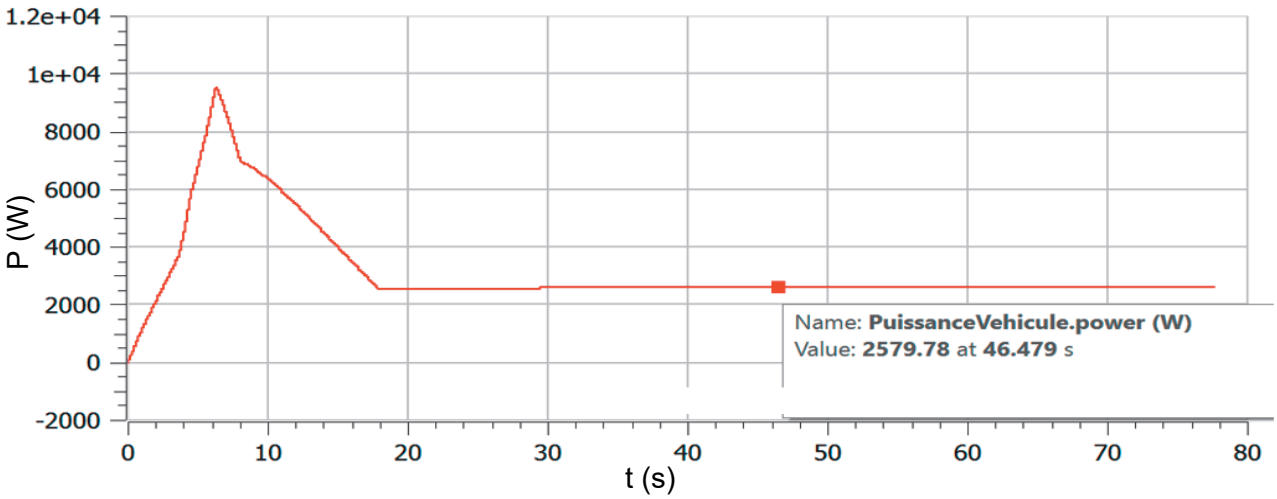


Figure 10 : résultat de la simulation multiphysique représentant la puissance mécanique développée pour mettre en mouvement la capsule

Question 1.9	À partir des résultats issus de la simulation multiphysique, figures 9 et 10, **relever** l'instant t à partir duquel la vitesse devient constante, ainsi que la puissance mécanique P_m à cet instant. En **déduire** la puissance absorbée P_a en considérant un rendement global de 0,92.

La valeur de la puissance absorbée pour la suite de l'étude est égale à 2 800 W.

Question 1.10 **Calculer** le temps t_{1km} mis par la capsule pour parcourir le parcours type en vitesse constante et l'énergie consommée W_{csim} en W·h lors de son déplacement pendant ce kilomètre.
Comparer les résultats précédents avec l'exigence de consommation énergétique du record.

Après avoir validé les choix technologiques grâce au modèle multiphysique, la tentative de record a pu se dérouler dans les conditions suivantes sur la piste d'essai :

- sol horizontal ;
- température extérieure de 20°C ;
- vitesse du vent négligeable ;
- distance de 1 km à vitesse constante ;
- tension d'alimentation moteur U = 72 V.

Un capteur mesure le courant consommé par la motorisation de la capsule. Les résultats de l'expérimentation sont donnés figure 11.

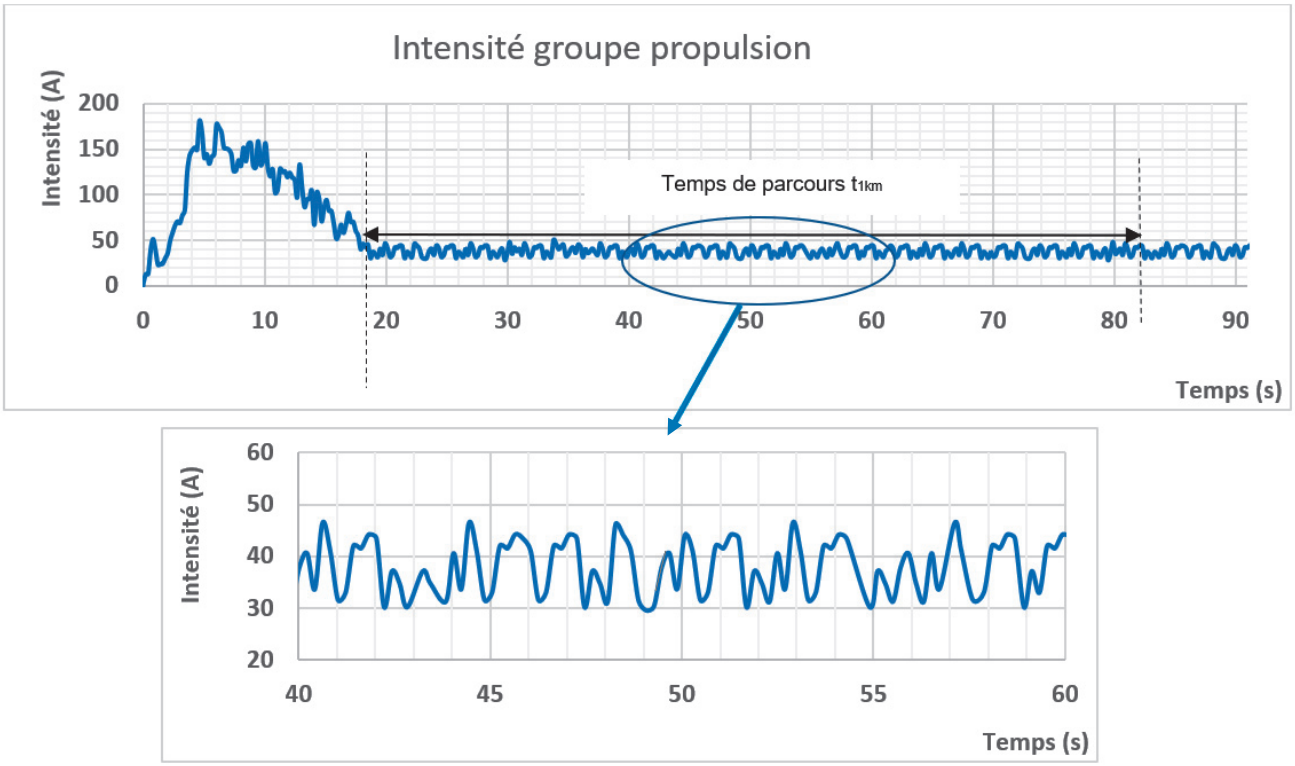


Figure 11 : intensité absorbée par le groupe motopropulseur en fonction du temps



Question 1.11 À partir des résultats de l'expérimentation figure 11, **relever** graphiquement la valeur moyenne de l'intensité I_{moy} consommée pendant le temps de parcours du kilomètre par le groupe motopropulseur de la capsule.

Calculer alors l'énergie consommée W_{cexp} en W·h par la capsule lors du parcours type d'un kilomètre.

Question 1.12 **Comparer** les valeurs expérimentales et les résultats obtenus par simulation.

Question 1.13 **Conclure** au regard de l'objectif visé en ce qui concerne la consommation énergétique.



Sous-partie 3

Géolocalisation d'une capsule

L'objectif de cette sous-partie est de localiser les capsules à l'aide de leurs coordonnées géographiques et de valider les performances de vitesse d'une capsule sur un trajet.

Pour définir une position sur la Terre, les coordonnées géographiques sont le plus souvent utilisées : la latitude, la longitude et l'altitude. Trois notations sont possibles pour la latitude et la longitude :

- Degré Minute Seconde (DMS) ;
- Degré Minute (DM) ;
- Degré décimal (DD).

Les récepteurs « GPS » fournissent la localisation sous une forme normalisée facilement décodable, par exemple selon le protocole NMEA-0183 (National Marine Electronics Association).
Chaque trame commence par le caractère $ et se compose de plusieurs éléments séparés par des virgules.

Voici un exemple de trame :

$GPGGA,064036.289,48.365375,N,007.9373,E,1,04,3.2,200.2,M,50.5,M,,0000*0E

Les deux premiers caractères dans la trame après le caractère $ correspondent à l'identifiant du récepteur : ici GP pour Global Positioning System.
Les trois caractères suivants correspondent à l'identifiant de la trame : GGA pour GPS Fix. Ici il s'agit du système européen de positionnement GALILEO.

Éléments de la trame GGA :

- GPGGA : type de la trame ;
- 064036.289 : heure d'envoi de la trame, ici 06 h 40 min 36,289 s (UTC) ;
- 48.365375, N : latitude Nord, ici 48,365375 ° (en DD, degrés décimaux) ;
- 007.409373, E : longitude Est, ici 7,409373 ° (en DD degrés décimaux) ;
- 1 : type de positionnement (1 pour le positionnement GPS) ;
- 04 : nombre de satellites utilisés ;
- 3.2 : précision horizontale ;
- 200.2, M : altitude, mètre. Ici 200,2 m ;
- 50.5, M : écart par rapport au géoïde (surface de référence), mètre. Ici 50,5 m ;
- 0000 : Champ vide ;
- *0E : Checksum (contrôle).

Le système de positionnement de la capsule envoie au système centrale la trame NMEA 83 suivante :

$GPGGA,134435.205,48.689839,N,006.174564,E,1,05,1.9,212.5,M,48.6,M,,0000*56



Question 1.14 DR3	A l'aide de la trame GPS, **compléter** le tableau du document réponse DR3 avec les informations suivantes : – l'heure d'envoi de la trame en hh : mm : ss,sss ; – la latitude exprimées en degrés décimaux, ainsi que l'altitude en mètre ; – le nombre de satellites utilisés pour localiser la capsule.

Pour une utilisation plus aisée sur les applications de types « Géoportail » ou « Google Map street view », il est préférable de rentrer les coordonnées géographiques en format degrés ; minutes ; secondes. Il est rappelé que :

- 1° correspond à 60 ' ;
- 1' correspond à 60 ''.

Par exemple la valeur 74,4024601° correspond à 74° 24' 8,85636''.

Question 1.15 DR3	**Compléter** sur le document réponse DR3 la partie de l'algorigramme permettant la conversion de coordonnée exprimée en DD (degrés décimaux) en DMS (degrés, minutes, secondes).

Question 1.16 DR3	**Compléter** sur le document réponse DR3 la partie du programme « conversion coordonnées » pour la partie « conversion de coordonnée de latitude ».

Un voyageur arrivant en gare de NANCY, désire se rendre au stade Marcel PICOT. Le tableau de la figure 12 donne quelques coordonnées géographiques sur des adresses particulières.

LIEUX	ADRESSE	LATITUDE (en DD)	LONGITUDE en (DD)
Gare SNCF	3 pl THIERS	48.689839	6.174564
Stade Marcel PICOT	90 bd jean JAURES	48.695099	6.209697
Place STANISLAS	Pl Stanislas	48.693536	6.183255
CHU Brabois	1 rue du Morvan	48.64851	6.145472
Zénith Nancy	Rue du Zénith	48.710135	6.139351
Zone activité Porte sud	6 all des tilleuls	48.645616	6.187455

Figure 12 : coordonnées d'adresses particulières

Question 1.17	À l'aide du tableau de coordonnées figure 12, **relever** les coordonnées de la station de départ et de la station d'arrivée. **Exprimer** les résultats sous la forme DMS pour la latitude.

Le relevé des trames enregistrées par le système central de gestions de position des capsules est le suivant :

Trame départ :

$GPGGA,134435.205, 48.689839,N, 006.174564,E,1,04,1.9,217.45,M,48.6,M,,0000*56

Trame arrivée :

$GPGGA,135048.628,48.695099,N,006.209697,E,1,05,1.9,201.07,M,48.6,M,,0000*56

Question 1.18 **Relever** l'heure d'envoi de la trame de départ et celle de la trame d'arrivée puis **calculer** le temps de trajet du voyageur.

La figure 13 donne le tracé du parcours emprunté par la capsule du voyageur.

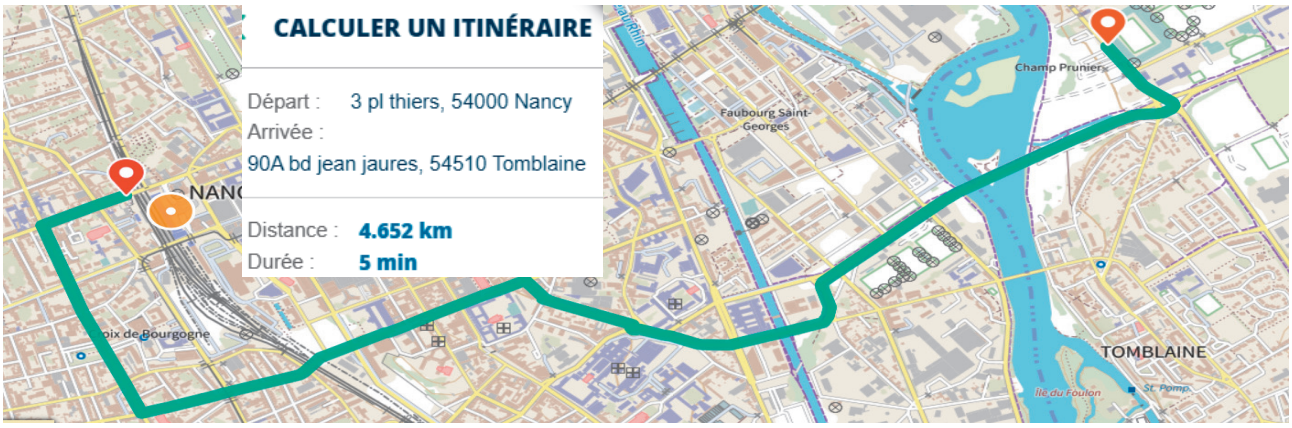


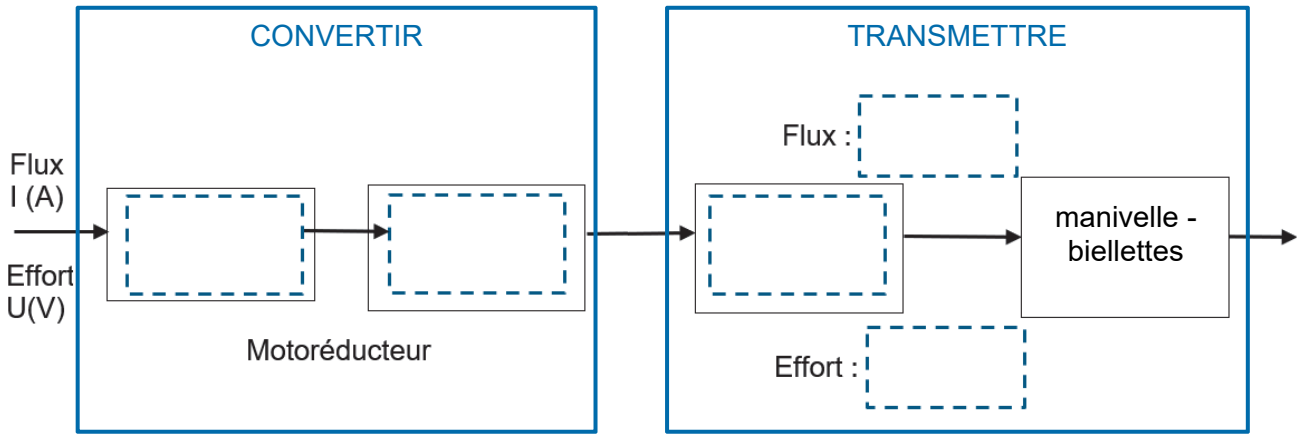
Figure 13 : parcours emprunté par la capsule

Question 1.19 À partir de la figure 13 et des indications du trajet données par Géoportail, **calculer** la vitesse moyenne de la capsule pour ce trajet.

