



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE

EDE MEC 2

SESSION 2018

**CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP CORRESPONDANT**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : INGÉNIERIE MÉCANIQUE

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION**

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDE	1414E	102	7048

► **Concours externe du CAFEP/CAPET de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDF	1414E	102	7048

Ce sujet comporte deux parties :

- le sujet, pages 2 à 15 ;
- les documents techniques pages 16 à 22.

Robot déambulateur Walk-E

Présentation du déambulateur Walk-E et de son contexte



Figure 1 – Évolution de la marche chez les personnes âgées et maquette 3D du déambulateur Walk-E

Contexte et public visé

La difficulté à marcher est fréquente chez les personnes âgées. Les troubles de la marche peuvent se traduire par un équilibre précaire et un ralentissement de la vitesse de marche.

En raison de douleurs, l'initiation des mouvements peut être freinée. La lenteur et l'instabilité posturale peuvent engendrer des pertes d'équilibre. L'aisance du mouvement est perdue.

Ces troubles engendrent des chutes de plus en plus fréquentes, donc une mobilité réduite et une sécurité compromise pendant les déplacements. C'est une perte d'autonomie qui concerne un pourcentage important de la population et les recherches actuelles portent sur des systèmes pouvant restaurer une part de l'autonomie perdue.

L'objectif de la conception du déambulateur Walk-E est de retarder la perte d'autonomie, en jouant un rôle d'assistance à la marche. Ce système doit compenser les instabilités posturales en agissant sur l'utilisateur par un mouvement adéquat.

Les instabilités posturales étant connues et caractérisées, il reste à définir les réponses du déambulateur aux perturbations de la marche de l'utilisateur pour éviter le blocage ou la chute.

Le système doit être adapté à l'utilisation par le public visé (environnement, temps de réaction...).

De ce contexte se dégage une problématique centrale :

Comment assister une personne à mobilité réduite dans son déplacement debout afin de lui permettre une plus grande autonomie ?

Déambulateur Walk-E

Le système étudié est un prototype de robot déambulateur d'assistance à la marche, développé au sein de l'équipe AGATHE (Assistance aux Gestes et Applications THERapeutiques) de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR) de Paris.

Les améliorations proposées par rapport aux autres modèles de déambulateurs présents sur le marché sont principalement :

- une meilleure stabilité posturale du patient ;
- une meilleure mobilité en permettant l'augmentation de la vitesse de marche et l'allongement de la longueur du pas.

Le robot déambulateur Walk-E doit satisfaire les exigences présentées ci-après. Elles ont été recensées et formulées conjointement par des praticiens hospitaliers et l'équipe de recherche, chaque corps de métier ayant une vision différente des contraintes inhérentes à l'assistance des personnes.

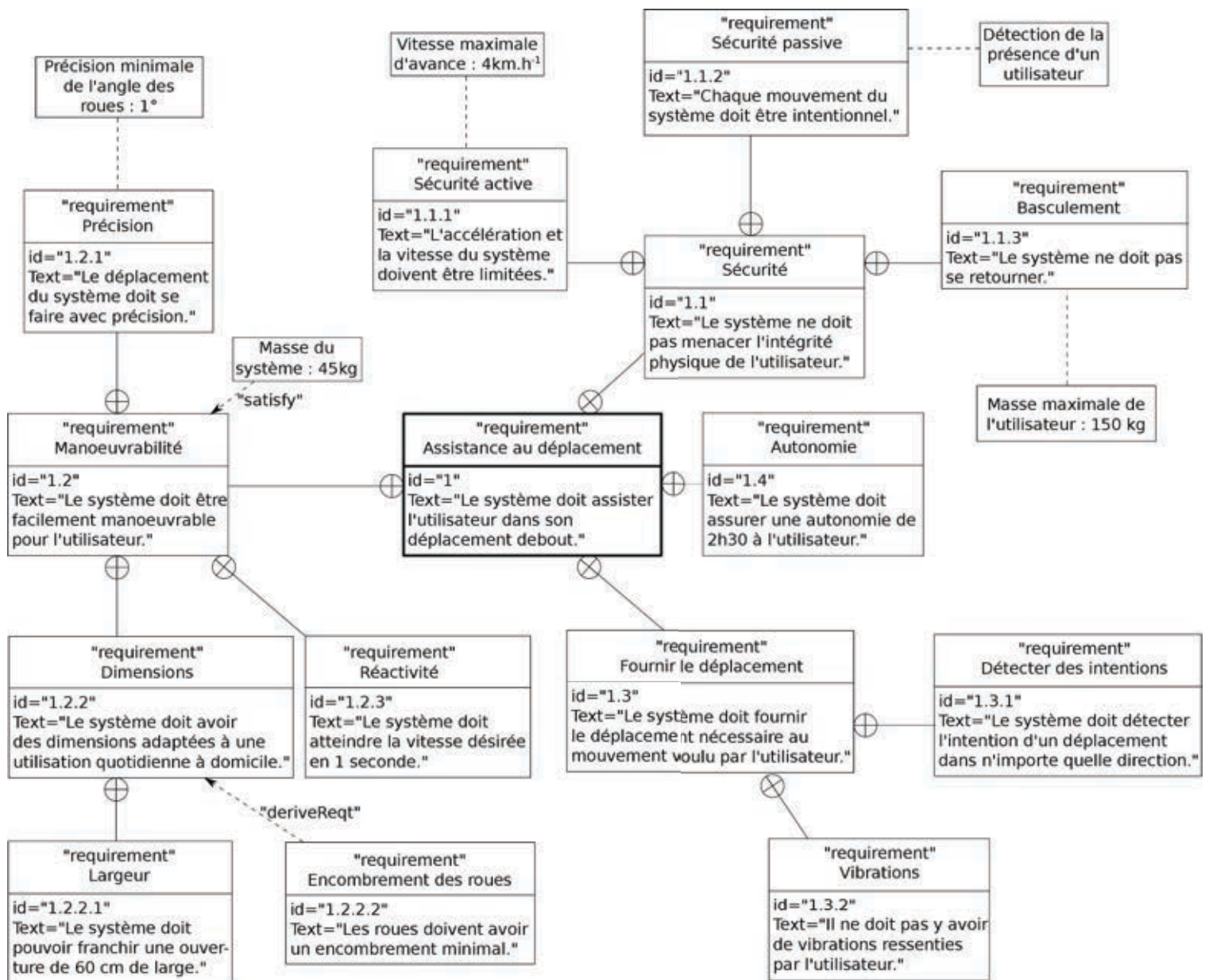


Figure 2 – Extrait du diagramme des exigences du déambulateur Walk-E

1. Analyses préliminaires : physiologie de la marche et déambulateurs existants

Objectif : appréhender le contexte pour comprendre les enjeux.

Les photos de la figure 3 présentent les deux types de déambulateurs les plus couramment utilisés aujourd'hui. Pour assurer leur fonction d'aide à la marche, les déambulateurs doivent apporter une stabilité supplémentaire tout en étant manœuvrables.

Par définition, la manœuvrabilité est la capacité du robot déambulateur à bouger dans toutes les directions, et ce de façon « aisée » pour l'utilisateur. La stabilité est la capacité du robot déambulateur à ne pas se renverser et à ne pas basculer.



Figure 3 – De gauche à droite : déambulateur à plots et déambulateur à roues et freins

Lors de l'utilisation d'un déambulateur à plots, l'utilisateur démarre les pieds côte à côte, soulève le déambulateur pour l'avancer, avance à son tour et ainsi de suite. Un déambulateur à roues et freins se met donc en mouvement dès qu'il subit un effort non vertical où qu'il se trouve sur un sol incliné. L'utilisateur doit freiner pour le contrôler.

Question 1. Indiquer et justifier de façon succincte si les exigences :

- 1.2 (le système doit être facilement manœuvrable pour l'utilisateur) et 1.2.1 (le déplacement du système doit se faire avec précision) sont respectées pour le déambulateur à plots ;
- 1.1.1 (l'accélération et la vitesse du système doivent être limitées), 1.1.2 (chaque mouvement du système doit être intentionnel) et 1.2.1. (le déplacement du système doit se faire avec précision) sont respectées pour le déambulateur à roues et à freins.

