

Session S5

Unité APP 1
Semaines 1 et 2

Éléments de statique et de dynamique

Département de génie électrique et de génie informatique
Faculté de génie
Université de Sherbrooke

Automne 2024

Copyright © 2024 Département de génie électrique et de génie informatique.
Université de Sherbrooke

Note : En vue d'alléger le texte, le masculin est utilisé pour désigner les femmes et les hommes.

Document S5_APP1_Guide etudiant.doc

Version précédente : 5 décembre 2022

Dernière version : 20 août 2024

Rédigé et mis à jour par Ahmed Khoumsi

Copyright © 2024 Département de génie électrique et de génie informatique. Université de Sherbrooke

Table des matières

1- Éléments de compétences visés par l'unité	4
2- ÉNONCE DE LA PROBLEMATIQUE	5
3- Connaissances nouvelles à acquérir par la résolution de cette problématique	7
3.1 Cinématique plane (2D) de particules et de corps rigides	
Connaissances déclaratives : QUOI	
Connaissances procédurales : COMMENT	
Connaissances conditionnelles : QUAND	
3.2 Statique et dynamique plane (2D), lois des forces et des moments de forces	
Connaissances déclaratives : QUOI	
Connaissances procédurales : COMMENT	
Connaissances conditionnelles : QUAND	
4- Références	8
Références essentielles à consulter	
5- Sommaire des activités liées à la problématique.....	9
Activités de la semaine 1	
Activités de la semaine 2	
6- Productions à remettre	9
7- Semaine 1 : Tutorat d'ouverture	9
Buts de l'activité	
8- Semaine 1 – Procédural 1	10
Buts de l'activité	
9- Semaine 1 – Laboratoire	12
Buts de l'activité	
10- Semaine 1 – Procédural 2	13
Buts de l'activité	
11- Semaine 2 : Validation pratique des éléments de solutions	15
Buts de l'activité	
12- Semaine 2 : Travail personnel de rédaction des productions exigées.....	15
13- Semaine 2 : Tutorat de fermeture : validation des connaissances acquises.....	15
14- Rapport d'APP	16
Contenu et évaluation	
15- Évaluation sommative.....	18
16- Évaluation de l'unité.....	19

1- Éléments de compétences et qualités visés par l'unité

1.1. Évaluation par compétences

Les deux éléments de compétences évalués dans l'APP se rapporte à l'activité pédagogique GEN441 sont les suivants :

1. Analyser les mouvements de particules ou de corps rigides en appliquant les lois de la cinématique. **1.1 crédit**
3. Résoudre des problèmes de statique et de dynamique de particules ou de corps rigides en appliquant les lois des forces et des moments de forces. **0.9 crédit**

1.2. Évaluation par qualités

Les deux qualités évaluées dans l'APP sont comme suit :

Qualité 1 : Connaissances en génie

- **Q1-1 : Utiliser les mathématiques pour modéliser et analyser un système physique**

Qualité 2 : Analyses de problèmes

- **Q2-1 : Modéliser un système physique**
- **Q2-2 : Analyser un modèle physique**

2- ÉNONCE DE LA PROBLÉMATIQUE

Vous venez d'être embauché comme ingénieur par l'entreprise CSD spécialisée dans la Commande de Systèmes Dynamiques. Vous êtes affecté à la division de robotique sous la direction de Samy qui est spécialiste en commande de robots. La division de robotique de CSD vient de signer un contrat avec une entreprise CRM qui Construit des Robots Manipulateurs. CRM demande à CSD de lui développer un système de commande de son robot représenté à la figure 1, afin que l'extrémité A puisse effectuer des mouvements de consigne donnés. CRM est particulièrement intéressée par des mouvements de A sur des plans horizontaux et verticaux, par exemple pour peindre finement des petites surfaces planes. Comme il est occupé par d'autres tâches, Samy vous confie le mandat de vous occuper du projet contracté avec CRM.

