BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **2 h 30**- Coefficient : **8**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 20 pages numérotées de 1/20 à 20/20 .

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur	20 points
Partie 2 - Sciences Physiques	20 points

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR2 (pages 15 à 16) sont à rendre avec la copie

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Robot Reachy



- Sujet .....pages 1 à 14
- Documents réponses.....pages 15 à 16

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

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 15 à 16) seront à rendre agrafés aux copies.

Mise en situation

Reachy est un robot humanoïde programmable. Son design attractif et ses bras très mobiles en font une plateforme robotique particulièrement adaptée pour interagir avec les humains et pour manipuler les objets (figure 1).

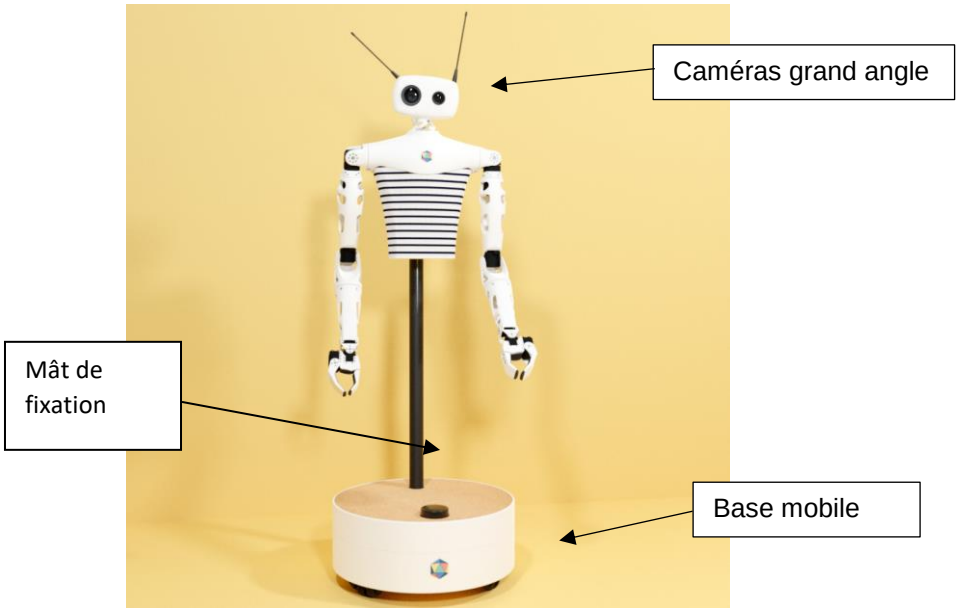


Figure 1 : description de Reachy

Reachy peut fonctionner en toute autonomie pour accomplir des tâches précises ou bien être téléopérable ce qui est sa qualité première. L'utilisateur peut par l'intermédiaire d'un dispositif de réalité virtuelle (VR), interagir à distance dans l'environnement de Reachy.

Pour cela, le robot est équipé de deux caméras grand-angle à haute résolution motorisées permettant à l'utilisateur d'avoir une vision en immersion très précise de l'environnement dans lequel se trouve le robot. La tête et les bras sont dirigés à distance grâce à des manettes individuelles. La tête et les antennes sont animées de manière très fluide conférant à Reachy une aptitude à imiter et communiquer les émotions humaines, et créer de l'empathie avec les humains.

La problématique de l'étude est la suivante :

Comment assister l'être humain dans son quotidien ?

Pour répondre à cette problématique, le sujet est décomposé en trois problèmes techniques :

- Comment fournir assez d'énergie pour limiter les recharges ?
- Comment maintenir l'équilibre du robot lorsqu'il porte un objet ?
- Comment saisir les objets du quotidien sans les écraser ?

Le diagramme partiel des exigences de Reachy est donné figure 2.

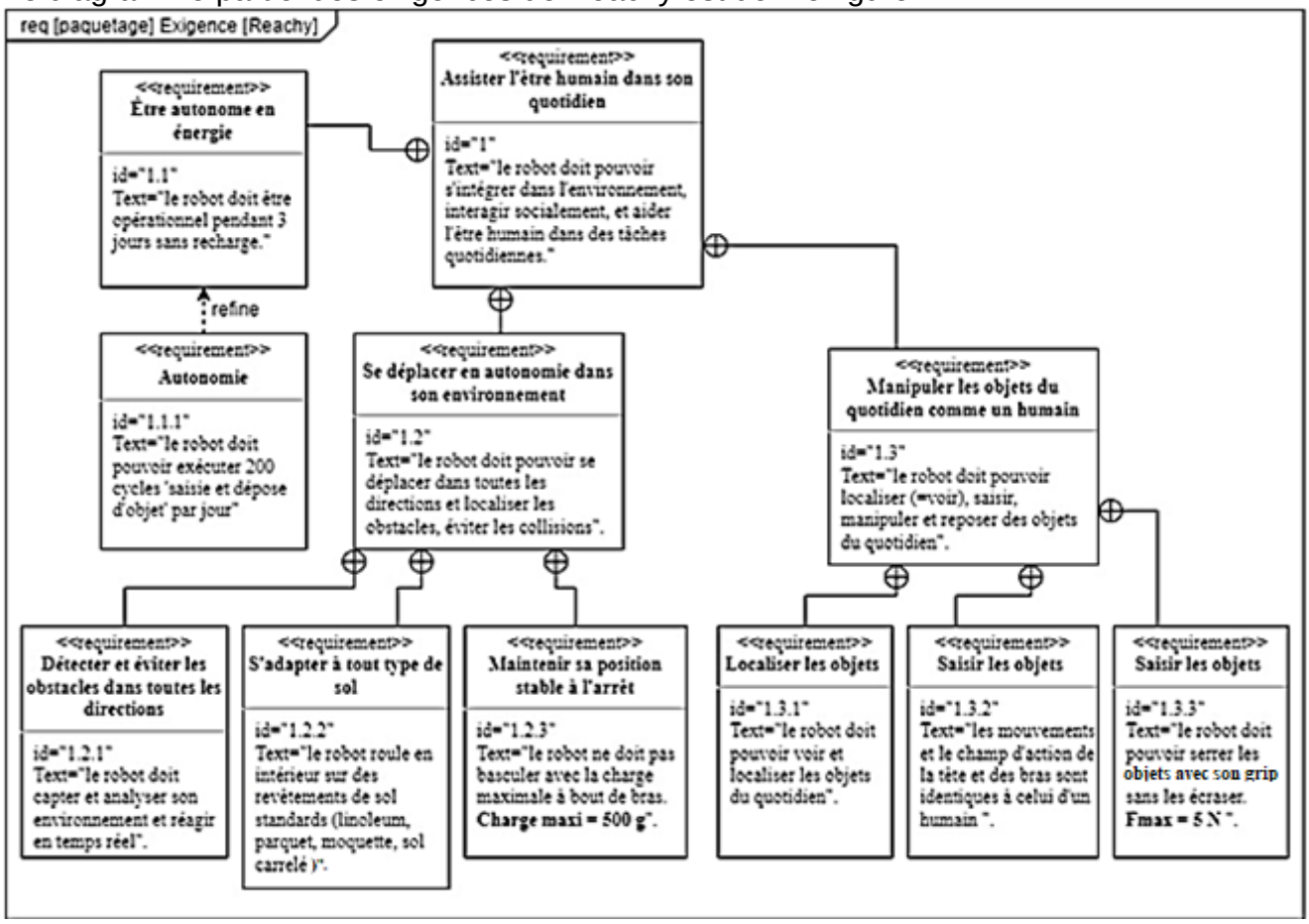


Figure 2 : diagramme partiel des exigences de Reachy

La figure 3 représente le diagramme de définition de blocs.

