

RC-4 « Robot à Câbles à 4 x Enrouleurs »

Activités Pédagogiques CPGE

➤ Première et deuxième année

- ANALYSER :

- vérifier la satisfaction des exigences de positionnement et de suivi de trajectoire du Mobile ;
- identifier l'architecture fonctionnelle et structurelle, repérer les constituants, décrire la chaîne d'énergie et la chaîne d'information ;
- caractériser les différents capteurs (codeur incrémental, capteur d'effort par jauges de déformation et fins de course) ;
- identifier la structure du système asservi dans le mode « POSITIONNEMENT » et dans le mode « COUPLE ».

- MODELISER :

- associer et valider des modèles pour chaque constituant des chaînes d'énergie (Source, hacheur, moteur CC, réducteur, transmission tambour / Poulie / Câble) ;
- établir le schéma-bloc et déterminer les fonctions de transfert pour les différents modes de pilotage (Couple ou Position) ;
- identifier le comportement d'un axe pour l'assimiler à un modèle canonique à partir d'une réponse temporelle ;
- paramétrer les mouvements d'un solide, identifier les degrés de liberté et le nombre de câble nécessaire au pilotage du solide ;
- modéliser l'influence de la charge déplacée (Mobile avec lestage) ;
- traduire le comportement d'un système à événement discret ;
- caractériser la réversibilité dans la chaîne d'énergie électromécanique (source – hacheur – moteur – système mécanique) ;
- caractériser et paramétrer un réseau TCP.

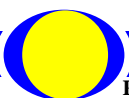
- RESOUDRE :

- déterminer la loi entrée – sortie inverse analytiquement (enroulement en fonction de la position souhaitée) ;
- déterminer la loi entrée – sortie directe en utilisant un solveur pour une résolution numérique des équations (position en fonction des enroulements) pour le mode apprentissage ;
- proposer une méthode d'interpolation pour la commande de position ;
- proposer une méthode permettant la détermination de l'effort dans une poulie pour une position d'équilibre ;
- proposer une démarche permettant la détermination de la loi de mouvement du mobile ;
- proposer la démarche de réglage d'un correcteur P ou PI pour les modes couple et position.

- **EXPERIMENTER :**
 - identifier les paramètres caractéristiques dans les différents modes (boucle de courant, position) à partir de réponses indicielles ;
 - mettre en évidence l'influence de l'interpolation de Position sur la trajectoire du Mobile ;
 - comparer les mesures accessibles (vitesses, positions, intensités, effort poulie) aux courbes simulées et au cahier des charges, interpréter les écarts ;
 - relever et justifier les performances des chaînes d'acquisition (fréquence d'échantillonnage, quantification) ;
 - piloter le système via un client TCP.

- **CONCEVOIR :**
 - valider, régler et implanter les correcteurs pour les différents modes (couple, position) ;
 - réaliser un programme (Python ou autre) pour faire évoluer le mobile de manière séquentielle (graphe d'état ou autre) ;
 - choisir et justifier la solution de guidage en rotation de l'enrouleur ;
 - vérifier le dimensionnement des constituants (couple thermique moteur, élasticité, rigidité et résistance des câbles...).

- **COMMUNIQUER :**
 - exploiter des documents techniques dans une démarche de modélisation et de validation expérimentale ;
 - décrire les chaînes fonctionnelles selon les formalismes de communication au programme en utilisant un vocabulaire adéquat.



RC-4

Robot à Câbles 4 x Enrouleurs



FICHES d'ACTIVITES PEDAGOGIQUE CPGE

Table des matières

Acquisition de position (codeur).....	3
Mobilités du mobile (cinématique)	4
Pilotage des câbles (loi indirecte)	5
Vitesse de l'enrouleur (cinématique)	6
Tension des câbles (Statique)	7
Activités en cours d'expérimentation et rédaction :	
Accélération maximale (dynamique).....	8
Génération de consigne (informatique interpolation)	8
Gestion magasin (diagramme d'état).....	8
Asservissement des axes (automatique).....	8
Déformation des câbles (RDM)	9
Génération d'une trajectoire circulaire (info).....	9

Version site DIDASTEL avec Enoncés, sans remarques et réponses.