Le robot déambulateur Walk-E se veut une amélioration des déambulateurs déjà présents sur le marché. Il doit pour cela conserver la manœuvrabilité déjà proposée tout en palliant les déficiences des modèles existants.

Une première étude, concernant la manœuvrabilité, porte sur les roues à choisir pour diriger le déambulateur Walk-E conformément au cahier des charges. Les roues choisies pour ce robot sont les roues orientables centrées (cf. DT1).

Question 2. Expliquer, à partir du document technique DT1 et de l'exigence 1.2.2.2 (les roues doivent avoir un encombrement minimal), pourquoi ces roues ont été choisies.

Pour la phase de conception préliminaire, deux paramètres n'ont pas été pris en compte : le prix et la fiabilité de la fabrication des roues.

Question 3. Pour quelle(s) raison(s) ces paramètres n'ont-ils pas été pris en compte ? Le cas échéant, dans quelle phase le sont-ils ?

Le robot déambulateur Walk-E est composé de deux roues orientables centrées et motrices directrices (aux points B et C) et de deux roulettes libres en pivotement (aux points A et D). Le point C_m est la projection au sol du centre de gravité de l'utilisateur ; le point C_r est le centre instantané de rotation du déambulateur Walk-E par rapport au sol lors du virage. Les schémas de la figure 4 présentent plusieurs positions du centre de gravité de l'utilisateur : lors d'une avance en ligne droite et lors d'un virage.

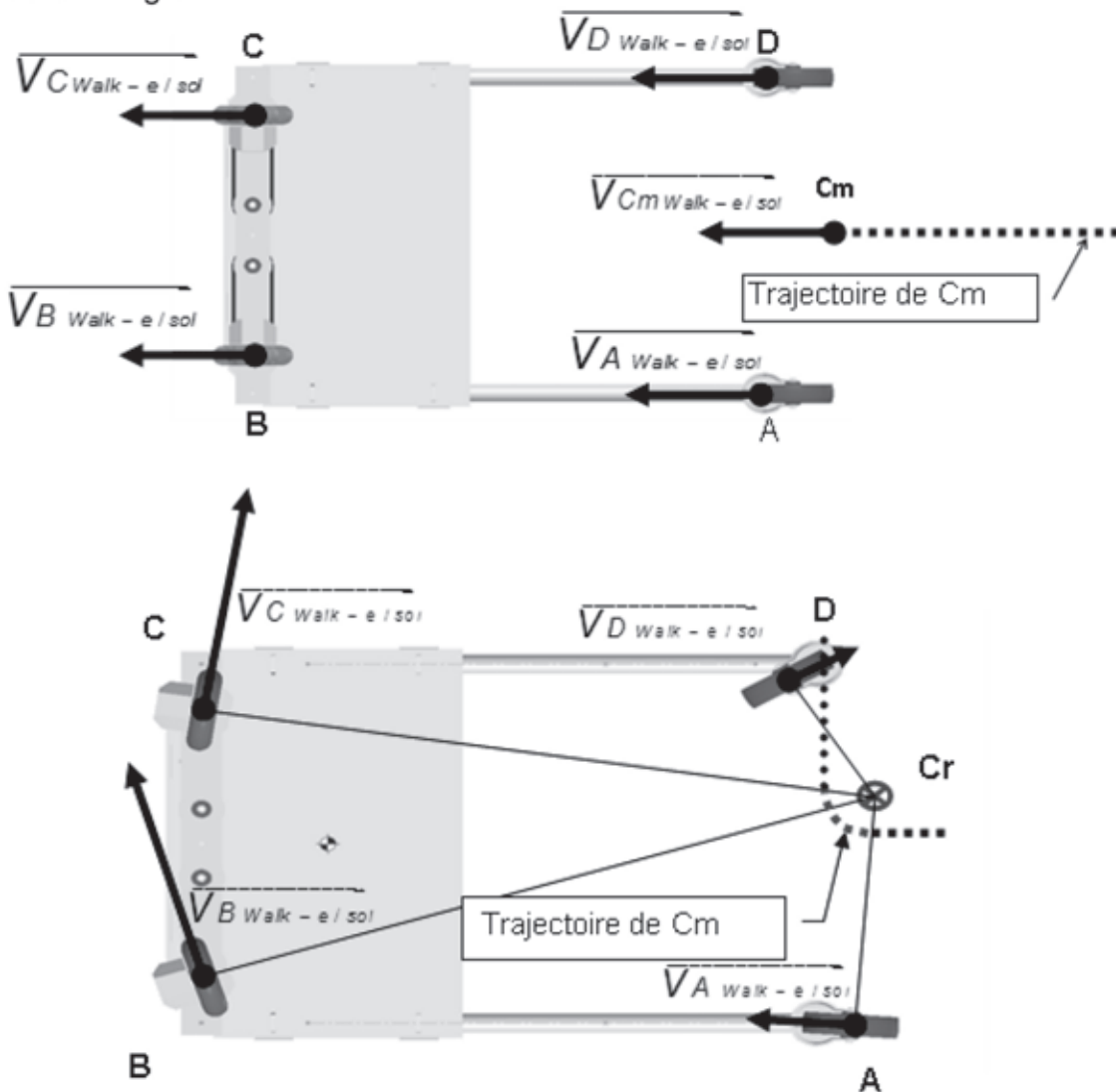


Figure 4 – Schémas en vue de dessus du déambulateur Walk-E en avance en ligne droite (figure du haut), et pendant un virage (figure du bas)

Question 4. En justifiant les tracés de la figure 4, **expliquer**, en quelques phrases, pourquoi un déambulateur à deux roues motrices fixes en direction ne permet pas la manœuvrabilité qu'offrent les deux roues motrices directrices actuelles.

Le laboratoire de recherche a fait le choix d'améliorer la manœuvrabilité des déambulateurs existants en concevant un déambulateur dont certaines tâches sont automatisées. Un grand nombre de composants électroniques et mécaniques est alors nécessaire. Or son envergure, son poids, ses mouvements peuvent être une source d'inquiétude pour un utilisateur déjà en manque de confiance dans ses déplacements.

Apparaît alors une problématique supplémentaire :

« Comment concevoir un robot déambulateur d'assistance à la marche qui permette d'améliorer la confiance de l'utilisateur pendant son déplacement ? »

La partie 2 portera sur la résistance d'une pièce du système.

La partie 3 portera sur la commande du système.

La partie 4 permettra d'étudier des paramètres du Walk-E permettant de ne pas gêner la marche de l'utilisateur (puissance fournie, anticipation des mouvements de l'utilisateur).

La partie 5 conclura l'ensemble du travail pour obtenir une vision globale de la démarche menée et de la conception du déambulateur Walk-E.

2. Détérioration du système due aux efforts de l'utilisateur

Objectif : dimensionner les axes de roues avant pour résister aux efforts du patient.

L'utilisateur, par réflexe, va se retenir au déambulateur, si en raison de son instabilité il trébuche et commence à s'effondrer. Lors d'essais, il a été remarqué que certains éléments structurels peuvent être amenés à s'endommager. Les axes des roues motrices, qui doivent supporter le poids du système et les efforts extérieurs qui leurs sont appliqués, sont les plus sollicités.

Pour modéliser de façon simple les efforts engendrés lors de cette situation, on considèrera deux phases successives, le déambulateur Walk-E restant immobile par rapport au sol.

Première phase : chute verticale du corps de l'utilisateur de 10 cm (mesuré lors d'un essai filmé). On considère alors que l'action du déambulateur sur les mains est inexistante. L'action du sol sur les membres inférieurs (due au réflexe de raidissement des muscles des jambes) est équivalente à un effort vertical constant de norme égale à la moitié du poids de l'utilisateur.