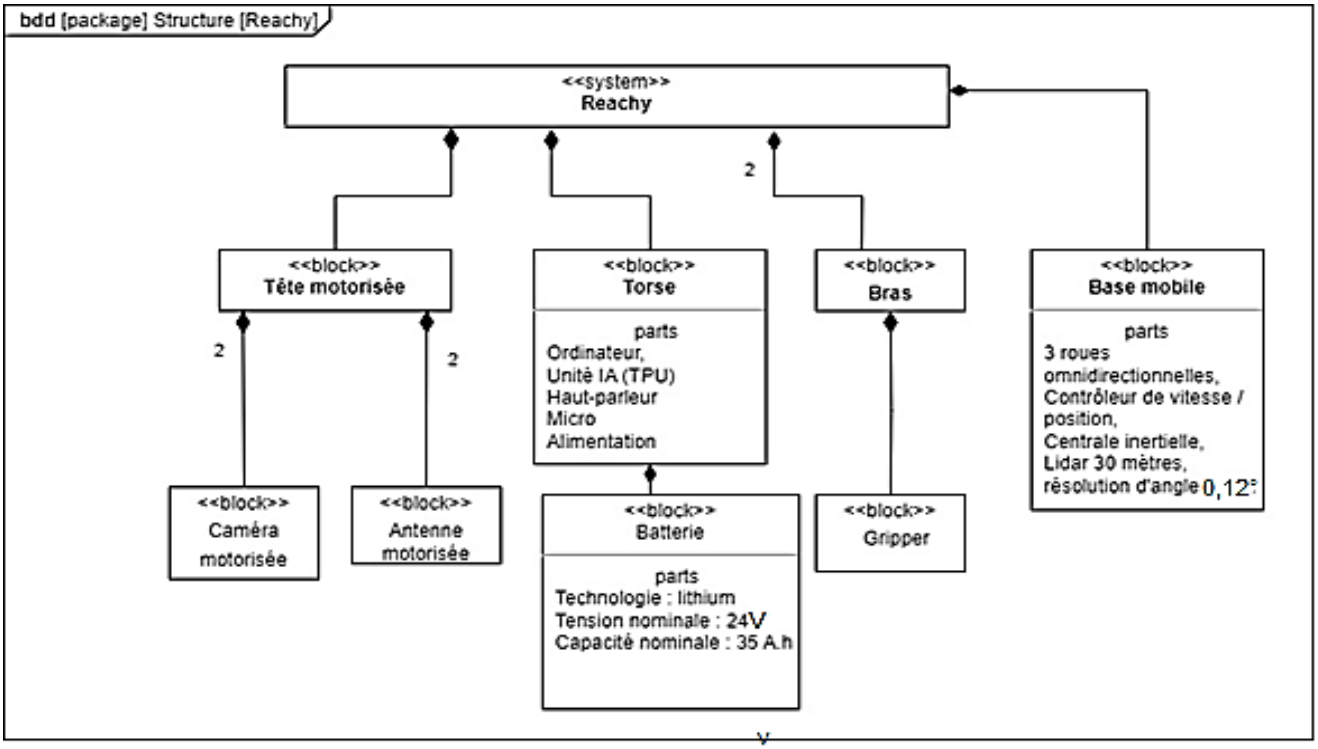


Figure 3 : diagramme de définition de blocs

Sous-partie 1 : comment fournir assez d'énergie pour limiter les recharges ?

L'objectif de cette sous-partie est de déterminer l'autonomie du robot.

En fonction du lieu d'utilisation, l'accès à une prise de recharge n'est pas possible tous les jours. Le tableau 1 décrit les différentes situations.

Lieux	Temps entre recharge
Hôpital	1 mois
Ehpad (maison de retraite)	Journalier
Bureau	2 jours
Maison	Journalier

Tableau 1 : accès à une prise de courant en fonction du lieu

Question 1. *Figure 2* *Tableau 1*	*À partir du Tableau 1 et du diagramme des exigences figure 2,* ***citer*** *les différents lieux d'utilisations possibles de Reachy.*

Question 2. *Figure 3*	*À l'aide de la figure 3,* ***identifier*** *les blocs permettant à Reachy de se déplacer de manière autonome dans son environnement.*

Le robot est amené tout au long de la journée à manœuvrer et déplacer de petits objets.

L'opération la plus coûteuse énergétiquement dans les usages les plus fréquents est celle qui consiste à saisir un objet, le soulever pour le déposer quelques centimètres plus loin.

Afin de valider le dimensionnement de la batterie, une mesure de la puissance instantanée consommée a été relevée lors d'une manœuvre de prise, déplacement et dépose d'un objet de charge maximale (voir figure 4). Elle est représentative du cas le plus défavorable.