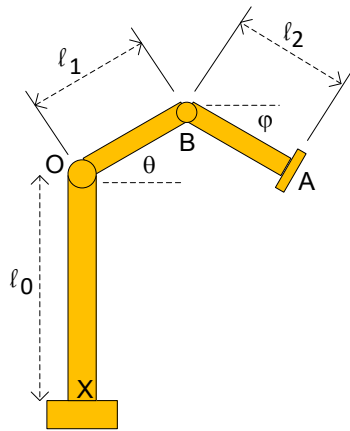


Figure 1. Pour cette configuration, $\theta > 0$ et $\varphi < 0$

Après une première étude du robot fourni par CRM, vous apprenez que les points X, O, B et A sont sur un même plan, qu'on peut appeler le plan du robot. Vous apprenez aussi que les mouvements du robot sont commandés à l'aide de trois moteurs. Le 1^{er} moteur M_X commande la rotation du bras vertical XO autour de l'axe XO. Le 2^{ème} moteur M_O commande la rotation du bras OB par rapport au bras XO, autour de l'axe horizontal passant par O et perpendiculaire au plan du robot. Le 3^{ème} moteur M_B commande la rotation du bras BA par rapport au bras OB, autour de l'axe horizontal passant par B et perpendiculaire au plan du robot. Avec l'accord de Samy, vous commencez par étudier les mouvements 2D du robot où seuls OB et BA bougent. Les mouvements en 3D seront étudiés dans une phase ultérieure qui n'est pas traitée ici.

En révisant vos cours antérieurs de mécanique, vous comprenez que votre étude doit se faire en deux phases : étudier d'abord la cinématique et ensuite la statique et la dynamique du robot. En cinématique, vous avez à **déterminer les équations analytiques** reliant les mouvements angulaires de OB et BA au mouvement linéaire de A. Plus précisément, il **faut déterminer les vecteurs position, vitesse et accélération linéaires de A en fonction des longueurs l_1 et l_2 , des angles θ et φ et des vitesses et des accélérations angulaires correspondantes.**

Comme CRM est intéressé par des mouvements de A sur des plans horizontaux et verticaux, il est naturel d'exploiter les équations de cinématique obtenues pour étudier des mouvements rectilignes horizontaux et verticaux de A. Pour simplifier, vous considérerez seulement le cas où la vitesse angulaire ω_{OB} de OB est constante et tiendrez compte du fait que $l_1 = l_2$. Il est convenu d'étudier le mouvement horizontal de A à la hauteur de O et le mouvement vertical de A à la distance l_1 du bras XO. Pour chacun de ces deux mouvements de A, il faut déterminer la relation entre θ et φ et calculer les vecteurs position et vitesse linéaires de A en fonction de l_1 , θ et ω_{OB} . Pour le mouvement horizontal, il faut aussi déterminer l'accélération linéaire de A en fonction de l_1 , θ et ω_{OB} .

Comme le mouvement de A est commandé par les moteurs M_O et M_B , il faudra déterminer la relation entre les évolutions de θ et φ et les commandes en rotation de M_O et M_B .

Vous décidez d'illustrer vos résultats des deux mouvements à l'aide d'un logiciel et il est convenu d'utiliser MATLAB. Vous produirez des courbes de l'évolution des vecteurs position, vitesse et accélération linéaires de A calculés, le tout en fonction de θ lorsque θ évolue de 0 à $\pi/3$. On a $l_0 = 50$ cm, $l_1 = l_2 = 25$ cm et on prendra $\omega_{OB} = 25$ rad/s. Pour être clair, vous dessinerez les configurations initiale et finale du robot, c'est-à-dire pour $\theta = 0$ et $\theta = \pi/3$.

Après l'étude de la cinématique du robot, vous revoyez vos cours de mécanique afin de vous préparer à étudier la statique et la dynamique du robot. Afin de choisir des moteurs adéquats, il s'agit de déterminer les forces et les couples nécessaires pour maintenir le robot en équilibre ou lui donner un mouvement donné. On considère le cas où le robot porte un objet O_A à son extrémité A. Vous convenez avec Samy de faire les hypothèses suivantes : les bras OB et BA sont approximatés par des tiges minces uniformes, O_A , M_O et M_B sont approximatés par des sphères de dimensions négligeables par rapport à l_1 et l_2 . Ces hypothèses seront réduites dans une phase ultérieure qui n'est pas étudiée ici. Les masses de OB, BA, M_O , M_B et O_A sont respectivement désignées par m_{OB} , m_{BA} , m_O , m_B et m_A .

On considère la force F_B et le couple C_B exercés sur l'extrémité B de BA. F_B est appliquée par OB alors que C_B est appliqué par M_B . Vous convenez avec Samy d'étudier les cas suivants. Il faut déterminer F_B et C_B en fonction des masses, des angles et de l_1 et l_2 , dans le cas où le robot est immobile. Il faut aussi déterminer F_B et C_B , dans le cas où BA tourne avec une accélération angulaire constante α_{BA} pendant que OB est immobile.