Deuxième phase : arrêt brutal de cette chute au moment où l'utilisateur se retient avec ses mains sur le déambulateur. Il est fait alors les hypothèses suivantes :

- le déambulateur Walk-E ne se déplace pas ;
- la décélération verticale de l'utilisateur lors de cet arrêt brutal dure 0,1 s ;
- les mains de l'utilisateur se situent sur les poignées ;
- la masse du déambulateur m vaut 45 kg et son centre de gravité est noté G ;

- la masse de l'homme m_h est de 150 kg (valeur maximale) et son centre de gravité est noté G_h ;
- l'action du sol sur les membres inférieurs est identique à celle de la première phase.

Sur la figure 17 du DT2, le plan (G, \vec{y}, \vec{z}) est plan de symétrie pour le système Walk-E ; l'effort de l'utilisateur sur le système F_H est vertical et est ramené au point H.

Question 5. Justifier que l'hypothèse du plan de symétrie (G, \vec{y}, \vec{z}) peut être utilisée pour une étude de dynamique.

Question 6. En appliquant le principe fondamental de la dynamique à l'utilisateur lors de la première phase, **déterminer** l'expression de la vitesse $\vec{V}_{(G_h \leftarrow \text{utilisateur} / \text{sol})}$, puis vérifier que la vitesse atteinte à la fin de la chute est proche de 1 m/s.

Question 7. En déduire la valeur de la décélération de l'utilisateur lors de la deuxième phase. On note cette décélération a_d .

Question 8. En déduire, toujours lors de la deuxième phase, la valeur de l'effort F_H qu'exerce le déambulateur sur les mains de l'utilisateur au point H. Le théorème devra être clairement énoncé et le solide (ou ensemble de solides) isolé précisé.

Question 9. Faire le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées au système Walk-E, en utilisant une écriture vectorielle ou torsielle, en supposant qu'il n'y a pas de frottement entre les roues et le sol (points I et J figure 17).

Question 10. Déterminer l'effort du sol sur chacune des roues motrices. Le théorème utilisé devra être clairement énoncé et le solide isolé précisé.

L'axe des roues avant est la pièce la plus fragile du système. Une extrémité de l'axe est montée serrée dans le bâti tandis que deux roulements à billes (un après l'épaulement et un à l'autre extrémité de l'axe) créent la liaison pivot avec la roue (cf. DT2).

Afin d'éviter tout risque, il a été décidé de surdimensionner l'axe en prenant le cas extrême dans lequel l'effort $F_{\text{avant} \rightarrow \text{sol}}$ du sol sur l'axe est uniquement transmis par le roulement en bout d'axe et une seule des deux roues avant supporte l'effort avant. L'axe d'une roue avant peut être modélisé comme une poutre. La modélisation retenue est présentée sur la figure 19 du document technique DT5.

Question 11. Justifier la modélisation retenue en termes de liaisons et de chargement. À quelle sollicitation est soumis l'axe ?

Question 12. Montrer, à l'aide du document technique DT5, que $\sigma_{\max} = 32 \frac{Rl}{\pi d^3}$.

Faire l'application numérique avec $R = 310 \text{ N}$.

Pour évaluer la répercussion de cet effort, une simulation par éléments finis à l'aide d'un modeleur volumique a permis d'obtenir les résultats de la figure 5.

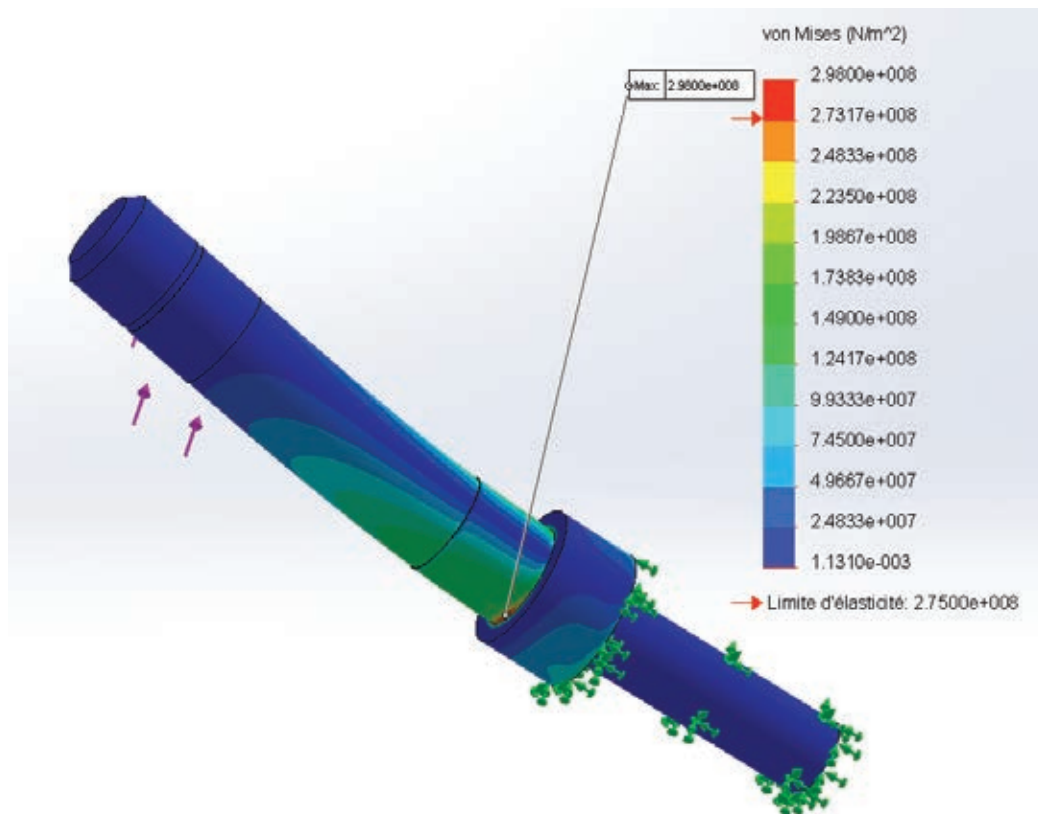


Figure 5 – Résultats sous modèle volumique d'une simulation des efforts sur l'axe des roues avant

Question 13. Relever la contrainte maximale obtenue avec la simulation. **Déterminer** si cette contrainte engendre des déformations réversibles ou non réversibles.

Question 14. Proposer une explication de la différence de contraintes maximales entre les deux modèles (poutre et éléments finis).

Question 15. Quel paramètre faut-il modifier pour satisfaire au critère de limite élastique ?

3. Développement d'une commande adaptée à la manœuvrabilité

Objectif : déterminer les contraintes à prendre en compte pour développer une commande du déambulateur Walk-E adaptée au cahier des charges.

Les documents techniques DT2 et DT3 présentent les chaînes de transmission mécanique permettant de mettre en mouvement le déambulateur Walk-E. Ces chaînes sont actionnées par des moteurs, eux-mêmes pilotés par une commande.

3.1. Étude de la composition des chaînes de transmission de mouvement

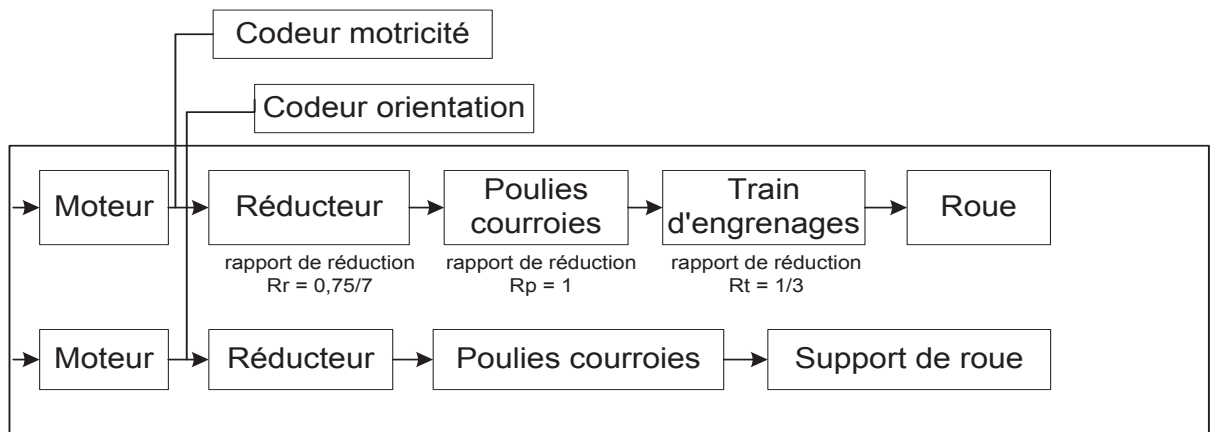


Figure 6 – Schématisation partielle des chaînes de transmission, d'orientation et acquisition

Question 16. Quel est le rôle des moteurs RE50 et RE25, et des deux codeurs ?