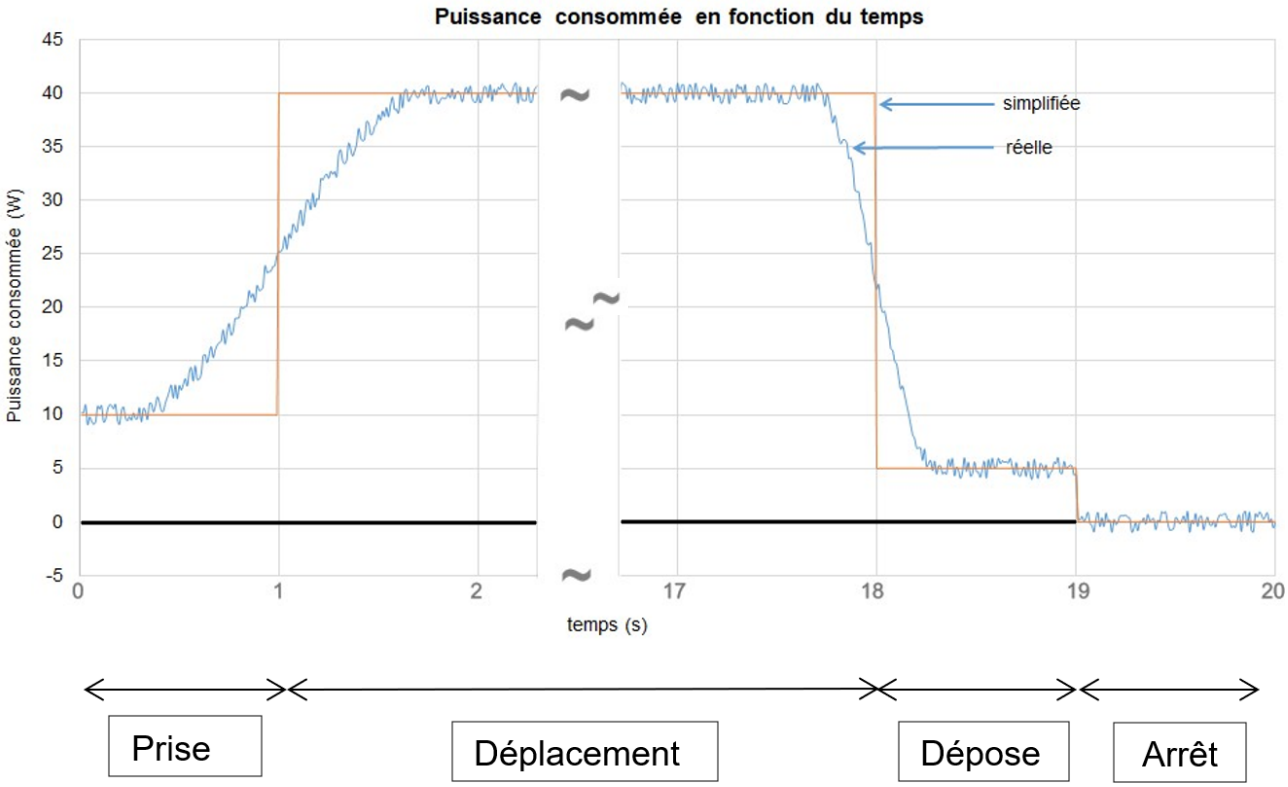


Figure 4 : courbe de la puissance consommée pour un cycle prise-déplacement-repose d'un objet

Les temps de prise et dépose sont constants dans l'utilisation de Reachy. Le temps de déplacement dépend de la distance parcourue.

Pour vérifier l'exigence 1.1.1, le cas le plus défavorable est considéré.

Question 3. *Figure 4* *Figure 2*	***Calculer** l'énergie consommée pour un cycle de prise, déplacement et dépose d'objet sur la courbe simplifiée. **Montrer** que la consommation moyenne journalière vis-à-vis de l'exigence 1.1.1 est de 139 kJ.*

Question 4. *Figure 2* *Figure 3*	*En négligeant toute autre consommation que celle de la question 3, **calculer** le nombre de jours d'utilisation sans recharge de Reachy. **Conclure** sur le respect de l'exigence 1.1.*

Sous-partie 2 : comment maintenir l'équilibre du robot lorsqu'il porte un objet ?

L'objectif de cette sous-partie est de valider la capacité du robot à porter des charges à bout de bras.

L'ensemble du robot repose sur une base mobile avec trois roues lui permettant ainsi de tourner autour d'un axe fixe (figure 5).

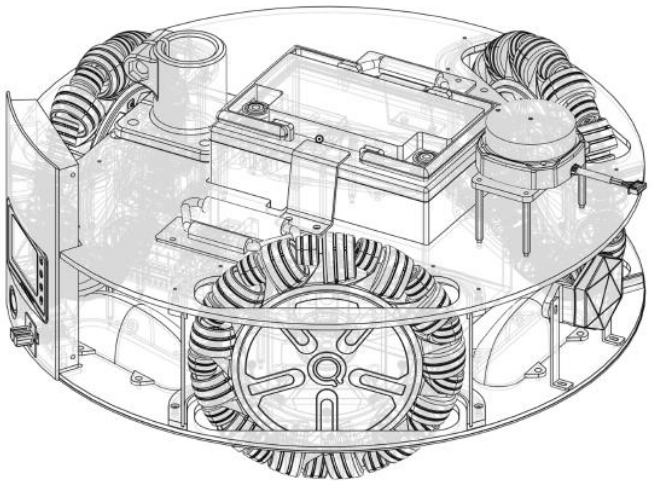


Figure 5 : Base mobile à 3 roues

Afin de valider les exigences 1.2.2 et 1.2.3, il est important de valider les deux composantes suivantes :

- le choix architectural de la position du mât de fixation ;
- la capacité de robot à se déplacer dans le cas le plus défavorable.

Lors de la conception du robot, plusieurs possibilités pour l'emplacement du mât de fixation étaient possibles. Trois solutions représentées en figure 6 et 7 ont été retenues.

En fonction de sa position, le risque de basculement sera plus ou moins élevé.

La figure 6 représente trois positions possibles de la base mobile.