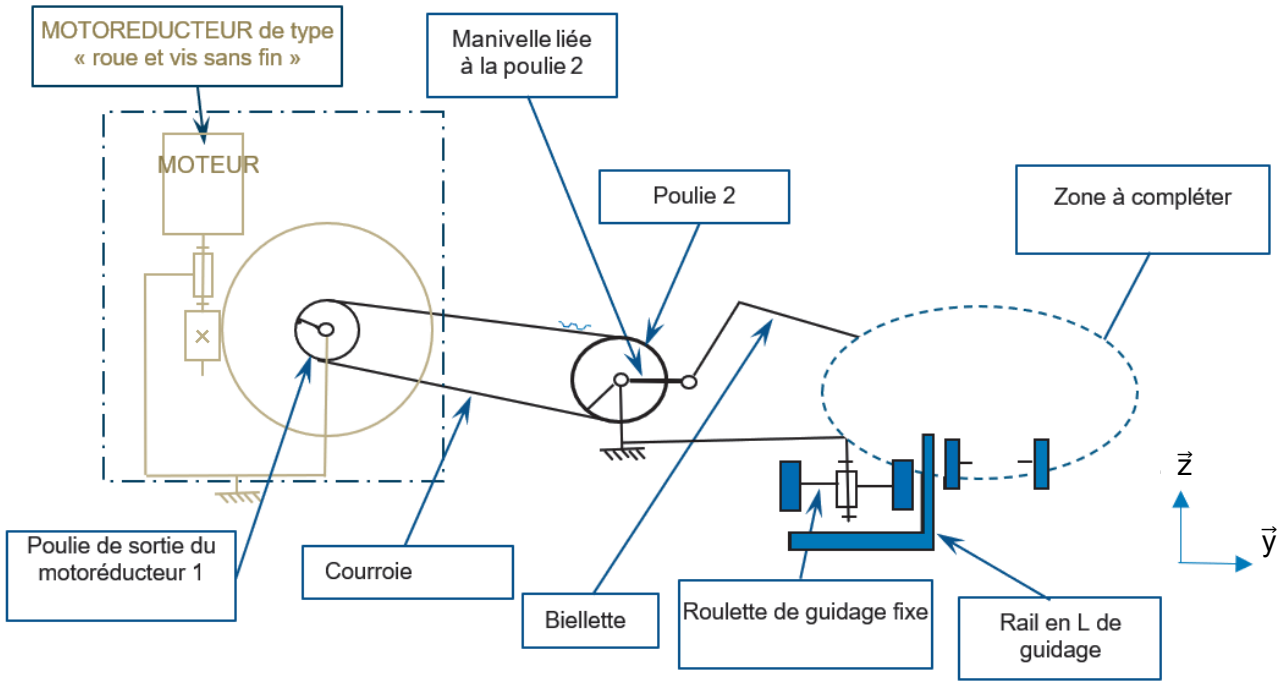
Conclure par rapport à la vitesse constante de 60 $km \cdot h^{-1}$ imposée par le cahier des charges.

Document réponse DR1 « Chaîne de puissance du système de guidage »

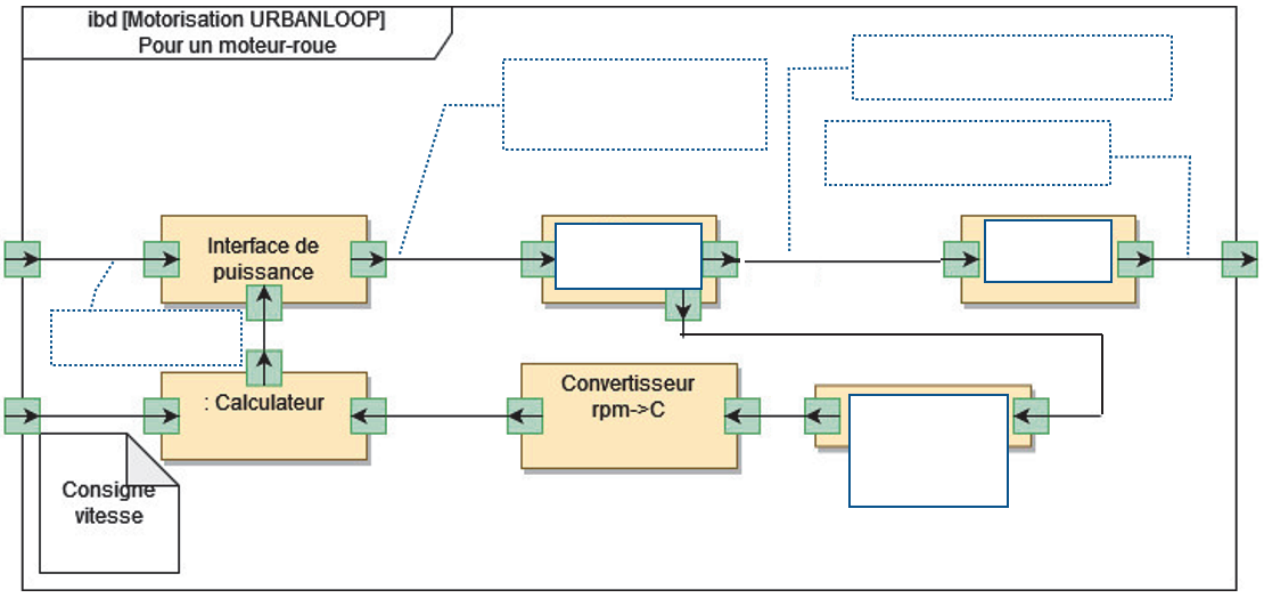
Question 1.1



Question 1.2



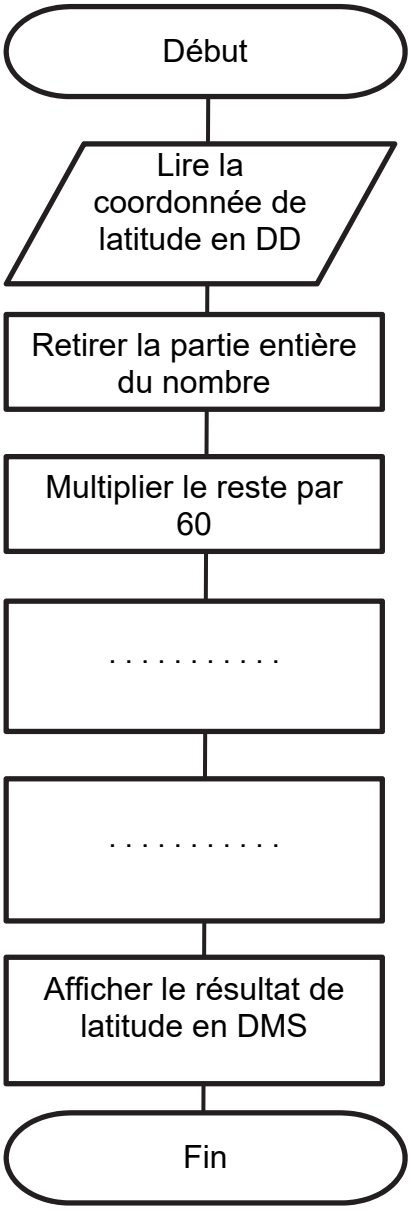
Question 1.8


ibd [Motorisation URBANLOOP]
Pour un moteur-roue
Interface de puissance
: Calculateur
Convertisseur rpm->C
Consigne vitesse

Question 1.14

Heure d'envoi	
Latitude	
Longitude	
Altitude	
Nombre de satellites	

Question 1.15



Question 1.16

Les zones à compléter sont identifiées par les pointillés (. . . . . .).

Extrait de programme de conversion

```
Lat = input("Indiquer la coordonnée de
latitude en DD ")
Long = input("Indiquer la coordonnée de
longitude en DD ")

# conversion de coordonnée de latitude
degresdeclat = float(Lat)
degres = int(degresdeclat)
templat = (degresdeclat - degres) * 60

minutes = . . . . . .

secondes = . . . . . .

print ("Latitude = " , degres,"° ",
minutes,"' ", secondes,"'' ")
```

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Acoustique d'une salle de spectacle (10 points)

L'étude de l'acoustique d'une salle de spectacle nécessite notamment de prendre en compte les différents phénomènes liés à la propagation des ondes sonores : interférences, diffraction, atténuation.

Données :

- fréquences f audibles par l'oreille humaine : 20 Hz < f < 20 kHz ;
- vitesse de propagation dans l'air d'une onde sonore ou ultrasonore v = 343 m·s^{-1} à 20 °C ;
- largeur de la porte de l'auditorium : a = 1,0 m.

Une salle de concert est généralement un espace clos.
Cependant, si sa porte est ouverte, le concert peut être entendu par une personne située à l'extérieur, même lorsque l'orchestre reste hors de sa vue.
En se plaçant devant la porte, cette personne peut entendre toute la gamme des sons. Cependant, si elle se place sur le côté, elle entend surtout les sons graves, et très peu les sons aigus.

Dans les questions suivantes on s'intéresse au phénomène de diffraction des ondes sonores.

On peut modéliser la situation décrite dans le document par le schéma suivant :

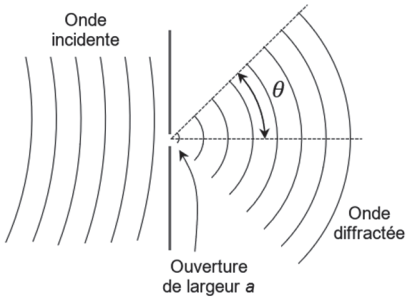


Figure 1. Diffraction d'une onde sonore par une ouverture de largeur a

On rappelle que l'expression de l'angle d'ouverture θ associé au phénomène de diffraction en fonction de la largeur de l'ouverture, notée a, et de la longueur d'onde λ de la source est : $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$.

Q1. Montrer que l'expression de l'angle d'ouverture θ en fonction de la largeur de l'ouverture a, de la fréquence f de l'onde émise par la source et de la vitesse de propagation v de l'onde est : $\theta = \arcsin\left(\frac{v}{f \times a}\right)$.

Deux ondes sonores sont produites par un orchestre. Elles sont caractérisées par deux fréquences typiques : f_1 = 440 Hz et $f_2 = 4 \times f_1$ = 1 760 Hz.

Q2. Calculer les valeurs de θ_1 *et* θ_2 correspondant respectivement aux valeurs de fréquences f_1 et f_2.

Q3. Schématiser de façon cohérente la situation, en représentant les angles d'ouverture correspondants θ_1 *et* θ_2 après passage du son par l'ouverture. Commenter la phrase : « *Cependant, si elle se place sur le côté, elle entend surtout les sons graves, et très peu les sons aigus ».*

Dans les questions suivantes, on s'intéresse au phénomène d'interférences susceptible d'intervenir à la suite des réflexions d'une onde sonore dans une salle de spectacle. On transpose l'étude dans le domaine des ondes ultrasonores.

On utilise le dispositif ci-dessous dans lequel les deux émetteurs d'ultrasons sont reliés à un même générateur (figure 2).
La distance latérale entre les deux émetteurs E1 et E2 a pour valeur e = 15 cm. La distance commune entre les émetteurs et l'axe (Ox) sur lequel se déplace le récepteur a pour valeur D = 50 cm.

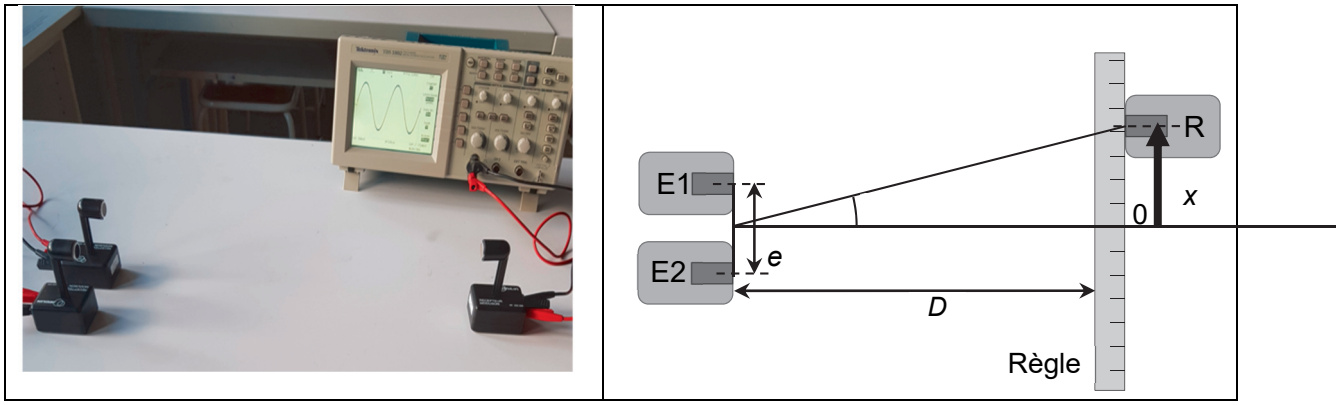


Figure 2. Dispositif expérimental d'étude des interférences d'ondes ulrasonores

On relève l'amplitude de la tension délivrée par le récepteur en fonction de la position du récepteur repérée par son abscisse x et on repère la position des *maxima* d'amplitude (figure 3).

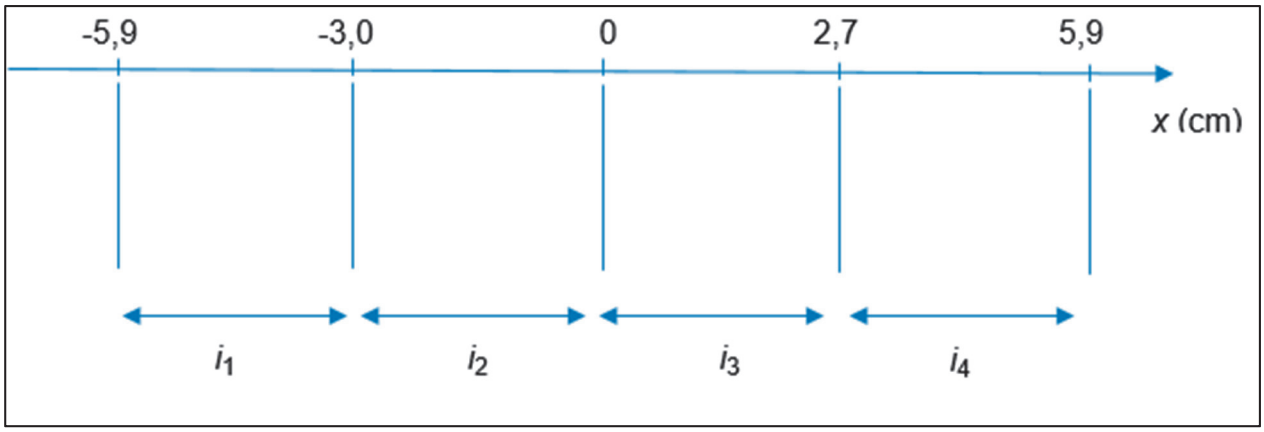


Figure 3. Position expérimentale des *maxima* d'amplitude ; définition des interfranges i_1 à i_4

Q4. Relever les valeurs des interfranges mesurées expérimentalement et calculer leur moyenne i.

On admet que la différence des distances entre chaque émetteur et le récepteur est :

$$E_2R - E_1R = \frac{e \cdot x}{D}$$

Q5. Établir la condition d'interférences constructives portant sur x ; on pourra utiliser la notation n pour l'entier relatif qui pourrait être utile.

On admet que la distance entre deux *maxima* d'amplitude consécutifs (interfrange) s'écrit $i = \frac{\lambda \cdot D}{e}$ avec λ la longueur d'onde des deux ondes incidentes.

Q6. Déduire la valeur de la fréquence des signaux délivrés par les émetteurs ; commenter.