Question 17. À partir de la figure 16 du DT2, et sachant que $Z_a = Z_b$, vérifier par le calcul le rapport de réduction, noté R_r , du train d'engrenages donné dans la figure 6.

Question 18. D'après le document technique DT3, déterminer la résolution angulaire du codeur motricité en degré par nombre d'impulsions. En déduire la résolution angulaire obtenue au niveau de la rotation de la roue grâce à ce codeur. Conclure quant au respect de l'exigence 1.2.1 (le déplacement du système doit se faire avec précision).

Deux types de commande existent pour piloter les systèmes robotisés : la commande en impédance – déplacement en entrée et effort en sortie – et la commande en admittance – effort en entrée et déplacement en sortie. Cette dernière commande permet une réduction de la masse apparente du système, c'est-à-dire que l'utilisateur ne ressent qu'un pourcentage de la masse réelle du système quand il le manipule.

3.2. Commande en admittance

L'utilisateur appliquant un effort au système pour se déplacer, et pour faciliter la manœuvrabilité (masse apparente réduite), c'est la commande en admittance qui a été retenue. Un schéma-bloc la représentant est donné sur la figure 7.

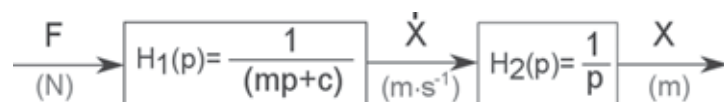


Figure 7 – Schéma bloc de la commande en admittance

L'entrée est F , effort appliqué au système par l'utilisateur.

La sortie est X , déplacement du système par rapport au sol.

La variable intermédiaire est \dot{X} (dérivée de X par rapport au temps), vitesse du

système par rapport au sol.

Les blocs contiennent $H_1(p)$ et $H_2(p)$, fonctions de transfert entre, respectivement, les variables F et \dot{X} ; et \dot{X} et X .

m est la masse apparente du système ($m = 11,5$ kg).

c est l'amortissement modélisant le système ($c = 200$ N·s·m⁻¹).

p est la variable de Laplace.

Question 19. Calculer la constante de temps de la fonction de transfert $H_1(p)$. En déduire comment le système réagit quand l'utilisateur lui applique un effort important et brusque. Ce comportement semble-t-il acceptable vis-à-vis de l'exigence 1.1 (le système ne doit pas menacer l'intégrité physique de l'utilisateur) ? Et vis-à-vis de l'exigence 1.1.1 (l'accélération et la vitesse du système doivent être limitées) ?

Question 20. Déterminer, d'après la documentation du constructeur des moteurs (DT3) et les informations sur la chaîne de transmission (DT2 et figure 6), la vitesse maximale du déambulateur Walk-E en ligne droite. Conclure vis-à-vis de l'exigence 1.1.1 (l'accélération et la vitesse du système doivent être limitées).

Le système a été testé avec plusieurs personnes âgées. Il a été remarqué que, de façon assez courante, ces utilisateurs se crispent. Ceci engendre une augmentation soudaine de F , et le système se met alors à vibrer. L'exigence 1.3.2 (il ne doit pas y avoir de vibrations ressenties par l'utilisateur) n'est plus satisfaite. Il a été décidé que l'entrée de la commande se ferait finalement par l'acquisition vidéo de la position souhaitée par l'utilisateur, notée X_e . La commande est donc modifiée, selon le schéma de la figure 8.

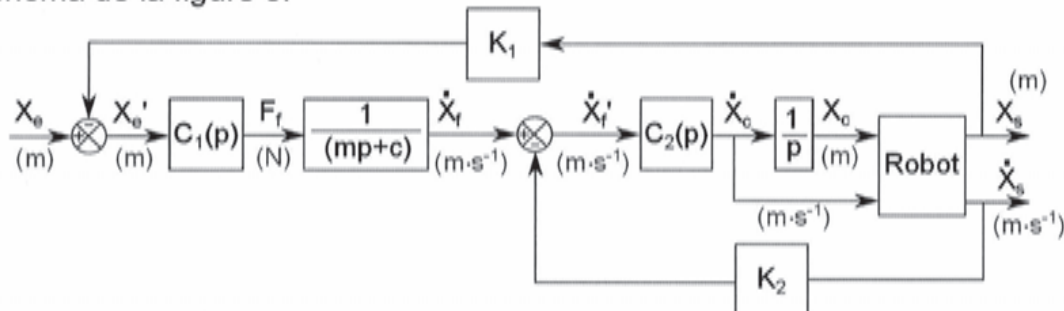


Figure 8 – Schéma bloc de la commande en position

L'effort F n'est plus la consigne de la commande : c'est maintenant la position X_e . L'effort F_f est calculé à partir du déplacement désiré X_e et du bloc $C_1(p)$. Pour valider cette commande, les courbes de la figure 9 permettent de comparer les résultats des deux commandes.

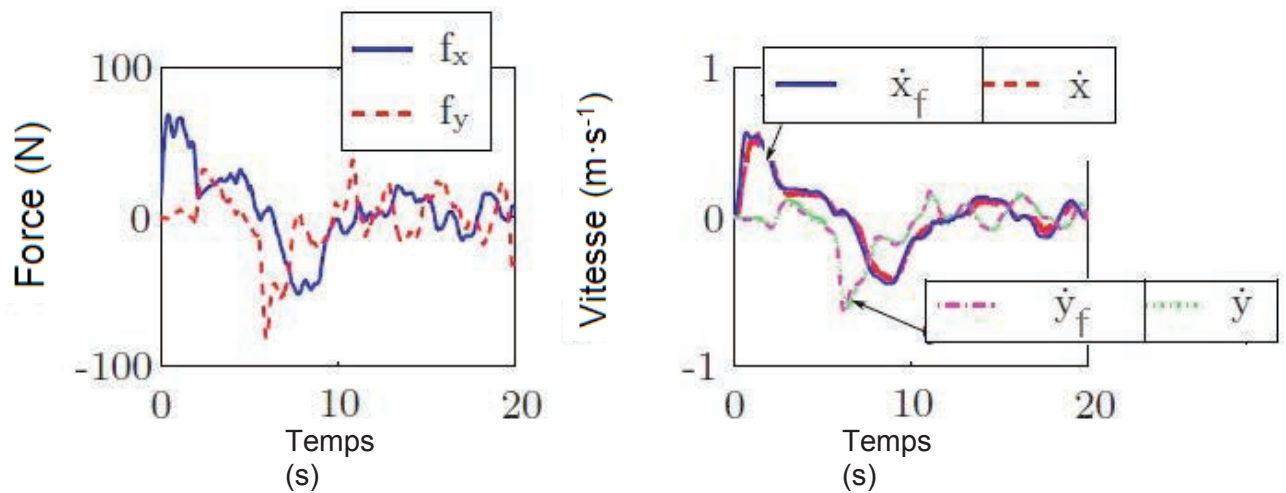


Figure 9 – À gauche : efforts mesurés sur les poignées du système, selon les axes \vec{x} et \vec{y} . À droite : vitesses envoyées au système selon les efforts mesurés (\dot{x} et \dot{y}) et les efforts calculés (\dot{x}_f et \dot{y}_f).