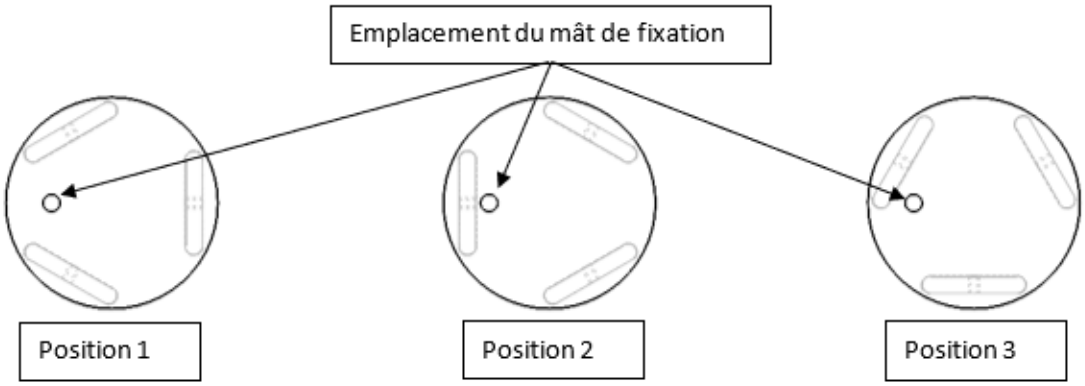


Figure 6 : les trois positions de la base mobile en vue de dessus

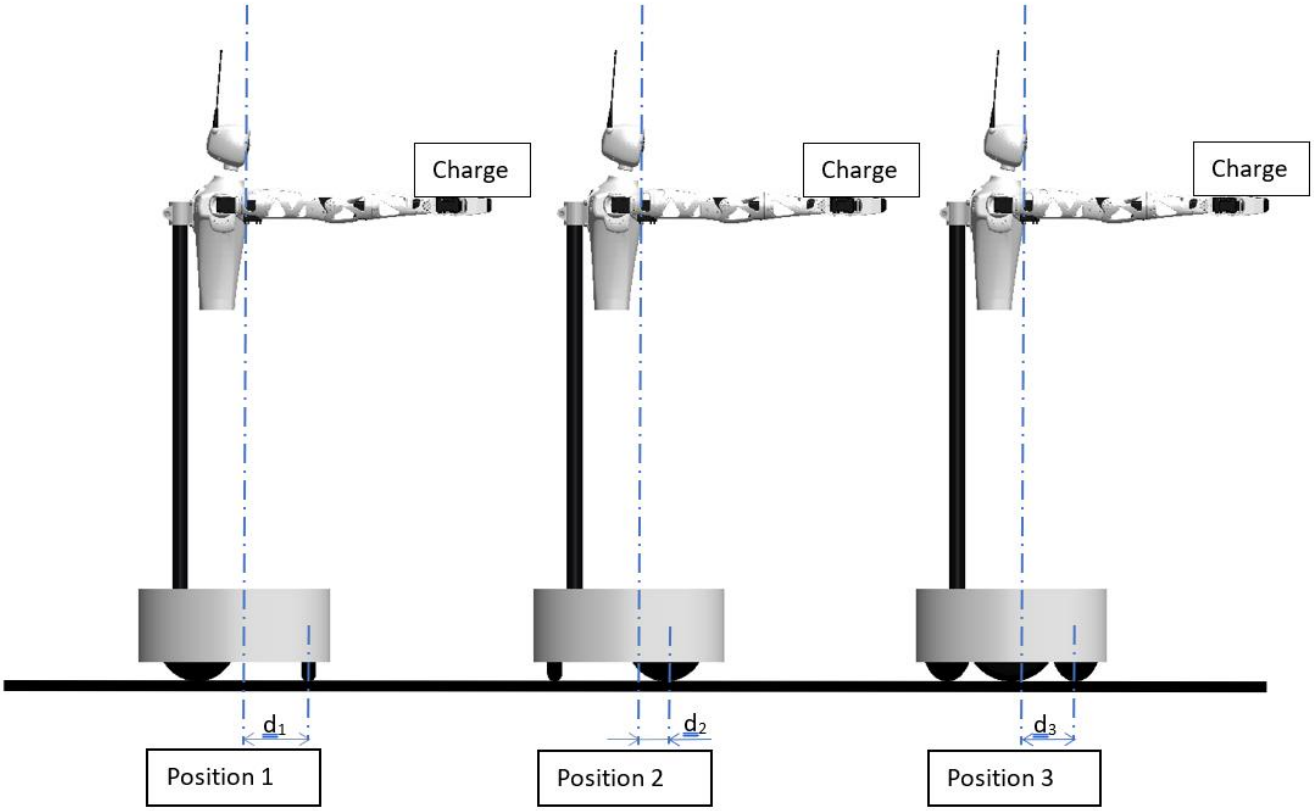


Figure 7 : les trois positions de la base mobile en vue de coté

Les distances d_1, d_2 et d_3 représentent la distance entre le centre gravité du robot et le point d'appui lors du basculement vers l'avant tel que $d_1 > d_3 > d_2$.

Lorsque le robot porte une charge à bout de bras, il risque de basculer vers l'avant.

Question 5.	***Déterminer** le cas le plus favorable pour éviter le basculement en justifiant la réponse.*
Figure 6 *Figure 7*	

Afin de vérifier la capacité du robot Reachy à être utilisé dans tous les environnements possibles, il est maintenant nécessaire de valider sa stabilité dans les conditions les plus défavorables. D'après la norme PMR (Personne à Mobilité Réduite), la pente maximale autorisée est de 12 %.

L'objectif est de vérifier que le robot ne bascule pas et ne glisse pas à l'arrêt dans une descente.

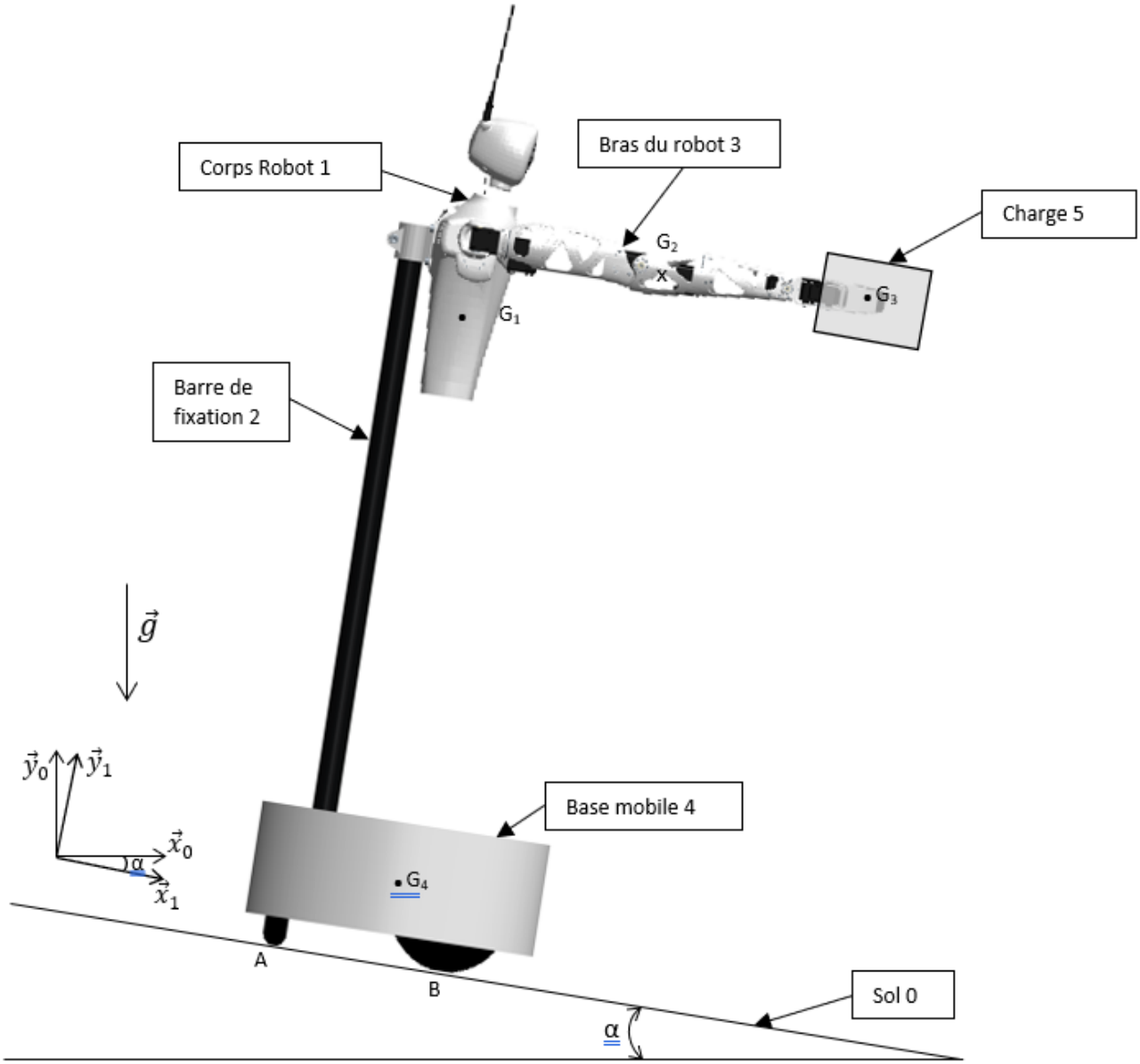


Figure 8 : Reachy avec la charge

Pour la suite de l'étude, comme illustré sur la figure 8, l'ensemble isolé est noté {S} = {corps robot 1 + barre de fixation 2 + bras du robot 3 + base mobile 4 + charge à déplacer 5}.

Les hypothèses retenues pour l'étude sont :

- le modèle présente une symétrie de géométrie et d'effort suivant le plan (O,$\vec{x}_0$, $\vec{y}_0$) ;
- le robot est supposé immobile lors de l'étude ;
- les frottements s'exercent uniquement sur les roues de devant et modélisés au seul point B.