EXERCICE B – Vol du drone Ingenuity sur Mars (10 points)

Le rover Perseverance actuellement en mission sur la planète Mars a embarqué avec lui un autre robot : Ingenuity, un petit drone destiné à voler sur Mars. Les missions d'Ingenuity sont multiples : reconnaissance optique du terrain, étude des communications dans l'atmosphère ténue de Mars et surtout le premier test de vol motorisé sur une autre planète.



Figure 1. Ingenuity (Crédit image : NASA/JPL-Caltech, vue d'artiste)

Données :

- masse du drone : m = 1,8 kg ;
- valeur de l'accélération de la pesanteur terrestre : g_{Terre} = 9,8 m·s^{-2} ;
- valeur de l'accélération de la pesanteur sur Mars : g_{Mars} = 3,7 m·s^{-2}.

Lors de ses missions, la valeur de la vitesse maximale atteinte par Ingenuity est v_0 = 6,0 m.s^{-1} et l'altitude maximale atteinte reste inférieure à 15 m.

La phase la plus délicate du vol du drone est sa fin, le choc avec le sol. La solution retenue pour éviter de détériorer le drone est d'arrêter la propulsion à un mètre au-dessus du sol et de laisser le drone atteindre le sol en chute libre. On considère, le sol de Mars étant sablonneux, que le drone s'arrête brutalement quand il touche le sol, aussi bien dans son mouvement vertical qu'horizontal. Le train d'atterrissage a été conçu pour supporter une certaine vitesse maximale à l'arrivée sur le sol sans détruire l'engin.

Le but de l'exercice est d'étudier le mouvement du centre de masse du drone en chute libre, lors de la dernière phase du vol à partir d'un mètre au-dessus du sol et de déterminer la valeur de la vitesse atteinte lors de l'impact avec le sol, puis de comparer ce mouvement avec celui qui serait réalisé sur Terre dans les mêmes conditions.

On associe au référentiel de la planète Mars un repère d'espace $(O,\vec{i},\vec{j})$, schématisé sur la figure 2 ci-après.



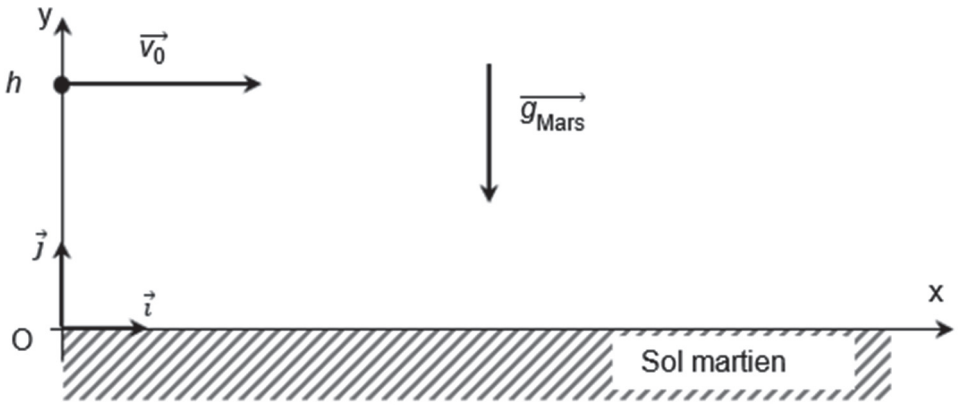


Figure 2. Repère d'espace et conditions initiales du mouvement étudié

On considère que la vitesse du drone au moment de l'arrêt de la propulsion est horizontale et de valeur v_0 = 6,0 m·s^{-1} ; le drone se trouve à cet instant à une altitude notée h.

Q1. Rappeler la définition du modèle de la chute libre.

Q2. Prévoir sans calcul, lors d'une chute libre sans vitesse initiale et pour une même hauteur initiale, laquelle des situations (sur Terre ou sur Mars) serait la plus contraignante du point de vue de la solidité du train d'atterrissage.

Q3. Après avoir effectué un bilan des forces appliquées au drone dans le cadre du modèle de la chute libre, donner l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du drone ainsi que les coordonnées de ce vecteur dans le repère $(O,\vec{i},\vec{j})$ de la figure 2.

La vitesse du drone au moment de l'arrêt de la propulsion, choisi comme origine des temps t = 0, est horizontale et de valeur v_0 = 6,0 m·s^{-1} ; le drone se trouve à cet instant à une altitude notée h = 1,0 m.

Q4. Déduire de la question 3 les coordonnées du vecteur vitesse dans le repère $(O,\vec{i},\vec{j})$ au cours du temps. Qualifier le mouvement horizontal du drone avant impact et en déduire la valeur de la vitesse horizontale du drone lorsqu'il touche le sol.

Les équations horaires du mouvement lors de la chute ont pour expression :

$$x(t) = v_0 \times t \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{1}{2} \times g_{Mars} \times t^2 + h$$

Q5. Exprimer la date t_{impact} à laquelle le drone touche le sol en fonction de h et g_{Mars}.

Q6. Calculer la valeur de la position horizontale de l'impact du drone sur le sol martien x_{impact}. Calculer la valeur de cette position si l'expérience se faisait dans les mêmes conditions sur Terre.

Q7. Tracer sans souci d'échelle sur un schéma identique à celui de la figure 2, l'allure de la trajectoire du drone entre l'instant t = 0 et l'instant où il touche le sol sur Mars. Tracer sur le même schéma l'allure de la trajectoire du même drone, dans les mêmes conditions initiales, si cette chute s'effectuait sur Terre. On distinguera clairement les deux courbes (légendes, couleurs, etc).

Q8. Vérifier que la valeur de la vitesse du drone, lorsqu'il touche le sol de la Terre, est d'environ 7,5 m·s^{-1}. En déduire la valeur de son énergie cinétique E_C.

Q9. Prévoir si un drone capable de résister à un choc avec cette valeur de E_C sur Terre, pourra subir sans dommage un choc dans les mêmes conditions initiales sur Mars.

Concours général 2026

Pompe à insuline automatisée, une avancée majeure pour le traitement du diabète





1 Introduction

Le diabète de type 1 est une maladie chronique où le pancréas ne produit plus d'insuline, une hormone essentielle pour réguler la glycémie c'est-à-dire le taux de glucose (sucre simple) dans le sang. Dans le cadre du traitement du diabète, la gestion de la glycémie est un enjeu médical et technologique majeur.

Traditionnellement, les patients diabétiques doivent mesurer régulièrement leur glycémie et ajuster manuellement leur dose d'insuline, ce qui est contraignant et source d'erreurs. L'ajustement du traitement est rendu plus complexe encore au regard des nombreux facteurs qui influent sur la glycémie, parmi lesquels l'activité physique et les types d'aliments ingérés durant les repas. Ce défi médical majeur a stimulé la collaboration entre médecins et ingénieurs pour le développement d'un matériel permettant le contrôle automatisé de la quantité d'insuline reçue par le patient. Ces dispositifs d'insulinothérapie automatisée en boucle fermée (BF) sont aussi appelés pancréas artificiels.

Ce dispositif repose sur une interaction entre capteurs, régulateurs et actionneurs afin d'ajuster en temps réel l'administration d'insuline en fonction de la glycémie du patient. Il se compose principalement d'un capteur de glycémie en continu, d'un contrôleur embarqué intégrant un algorithme de régulation et d'une pompe à insuline assurant l'injection précise de l'hormone.

La pompe à insuline externe automatisée (présentée figure 1) est un appareil discret qui délivre continuellement de petites quantités d'insuline rapide, grâce à un dispositif de perfusion déconnectable (cathéter et tubulure) et à un capteur de glucose.

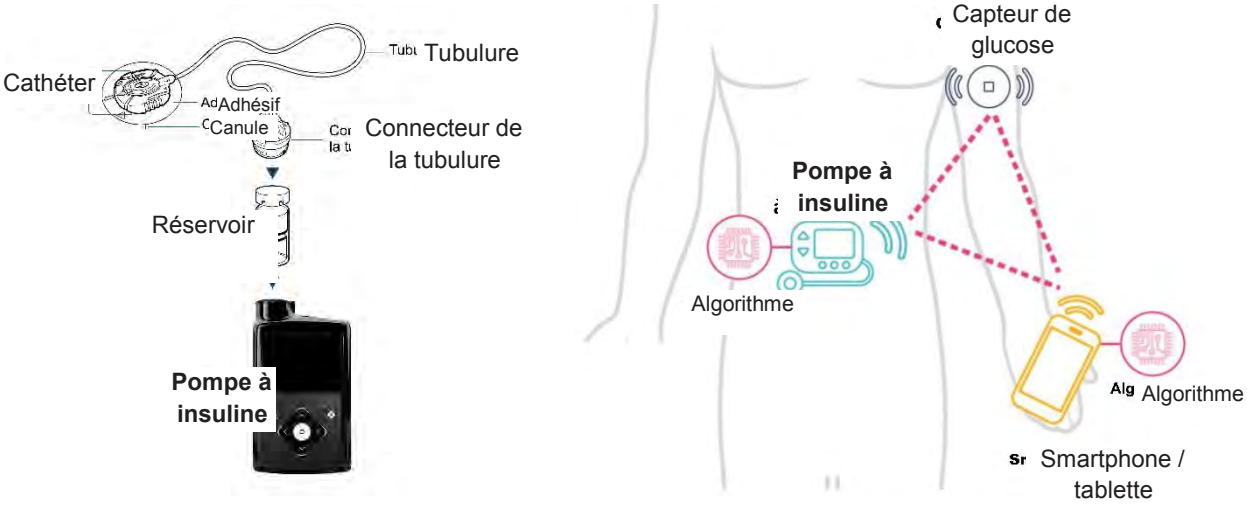


Figure 1 : pompe à insuline externe automatisée

Ce système reproduit ce que l'organisme fait naturellement :

- délivrer en continu de petites doses d'insuline, tout au long de la journée ;
- délivrer une dose supplémentaire d'insuline adaptée au moment des repas pour couvrir les glucides absorbés à cette occasion ou pour corriger une hyperglycémie.

Le synoptique d'un tel système est présenté sur la figure 2.

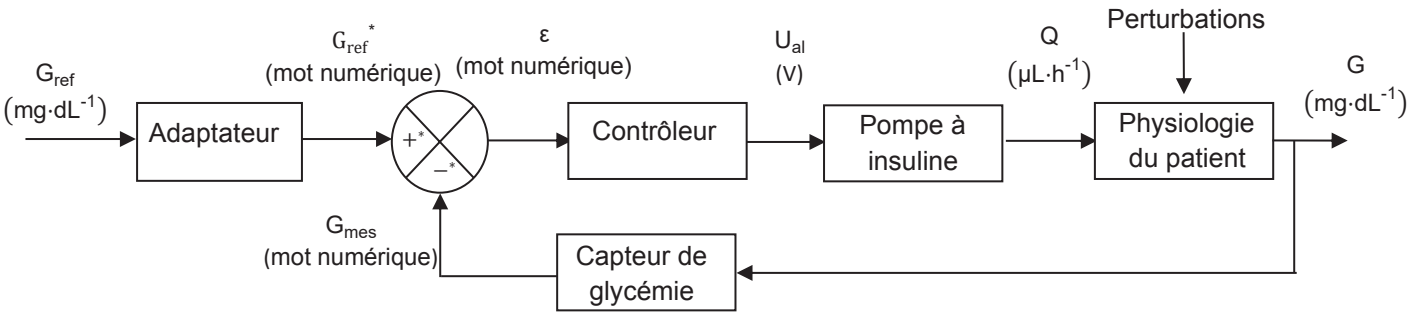


Figure 2 : synoptique de l'asservissement

G_{ref} est la consigne de glycémie en mg·dL^{-1}.

G est la glycémie du patient en mg·dL^{-1}.

G_{ref}^* est la consigne exprimée sous forme d'un mot numérique de 32 bits transmise par l'adaptateur.

G_{mes} est l'image de la glycémie exprimée sous forme d'un mot numérique de 32 bits fourni par le capteur de glycémie.

U_{al} est la tension en V fournie par le contrôleur.

Q est le débit fourni en µL·h^{-1} par la pompe à insuline.

Actuellement il existe deux types de systèmes d'insulinothérapie automatisée, comme le montre la figure 3 avec ou sans smartphone.

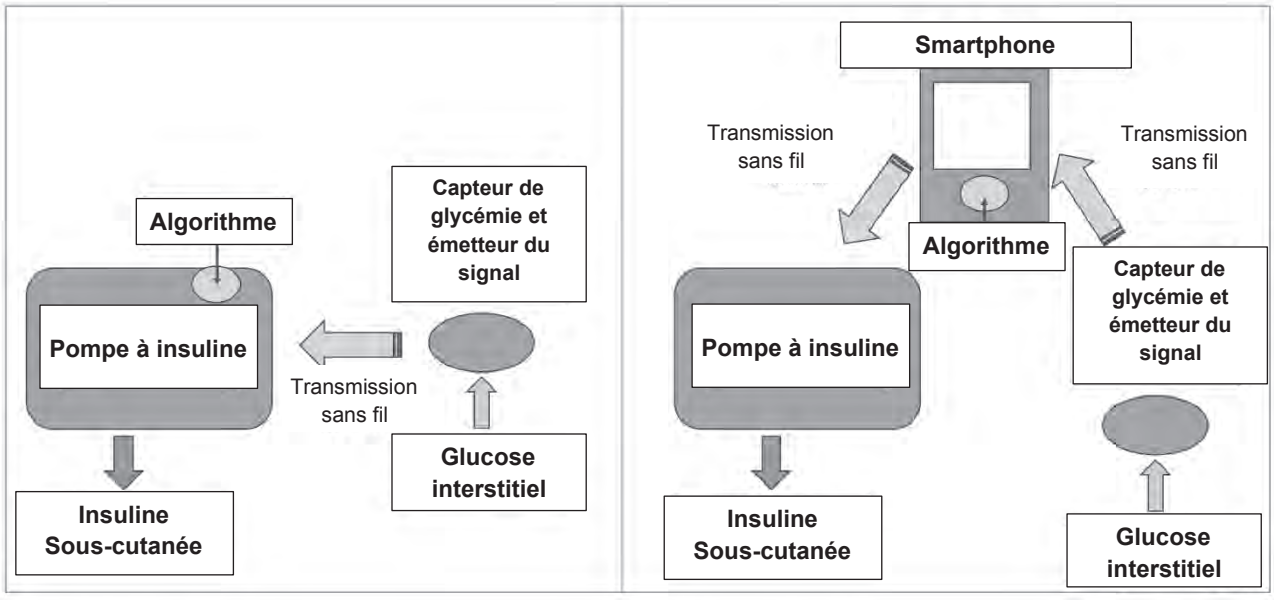


Figure 3 : schéma illustrant les deux types de pompes automatisées sans et avec smartphone

De tels dispositifs médicaux doivent recevoir l'aval d'organismes officiels tels que la HAS (Haute Autorité de Santé) en France. Pour être commercialisés, ils doivent apporter une véritable plus-value par rapport aux dispositifs actuels : pompe à insuline et capteurs fonctionnant indépendamment (voir annexe 1).

L'étude à réaliser porte sur un prototype de système autonome sans smartphone. Celui-ci doit respecter les exigences regroupées dans le tableau 1.

Tournez la page S.V.P.