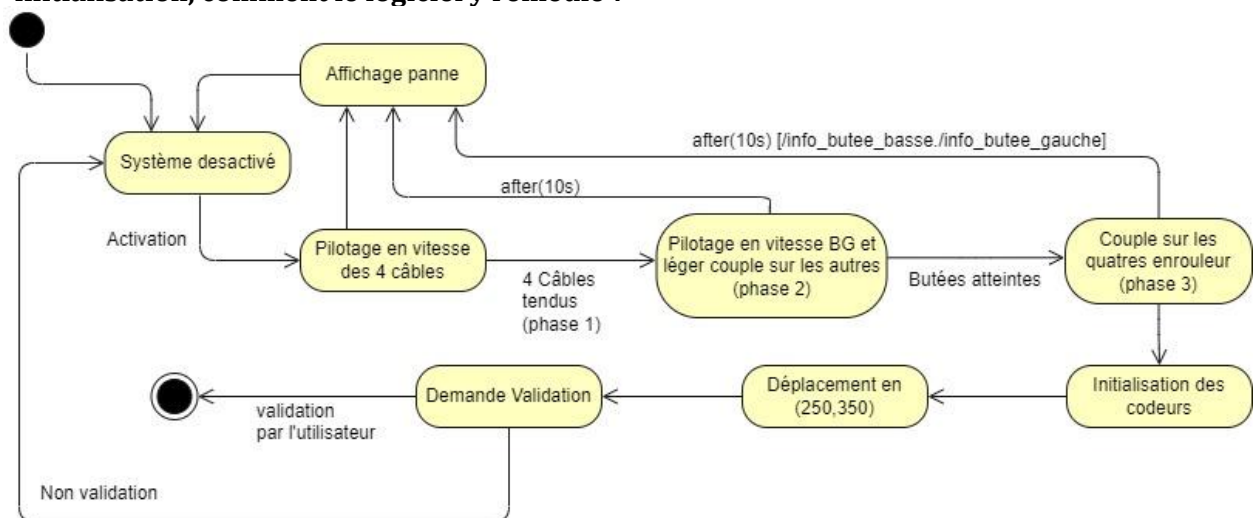
Acquisition de position (codeur)

🔧 **Objectif:** Afin de pouvoir piloter les enrouleurs il est important de maîtriser la relation entre les incréments des codeurs et la longueur des câbles.

1 | Expliquer pourquoi la présence de codeurs incrémentaux nécessite une initialisation, décrire le fonctionnement d'un codeur incrémental

1 | Ouvrir le logiciel et décrire comment est réalisée cette prise d'origine.

2 | Observer dans le logiciel les paramètres d'initialisation. Décrire les différentes phases de l'initialisation (un diagramme d'état peut être judicieux). Quelle est la difficulté de cette initialisation, comment le logiciel y remédie ?



3 | Les codeurs utilisés sont décrits dans la documentation codeur_RMC35, décrire la technologie utilisée, comment sont générés les incréments sur les voies A et B.

4 | Justifier que les deux pistes A et B permettent de quadrupler la résolution et de connaître le sens de rotation

5 | Déterminer la relation entre les incréments codeur et les variations de longueurs de câble.