Les données de l'étude sont les suivantes :

- $R_0(O,\vec{x}_0\ \vec{y}_0,\vec{z}_0)$, le repère orthonormé direct lié au référentiel galiléen ;

- $R_1(O,\vec{x}_1\ \vec{y}_1,\vec{z}_1)$, le repère orthonormé direct incliné ;
- m_{corps} = 3,425 kg, la masse totale de l'ensemble {corps robot 1 + barre de fixation 2} ;
- m_{bras}= 1,670 kg, la masse d'un bras {3} ;
- m_{charge}, la masse maximale transportable définie dans le diagramme des exigences ; $m_{base\ mobile}$ = 25 kg, la masse de la base mobile {4} ;
- Le poids de l'ensemble {corps robot 1 + barre de fixation 2} tel que
$$\{P_1\} = \begin{Bmatrix} 4\ N & 0 \\ -33{,}4\ N & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(G_1,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)} ;$$
- Le poids des 2 bras {3} tel que
$$\{P_2\} = \begin{Bmatrix} 3{,}9\ N & 0 \\ -32{,}5\ N & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(G_2,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)} ;$$
- Le poids de la charge {5} tel que
$$\{P_3\} = \begin{Bmatrix} 0{,}58\ N & 0 \\ -4{,}86\ N & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(G_3,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)} ;$$
- Le poids de la base mobile {4} tel que
$$\{P_4\} = \begin{Bmatrix} 29{,}2\ N & 0 \\ -243{,}3\ N & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(G_4,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)} ;$$
- g = 9,81 m·s^{-2}, l'accélération de pesanteur projetée sur $\vec{y}_0$;
- G_1, le centre de masse de l'ensemble {corps robot 1 + barre de fixation 2} ;
- G_2, le centre de masse des bras {3} ;
- G_3, le centre de masse de la charge à déplacer {5} ;
- G_4, le centre de masse de la base mobile {4} ;
- α = 6,84°, correspondant à la pente de la rampe de 12 % ;
- A et B, les points de contact des roues de la base mobile {4} avec le sol {0} ;
- L'action de contact du sol {0} sur la roue de la base mobile {4} au point A tel que : $\{A_{0\to4}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(A,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)}$;
- L'action de contact du sol {0} sur la roue de la base mobile {4} au point B tel que : $\{B_{0\to4}\} = \begin{Bmatrix} X_B & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(B,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)}$.

Question 6.	***Justifier** avec le calcul détaillé les composantes du torseur $\{P_2\}$ dans le repère $(G_2,\vec{x}_1\ \vec{y}_1,\vec{z}_1)$.*
Figure 8 DR1	***Tracer** sur le DR1 les projections dans la base $(\vec{x}_1\ \vec{y}_1,\vec{z}_1)$ des efforts $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3, \vec{P}_4$.*

Question 7. *Figure 8 DR1*	*En appliquant le théorème du moment statique sur l'ensemble {S}, en projection sur $\vec{z}$, au point B, et les dimensions données dans le DR1,* ***montrer*** *que l'action Y_A = 5,5 N.* ***Conclure*** *sur le basculement du robot.*

Le théorème de la résultante statique sur l'ensemble *{S}* permet ensuite de déterminer les actions X_B et Y_B et de calculer le rapport $\left|\frac{X_B}{Y_B}\right|$ qui est égal à $0{,}12$.

Les lois de Coulomb permettent de savoir s'il y a adhérence ou glissement en un point de contact avec frottement. On note T l'action tangentielle en ce point de contact, N l'action normale et f le coefficient de frottement entre les deux matériaux. Une des lois mentionne qu'il n'y a pas glissement lorsque $|T| \leq f \cdot |N|$

La valeur du coefficient de frottement dépend des deux matériaux en présence et de leurs états de surface (tableau 2). Le robot Reachy interagit avec différents sols, ce qui amène à prendre en compte différents coefficients de frottement.

Type de rampe	**Sec**	**Mouillé**
Sol carrelé	f = 0,8	f = 0,4
Linoleum (sol en PVC)	f = 0,7	f = 0,3
Parquet	f = 0,6	f = 0,2

Tableau 2 : coefficient de frottement statique (f) des roues en caoutchouc en fonction du matériau de la rampe

Question 8. *Tableau 2*	*À partir du tableau 2 et de la loi de Coulomb,* ***déterminer*** *la valeur de f la plus défavorable.* ***Conclure****, dans le cas le plus défavorable, si le robot risque de glisser et sur la capacité de Reachy à transporter des objets de façon sécurisée et valider les exigences 1.2.2 et 1.2.3.*

Sous-partie 3 : comment saisir les objets du quotidien sans les écraser ?

L'objectif de cette sous-partie est de s'assurer que le robot est capable de saisir un objet sans l'écraser.

Le gripper (figure 9) est actionné par un seul servomoteur Dynamixel MX-281AT capable de fournir un couple de 2,5 N.m. Afin de limiter les efforts exercés sur les objets, le gripper est pourvu d'un capteur d'effort dont la valeur maximale est de 7,8 N.

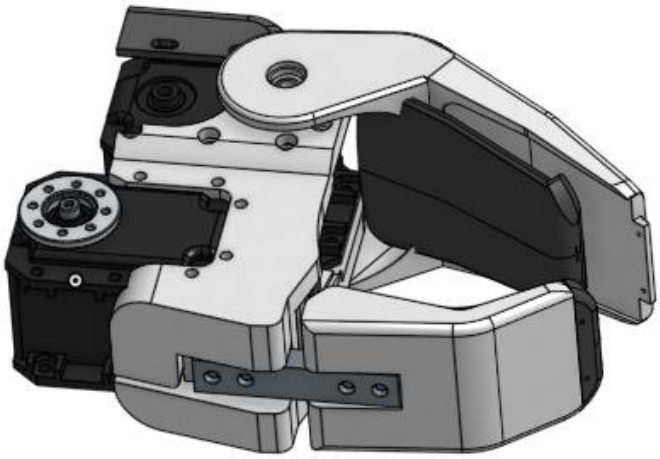


Figure 9 : pince gripper

Afin de vérifier l'exigence 1.3.3, une modélisation multiphysique, présentée figure 10, de la pince a été réalisée et permet de modéliser le comportement dynamique. Une loi d'asservissement de la pince permet, en fonction de l'effort mesuré par le capteur et du déplacement de l'ensemble {pince + Objet saisi} de limiter l'effort appliqué à un objet saisi et ainsi de limiter la déformation.