Exigences	Énoncés
Id 1.1	La pompe doit pouvoir fournir un débit compris entre 1 $\mu L \cdot h^{-1}$ et 100 $\mu L \cdot h^{-1}$.
Id 1.2	La pompe doit maintenir une glycémie comprise entre 70 $mg \cdot dL^{-1}$ et 170 $mg \cdot dL^{-1}$.
Id 1.3	La pompe doit limiter l'amplitude de glycémie à 70 $mg \cdot dL^{-1}$.
Id 1.4	La pompe doit limiter la variation de glycémie à 40 $mg \cdot dL^{-1} \cdot h^{-1}$.
Id 1.2	Le temps d'injection $t_{injection}$ d'un volume unitaire appelé bolus (V_{des}=0,01·mL) doit être d'au moins de 2 s.
Id 2.1	Le temps de changement de tubulure T_{tub} doit être inférieur à 1 s.
Id 3.1	Le débit maximum doit être supérieur à $2{,}7 \cdot 10^{-2}$ $mL \cdot tr^{-1}$.
Id 3.1.1	La variation de débit doit être inférieure à 3 %.
Id 3.1.2	Le système doit assurer l'étanchéité du volume de fluide entre deux galets.
Id 4.1	L'autonomie de la pompe doit être d'au moins 9 jours.
Id 5.1	Le temps de réponse à 5 % de la pompe à insuline $t_{5\%pompe}$ doit être inférieur à la moitié du temps de réponse à 5 % physiologique ($t_{5\%physio}$) : $t_{5\%pompe} < \frac{t_{5\%physio}}{2}$.
Id 6.1	Le temps de réponse à 5 % du capteur de glycémie doit être inférieur à 5 minutes.
Id 6.2	Le capteur de glycémie doit avoir une précision excellente : MARD ≤ 10 %.
Id 6.3	Le calibrage automatique doit être assuré de façon logicielle.
Id 6.4	L'autonomie du capteur doit être d'au moins 3 mois.

Tableau 1 : extrait des exigences

2 Validation de la pompe à insuline

L'objectif de cette partie est de valider l'exigence Id 5.1 : le temps de réponse à 5 % de la pompe à insuline $t_{5\%pompe}$ doit être inférieur à la moitié du temps de réponse à 5 % physiologique ($t_{5\%physio}$) :

$$t_{5\%pompe} < \frac{t_{5\%physio}}{2}$$

Cela permet à la pompe de réagir rapidement aux variations de la glycémie avant que le corps ne subisse des changements significatifs. Si l'exigence Id 5.1 n'est pas respectée, le système peut devenir instable, avec des oscillations de la glycémie ou des retards dans la correction des niveaux de glucose.

2.1 Analyse de la structure d'asservissement

Q1. En se basant sur le synoptique de l'asservissement (figure 2) et la présentation du système, **préciser** les éléments de la chaîne directe et ceux de la chaîne de retour.

Q2. **Citer** les perturbations qui s'appliquent au corps du patient.

Q3. **Justifier** le fait qu'il s'agit d'un asservissement.

2.2 Modélisation de la pompe à insuline

Le contrôleur fournit une tension U_{al} à la pompe à insuline qui permet d'obtenir un débit d'insuline Q en $\mu L \cdot h^{-1}$.
Un essai indiciel avec une tension d'alimentation U_{al} =1 V a été réalisé sur la pompe à insuline (figure 4).

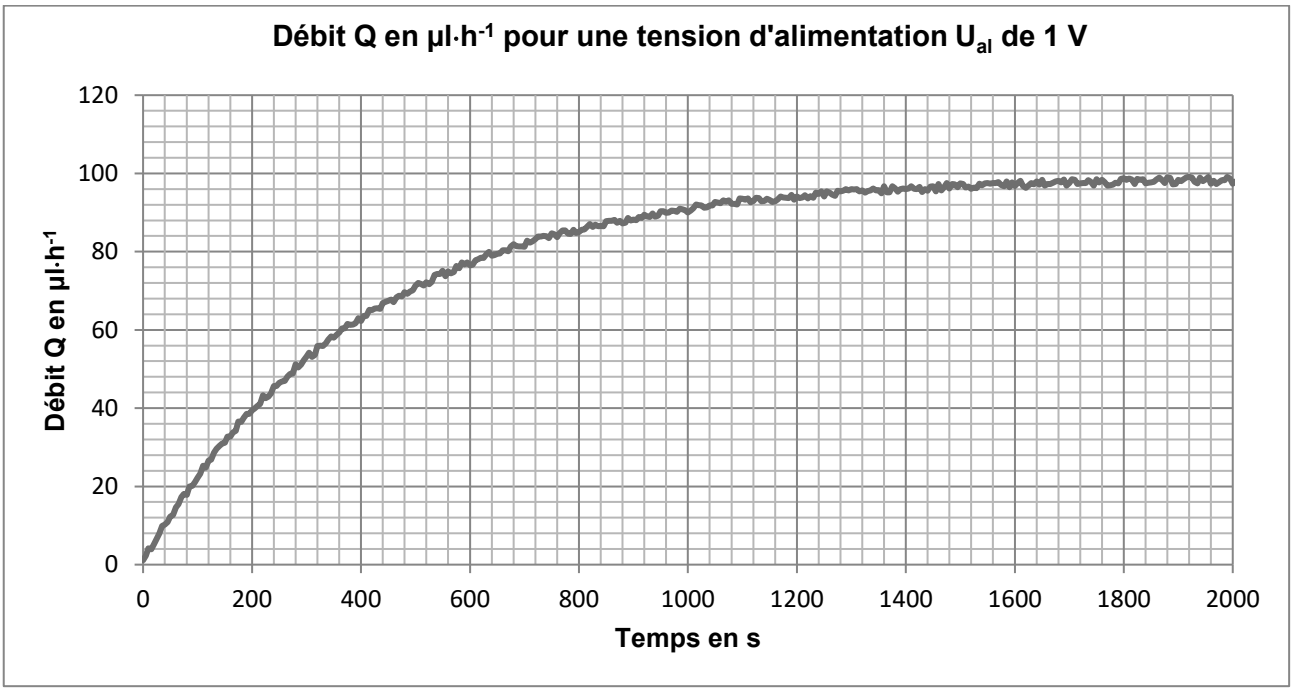


Figure 4 : débit en sortie de pompe pour un essai indiciel

Q4. **Choisir** et **justifier** parmi les modèles suivants, lequel est le plus adapté pour représenter la modélisation d'une pompe à insuline dans la boucle d'asservissement : un gain pur, un système du premier ordre ou un système du second ordre ?

Q5. **Déterminer** la constante de temps de la pompe τ_{pompe} et en **déduire** le temps de réponse à 5 % de la pompe $t_{5\%pompe}$.

2.3 Modélisation du patient

Afin de simuler le fonctionnement de la pompe à insuline en boucle fermée, il est nécessaire de modéliser le patient, en particulier l'impact d'une injection d'insuline sur le corps humain.

Un essai a donc été réalisé sur un patient diabétique auquel il a été injecté de l'insuline avec un débit Q = 100 $\mu L \cdot h^{-1}$ à t = 0.

L'évolution de la glycémie en fonction du temps est relevée sur la courbe de la figure 5.

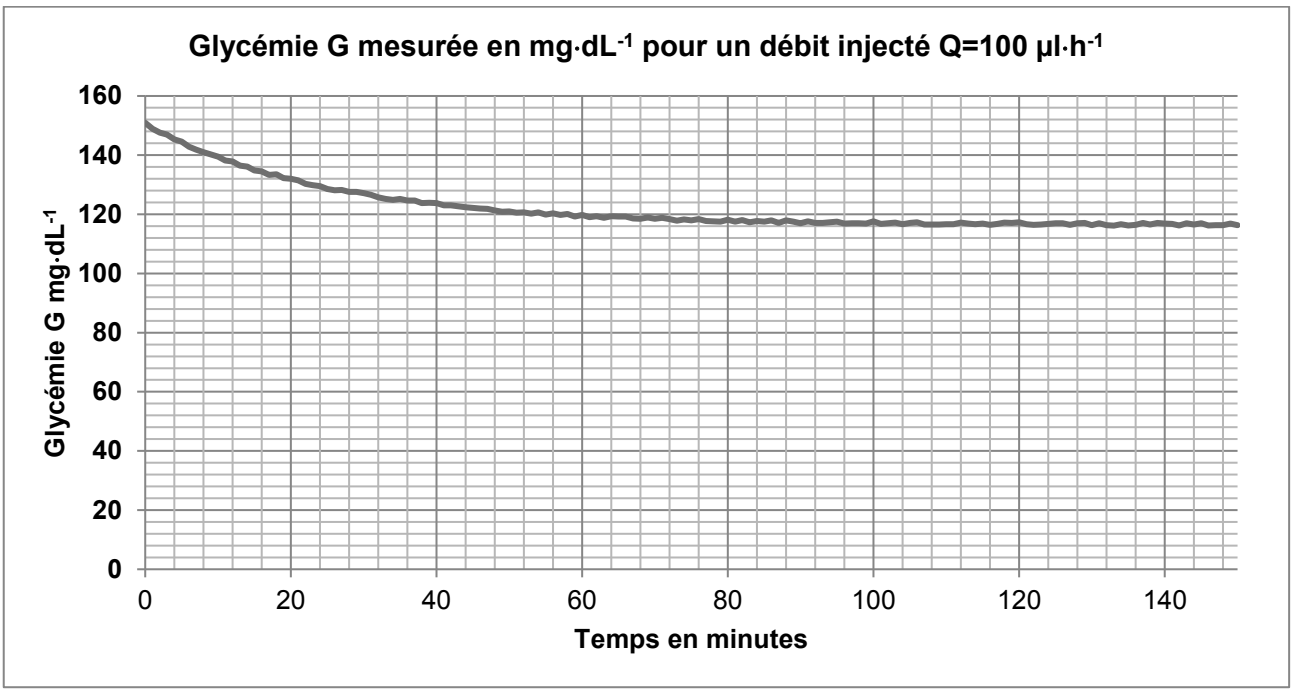


Figure 5 : glycémie mesurée en fonction du temps

La glycémie du patient peut être modélisée par un système du premier ordre.

Q6. **Déterminer** la constante de temps physiologique τ_{physio} puis le temps de réponse à 5 % physiologique $t_{5\%physio}$.

2.4 Comparaison des constantes de temps

Q7. **Conclure** sur la validation de l'exigence Id 5.1.

3 Validation du capteur de glycémie

La mise en place de l'asservissement impose l'utilisation d'un capteur de glycémie en continu. L'objectif de cette partie est de vérifier que le capteur Guardian Sensor 4 vérifie les exigences liées au capteur et listées dans le tableau 2.

Exigences	Énoncés
Id 6.1	Le temps de réponse à 5 % du capteur de glycémie doit être inférieur à 15 minutes.
Id 6.2	Le capteur de glycémie doit avoir une précision excellente : $\mathrm{MARD} \leq 10\ \%$.
Id 6.3	Le calibrage automatique doit être assuré de façon logicielle.
Id 6.4	L'autonomie du capteur doit être d'au moins 3 mois.

Tableau 2 : extrait des exigences du capteur de glycémie

3.1 Présentation du capteur

Le Guardian Sensor 4 (figure 6) est un système de Mesure Continue du Glucose (MCG) implanté sous la peau et qui permet de suivre en temps réel les variations de la glycémie. Il est largement utilisé par les patients atteints de diabète de type 1 et 2 pour une gestion précise de leur traitement, sans avoir besoin de piqûres au bout du doigt.



Figure 6 : le Guardian Sensor 4

Le système Guardian Sensor 4 est composé de 2 éléments principaux :

- un capteur sous-cutané pour la mesure du glucose sous l'épiderme (peau) ;
- un transmetteur pour l'envoi des données de glycémie au récepteur ou à un smartphone en Bluetooth.

L'idée est de mesurer en continu la glycémie chez un patient avec un capteur grâce à une aiguille implantée dans l'épiderme profond. La glycémie dans le sang n'est pas directe, la mesure se fait dans le liquide qui baigne les cellules sous la peau appelé liquide interstitiel.

Le capteur utilise une technologie basée sur la détection électrochimique pour mesurer la concentration de glucose G dans le liquide interstitiel.
Une fine électrode en platine ou en or est insérée sous la peau, elle entre alors en contact avec le liquide qui entoure les cellules. Une réaction chimique à base d'enzymes permet de créer un courant électrique I. Son intensité est fonction du taux de glucose dans le liquide interstitiel.

Le transmetteur interprète le signal électrique et envoie la mesure G_{mes} en Bluetooth à basse consommation (Bluetooth Low Energy ou BLE) au récepteur toutes les 5 minutes. Le synoptique de fonctionnement est donné figure 7.

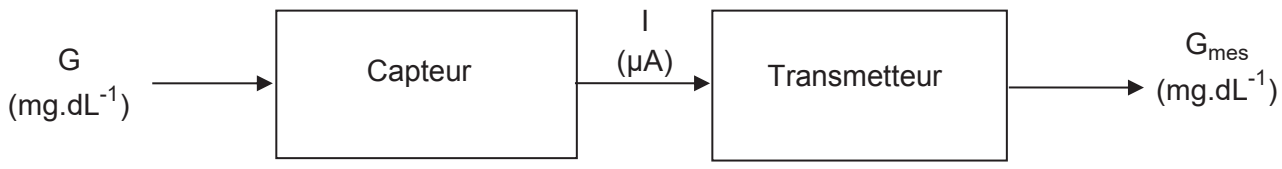


Figure 7 : synoptique du MCG

3.2 Modélisation du capteur de glycémie

Le signal de sortie du capteur Guardian Sensor 4 est un courant électrique I (µA) qui est fonction de la concentration de glucose mesurée dans le liquide interstitiel (glycémie).

Des essais, réalisés avec différentes concentrations de glucose, ont permis d'obtenir les points de mesure de la figure 8.

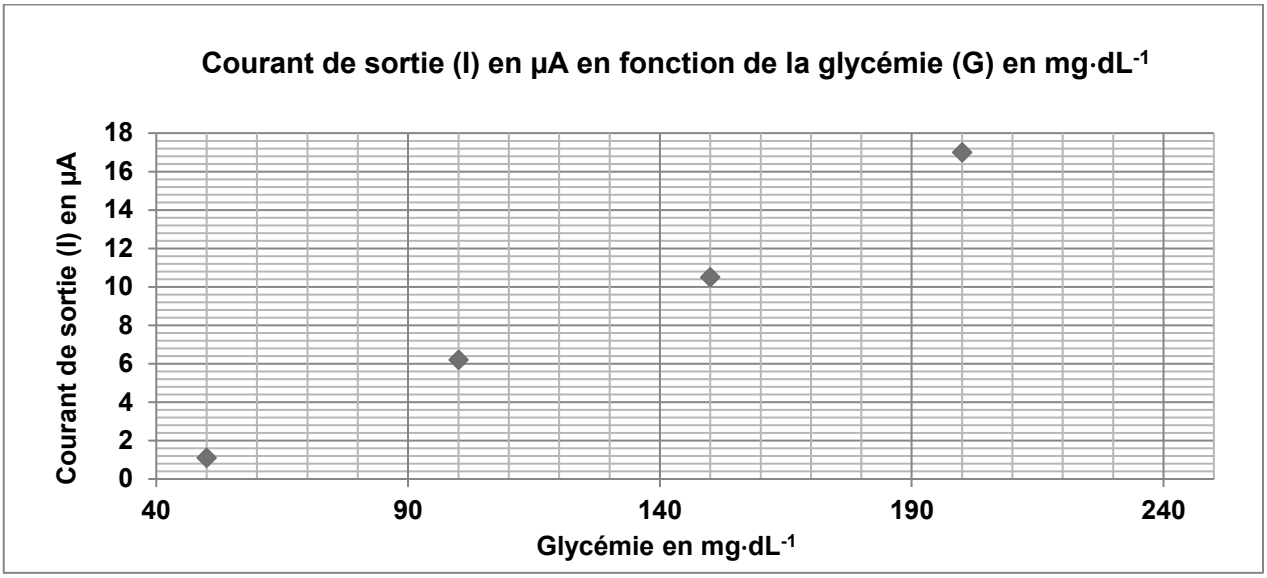


Figure 8 : courant de sortie du capteur (µA) en fonction de la glycémie en $mg \cdot dL^{-1}$

Il est possible d'exprimer le courant de sortie I en fonction de la glycémie G par une fonction affine : $I = a \cdot G + b$, a et b étant 2 réels à identifier.

Q8. À partir de l'essai de la figure 8, **établir** l'expression de I (µA) en fonction de la glycémie G en ($mg \cdot dL^{-1}$).