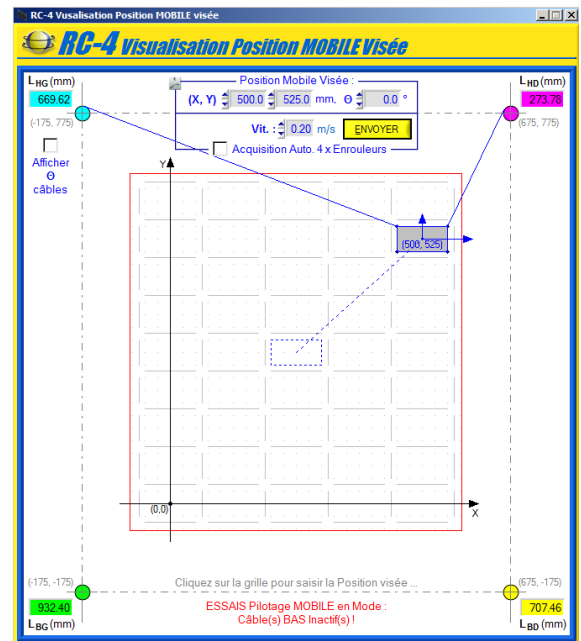
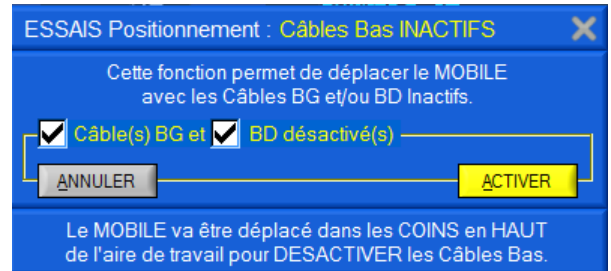
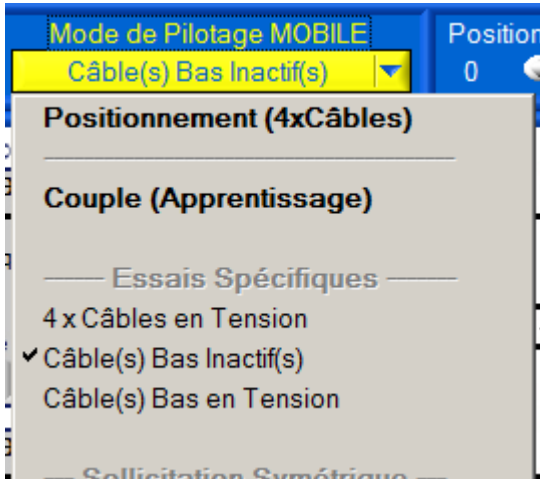
6 | Vérifier dans le logiciel

Mobilités du mobile (cinématique)

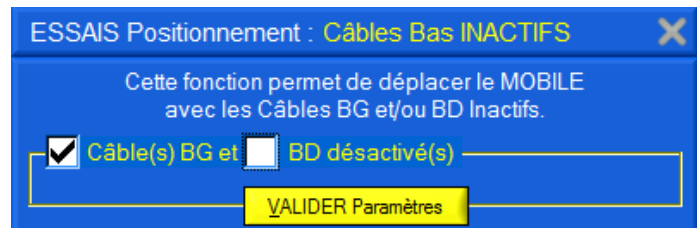
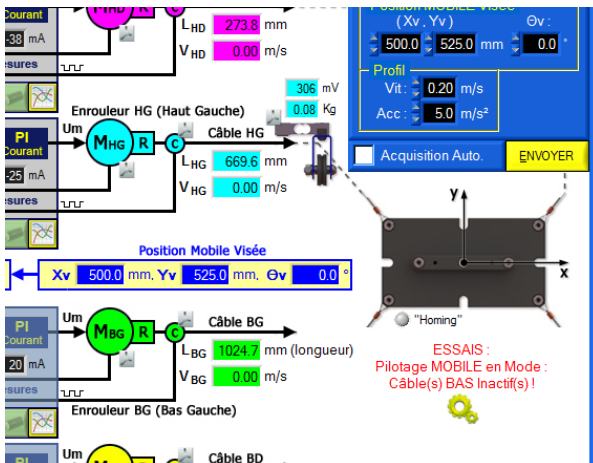
🔧 **Objectif :** Déterminer le nombre minimal de câble permettant de positionner le mobile dans l'espace de travail.

- Utiliser le mode câble bas inactifs et tester le positionnement (x, y, θ) du mobile dans tout l'espace de travail avec 2 câbles, 3 câbles ((BG ou BD désactivé)) et 4 câbles (mode positionnement). Conclure sur le nombre minimal de câble selon les degrés de mobilités que l'on souhaite contrôler.