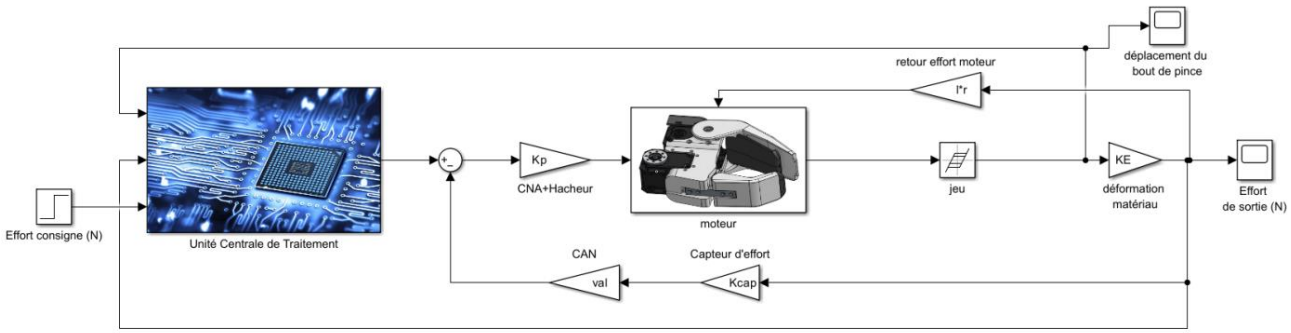


Figure 10 : modèle de simulation multiphysique de la pince

Pour vérifier que la pince ne détériore pas l'objet saisi dans des cas limite, deux cas sont étudiés : saisie d'un récipient en verre et saisie d'un récipient en plastique. Le paramètre permettant de modéliser différents matériaux dans la modélisation multiphysique est le gain noté KE qui représente un coefficient de raideur équivalente de l'ensemble {pince + Objet saisi}. Pour cette étude le verre est considéré comme indéformable, seule la pince se déforme lors de la prise .

Deux simulations ont été réalisées, l'une avec KE = 500 $N \cdot m^{-1}$ et l'autre avec KE = 3000 $N \cdot m^{-1}$.

La figure 11 représente d'une part la déformation en mm de l'ensemble {pince + Objet saisi} en bout de pince et d'autre part l'effort en bout de pince (en Newton).

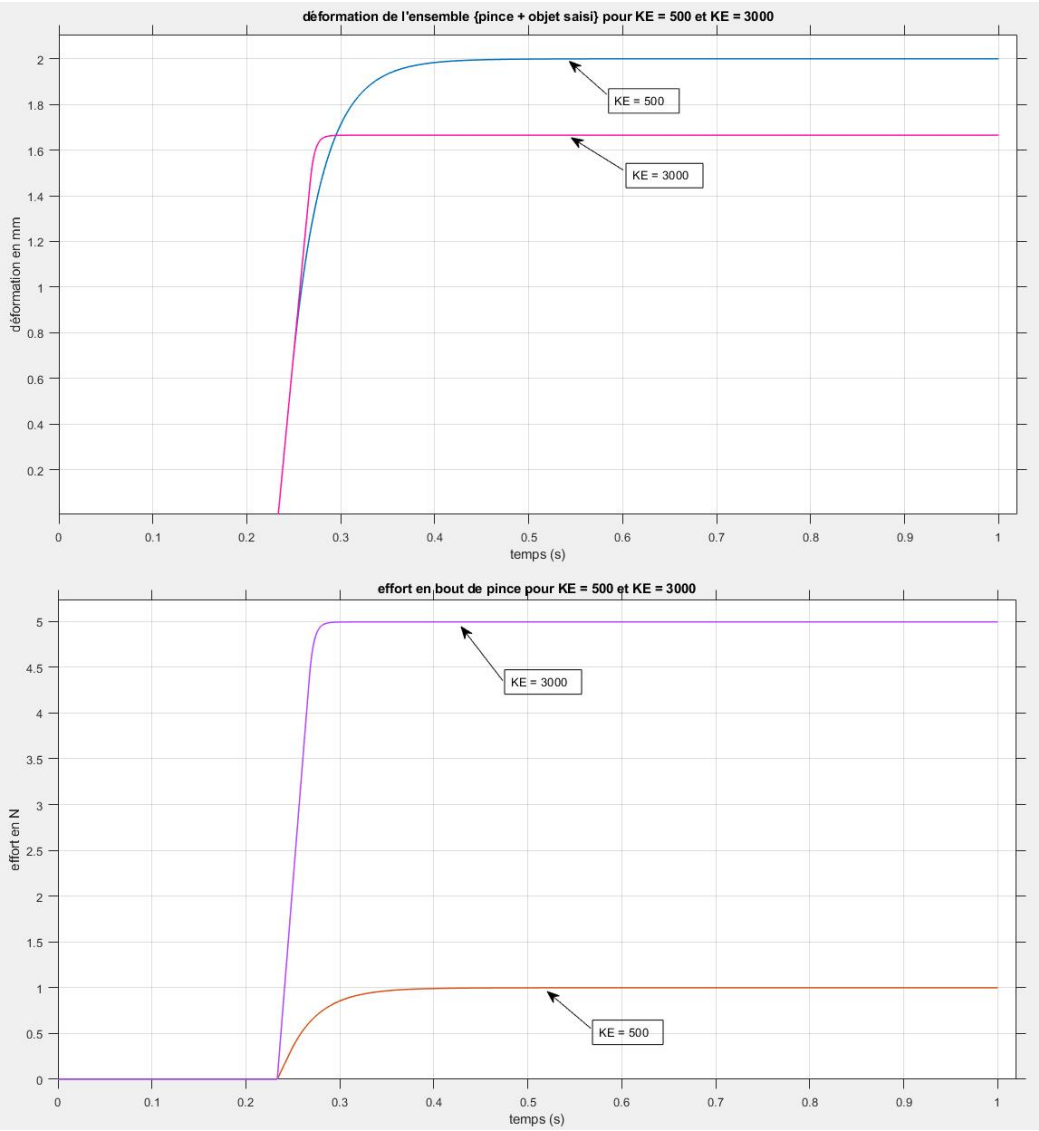


Figure 11 : déplacement et effort en bout de pince dans les cas KE = 500 $N \cdot m^{-1}$ et KE = 3000 $N \cdot m^{-1}$

Question 9.	***Déterminer** quelle valeur de KE correspond à la saisie du plastique.*
Figure 11	***Justifier** la valeur maximale de l'effort en fonction du matériau.*

Après avoir étudié différents matériaux, il est nécessaire de vérifier l'effort limite dans le gripper. Un capteur est situé dans une des pinces pour mesurer cet effort qui ne doit pas dépasser F_{max} = 5 N. Le traitement de cette acquisition est ensuite effectué afin de communiquer avec le microcontrôleur. Celui-ci est réalisé par un CAN (convertisseur analogique numérique) 24 bits dont la valeur pleine échelle est obtenue pour un effort de $F_{pleine\ échelle}$ = 7,8 N.

Pour la suite de l'étude, la valeur renvoyée par le CAN est considérée comme étant 0xA41A42.

Question 10.	***Montrer** que la valeur de l'effort renvoyée par le CAN correspond à F_{max}.*

La fonction détecter_effort_maximum(valeur_effort) est le sous-programme qui permet de gérer l'effort maximum. Elle prend comme argument la valeur de l'effort, pour la comparer à la valeur de l'effort maximal écrite en hexadécimal. Elle renvoie un booléen (true ou false) pour indiquer au programme principal d'arrêter l'action de préhension.

Question 11.	***Compléter** sur le DR2 le code de la fonction « détecter_effort_maximum (valeur effort) ».*
DR2	

Dans le programme, une fonction permet d'éliminer le bruit de mesure et d'améliorer la précision de la mesure. Un filtre moyenneur à fenêtre glissante est utilisé. La moyenne est faite sur les 100 dernières valeurs acquises.