3.3 Précision du capteur

L'évolution du taux de glucose dans le liquide interstitiel présente un décalage d'environ 5 à 15 minutes par rapport à celui dans le sang. Cela peut entraîner des imprécisions dans les situations de variation rapide comme après un repas ou pendant une activité physique.
La précision d'un capteur MCG, est cruciale pour garantir une gestion efficace du diabète. Cette précision est mesurée par plusieurs indicateurs, notamment le MARD : Mean Absolute Relative Difference c'est-à-dire la moyenne de la valeur absolue de l'écart relatif. Il compare les valeurs mesurées par le capteur aux valeurs de référence obtenues par un glucomètre ou en laboratoire.

Le MARD est l'indicateur le plus utilisé pour évaluer la précision des capteurs MCG. Il mesure la moyenne des valeurs absolues des différences en pourcentage entre les valeurs de glycémie mesurées par le capteur et les valeurs de référence.

Un essai a été réalisé pour mesurer la déviation typique (comparaison du capteur et d'un glucomètre). Les résultats sont regroupés dans le tableau 3.

Glycémie Réelle ($mg \cdot dL^{-1}$)	Glycémie Capteur ($mg \cdot dL^{-1}$)
50	46
90	82
120	112
150	142
200	190

Tableau 3 : comparaison entre la mesure par le capteur et la glycémie réelle

Le calcul du MARD permet de qualifier la précision du capteur selon trois catégories :

- MARD ≤ 10 % pour une précision excellente ;
- MARD entre 10 % et 15 % pour une précision acceptable ;
- MARD > 15 % pour une précision insuffisante.

Q9. **Compléter** la dernière colonne du tableau du document réponse DR1.

Q10. **Déterminer** le MARD pour le Guardian Sensor 4. **Conclure** sur l'exigence Id 6.2 (tableau 2).

3.4 Rapidité du capteur

Le capteur doit vérifier l'exigence Id 6.1 : le temps de réponse à 5 % $t_{5\%capteur}$ ne doit pas dépasser 15 minutes (tableau 2).
Aussi, lors de la phase d'étude, le capteur a été plongé dans une solution aqueuse avec une concentration en glucose de 100 mg·dL^{-1}. L'évolution de la glycémie est donnée à la figure 9.

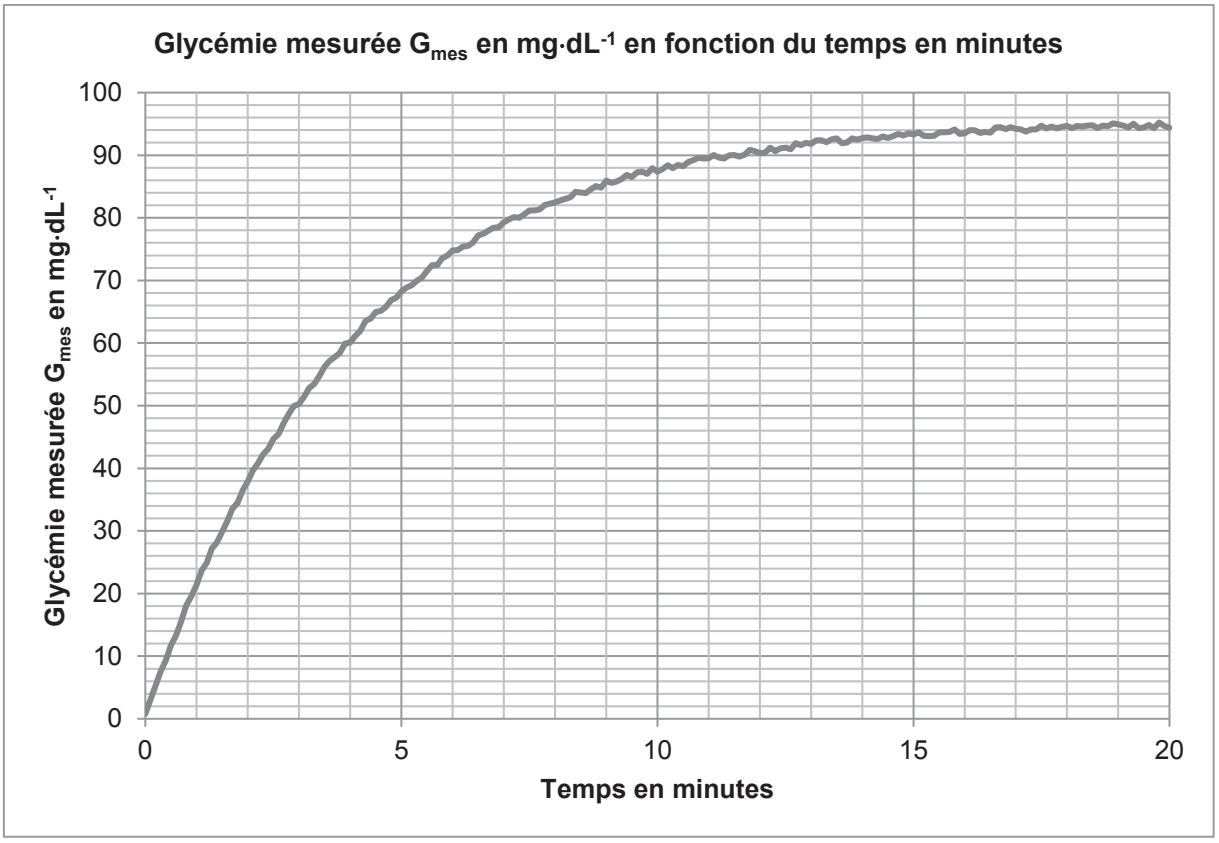


Figure 9 : glycémie mesurée (en mg·dL^{-1}) en fonction du temps (en minutes)

Q11. **Déterminer** le temps de réponse à 5 % $t_{5\%capteur}$ et les erreurs statiques absolue et relative. **Conclure** sur l'exigence Id 6.1 (tableau 2).



3.5 Calibration automatique du capteur de glycémie

L'objectif est de compléter des programmes permettant la calibration automatique du capteur de glycémie.

3.5.1 Présentation de la calibration automatique

Le capteur mesure le glucose dans le liquide interstitiel, et non directement dans le sang. Ce signal doit être converti en une valeur utilisable par les patients. La relation entre le signal brut et la glycémie s'exprime par une équation affine :

$$G = a \cdot I + b$$

G est la glycémie calibrée ($mg \cdot dL^{-1}$),
I est le courant en sortie du capteur du capteur (en µA),
a (en $mg \cdot dL^{-1} \cdot A^{-1}$) et b (en $mg \cdot dL^{-1}$) sont les coefficients à calibrer par le capteur.

Le capteur Guardian Sensor 4 possède une calibration automatique intégrée. Elle permet d'éliminer la nécessité de réaliser des piqûres au doigt pour ajuster les valeurs mesurées. Elle vise à établir une relation mathématique entre le signal brut généré par le capteur (courant électrique mesuré en µA) et la glycémie réelle en $mg \cdot dL^{-1}$.

Le processus de calibration automatique du Guardian Sensor 4 suit plusieurs phases.

Phase 1 : initialisation du capteur
Après l'insertion du capteur, le système entre dans une période de stabilisation de 2 heures. Pendant cette phase, le capteur collecte des données brutes mais ne transmet aucune valeur de glycémie au patient.

Phase 2 : calcul des coefficients initiaux (a_0 et b_0)
Les premières heures de mesure permettent au système de déterminer les coefficients initiaux a_0 et b_0 en fonction du signal brut reçu. Pour cela le capteur utilise les caractéristiques physiologiques et l'historique du patient.

Phase 3 : mise à jour dynamique des coefficients
Une fois les coefficients initiaux calculés, le capteur effectue une mise à jour continue des coefficients a et b tout au long de la durée de vie du capteur.

3.5.2 Algorithme de mise à jour

Le système utilise la formule de régression linéaire pondérée suivante pour ajuster les coefficients en temps réel :

$$a_n = a_{n-1} + \alpha \times (G_{mes} - G_{ref})$$
$$b_n = b_{n-1} + \beta \times (G_{mes} - G_{ref})$$

Avec :

- a_n et b_n , nouveaux coefficients de calibration ;
- a_{n-1} et b_{n-1} , coefficients de calibration précédents ;
- G_{mes} , glycémie mesurée par le capteur ($G_{mes} = a_{n-1} \cdot I_{mesure} + b_{n-1}$ avec I_{mesure} , courant en sortie du capteur) ;
- G_{ref} , glycémie obtenue par le modèle ;
- α et β , facteurs d'apprentissage ajustables.



Q12. **Compléter** sur le document réponse DR2 la fonction réalisant l'algorithme de mise à jour `mise_a_jour_coef(a, b, I_mesure, reference_glycemie, alpha, beta)`. Les coefficients a, b représentent respectivement les coefficients a_{n-1} et b_{n-1}. La fonction doit retourner en sortie les nouveaux coefficients a_n et b_n.

3.5.3 Gestion des écarts

Le système analyse en permanence les écarts entre la glycémie mesurée par le capteur et les valeurs attendues, en fonction des modèles utilisés.

Si l'écart est faible (< 10 %), le système considère que la calibration est correcte.

Si l'écart est élevé (> 10 %), le système ajuste dynamiquement les coefficients pour corriger la dérive.

Q13. Afin de valider l'exigence Id 6.3, **compléter** le programme du document réponse (DR3) pour tenir compte de la gestion des écarts.

3.6 Autonomie de la batterie du transmetteur Bluetooth

Le Guardian Sensor 4 utilise un transmetteur Bluetooth à basse consommation (Bluetoot Low Energy ou BLE**)** pour communiquer les données de glycémie. La consommation en courant des composants d'un tel dispositif est donné tableau 4.

Composants	**Consommation typique sur une journée**	**Commentaires**
Capteur électrochimique	1 à 10 µA	Courant généré par la réaction glucose-électrode (0,4 heure par jour).
Transmetteur Bluetooth	0,1 à 1 mA lors de la transmission	Transmission toutes les 5 minutes en BLE pendant 2 s. (0,16 heure par jour)
Microcontrôleur intégré	50 à 100 µA	Consommation du microprocesseur pendant l'analyse de 5 s (0,4 heure par jour).
Mode veille	10 à 20 µA	Lorsque le capteur n'analyse pas et n'émet pas.

Tableau 4 : consommation des différents composants du MCG

3.7 Estimation globale de la consommation du capteur

Le capteur est équipé d'une batterie non remplaçable dont la capacité est comprise entre 150 et 200 mAh.

Q14. **Déterminer** la quantité d'énergie consommée sur une journée par le capteur, exprimée en mAh, dans le cas le plus défavorable.

Q15. En **déduire** l'autonomie exprimée en jour. **Valider** ou non l'exigence Id 6.4 (tableau 2).

4 Réglage des galets de la pompe péristaltique

L'objectif de cette partie est de valider l'exigence 2.1 : le temps de changement de tubulure T_{tub} doit être inférieur à 1 s.

4.1 Présentation des pompes péristaltiques

La pompe hydraulique utilisée pour ce système est une pompe péristaltique ou pompe doseuse. Le fluide est contenu dans un tube flexible noyé dans un corps de pompe circulaire.

Les pompes péristaltiques sont couramment utilisées dans les dispositifs médicaux tels que les pompes à insuline pour leur précision, leur hygiène, et leur capacité à administrer de très petites quantités de liquide de manière contrôlée.

Une pompe péristaltique fonctionne en compressant un tube flexible pour pousser le fluide à travers celui-ci. Ce type de pompe imite le mouvement péristaltique des intestins humains, d'où son nom.

Le principe de fonctionnement est illustré figure 10 et peut être décrit de la manière suivante :

- des rouleaux fixés sur un rotor écrasent le tube flexible en tournant ;
- le fluide est poussé vers l'avant dans le tube au fur et à mesure que les rouleaux se déplacent ;
- une fois que les rouleaux ont dépassé une section du tube, celle-ci reprend sa forme et crée une aspiration, tirant davantage de fluide dans le tube.

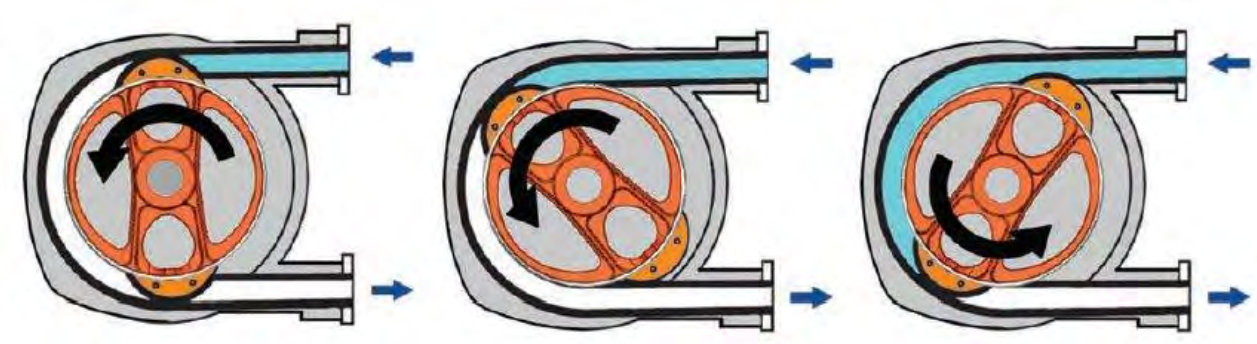


Figure 10 : principe de fonctionnement d'une pompe péristaltique

Q16. **Citer** le principal avantage de la pompe péristaltique dans le cas des pompes à insuline sachant que les tubes flexibles sont stérilisés avant utilisation.

4.2 Validation du système de changement de tubulure

L'étude porte sur une pompe à 2 galets représentée figure 11.

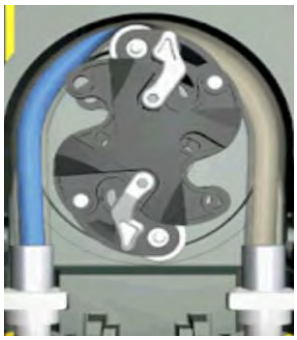


Figure 11 : pompe péristaltique à 2 galets

Le dispositif doit permettre un changement facile et aisé de la tubulure. Un réglage de la position du galet entre la position en fonctionnement et la position de mise en place de la tubulure doit être effectué. Ce système de réglage du galet présenté figure 12 est constitué de quatre solides :

- le bâti **0**, de repère associé $R_0(O,\vec{x_0},\vec{y_0},\vec{z_0})$, fixe par rapport au barillet de la pompe ;
- le bras **1**, de repère associé $R_1(O,\vec{x_1},\vec{y_1},\vec{z_1})$, en liaison pivot d'axe $(O,\vec{z_0})$ par rapport au bâti **0** tel que $\overrightarrow{OB} = L_1(t)\cdot\vec{x_1}$ et $(\vec{x_0},\vec{x_1}) = \theta(t)$;
- le corps du vérin électrique **2**, de repère associé $R_2(A,\vec{x_0},\vec{y_0},\vec{z_0})$, en liaison encastrement avec le bâti **0** tel que $\overrightarrow{OA} = L_2\cdot\vec{x_0}$ et L_2 = 8 mm **;**
- la tige du vérin électrique **3**, actionneur du système de réglage de repère associé $R_3(B,\vec{x_0},\vec{y_0},\vec{z_0})$, en liaison glissière $(A,\vec{y_0})$ par rapport au corps du vérin **2** tel que $\overrightarrow{AB} = \lambda(t)\cdot\vec{y_0}$ et en liaison sphère plan de centre B et de normale $\vec{y_0}$ par rapport au bras 1 ;
- le galet **4**, de repère associé $R_4(C,\vec{x_0},\vec{y_0},\vec{z_0})$, en liaison pivot $(C,\vec{z_0})$ par rapport au bras 1 tel que $\overrightarrow{OC} = L_4\cdot\vec{x_1}$ tel que L_4 = 15 mm. Soit D le point tel que $\overrightarrow{DC} = h(t)\cdot\vec{y_0}$. La distance h(t) représente la hauteur de réglage du galet. Le paramètre h doit pouvoir varier d'une longueur de 3,5 mm pour libérer la tubulure.