Question 21. Comparer l'allure des courbes \dot{X}_f et \dot{X} ainsi que celles de \dot{Y}_f et \dot{Y} de la figure 9 ; puis comparer avec celles de f_x et f_y pour valider la nouvelle commande. Les exigences 1.2.1 (le déplacement du système doit se faire avec précision) et 1.3.2 (il ne doit pas y avoir de vibration ressentie par l'utilisateur) sont-elles respectées ?

La commande schématisée dans la figure 8 présente aussi deux chaînes de retour (avec pour fonction de transfert K_1 et K_2). Des comparateurs font le lien entre la sortie de chaque chaîne de retour et le reste du schéma-bloc.

Question 22. Expliquer en quoi ces chaînes de retour sont indispensables pour la commande du déambulateur Walk-E.

4. Non-perturbation de la marche

Objectif : vérifier que le déambulateur Walk-E est bien un système d'assistance à la marche ; il ne doit donc pas la perturber.

Une différence entre le déambulateur Walk-E et un autre déambulateur est l'automatisation de la tâche d'assistance à la marche. Le système a donc besoin d'une batterie embarquée pour engendrer et contrôler les déplacements.

Les moteurs, alimentés par la batterie, devront suppléer l'utilisateur dans la tâche demandant *a priori* le plus d'efforts : la mise en mouvement.

Enfin l'automatisation doit prendre en compte la réponse à apporter aux intentions de marche de l'utilisateur pour que le comportement du système semble le plus naturel à l'utilisateur.

4.1. Batterie embarquée

Il est nécessaire de fournir une autonomie suffisante pour les déplacements de l'utilisateur, tout en limitant la masse ajoutée au système (compromis entre la stabilité et la manœuvrabilité). La batterie du Walk-E, dont la masse est de 3 kg, alimente les moteurs. Par ailleurs, un tableau recensant des caractéristiques de différentes batteries est donné dans le document technique DT4.

Question 23. Calculer la puissance que la batterie doit fournir pour que tous les moteurs fonctionnent en continu à 50 % de leur puissance maximale, en vous aidant du DT3. En déduire le courant total absorbé par les moteurs du déambulateur en condition de fonctionnement nominal.

Question 24. La capacité de la batterie actuelle est de 7,2 A·h. **Calculer** le temps théorique de fonctionnement en autonomie T_{th} du déambulateur et conclure vis-à-vis de l'exigence d'autonomie 1.4. (le système doit assurer une autonomie de 2 h 30 à l'utilisateur).

Question 25. Déterminer quelle(s) technologie(s) pourrai(en)t remplacer l'actuelle, à masse équivalente, parmi celles présentées dans le tableau du document technique DT4.

4.2. Puissance développée par les moteurs de motricité RE 50 (voir DT3)

Lorsque l'utilisateur commence à marcher, le déambulateur ne doit pas être un frein ou une résistance. La puissance développée par les moteurs au démarrage doit donc être suffisante.

Question 26. Calculer l'énergie cinétique de l'ensemble {système, utilisateur} à l'arrêt et son énergie cinétique à la vitesse maximale d'avance en ligne droite (exigence 1.1.1). **En déduire** la puissance développée par les efforts auxquels est soumis cet ensemble qui doit atteindre la vitesse maximale en 1 s (exigence 1.2.3).

Question 27. Calculer le rendement de la chaîne de transmission du système représentée sur la figure 16 du DT2 en considérant un rendement de 0,98 par contact entre deux roues dentées.

Question 28. En considérant que la puissance précédemment déterminée à la question 26 est de 93 W et est équitablement répartie sur les deux roues, **en déduire** la puissance à développer par les moteurs. **Conclure** sur le choix des moteurs RE 50.

Anticipation des intentions de l'utilisateur

Le déambulateur Walk-E contient une caméra, cadre blanc sur la figure 10. La figure 11 présente des résultats d'acquisition de cette caméra. Il est donc possible de déterminer la position des pieds de la personne et donc le déplacement entre deux instants.



Figure 10 – Localisation de la caméra sur le déambulateur Walk-E

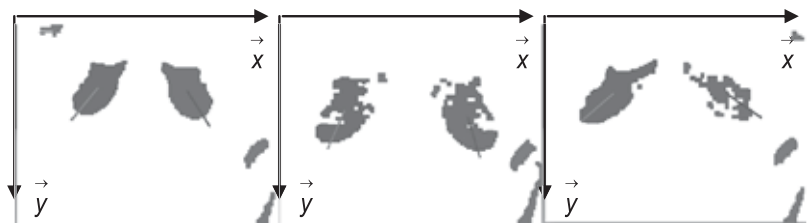


Figure 11 – Images des pieds de l'utilisateur, obtenues après traitement

La position des pieds obtenue via la caméra passe par une phase d'acquisition puis une phase de traitement. Pour valider cette phase, un ensemble de caméras extérieures au système a mesuré la position des pieds de l'utilisateur en même temps que la caméra embarquée. Les résultats comparatifs sont présentés sur les figures du document technique DT6.

Question 29. Commenter les écarts visibles sur les résultats du document technique DT6 entre les courbes obtenues par la caméra embarquée et celles de l'ensemble de caméras extérieures au système.

L'acquisition des coordonnées selon \vec{x} et \vec{z} est à optimiser pour pouvoir rendre compte avec précision des intentions de l'utilisateur. En particulier, les coordonnées selon \vec{x} pourraient renseigner sur l'intention de tourner.

Les coordonnées selon \vec{y} sont, elles, exploitables. Elles représentent le déplacement du pied de l'utilisateur dans le sens de la marche. La figure 12 en propose une exploitation (variables avec d en indice pour *désiré*).

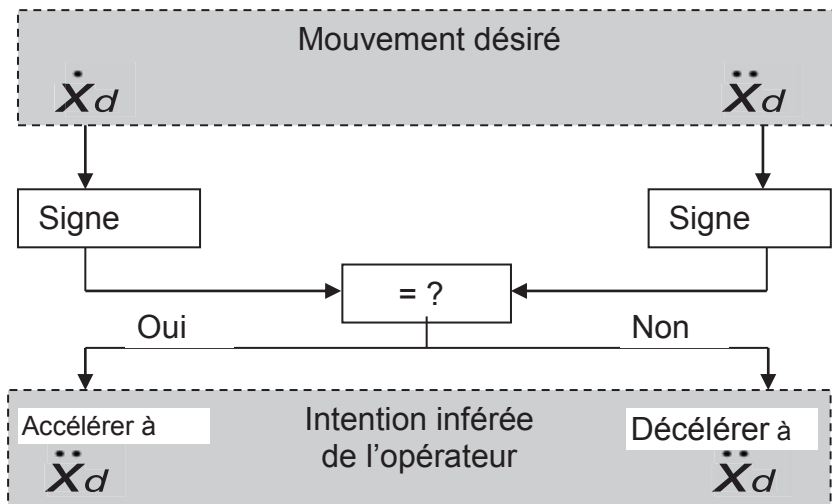


Figure 12 – Algorithme du codage de la commande du déambulateur Walk-E

Question 30. Indiquer comment obtenir \dot{X} et \ddot{X} puis **expliquer** l'algorithme de la figure 12.

Question 31. Conclure vis-à-vis de l'exigence 1.3.1 (le système doit détecter l'intention d'un déplacement dans n'importe quelle direction).

5. Synthèse

Question 32. En 100 mots maximum, **préciser** comment la démarche de l'ingénieur est appliquée pour l'étude menée le long de ce sujet et conclure sur la capacité du déambulateur Walk-E à répondre aux exigences.