Vous décidez d'illustrer vos résultats à l'aide de MATLAB en produisant des courbes de l'évolution de C_B dans les cas statique et dynamique, le tout en fonction de φ lorsque φ est compris entre $-\pi/3$ et $\pi/3$. On prendra $l_0 = 50$ cm, $l_1 = l_2 = 25$ cm, $m_A = 100$ g, $m_{BA} = 1$ kg et $\alpha_{BA} = 5$ rad/s².

3- Connaissances nouvelles à acquérir par la résolution de cette problématique

3.1 Cinématique plane (2D) de particules et de corps rigides

Connaissances déclaratives : QUOI

- Position, déplacement, vitesse et accélération
- Représentation vectorielle de la position, de la vitesse et de l'accélération
- Repères fixes ou mobiles (cartésien, tangent-normal) pour représenter les vecteurs position, vitesse et accélération
- Vitesse absolue, vitesse relative, accélération absolue, accélération relative
- Accélérations tangentielle et normale
- Relations entre vitesses/accélérations relative et absolue
- Vitesse et accélération relatives
- Opérations sur les vecteurs, dérivée temporelle d'un vecteur

Connaissances procédurales : COMMENT

- Calculer les vitesses et accélérations linéaires de points
- Calculer les vitesses et accélérations angulaires de corps rigides

Connaissances conditionnelles : QUAND

- Choix de repères pour représenter et calculer les vecteurs position, vitesse et accélération

3.2 Statique et dynamique plane (2D), lois des forces et des moments de forces

Connaissances déclaratives : QUOI

- Force, moment et couple.
- Représentation vectorielle d'une force d'un moment et d'un couple.
- Lois de Newton.
- Diagramme de corps libre (DCL)
- Conditions d'équilibre
- Diagramme cinétique (DC)
- Poids, centre de masse centre de gravité
- Moment d'inertie d'un corps rigide
- Équations de forces et de moments de forces en équilibre et en mouvement

Connaissances procédurales : COMMENT

- Effectuer un diagramme de corps libre
- Effectuer un diagramme cinétique
- Calculer les forces et couples d'un point ou d'un corps rigide en équilibre
- Calculer les forces et couples d'un point ou d'un corps rigide en mouvement

Connaissances conditionnelles : QUAND

- Choix entre une approche de statique et une approche de dynamique
- Choix entre une approche particulière et une approche de corps rigide

4- Références

Références essentielles à consulter

- « **Engineering Mechanics: Statics, SI Version, Eighth Edition** », J.L. Meriam, L.G. Kraige et J. N. Bolton, Wiley, 2016, 513 pages, ISBN 978-1-119-28697-4.
 - Chapitre 1 – 1.1 à 1.5, 1.8, 1.9
 - Chapitre 2 – 2.1 à 2.6
 - Chapitre 3 : 3.1 à 3.3
- « **Engineering Mechanics: Dynamics, SI Version, Eighth Edition** », J.L. Meriam, L.G. Kraige et J. N. Bolton, Wiley, 2016, 711 pages, ISBN 978-1-119-28696-7.
 - Chapitre 2 – 2.1 à 2.4
 - Chapitre 3 – 3.1 à 3.3
 - Chapitre 4 – 4.1 et 4.2
 - Chapitre 5 – 5.1 à 5.4, 5.6
 - Chapitre 6 – 6.2 à 6.4

Séquence d'étude suggérée :

- Pour le procédural 1 : lire les chapitres 2 et 5 de « Dynamics » et le chapitre 1 de « Statics ».
- Pour le procédural 2 : lire les chapitres 2 et 3 de « Statics » et les chapitres 3, 4 et 6 de « Dynamics ».

Pour maîtriser les concepts introduits dans les sections des volumes « Statics » et « Dynamics », il est recommandé de les mettre en pratique en consultant des problèmes résolus (*Sample Problems*) présentés à la fin de chacune de ces sections.

Notez que les résultats du chapitre 3 de « Statics » s'obtiennent à partir de ceux du chapitre 6 de « Dynamics » en annulant les accélérations (linéaires et angulaires).