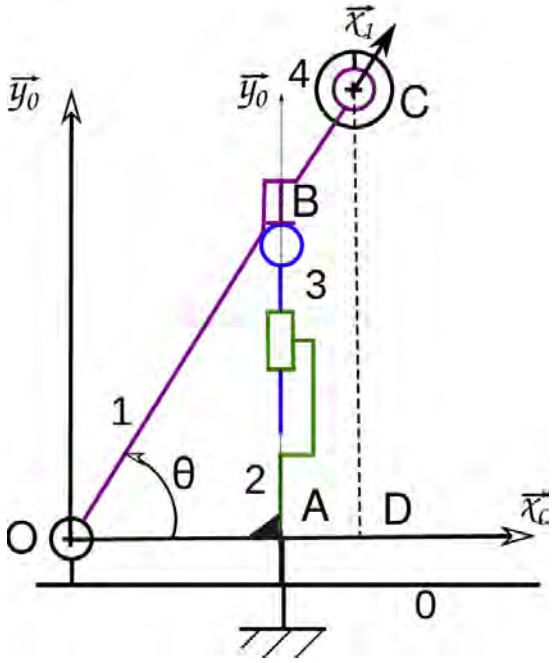


Figure 12 : schéma cinématique de la pompe péristaltique

Tournez la page S.V.P.



Q17. À partir du schéma cinématique de la figure 12, **établir** le graphe des liaisons.

Q18. Parmi les grandeurs géométriques (distances et angle), **préciser** les paramètres variables, les paramètres constants, le paramètre de mouvement d'entrée et le paramètre de sortie du système.

Q19. **Donner** la fermeture géométrique, sous forme vectorielle, qui permet de déterminer la loi entrée-sortie intermédiaire en position du système $\Theta = g(\lambda)$.

Q20. **Projeter** cette équation sur les axes $\overrightarrow{x_0}$ et $\overrightarrow{y_0}$. En déduire $\Theta = g(\lambda)$.

Q21. En **déduire** la loi entrée-sortie intermédiaire en position du système $h = f(\Theta)$.

Q22. À partir des deux questions précédentes, **montrer** que la loi entrée-sortie entre $h = f(\lambda)$ est :

$$h(t) = L_4 \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{\lambda}{L_2}\right)\right)$$

Le vérin électrique est constitué d'un moteur et d'un dispositif {vis+écrou} de pas 0,25 mm.

Q23. **Modifier** le schéma cinématique de la figure 12 sur le document réponse DR4 pour prendre en compte cette modélisation.

Q24. **Préciser** l'avantage d'un dispositif vis écrou en regard d'un vérin hydraulique ou pneumatique ?

Q25. En **déduire** d'après Q22, la rotation angulaire du moteur permettant de vérifier le cahier des charges concernant le paramètre h.

Q26. **Déterminer** la durée d'alimentation Δt du vérin électrique pour faire pivoter le galet en considérant que la vitesse du moteur est constante. Il est supposé que le moteur du vérin électrique tourne à une vitesse constante de $N_{moteurverin} = 10\ tr \cdot s^{-1}$.

Q27. **Conclure** si l'exigence Id 2.1 du tableau 1 est respectée.

5 Étude des conditions de fonctionnement

L'objectif de cette partie est de valider les performances de débit minimal par tour et de variation maximum de débit associé aux exigences définis par les exigences Id 3.1 et Id 3.1.1.

5.1 Détermination du temps d'injection

La pompe utilisée est considérée comme une pompe péristaltique à 3 galets comme défini à la figure 13.

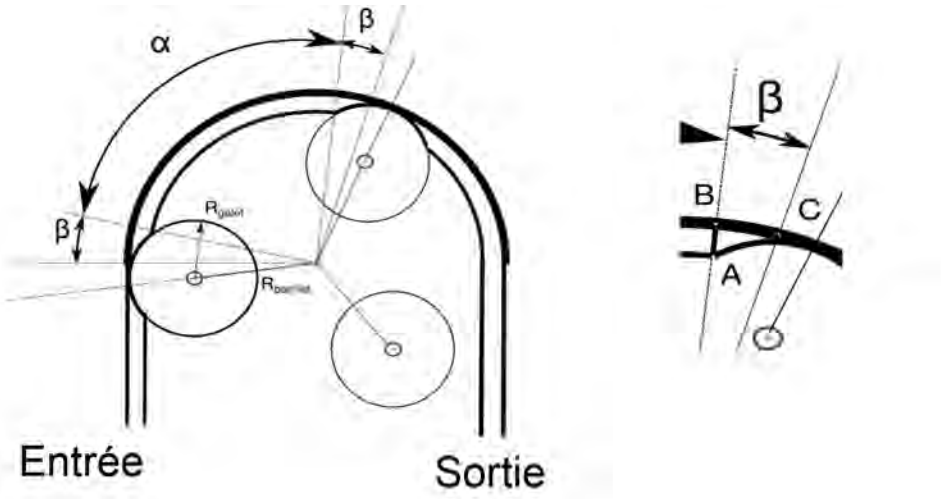


Figure 13 : pompe péristaltique à 3 galets

Q28. Indiquer le sens de rotation du moteur (sens horaire ou antihoraire) pour que la pompe assure sa fonction.

Il est rappelé que la cylindrée d'une pompe est le volume de fluide refoulé par tour et que le débit volumique d'une pompe est défini par le volume de fluide refoulé par unité de temps.

Données :

- $\alpha = 80°$;
- $\beta = 10°$;
- le diamètre intérieur de la tubulure vaut $d_{int\ tub} = 0,5$ mm ;
- le diamètre extérieur de la tubulure vaut $d_{tub} = 1,5$ mm ;
- l'épaisseur de la tubulure vaut $e = 0,5$ mm ;
- les rayons de la pompe, du barillet et du galet sont notés respectivement R_{pompe}, $R_{barillet}$, R_{galet} ;
- $R_{pompe} = R_{barillet} + R_{galet} = 25$ mm ;
- le nombre de galet de la pompe vaut $N_g = 3$.

La quantité de fluide doit être délivrée en un temps $t_{injection}$ pour obtenir le volume unitaire désiré de fluide $V_{des} = 0,01$ mL défini par le cahier des charges.
Sur la durée d'un cycle, la vitesse de rotation du barillet de la pompe suit le profil de vitesse représenté sur la figure 14.

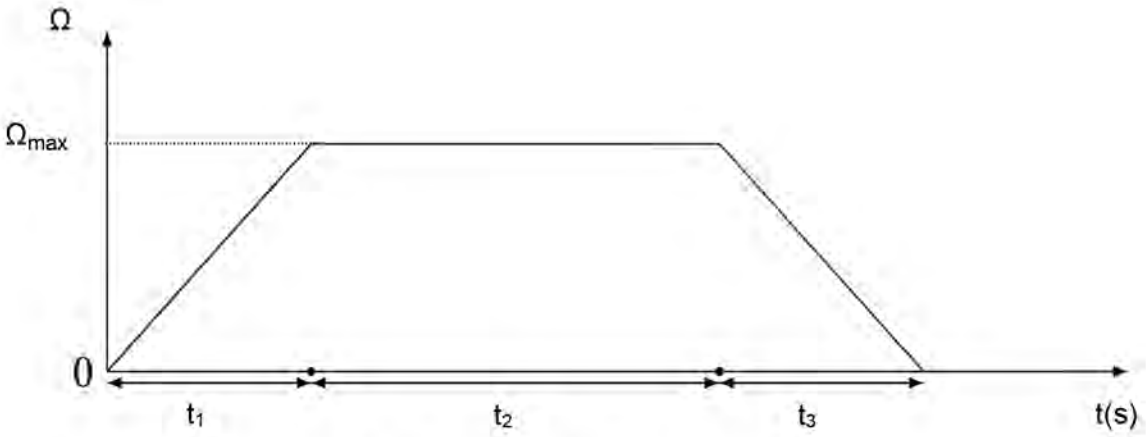


Figure 14 : profil de vitesse de rotation retenu

Tournez la page S.V.P.

Les temps t_1 et t_3 sont choisis égaux à 0,5 s. L'angle $\theta_{injection}$ est choisi égal à 3 rad. Le temps d'injection est $t_{injection} = t_1 + t_2 + t_3 = 2$ s.

Q29. À partir du cycle présenté sur la figure 14, **déterminer** l'expression de l'angle $\theta_{injection}$ durant ce cycle en fonction de Ω_{max} sachant que $\theta_{injection}(0) = 0$.

Q30. En **déduire** la vitesse de rotation de la pompe Ω_{max} nécessaire pour obtenir ce temps d'injection $t_{injection}$.

5.2 Modélisation de la perte de débit en raison des galets

Afin de choisir une pompe, un choix du nombre de galets doit être réalisé. Sur la figure 15, est présentée une courbe du débit instantanée pour plusieurs galets.

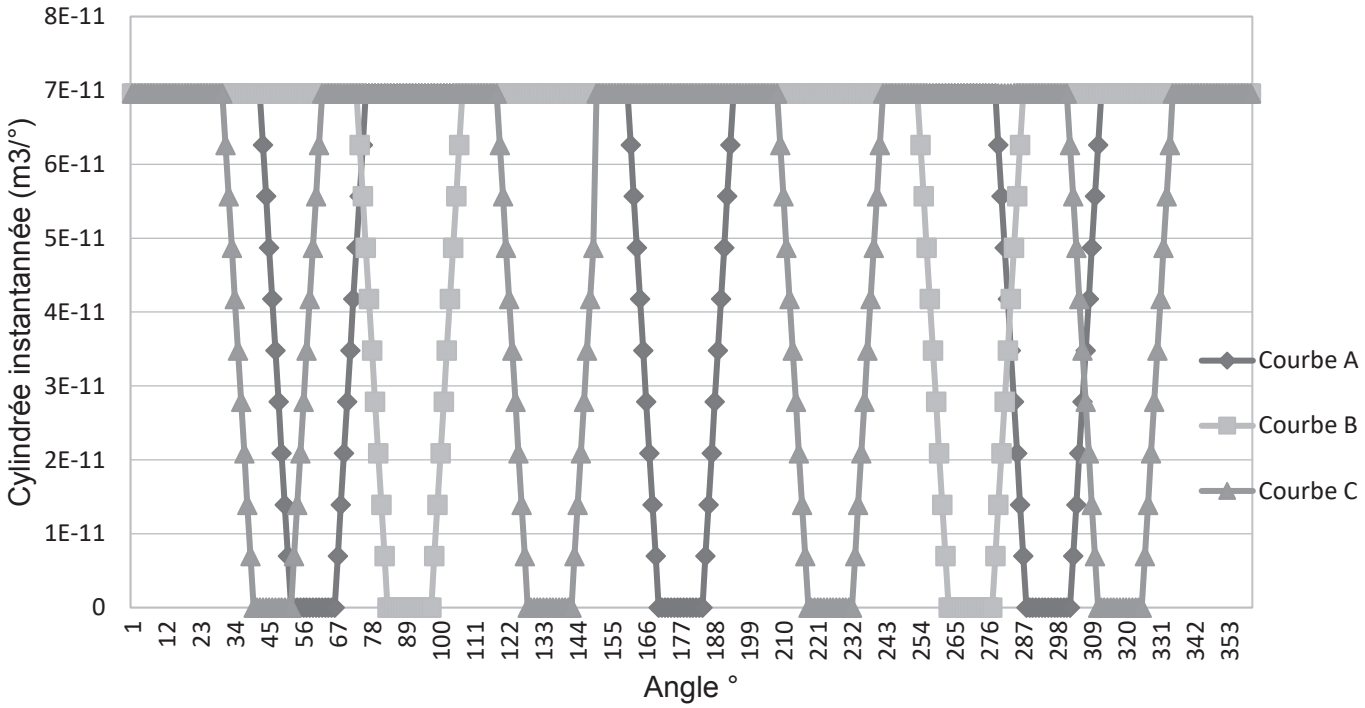


Figure 15 : simulation de débits pour plusieurs galets

Q31. Pour chacune des trois courbes, **définir** le nombre de galets utilisés.

La cylindrée obtenue vaut $2{,}0 \cdot 10^{-2}$ mL, $2{,}7 \cdot 10^{-2}$ mL et $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ mL en fonction de la pompe utilisée.

Q32. **Définir,** pour chaque nombre de galets associé à une pompe définie à la question précédente, le débit correspondant.

6 Modélisation de l'étanchéité de la membrane et de l'entraînement du fluide.

L'objectif de cette partie est de valider l'exigence concernant l'étanchéité de la tubulure (Id 3.1.2).

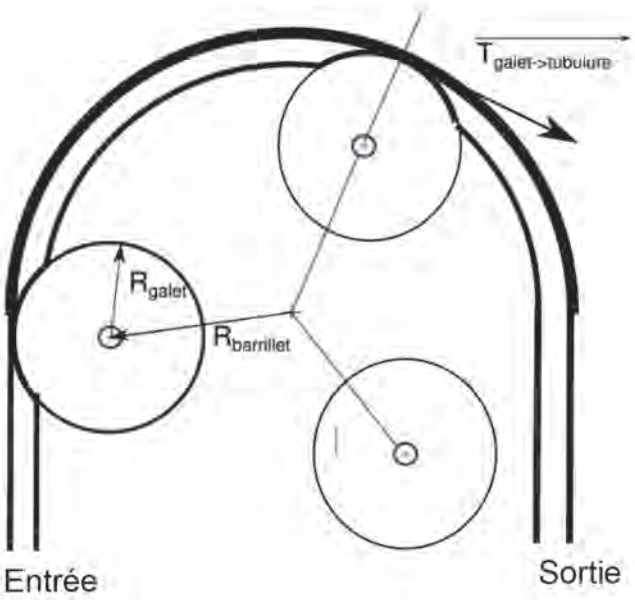


Figure 16 : pompe péristaltique à 3 galets

Dans cette partie, la vitesse de rotation maximum de la pompe est de $\Omega_{barillet} = 2$ rad·s^{-1}. La vitesse de rotation du moteur entraînant la pompe pour cette rotation maximum est de 1972 rad·s^{-1}. Les exigences associées à ce type de pompe imposent :

- une autonomie de 9 jours ;
- un nombre de 300 cycles journaliers ;
- l'énergie d'une pile AA 1,5 V (lithium 1900 mAh).

Q33. **Déterminer** le rapport de réduction du réducteur r entre la pompe et le moteur d'entrainement de la pompe.

Q34. **Donner** deux types de réducteurs pouvant être employés pour cette usage. **Citer** leurs avantages et leurs inconvénients.

Soit N_{gp} le nombre de galet en prise, $T_{galet \rightarrow tubulure}$ l'effort d'un galet sur la tubulure pour obtenir un débit nominal et $\eta_{red} = 0,8$ le rendement du réducteur.

Q35. **Calculer** le couple nécessaire au niveau de l'axe du barillet de la pompe C_p pour obtenir le débit nominal en fonction de $T_{galet \rightarrow tubulure}$ et la géométrie du système.

Q36. En **déduire** le couple au niveau du moteur C_m en fonction de $T_{galet \rightarrow tubulure}$.

Ce couple est considéré constant au cours d'un cycle. Le relevé de la figure 17 représente la puissance développée par la pompe au niveau des galets en fonction du temps sur un cycle de fonctionnement. Le rendement du moteur est noté $\eta_{mot} = 0,53$. La moitié de l'énergie stockée est utilisée pour alimenter le moteur et la pompe.