Documents techniques



DT1. Types de roues

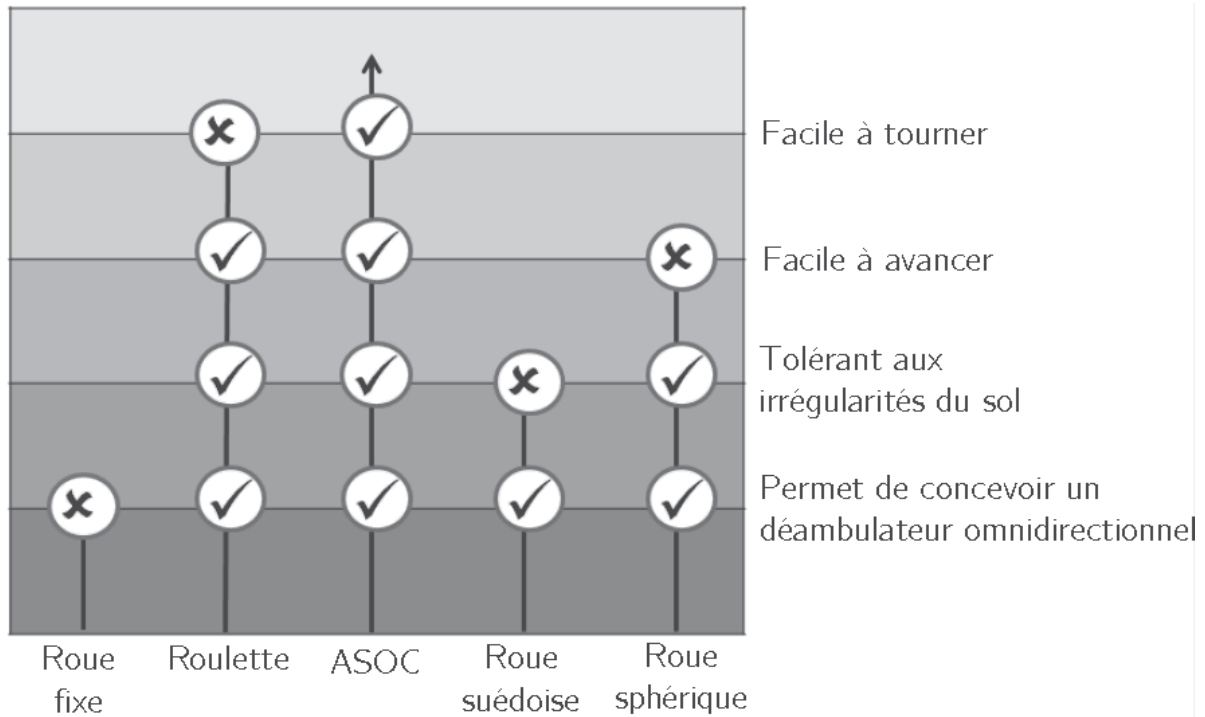


Figure 13 – Caractéristiques des types de roues utilisées pour les déambulateurs

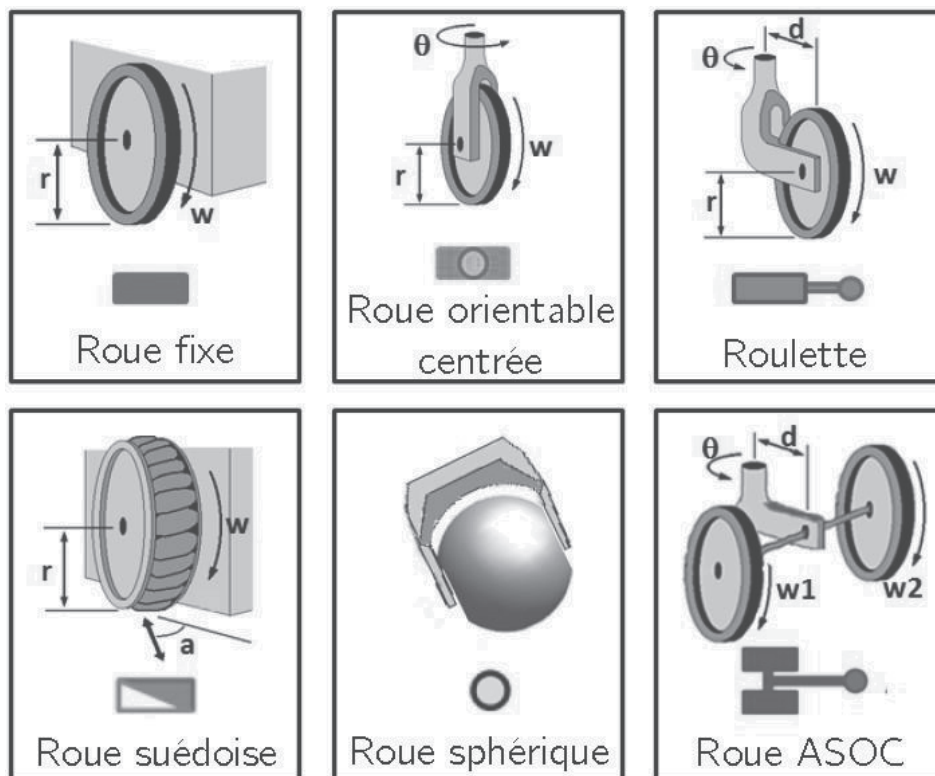


Figure 14 – Types de roues utilisées pour les déambulateurs. Toutes les images sont à la même échelle

DT2. Déambulateur Walk-E

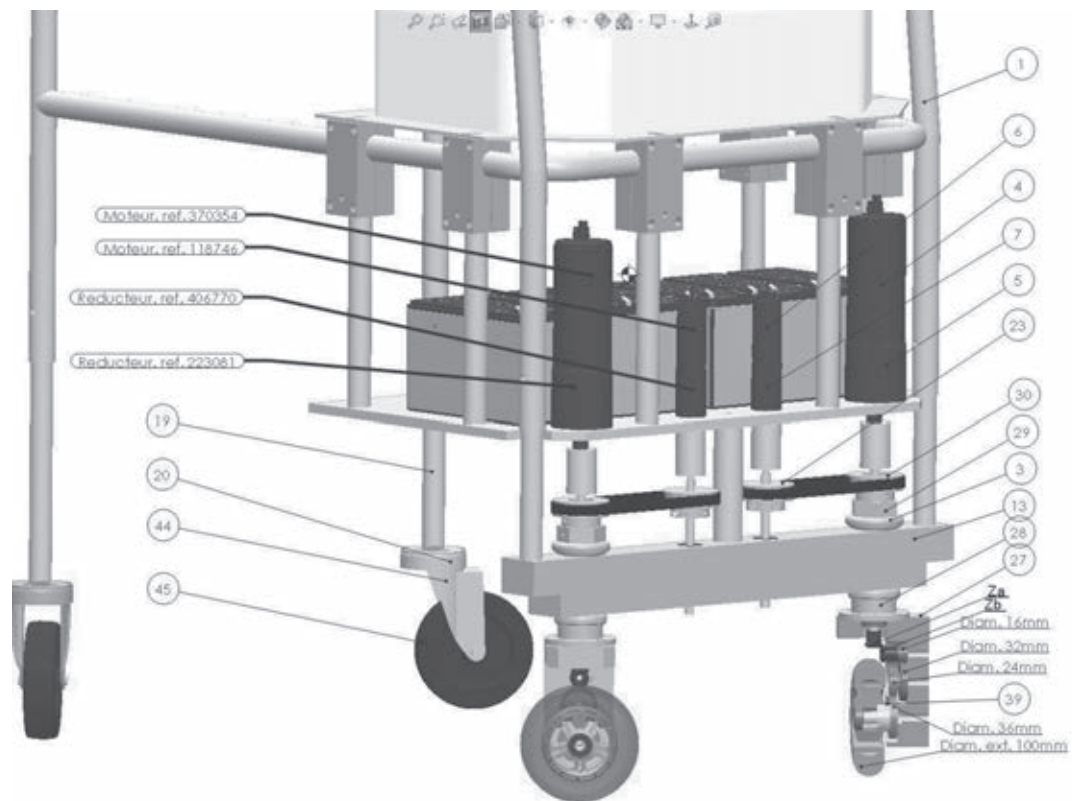


Figure 15 – Solution technologique de mise en mouvement et de contrôle de la direction