5- Sommaire des activités liées à la problématique

Activités de la semaine 1 :

- Tutorat d'ouverture ;
- Étude personnelle et exercices : étude des sujets issus des objectifs d'étude du tutorat ;
- Procédural 1 : problèmes sur la cinématique 2D de particules et de corps rigides ;
- Laboratoire : utiliser MATLAB pour représenter par des courbes des résultats d'exercices du procédural 1.
- Procédural 2 : problèmes sur l'utilisation des lois des forces et des moments de forces en statique et dynamique 2D.

Activités de la semaine 2 :

- Étude personnelle et exercices : sujets issus des objectifs d'étude du tutorat ;
- Validation pratique des éléments de solution ;
- Rédaction du document d'APP ;
- Tutorat de fermeture : validation des connaissances acquises ;
- Remise du document d'APP et des schémas ;
- Évaluation formative ;
- Évaluation sommative.

6- Productions à remettre (par équipes de **deux**)

Rapport d'APP à remettre par dépôt électronique le jour du tutorat de fermeture avant 8h30 du matin.

Les consignes de rédaction du rapport de l'unité d'APP sont données à la section 14 de ce document.

7- Semaine 1 : Tutorat d'ouverture

But de l'activité

Formuler la problématique et déterminer des éléments de solutions pour la résolution de la problématique.

8- Semaine 1 - Procédural 1

But de l'activité (pour les mouvements 2D)

Le but de cette activité est de mettre en pratique les procédures requises pour :

- calculer des vitesses et des accélérations linéaires et angulaires dans un mécanisme de corps rigides (exercice 1) ;
- déterminer analytiquement les évolutions de la position, de la vitesse et de l'accélération en fonction du temps pour un mouvement rectiligne (exercice 2) ;
- trouvez les expressions analytiques décrivant les évolutions de positions, de vitesses et d'accélérations linéaires et angulaires dans un mécanisme à corps rigides (exercices 3).

Lectures recommandées pour se préparer à l'activité

« Statics » : Chapitre 1, sections 1.1 à 1.5, 1.8, 1.9.

« Dynamics » : Chapitre 2, sections 2.1 à 2.4
Chapitre 5, sections 5.1 à 5.4, 5.6

Exercice 1. On considère le mécanisme de la figure 2. A la position représentée sur la figure 2, la vitesse angulaire et l'accélération angulaire du disque valent respectivement 180 tours/min (sens horaire) et 0.3 rad/s^2 (sens antihoraire). Trouver la vitesse angulaire de la barre AB et la vitesse du bloc B à cet instant. Ensuite, trouver l'accélération angulaire de la barre AB et l'accélération du bloc B à cet instant. Il faudra procéder géométriquement en traçant les vecteurs vitesses et accélérations, et en utilisant les relations entre les vecteurs et les règles de trigonométrie.

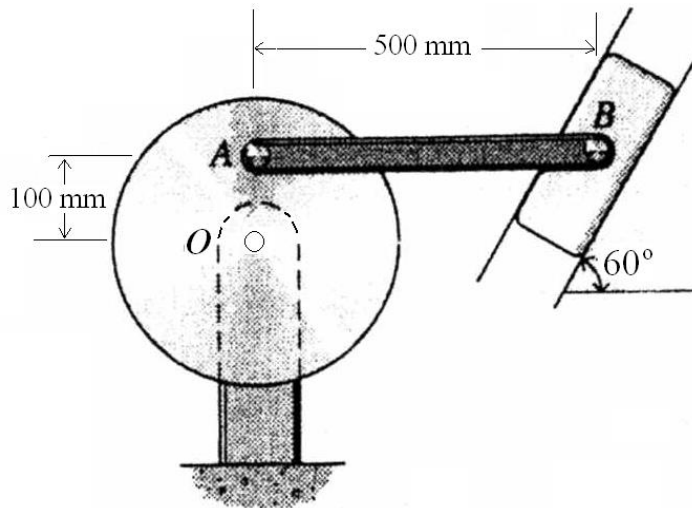


Figure 2 : Exercice 1 du procédural 1

Exercice 2. On considère un point qui se déplace sur une droite à une accélération a constante et dont la vitesse initiale est v_0 . Exprimer analytiquement et représenter graphiquement :

- l'évolution de la vitesse (v) et du déplacement (d) en fonction de a , de v_0 et du temps écoulé t depuis le début du mouvement ;
- l'évolution de d fonction de v , v_0 et a .