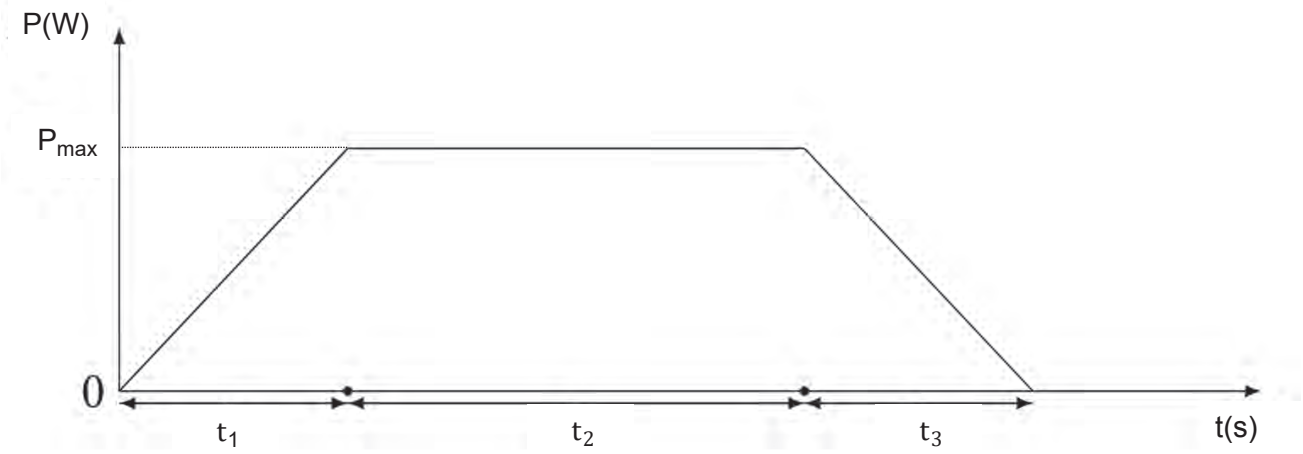


Figure 17 : profil de la puissance développée par la pompe en fonction du temps

Q37. **Définir** les trois phases de fonctionnement.

Q38. En considérant les rendements, **donner** la puissance maximale électrique à l'entrée du système.

Q39. En **déduire** l'énergie consommée notée E_{cons} par le moteur et la pompe durant un cycle en fonction de P_{max} et des temps t_1 et t_2.

Cette énergie permet, à partir d'une étude non définie ici, de déterminer la valeur de l'effort au contact entre le galet et la tubulure $T_{galet \rightarrow tubulure}$. Dans la suite, cette valeur est de : $T_{galet \rightarrow tubulure}$ = 2,4 N.

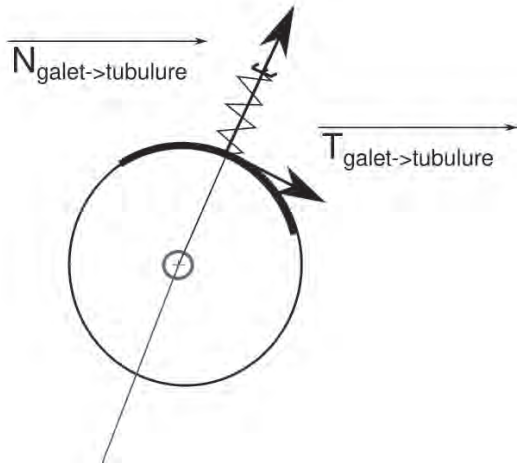


Figure 18 : efforts exercés par le galet sur la tubulure

Afin d'étudier à un instant du cycle de fonctionnement de la pompe, l'action normale de la tubulure sur chacun des galets est modélisée par $k_e \cdot \Delta u$, où Δu désigne l'écrasement de la tubulure et k_e une raideur équivalente. Une détermination expérimentale a permis de trouver k_e = 700 $N \cdot m^{-1}$. Par ailleurs, le modèle de Coulomb est ici adopté pour décrire le contact entre la tubulure et le galet.

Q40. **Donner** la signification physique de la raideur équivalent k_e.

Dans cette partie, l'étude est réalisée en régime de fonctionnement établi de la pompe et en considérant l'équilibre d'un galet parcourant la tubulure. Le coefficient d'adhérence entre un



galet et la tubulure vaut $\mu = 0{,}6$. On se situe ici à la limite de l'adhérence. L'écrasement doit être supérieur aux dimensions transversales intérieures de la tubulure pour que l'étanchéité soit complète.

Q41. **Donner** le couple de matériaux possibles pour le galet et la tubulure.

Q42. **Donner** le lien entre $T_{galet \rightarrow tubulure}$ et $N_{galet \rightarrow tubulure}$.

Q43. **Déterminer** l'écrasement Δu en fonction de $T_{galet \rightarrow tubulure}$.

Q44. **Faire** l'application numérique de Δu et **conclure** si cela est compatible avec l'exigence sur l'étanchéité de la tubulure.

7 Validation de l'exigence de débit

L'objectif de cette partie est de vérifier l'exigence Id 1.1. Le motoréducteur et sa commande doivent être capables de délivrer les débits requis par la pompe à insuline.

L'ensemble étudié est le motoréducteur : {moteur + réducteur}. Ses caractéristiques sont données en annexe 2. Le motoréducteur est alimenté sous une tension $U = 2$ V.

7.1 Modélisation du motoréducteur

Le modèle électrique retenu pour le motoréducteur à courant continu est donné figure 19.

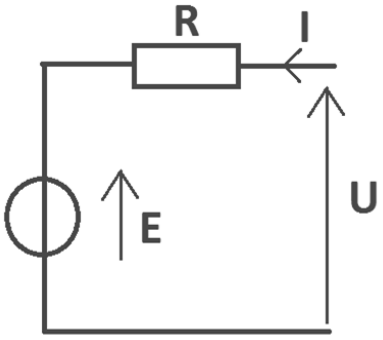


Figure 19 : modèle électrique du motoréducteur

- U est la tension d'alimentation du moteur (en V) ;
- I est le courant absorbé par le moteur (en A) ;
- E est la force contre-électromotrice (en V).

De plus $E = K_e \cdot \omega_{red}$, avec :

- K_e , constante de force contre-électromotrice en $V \cdot s \cdot rad^{-1}$;
- ω_{red} , vitesse de rotation en sortie du motoréducteur en $rad \cdot s^{-1}$.

Q45. En utilisant la loi de mailles **donner** la relation liant U, E, R et I.

Q46. **Étudier** ce que devient cette relation lors du démarrage ou en cas de rotor bloqué, puis en déduire la valeur de R.

Q47. À partir des valeurs nominales ou à vide (Annexe 2), **déterminer** le coefficient de fcem K_e.

7.2 Vitesse en sortie du motoréducteur

Une étude sur le motoréducteur a permis de déterminer le courant absorbé lors du fonctionnement : I = 0,2 A.

Q48. Déterminer la force contre-électromotrice E. En **déduire** la vitesse de rotation du motoréducteur ω_{red} en rad·s^{-1} puis N_{red} en tr·min^{-1}.

7.3 Débits d'insuline possibles

Le profil de vitesse de rotation des galets de la pompe péristaltique est donné figure 20.

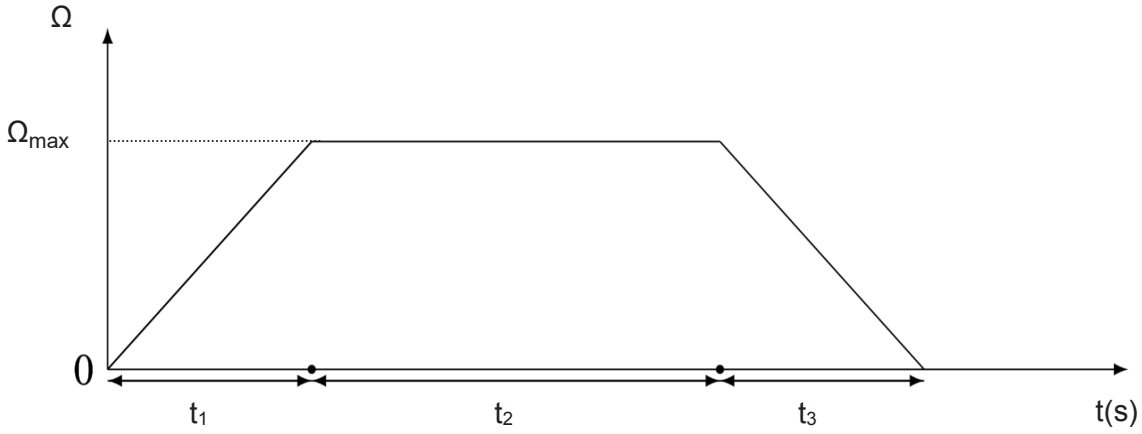


Figure 20 : profil de vitesse des galets retenu

t_1 = 0,5 s, t_2 = 1 s, t_3 = 0,5 s.

La cylindrée est égale à cyl_{pompe} = 22 µL.

L'angle de rotation θ (en rad) vérifie la relation : $\theta = (t_1+t_2)\cdot\Omega_{max}$ avec Ω_{max} = 2 rad·s^{-1}.

Q49. Déterminer le nombre de tours parcouru durant ce cycle n_t. En **déduire** le volume de liquide déplacé v_l.

Le débit basal est une administration continue d'insuline effectuée par une pompe à insuline tout au long de la journée pour maintenir la glycémie stable entre les repas et pendant la nuit. Le débit basal est exprimé en unités d'insuline par heure (U·h^{-1}) et est ajusté selon les besoins spécifiques de chaque patient. La pompe est prévue pour des débits réglables de 0,01 U·h^{-1} à 10 U·h^{-1}, ce qui correspond à des débits variables de 0,1 µL·h^{-1} à 100 µL·h^{-1}.

Q50. Déterminer la durée entre 2 cycles pour un débit basal de 10 U·h^{-1} puis pour 0,01 U·h^{-1}.

Les intervalles entre deux cycles peuvent dépasser largement plusieurs dizaines d'heures. Il est alors préférable d'utiliser des doses fractionnées dans une pompe à insuline en modifiant la vitesse maximale du motoréducteur Ω_{max}.

Les doses fractionnées désignent la manière dont une pompe à insuline administre une dose d'insuline en petites quantités délivrées périodiquement. Au lieu d'administrer une dose



complète d'un coup, la pompe divise la dose en plusieurs micro-injections répétées, ce qui permet de maintenir un débit continu et précis d'insuline.

Les microdoses sont injectées toutes les 5 minutes soit 12 par heure, en respectant à chaque fois le profil de vitesse de la figure 20.

Q51. **Préciser** l'expression du débit horaire d'insuline injecté Q en fonction de t_1,t_2, cyl_{pompe} et Ω_{max}.

Pour permettre d'obtenir ces microdoses, des variateurs de vitesse à modulation de largeur d'impulsion (PWM : Pulse Width Modulation) sont utilisés. La commande de la PWM se fait sur 10 bits.

La tension du moteur U est ainsi liée à la tension d'alimentation par la relation suivante :

$$U = \frac{k}{N_{max}} \times U_{alim}$$

avec

- U_{alim} = 1,2 V, tension d'alimentation du variateur de vitesse ;
- $N_{max} = 2^{10}$;
- k est un nombre compris en 0 et N_{max}-1.

Le courant consommé par le moteur est supposé constant et vaut I = 0,2 A.

Q52. **Indiquer** le nombre de réglages de débits possibles.

Une étude a permis de tracer la vitesse de rotation Ω_{max} en fonction l'incrément k (figure 21).

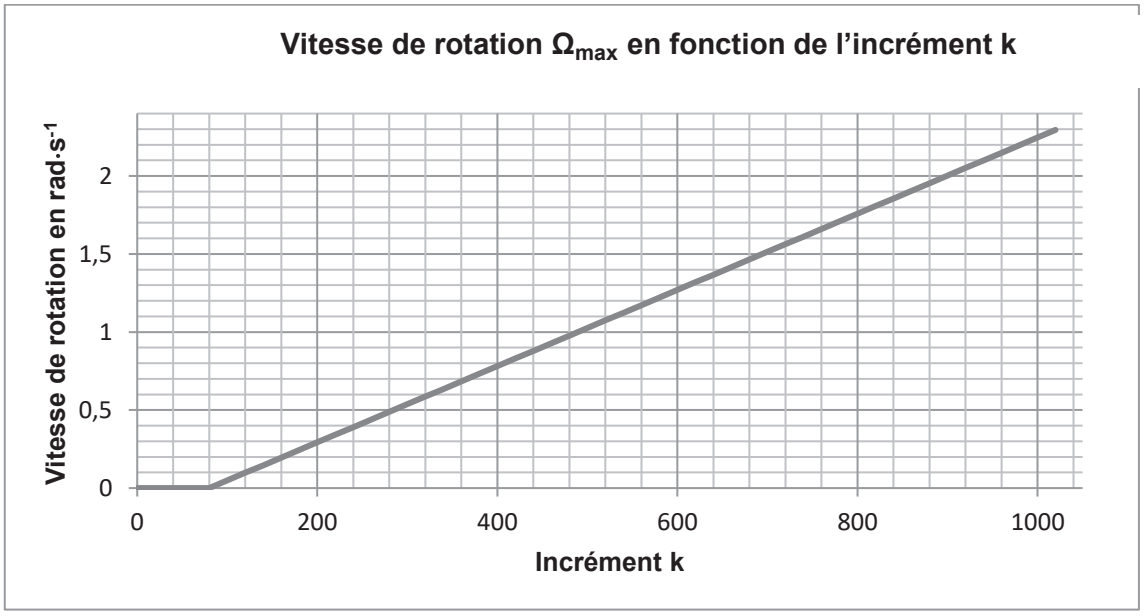


Figure 21 : vitesse de rotation du motoréducteur en fonction de l'incrément k

Q53. **Préciser** les débits minimal Q_{min} et maximal Q_{max} de l'insuline injectés en une heure.

Q54. **Conclure** sur la validation de l'exigence Id 1.1 pour laquelle la pompe doit pouvoir fournir un débit compris entre de 1 µL·h^{-1} et 100 µL·h^{-1}. **Proposer** une solution le cas échéant, en cas de non respect.

8 Intérêt de l'asservissement

L'objectif de cette partie est de valider les exigences Id 1.2, Id 1.3 et Id 1.4.

Les critères de ces exigences sont issus des recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) pour une glycémie normale :

- la glycémie doit être comprise entre 70 $mg \cdot dL^{-1}$ et 170 $mg \cdot dL^{-1}$;
- l'amplitude de glycémie sur une journée ne doit pas dépasser 70 $mg \cdot dL^{-1}$;
- la variation ne doit pas excéder 40 $mg \cdot dL^{-1} \cdot h^{-1}$ sous peine de complications notamment cardiovasculaires.

Des études cliniques sur la glycémie de personnes saines et diabétiques ont permis d'établir des modèles de la glycémie en fonction du temps (en h) pour une journée type avec 3 repas à 7h30, 12h30 et 19h30. Ces modèles sont utilisés dans la suite.

8.1 Personne saine

Les tracés de la glycémie et de la variation de glycémie pour une personne saine sont donnés figure 22.