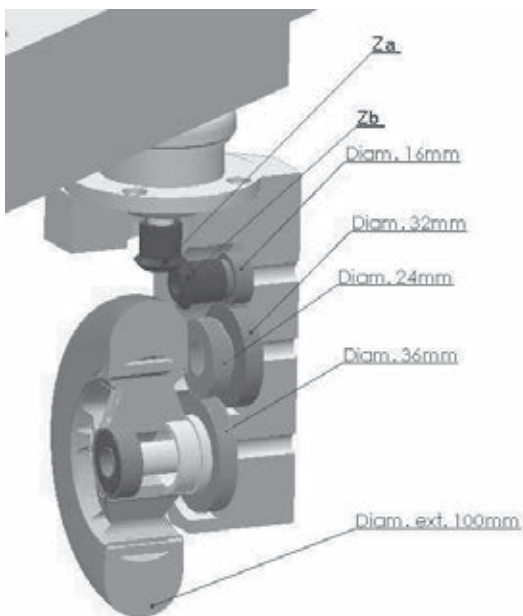


Figure 16 – Paramètres du train d'engrenages liant un moteur à une roue avant motrice (liaisons pivot des pignons avec le cadre non représentées)

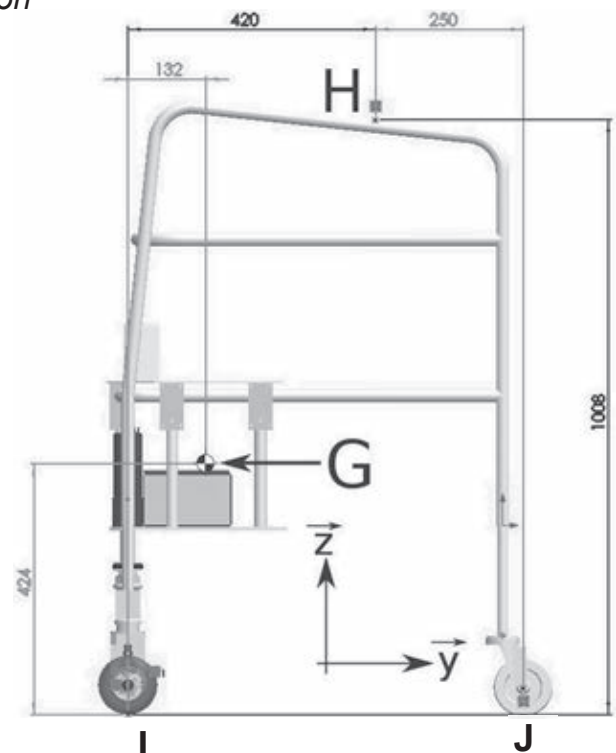


Figure 17 – Modélisation du déambulateur Walk-E sur modèleur volumique

DT3. Chaîne de transmission de puissance

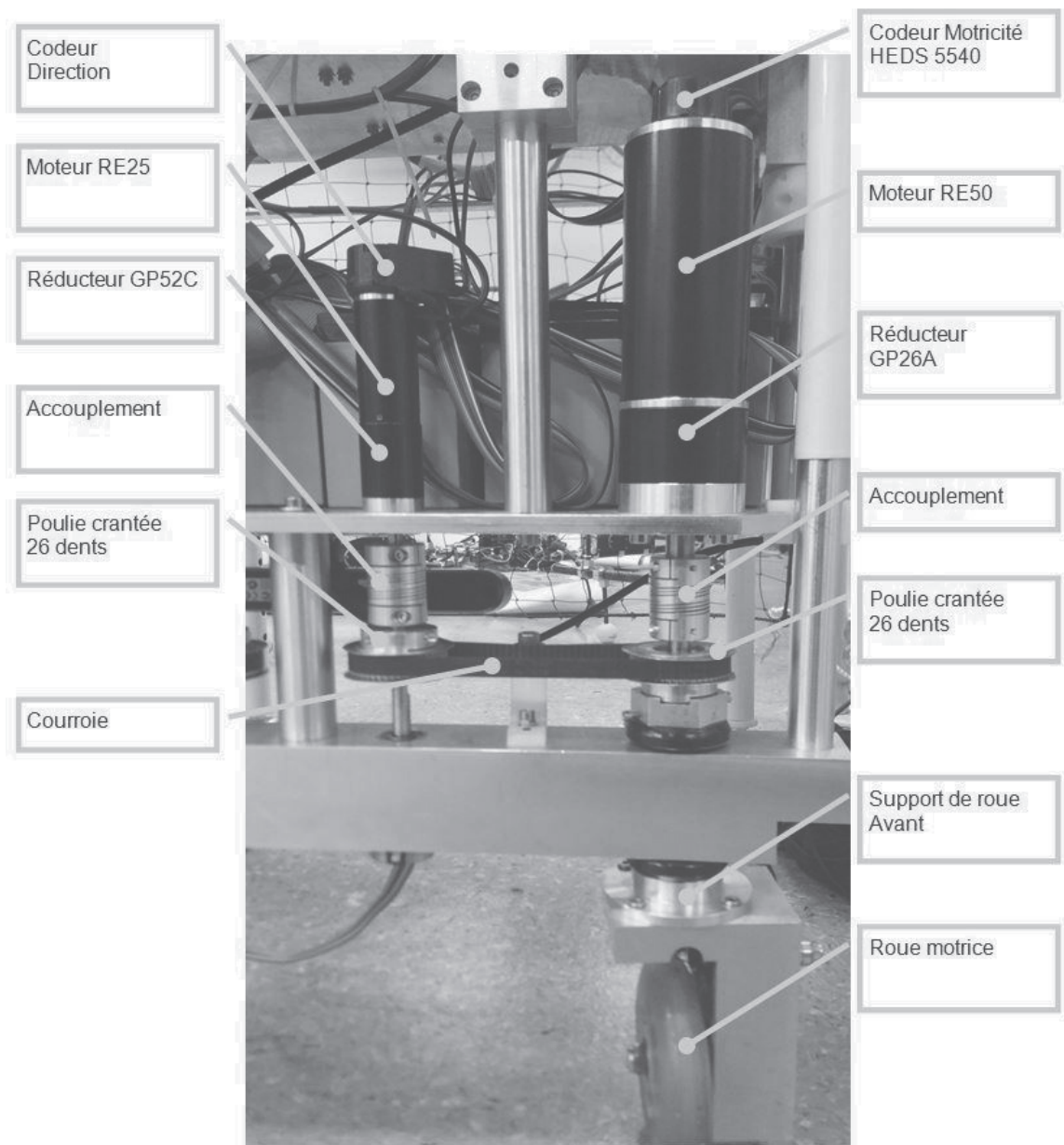
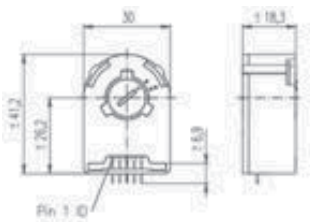


Figure 18 – Vue de face de la solution technologique retenue

Codeur HEDS 5540 500 CPT, 3 voies



Modèle	110511
Points par tour	500
Nombre de voies	3
Fréquence de fonctionnement maximale (kHz)	100
Vitesse maximale (tr/min)	12 000
Diamètre de l'arbre (mm)	3

Moteur RE 25, Brushless métal précieux CLL, 10 Watt

Données moteur \ Modèles	118742
Voltage nominal (V)	9
Vitesse à vide (tr/min)	5 320
Courant à vide (mA)	38.7
Vitesse nominale (tr/min)	4 220
Couple nominal (mN·m)	23,9
Courant nominal (A)	1,5
Couple de calage (mN·m)	119
Courant de calage (A)	7,31
Rendement max. (%)	86