Exercice 3. On considère un train à grande vitesse (TGV) qui voyage entre deux gares distantes de 10 km. Si l'accélération et la décélération sont limitées à $0.6 g$ et la vitesse est limitée à 400 km/h, déterminer le temps minimum pour effectuer le voyage. Pour résoudre cet exercice, vous aurez à exprimer analytiquement et représenter graphiquement l'évolution de l'accélération, de la vitesse et de la position en fonction du temps durant un voyage complet qui sera constitué de trois phases où les accélérations sont respectivement positive, nulle et négative. Dans chacune des phases, l'accélération est constante. Vous aurez à utiliser les résultats de l'exercice 2 pour trouver les expressions analytiques des phases 1 et 3.

Exercice 4. Les éléments d'une scie à métaux électrique sont représentés sur la figure 3. La lame de la scie est montée dans un cadre qui glisse le long du guide horizontal. Celui-ci est relié à l'aide de la barre AB à une roue tournant à la vitesse angulaire constante de 60 tr / min dans le sens antihoraire. Trouver les expressions analytiques de la vitesse linéaire de la lame et de la vitesse angulaire de la barre AB en fonction de θ (angle entre la verticale et OB). Trouver aussi les expressions analytiques de l'accélération linéaire de la lame et de l'accélération angulaire de la barre AB en fonction de θ .

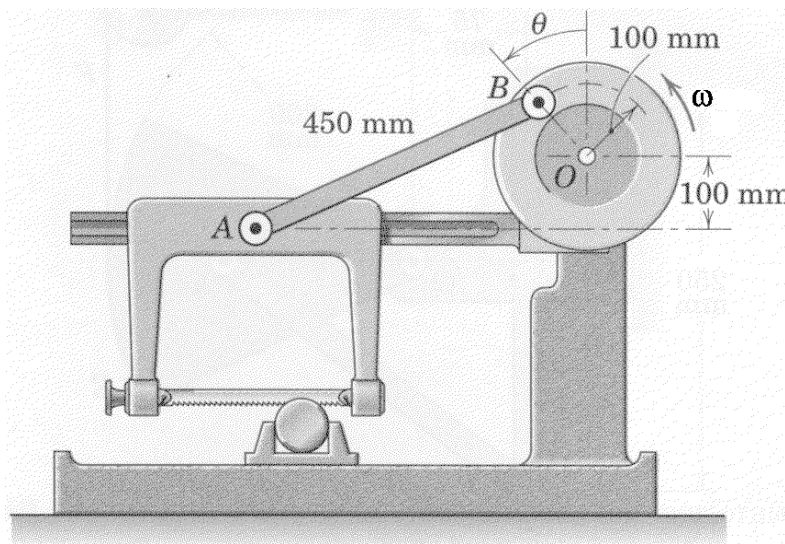


Figure 3. Exercice 4 du procédural 1

9- Semaine 1 - Laboratoire

Dans cette activité, on collabore par équipe de 2 ou 3. On considère la scie à métaux de l'exercice du procédural 1 (figure 2). θ et ω désignent la position et la vitesse angulaires de la roue.

Buts de l'activité

- Représenter par des courbes à l'aide de MATLAB les évolutions de la position, de la vitesse et de l'accélération en fonction du temps pour un mouvement rectiligne (exercice 1).
- Représenter par des courbes à l'aide de MATLAB les évolutions de positions, de vitesses et d'accélération linéaires et angulaires dans un mécanisme à corps rigides (exercice 2) ;

Exercice 1. Dans l'exercice 3 du procédural 1, vous avez déterminé les expressions analytiques de l'évolution de l'accélération, de la vitesse et de la position en fonction du temps durant un voyage complet constitué de 3 phases : accélération, croisière, décélération.

On vous demande de représenter par une courbe l'évolution en fonction du temps de chacune de ces 3 grandeurs physiques durant le voyage complet.

Exercice 2. Dans l'exercice 4 du procédural 1, vous avez déterminé les expressions analytiques :

- de la vitesse linéaire de la lame en fonction de θ ;
- de la vitesse angulaire de la barre AB en fonction de θ ;
- de l'accélération linéaire de la lame en fonction de θ ;
- de l'accélération angulaire de la barre AB en fonction de θ .

On vous demande de représenter par une courbe l'évolution en fonction de θ de chacune de ces 4 grandeurs physiques lorsque θ varie de 0 à 2π . Représenter aussi l'évolution de l'angle que fait AB avec l'axe horizontal.