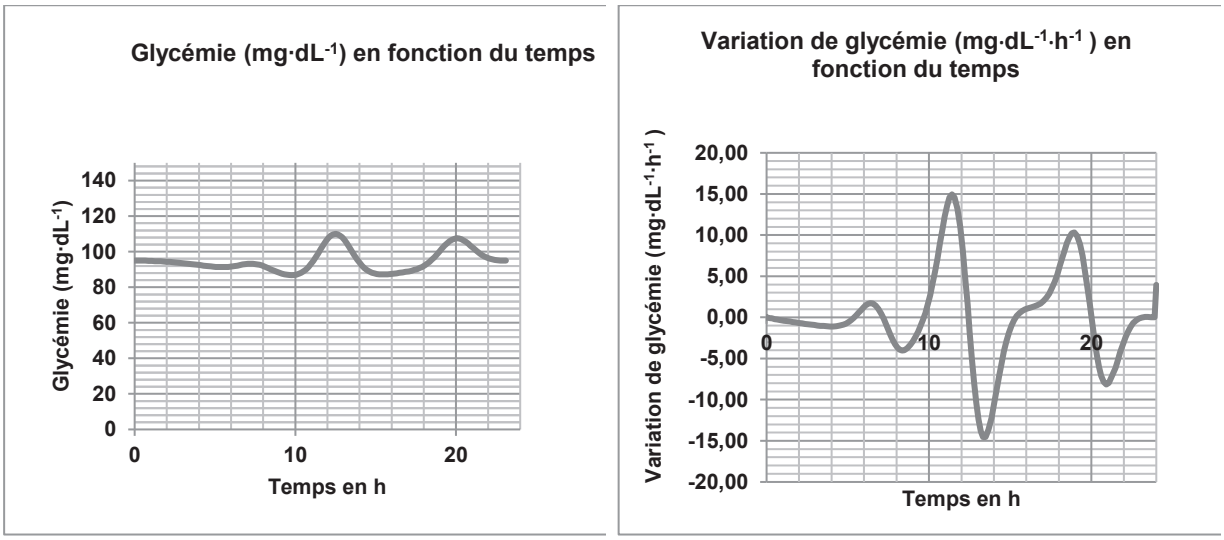


Figure 22 : évolution temporelle de la glycémie et de sa variation pour une personne saine

Q55. **Montrer** que tous les critères d'une glycémie normale sont validés.

8.2 Personne diabétique non soignée

Les tracés de la glycémie et de la variation de glycémie pour une personne diabétique non soignée sont donnés figure 23.

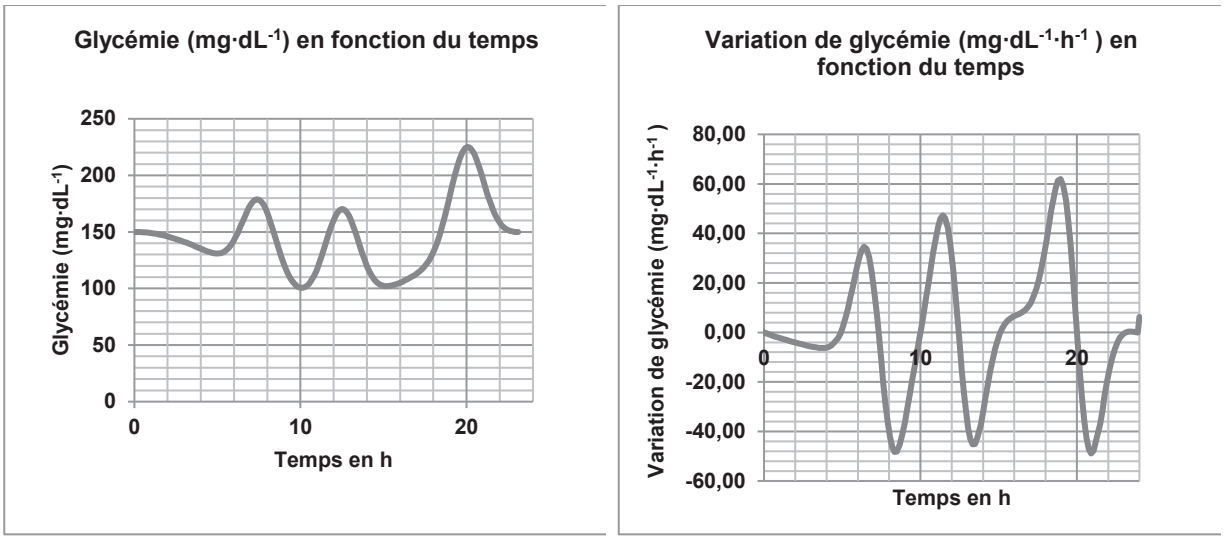


Figure 23 : évolution temporelle de la glycémie et de sa variation pour une personne diabétique

Q56. **Montrer** que les critères d'une glycémie normale ne sont pas validés.

8.3 Personne diabétique soignée par injection d'insuline

Le traitement le plus ancien et le plus répandu du diabète est l'injection de doses d'insuline. Le modèle retenu ici est celui d'une personne diabétique qui reçoit des injections d'insuline juste avant les repas.

Les tracés de la glycémie et de la variation de glycémie pour une personne diabétique soignée par injection sont donnés figure 24.

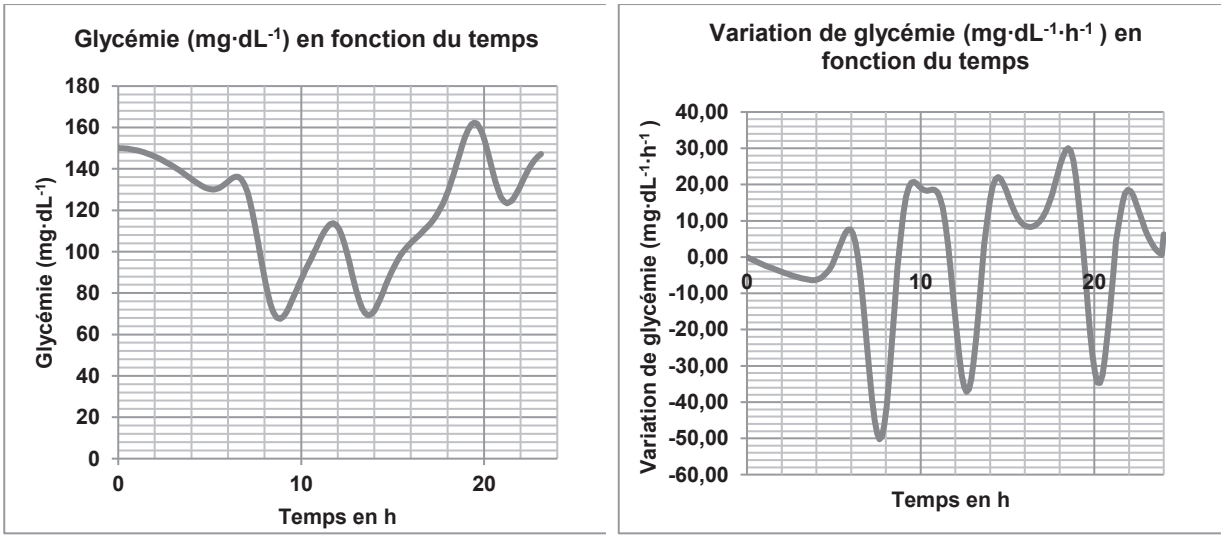


Figure 24 : évolution temporelle de la glycémie et de sa variation pour une personne diabétique soignée par injection

Q57. **Montrer** que tous les critères d'une glycémie normale ne sont pas validés.

8.4 Personne diabétique soignée par une pompe à insuline avec régulation.

Des mesures de glycémie sur une personne diabétique munie d'une pompe à insuline régulée ont été réalisées. Les tracés de la glycémie et de la variation de glycémie sont donnés figure 25.

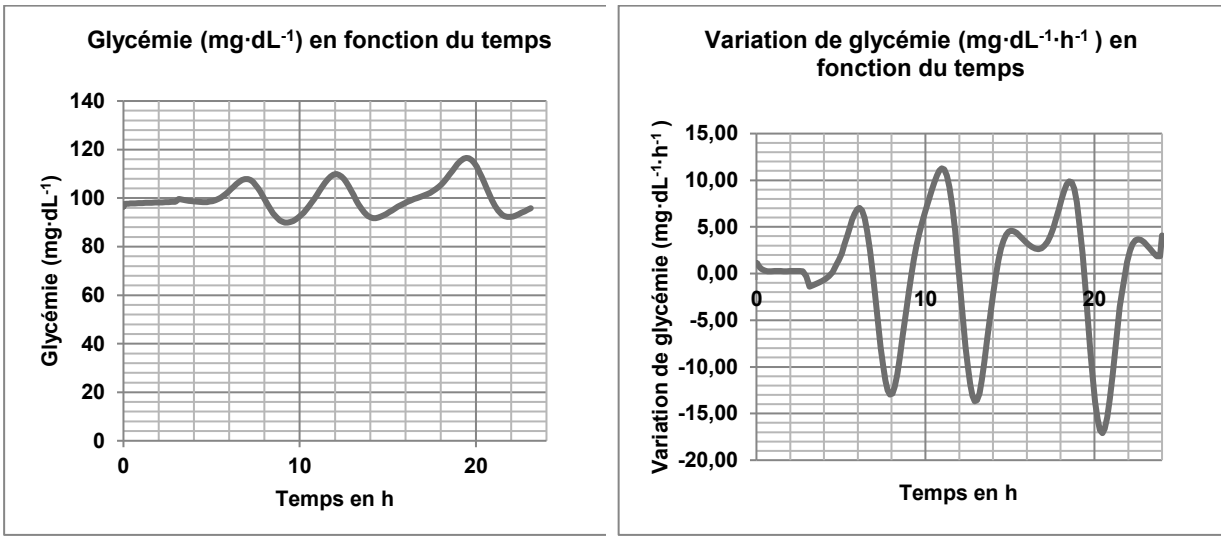


Figure 25 : évolution temporelle de la glycémie et de sa variation pour une personne diabétique munie d'une pompe à insuline automatisée

Q58. **Montrer** que tous les critères d'une glycémie normale sont validés.

Q59. En conclusion, **justifier** l'intérêt médical de la pompe à insuline automatisée pour le traitement du diabète au regard des recommandations de la HAS.



Annexe 1. Extrait des exigence de la HAS (Haute Autorité de Santé) pour l'inscription sur la liste des produits (article L 165-1 du code de la sécurité sociale)

1 Intérêt de santé publique

1.1 Gravité de la pathologie

Le diabète de type 1 est dû à une carence en insuline résultant de la destruction des cellules bêta du pancréas ; le traitement repose sur une insulinothérapie mimant la sécrétion physiologique du pancréas grâce à un schéma basal/bolus, obtenu soit par multi-injection, soit par pompe.
L'objectif de ce traitement est d'approcher la glycémie normale afin de prévenir, à long terme, les complications dégénératives du diabète qui sont sources de handicaps, d'incapacités, d'altération de la qualité de vie et d'augmentation de la mortalité chez les personnes atteintes.
À court terme, les complications aiguës du diabète sont des urgences métaboliques (malaises voire coma) par hyperglycémie et acidocétose ou par hypoglycémie. Un contrôle métabolique durablement obtenu est nécessaire pour prévenir ces complications. Le diabète est une maladie grave en raison des complications qui peuvent survenir. Le contrôle métabolique de la glycémie est donc essentiel.

1.2 Épidémiologie de la pathologie

Les systèmes de pompe en boucle fermée sont destinés aux personnes atteintes de diabète de type 1, adultes et enfants âgés d'au moins 7 ans, dont l'objectif glycémique n'est pas atteint en dépit d'une insulinothérapie intensive bien conduite par pompe externe.
La population totale diabétique dépasse 4 000 000 de patients dont 225 000 patients de type 1.

Les données disponibles rapportent, en 2024, que 73% des patients sous pompe sont diabétiques de type 1. En appliquant ces chiffres à l'année 2025, on peut estimer que 60 000 patients diabétiques de type 1 sont utilisateurs d'une pompe à insuline.

Pour ce type de technologies, des impacts en termes de diminution des complications à long terme et des hospitalisations liées aux complications métaboliques aigues sont attendus.

Compte tenu de la fréquence et de la gravité du diabète de type 1 et de l'intérêt potentiel des systèmes en boucle semi-fermée pour diminuer les complications associées, ces dispositifs ont un intérêt de santé publique.

2 Service attendu (SA)

Durée dans la glycémie cible : 70-170 $mg \cdot dL^{-1}$ > 70 %,
Durée en hyperglycémie sévère > 250 $mg \cdot dL^{-1}$ < 5 %,
Durée en hyperglycémie > 180 $mg \cdot dL^{-1}$ < 25 %,
Durée en hypoglycémie < 70 $mg \cdot dL^{-1}$ < 4 %,
Durée en hypoglycémie sévère < 54 $mg \cdot dL^{-1}$ < 1 %,
Variabilité de la glycémie ≤ 36 %.

Tournez la page S.V.P.
C

Annexe 2. Caractéristiques du motoréducteur



Les caractéristiques des moteurs sont les suivantes :

Dimensions

Dimensions	10 × 12 × 25 mm
Masse	9,5 g
Diamètre de l'arbre	3 mm

Le motoréducteur est équipé d'un moteur et d'un réducteur à train d'engrenages

Rapport de réduction	$\frac{1}{986}$

Un essai à vide (sans charge mécanique) a été réalisé en sortie du motoréducteur :

Vitesse à vide à 1,2 V	20 $tr \cdot min^{-1}$
Courant à vide à 1,2 V	0,08 A

Un essai rotor bloqué a été réalisé en sortie du motoréducteur :

Courant max à 1,2 V	2,3 A
Couple max à 1,2 V	953 mN·m

Le constructeur donne également les valeurs nominales en sortie du motoréducteur :

Rendement à 1,2 V	43 %
Vitesse nominale	18 $tr \cdot min^{-1}$
Couple nominal	85 mN·m
Courant nominal	0,31 A
Puissance utile	0,16 W



DR 1.

Q9.

Glycémie Réelle ($mg \cdot dL^{-1}$)	Glycémie Capteur ($mg \cdot dL^{-1}$)	**Différence (%)** entre les valeurs de glycémie mesurées par le capteur et les valeurs de référence
50	46	
90	82	
120	112	
150	142	
200	190	

DR 2.

Q12.

```
def mise_a_jour_coef(a, b, I_mesure, Gref, alpha, beta):
        Gmes= ……
        a_n= …… + ……
        b_n= …… + ……
        return a_n, b_n
```


Tournez la page S.V.P.

DR 3.

Q13.

```
#l'erreur est la différence entre la glycémie de référence Gref et celle calculée par
#le capteur

erreur = Gref - (a * I_mesure + b)

#l'écart est l'erreur relative en %

ecart= ……

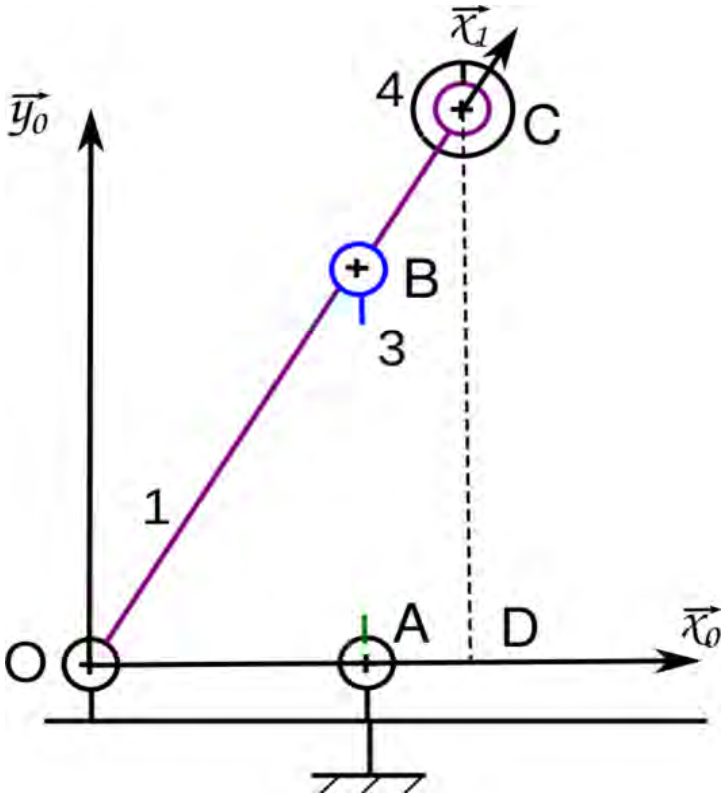
while ……:

       a,b = mise_a_jour_coef(a, b, I_mesure, reference_glycemie, alpha, beta)
```

DR 4.

Q23.

Schéma cinématique modifié de la pompe péristaltique



Tournez la page S.V.P.

E