Moteur RE 50, balais en graphite, 200 Watt

Données moteur \ Modèles	370357
Voltage nominal (V)	70
Vitesse à vide (tr/min)	2 760
Courant à vide (mA)	27.4
Vitesse nominale (tr/min)	2 470
Couple nominal (mN·m)	452
Courant nominal (A)	1,89
Couple de calage (mN·m)	4 340
Courant de calage (A)	17.9
Rendement max. (%)	92

DT4. Batterie embarquée

Type	Densité massique en Wh/kg	Puissance en pointe (massique) en W/kg	Durée de vie (nombre de recharges)	Auto-décharge par mois
Plomb/acide	30-50	700	400-1200	5 %
Ni-MH	60-110	900	1500	> 30 %
Ni-Zn	70-80	1 000	> 1000	> 20 %
Na-NiCl ₂	120	200	800	≥ 100 % (12 % / jour)
Li-ion	150-190	1 500	500-1 000	10 %
Li-Po	100-130	250	200-300	10 %
Li-PO ₄	120-140	800	2000	5 %

DT5. Modélisation poutre

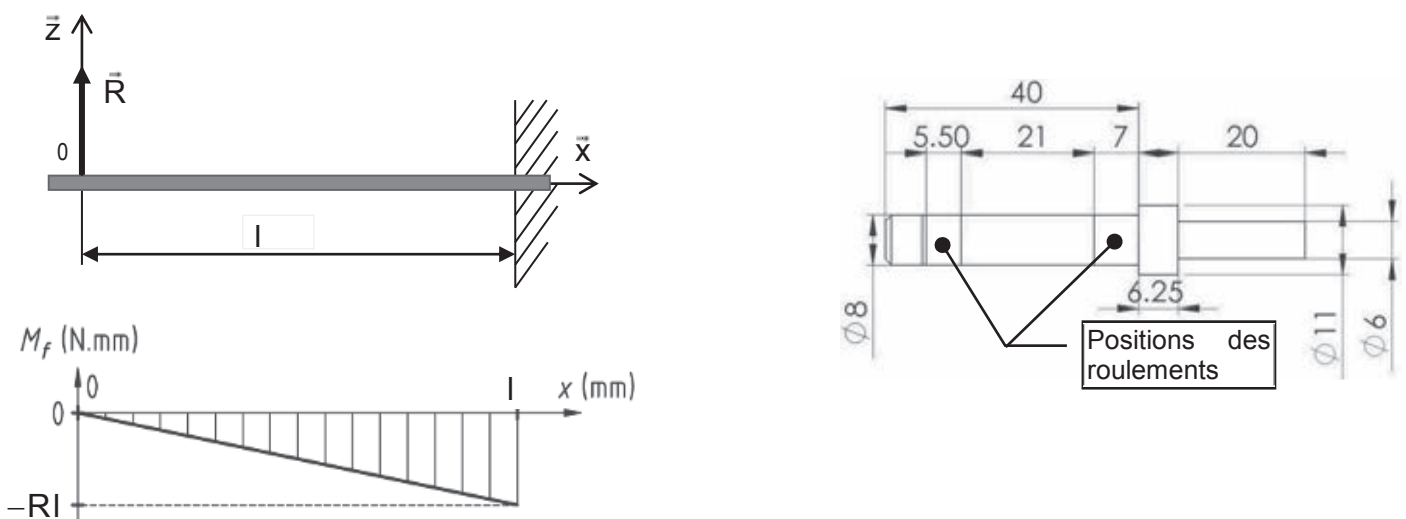


Figure 19 – Modélisation poutre et dimensions de l'axe d'une roue motrice

$$I_{Gz} = \frac{\pi d^4}{64}$$

Figure 20 – Moment quadratique cylindre plein.

DT6. Résultats des acquisitions caméras

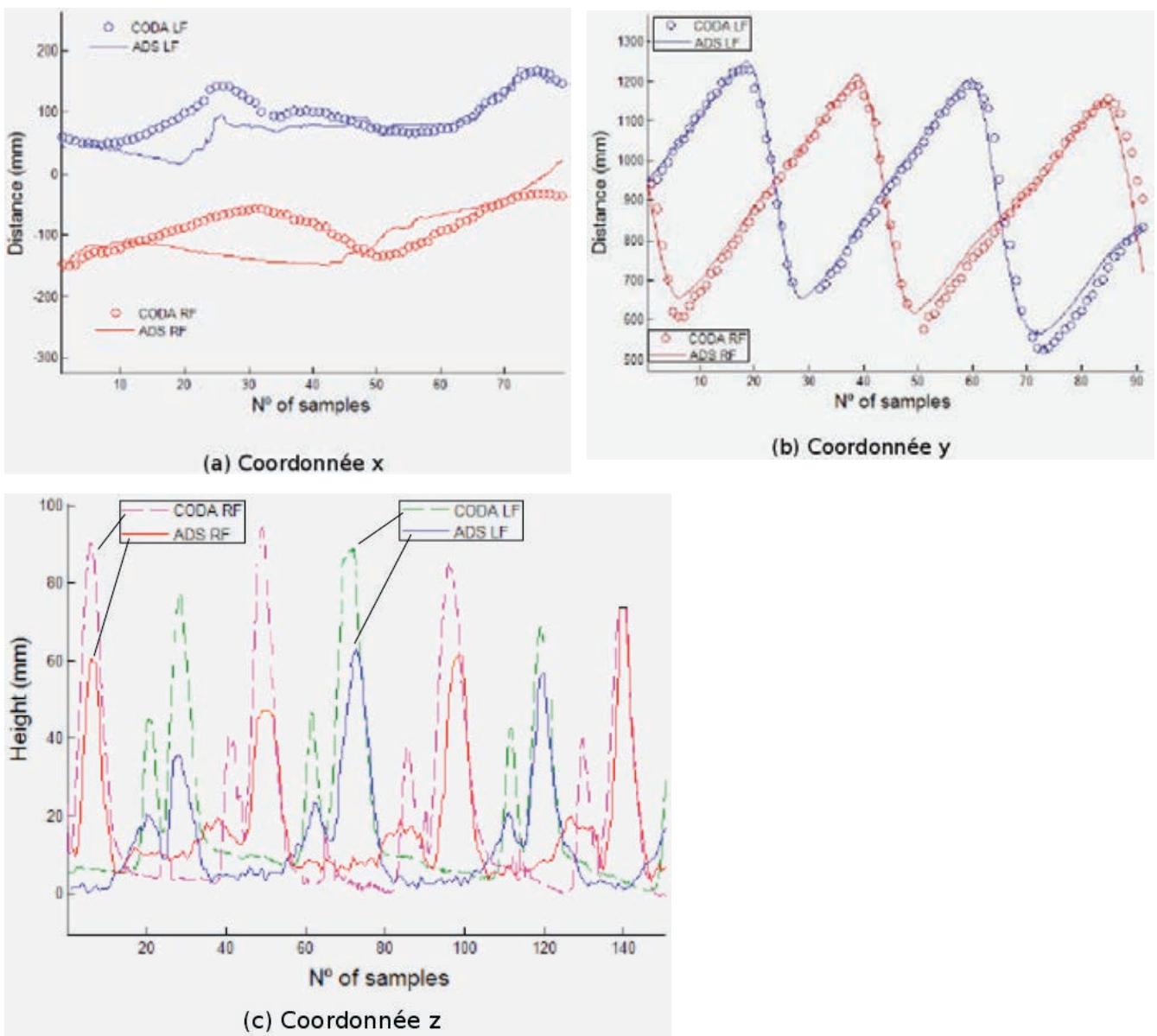


Figure 21 – Résultats d'acquisitions simultanées de la caméra embarquée sur le robot (ADS) et des caméras extérieures fixes par rapport au sol (CODA), pour une marche en ligne droite. LF : left foot. RF : right foot.

Les déplacements dans le plan du sol (\vec{x}, \vec{y}) sont donc présentés sur les figures a) et b), avec \vec{y} qui est selon la direction de la marche. \vec{z} est la normale au sol, les déplacements selon cet axe sont présentés sur la figure c).