Refaire l'étude pour différentes valeurs de la vitesse angulaire de AB.

10- Semaine 1 - Procédural 2

But de l'activité

Le but de cette activité est de mettre en pratique les procédures requises pour :

- effectuer un diagramme de corps libre ;
- effectuer un diagramme cinétique ;
- calculer les forces et couples d'un point ou d'un corps rigide en équilibre ;
- calculer les forces et couples d'un point ou d'un corps rigide en mouvement.

Lectures pour se préparer à l'activité

« Statics » : chapitre 2, sections 2.1 à 2.6; chapitre 3, sections 3.1 à 3.3.

« Dynamics » : chapitre 3, sections 3.1 à 3.3; chapitre 4, sections 4.1 et 4.2
chapitre 6, sections 6.2 à 6.4.

Notez que les résultats du chapitre 3 de « Statics » s'obtiennent à partir de ceux du chapitre 6 de « Dynamics » en annulant les accélérations (linéaires et angulaires). On peut donc directement lire le cas dynamique et obtenir le cas statique en annulant les accélérations.

Exercice 1. On considère la poutre représentée sur la figure 5. Elle a une densité de masse uniforme de 50 kg par mètre. Les forces indiquées sur la figure sont toutes dans un plan vertical. Calculer les forces de réactions appliquées à la poutre au point d'appui O immobile.

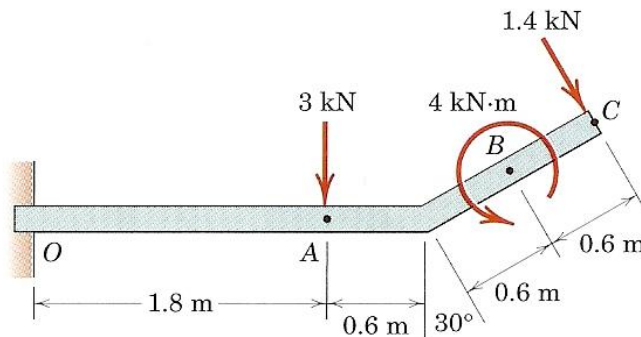


Figure 4 : Exercice 1 du procédural 2

Exercice 2. La tige mince de 10 kg et d'une longueur de 1 m représenté sur la figure 7 est supportée par un pivot sans frottement au point A et par une corde au point B. On vous demande de trouver les valeurs des grandeurs suivantes immédiatement après qu'on ait coupé la corde.

- l'accélération du centre de masse de la tige ;
- l'accélération angulaire de la tige ;
- les réactions au pivot A.

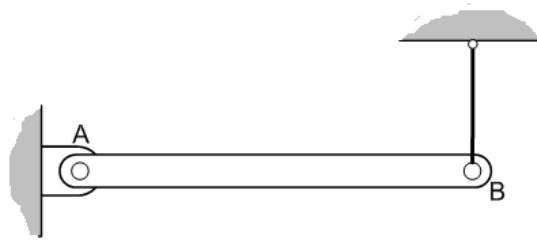


Figure 5. Exercice 2 du procédural 2

Exercice 3. On considère le camion-grue représenté sur la figure 5 et dont les dimensions principales sont résumées au tableau 1. La masse du véhicule est $m_1 = 2000$ kg et celle du bras élévateur est $m_2 = 500$ kg. La position du centre de masse G_1 du véhicule sans le bras élévateur est indiquée sur la figure, le centre de masse G_2 du bras élévateur est au milieu de OC, alors que le centre de masse G_3 de la charge {bloc, crochet} est situé au centre du cube.

Lorsque le camion et le bras élévateur sont immobiles et $\theta = 30$ degrés :

- Déterminer la masse maximale m_3 d'un bloc (incluant celle du crochet) qui peut être suspendue au crochet, sans basculement du camion.
- Pour $m_3 = 600$ kg, déterminer l'accélération verticale vers le haut maximale qu'on peut appliquer lors du levage d'un bloc (en enroulant le câble), sans basculement du camion.

On considère maintenant le cas où le bloc est levé par inclinaison du bras élévateur avec une accélération angulaire de 2 deg/s^2 . On considère la position $\theta = 30$ degrés et suppose que la vitesse angulaire $\dot{\theta}$ est égale à 5 deg/s :

- Montrer que les effets de la vitesse angulaire et de l'accélération angulaire du bras AC sont négligeables sur la charge.
- Proposer un diagramme de corps libre (DCL) et un diagramme cinétique (DC) qui peut être utilisé pour calculer la force F_v appliquée par le vérin en A ainsi que les réactions O_x et O_y au pivot (on ne vous demande pas de calculer ces forces).