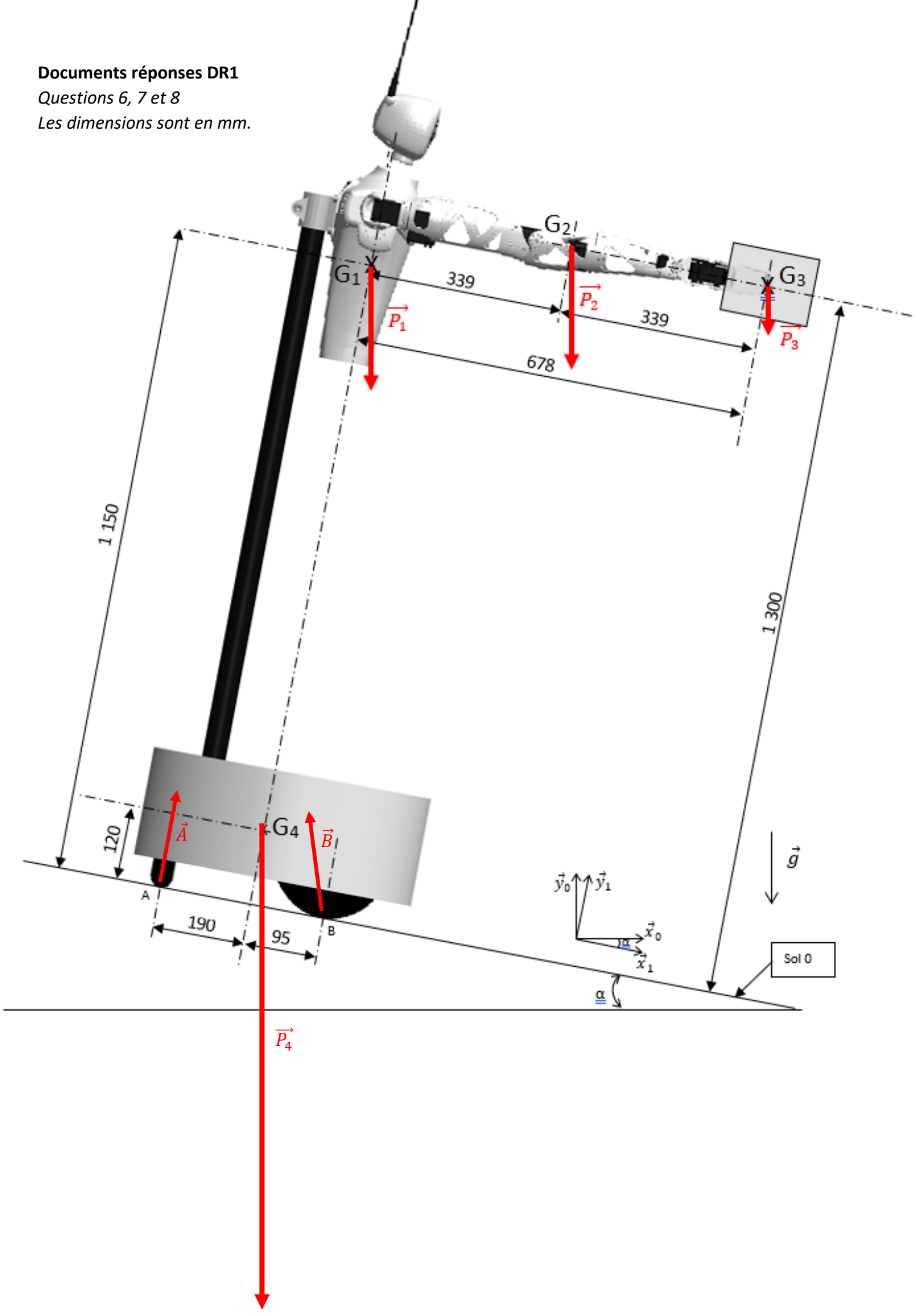
Question 12.	***Compléter** sur le document réponse DR2, le code de la fonction « calculer_moyenne_glissante (tab_valeur) ».*
DR2	

Question 13.	***Conclure** sur la capacité de Reachy à valider l'exigence 1.3.3 du diagramme des exigences.*
Figure 2	

Documents réponses DR1

Questions 6, 7 et 8

Les dimensions sont en mm.



Question 11

```
def détecter_effort_maximum (valeur effort) :
    """
    entrée : entier image de la valeur de l'effort
    sortie : booléen, True si la valeur de l'effort atteint
             ou dépasse la valeur maximale absolue
    """

    if ..... :
       # écrire la valeur de comparaison en  hexadécimal

        return .....

    else :

       return .....
```

Question 12

```
def calculer_moyenne_glissante (tab_valeur) :
    """
    Calcule la valeur moyenne des 100 échantillons
    contenus dans le tableau fourni en arguments

    entrées : tab_valeur, tableau d'entiers
    sortie : résultat du calcul de la valeur moyenne du tableau d'entrée
    """

    somme = .....# initialisation de la valeur de la somme

    for i in range(.....): # parcours des 100 valeurs du tableau

        somme = .....

    # les lignes suivantes permettent de calculer la moyenne
    # et de la renvoyer en sortie de fonction

    .....

    .....
```

Partie 2 : Sciences Physiques

Exercice A : Les ondes lumineuses

Indiquer, sur la copie, le numéro de la question suivi de la lettre correspondant à la bonne réponse. Il n'y a qu'une bonne réponse par question et il n'est pas nécessaire de la justifier.

1. La diffraction consiste en :
a) un étalement des directions d'une onde lorsqu'elle rencontre un obstacle ou une ouverture de petite dimension ;
b) la superposition de deux ondes cohérentes ;
c) le changement de direction du rayon lumineux lorsqu'il change de milieu ;
d) l'absorption d'une onde par un milieu.

2. Une onde lumineuse de longueur d'onde λ = 500 nm est diffractée par une fente de très grande longueur. Le premier minimum de diffraction est observé avec un angle θ = 0,1 rad par rapport à l'axe central. Calculer la largeur de cette fente :
a) 50 nm ;
b) 5,0 mm ;
c) $2{,}0 \times 10^{5}$ m ;
d) 5,0 µm.

3. Dans une zone où deux ondes interfèrent de manière constructive :
a) l'onde résultante a une amplitude plus faible qu'une seule onde ;
b) l'onde résultante a une amplitude plus élevée qu'une seule onde ;
c) l'onde résultante est déviée ;
d) l'onde résultante est absorbée.

4. Pour obtenir des interférences lumineuses :
a) les ondes doivent provenir de sources incohérentes ;
b) les ondes doivent avoir des fréquences différentes ;
c) les ondes doivent provenir de sources cohérentes ;
d) les ondes doivent avoir des amplitudes identiques.