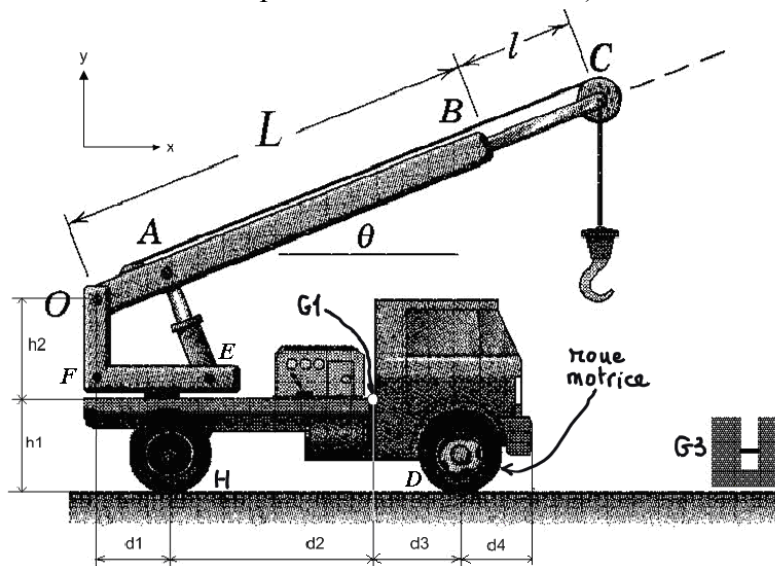


Figure 6 : Exercice 3 du procédural 2

Tableau 1 : Exercice 3 du procédural 2

Éléments	Longueurs	Unités
L	9	m
l	3	m
OA	1.5	m
OF	1.5	m
FE	2.6	m
d_1	1.5	m
d_2	4.5	m
d_3	1.5	m
d_4	1.5	m
h_1	2	m
h_2	2	m

11- Semaine 2 : Validation pratique de la solution en laboratoire

L'activité de laboratoire

Le but de cette activité est de valider la solution à la problématique que vous avez développée. Cette activité n'est pas évaluée mais elle vous donne la possibilité de vérifier vos résultats et de remédier à des erreurs éventuelles. Vous pourrez montrer les équations théoriques et les courbes Matlab que vous obtenez et on vous dira si elles sont correctes.

12- Semaine 2 : Travail de rédaction des productions exigées

Rédaction du rapport de l'APP suivant les directives données à la section 14.

13- Semaine 2 : Tutorat de fermeture : validation des connaissances acquises

Validation des connaissances – Bilan de groupe – Travail personnel de synthèse et d'études correctives.

14- Rapport d'APP (contenu et évaluation)

Le rapport se fait par équipe de **2** et est à remettre le jour du tutorat de fermeture avant **8h30 du matin**. La remise doit se faire **électroniquement en déposant un fichier PDF ou ZIP** selon la procédure de dépôt habituelle. Le fichier doit se nommer **CIP1_CIP2.ext** (ext pouvant être **ZIP ou PDF**). Le rapport ne devrait pas dépasser 10 pages sans compter les résultats de MATLAB (codes et courbes).

Le rapport sera évalué comme précisé ci-dessous en se basant sur deux des qualités du BCAPG :

- Qualité 1 (Q1) : Connaissances en mathématiques
Indicateur Q-1 : Utiliser les mathématiques nécessaires à l'étude d'un système physique
- Qualité 2 (Q2) : Analyse de problèmes
Indicateur Q2-1 : Modéliser un système physique
Indicateur Q2-2 : Analyser un modèle physique

CINÉMATIQUE GEN441#1 (60 pts = 12 + 12 + 14 + 14 + 5 + 3)

Q1-1 : Utiliser les connaissances mathématiques nécessaires à l'étude d'un système physique

Spécifiquement : **Utiliser les connaissances mathématiques telles que la géométrie, la trigonométrie, la dérivation, etc** 12 pts

- Mouvement de A dans le cas général (12 pts)

Q2-1 : Modéliser un système physique

Spécifiquement : **Construire les équations cinématiques générales** 12 pts

- Mouvement horizontal de A (14 pts)

Q2-1 : Modéliser un système physique

Spécifiquement : **Déterminer la relation entre θ et φ et l'appliquer pour en déduire les équations cinématiques spécifiques** 8 pts

Q2-2 : Analyser un modèle physique

Spécifiquement : **Représenter graphiquement les courbes cinématiques** 4 pts

Q2-2 : Analyser un modèle physique

Spécifiquement : **Dessiner les configurations initiale et finale** 2 pts

- Mouvement vertical de A (14 pts)

Q2-1 : Modéliser un système physique

Spécifiquement : **Déterminer la relation entre θ et φ et l'appliquer pour en déduire les équations cinématiques spécifiques** 8 pts

Q2-2 : Analyser un modèle physique

Spécifiquement : **Représenter graphiquement les courbes cinématiques** 4 pts

Q2-2 : Analyser un modèle physique

Spécifiquement : **Dessiner les configurations initiale et finale** 2 pts

- Analyse des courbes obtenues avec Matlab (5 pts)

Q2-2 : Analyser un modèle physique

Spécifiquement : **Analyser les courbes obtenues** 5 pts

- Relation entre θ et φ et les commandes de M_O et M_B (3 pts)

Q2-2 : Analyser un modèle physique

Spécifiquement : **Expliquer intuitivement la relation entre θ et φ et les commandes de M_O et M_B** 3 pts

STATIQUE & DYNAMIQUE GEN441#3 (50 pts = 8 + 14 + 18 + 5 + 5)

Q1-1 : Utiliser les connaissances mathématiques nécessaires à l'étude d'un système physique

Spécifiquement : **Utiliser les connaissances mathématiques telles que la géométrie, la trigonométrie, la dérivation, etc** 8 pts

- **Statique (14 pts)**

Q2-1 : Modéliser un système physique

Spécifiquement : **Déterminer les expressions de F_B et C_B lorsque le système est en équilibre** 14 pts

- **Dynamique (18 pts)**

Q2-1 : Modéliser un système physique

Spécifiquement : **Déterminer les expressions de F_B et C_B lorsque le système est en mouvement** 18 pts

- **Représentation avec Matlab (5 pts)**

Q2-2 : Analyser un modèle physique

Spécifiquement : **Obtenir les courbes de C_B en statique et dynamique** 5 pts

- **Analyse des courbes obtenues avec Matlab (5 pts)**

Q2-2 : Analyser un modèle physique

Spécifiquement : **Analyser les 2 courbes en les comparant** 5 pts

15- Évaluation sommative

L'évaluation sommative porte sur tous les objectifs d'apprentissage de l'unité, c'est-à-dire sur les deux éléments de compétence et les trois indicateurs de qualité indiqués à la section 1.

16- Évaluation de l'unité

La note attribuée aux activités pédagogiques de l'unité est une note individuelle.

16.1- Évaluation par compétences

L'évaluation de GEN441 par éléments de compétences est répartie comme suit :

<i>Activité et éléments de compétence</i>		<i>Rapport d'APP</i>	<i>Examen Sommatif</i>
GEN 441 Mécanique pour ingénieurs			
1	Analyser les mouvements de particules ou de corps rigides en appliquant les lois de la cinématique	60	135
3	Résoudre des problèmes de statique et de dynamique de particules ou de corps rigides en appliquant les lois des forces et des moments de forces	50	110
<i>Total :</i>		110	245

Noter que dans l'examen final :

- La compétence 1 est sur 1.1 crédit, ce qui donne un total de 330 points (300×1.1). Comme 195 points ($60 + 135$) sont utilisés pour le rapport et l'examen sommatif, il reste **135 points qui seront utilisés dans l'examen final.**
- La compétence 3 est sur 0.9 crédit, ce qui donne un total de 270 points (300×0.9). Comme 160 points ($50 + 110$) sont utilisés pour le rapport et l'examen sommatif, il reste **110 points qui seront utilisés dans l'examen final.**

16.1- Évaluation par qualités

<i>Activité et indicateur de qualité</i>		<i>Rapport d'APP</i>	<i>Examen Sommatif</i>
GEN 441 Mécanique pour ingénieurs			
Q1-1	Utiliser les connaissances en mathématiques	20	45
Q2-1	Modéliser un système physique	60	135
Q2-2	Analyser un modèle physique	30	65
<i>Total :</i>		110	245