5. Dans l'expérience des fentes d'Young, l'interfrange *i* varie en fonction de la distance *D* entre l'écran et les fentes d'Young de la façon suivante :
a) l'interfrange *i* diminue quand la distance *D* augmente ;
b) l'interfrange *i* augmente quand la distance *D* augmente ;
c) l'interfrange *i* est indépendant de la distance *D ;*
d) l'interfrange *i* varie de façon non linéaire avec la distance *D.*

6. La relation entre l'interfrange i, la longueur d'onde λ, la distance D entre les fentes et l'écran, et l'écart b entre les fentes dans le dispositif d'Young est donnée par l'une des formules suivantes. En raisonnant sur les unités, indiquer celle qui est correcte.
a) $i = \lambda\, D\, b$;
b) $i = \frac{\lambda D}{b}$;
c) $i = \frac{\lambda D}{b^2}$;
d) $i = \frac{b}{D\lambda}$.

Exercice B : Entraînement des spationautes

Les spationautes doivent subir un entraînement intense afin de se préparer aux conditions extrêmes qu'ils subiront lors de leurs missions. L'objet de l'exercice est d'étudier comment on peut reproduire deux situations extrêmes : l'impesanteur et l'hypergravité.

Partie 1 : Impesanteur lors des vols dits « 0 g » à bord de l'airbus A310 ZÉRO-G

L'impesanteur qui accompagnera le spationaute tout au long de sa mission à bord de l'ISS (*International Space Station*) peut être atteinte pour quelques secondes dans des vols paraboliques.

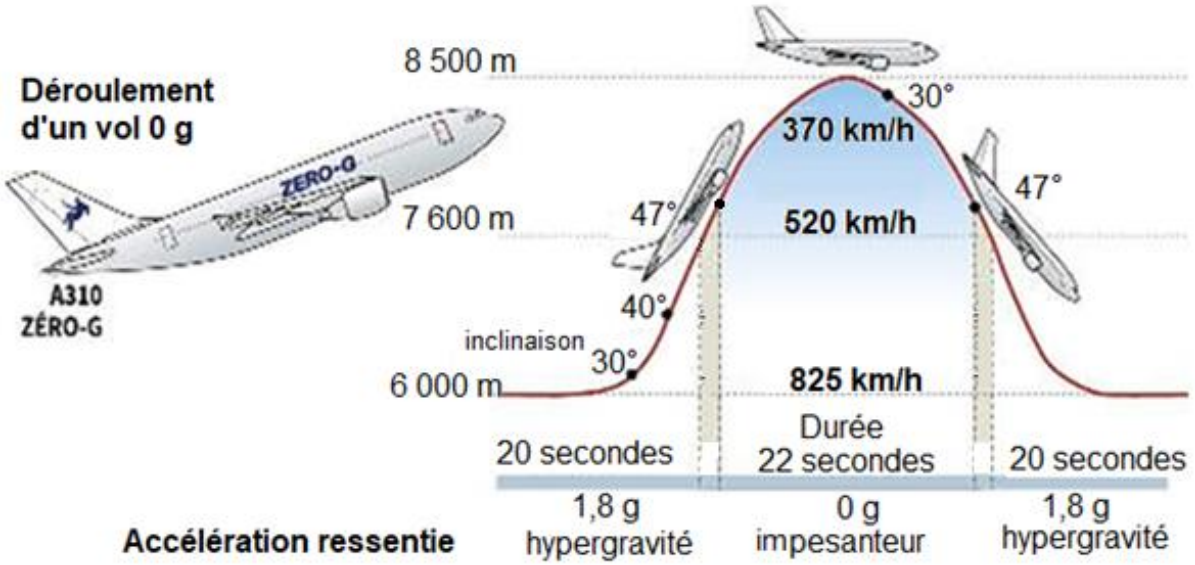


Figure 1 : Vol parabolique d'après Novespace / CNES

Alors que l'avion est en pleine ascension, trois pilotes vont agir simultanément sur leurs commandes respectives afin de placer l'appareil sur sa trajectoire balistique. Cette phase s'appelle « l'injection ». L'appareil décrit ensuite une parabole, son mouvement peut être alors assimilé à une chute libre pendant une durée de 22 s. Il en est de même pour les passagers et les instruments placés à bord.

D'après la plaquette « *Les vols paraboliques* » disponible sur jeunes.cnes.fr

Données

- Intensité de la pesanteur g = 9,8 m·s^{-2}
- Altitude du début et de la fin de la parabole : h_0 = 7,8 km
- Altitude maximale atteinte lors de la parabole : h_{max} = 8,5 km
- Angle entre la vitesse de l'airbus A310 en début de parabole $\vec{v}_0$ et l'horizontale : β = 47°
- Norme de cette vitesse par rapport au sol : v_0 = 520 km·h^{-1}

1. Préciser dans quelle condition un objet est en chute libre.

Pour la suite de l'exercice, le début de la parabole sera considéré comme l'origine des dates. L'avion sera assimilé à un point matériel. L'étude sera réalisée dans le référentiel terrestre supposé galiléen. L'altitude 0 correspond au niveau de la mer.

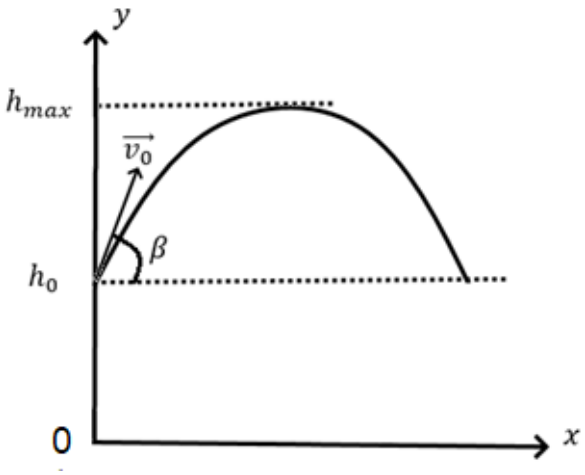


Figure 2 : trajectoire de l'airbus ZÉRO-G dans le référentiel d'étude

2. Montrer, en appliquant la deuxième loi de Newton, que les coordonnées du vecteur vitesse $\overrightarrow{v}(t)$ de l'airbus ZÉRO-G lors de phase parabolique sont :

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos\beta \\ v_y(t) = -g\,t + v_0 \sin\beta \end{cases}$$

3. Déterminer l'expression de t_s, date pour laquelle l'altitude est maximale lors du vol parabolique en fonction de v_0, β et g.

4. Calculer la valeur de t_s et la comparer à la durée de la phase parabolique.

Partie 2 : Centrifugeuse 20 g de la Nasa

Les centrifugeuses permettent d'accéder à des accélérations très grandes par rapport à l'intensité de la pesanteur telles que les spationautes pourront rencontrer lors des phases de décollage ou de retour sur Terre.



Figure 3 : Centrifugeuse 20 g d'après : NASA / Dominic Hart

Données :

- Distance entre l'axe de rotation et le spationaute assimilé à son centre de masse : R = 8,84 m
- Vitesse de rotation maximale : 50 tours par minute

5. Donner l'expression des composantes du vecteur accélération du spationaute dans la base de Frenet.

Par la suite, le mouvement du spationaute dans la cabine sera supposé circulaire uniforme, sa vitesse sera notée v. D'autre part, on ne tiendra pas compte de la force gravitationnelle.

6. Déterminer la vitesse de rotation en tours par minute qui permet d'atteindre une accélération égale à 10 g pour le spationaute.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.