Sélectionner le mode câble bas inactifs de façon à piloter le mobile avec les deux câbles du haut seulement



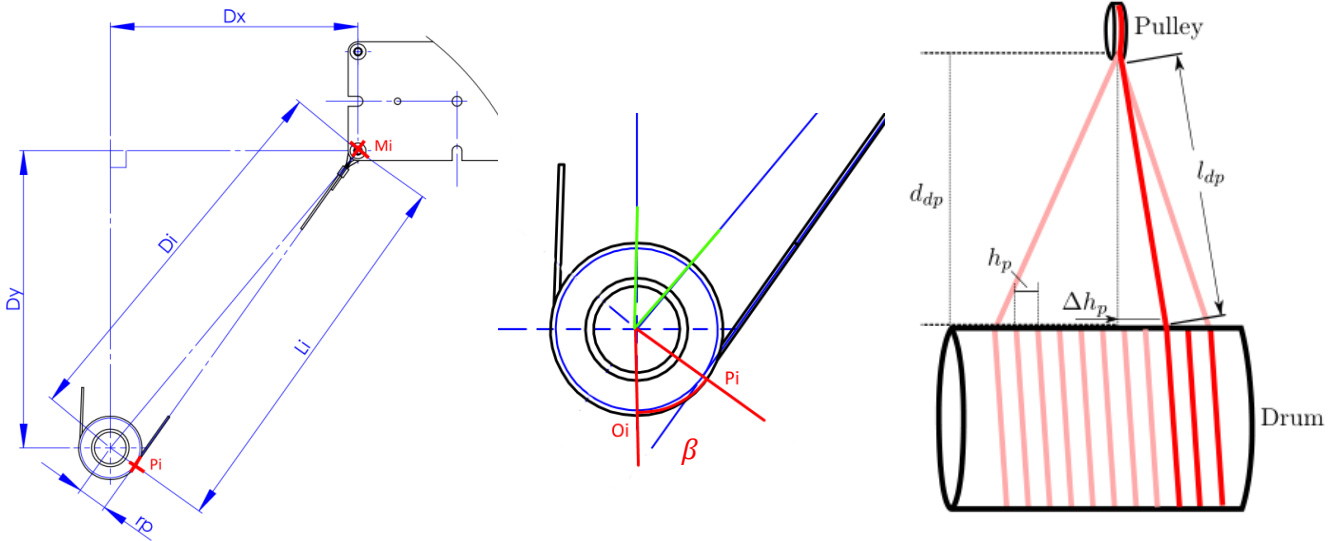
On peut ensuite activer un des deux câbles du bas en cliquant sur les engrenages dans le synoptique :



Pilotage des câbles (loi indirecte)

🔧 **Objectif:** Le pilotage du mobile dans le plan est réalisé grâce à un asservissement de position des 4 enrouleurs de câble. Il est donc nécessaire de connaître la loi qui permet de donner l'enroulement des différents câbles en fonction de la position (x, y, θ)

1 | À partir des informations disponibles sur les documents plans, déterminer l'expression de la longueur des câbles en fonction d'une position quelconque (x, y, θ) du mobile.



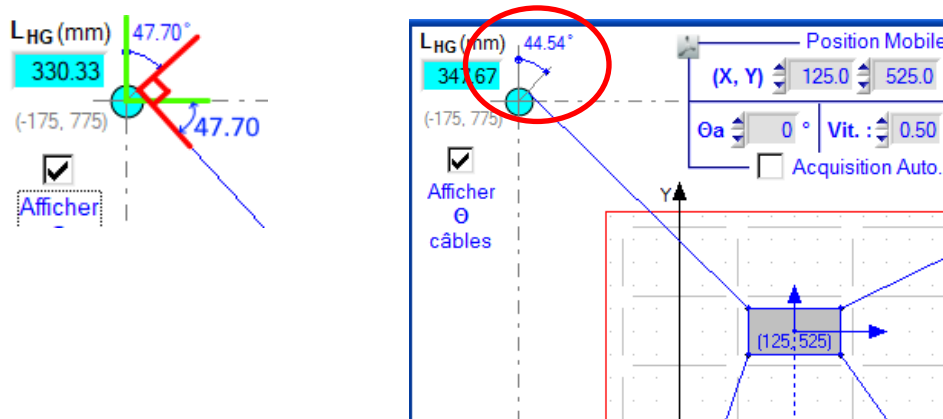
2 | Programmer votre loi inverse sur python

3 | Valider votre modèle, corriger le cas échéant.

Vitesse de l'enrouleur (cinématique)

🔧 **Objectif** : vérifier des performances, le moteur doit être capable de tourner suffisamment vite pour garantir un déplacement du mobile de 1m.s^{-1} .

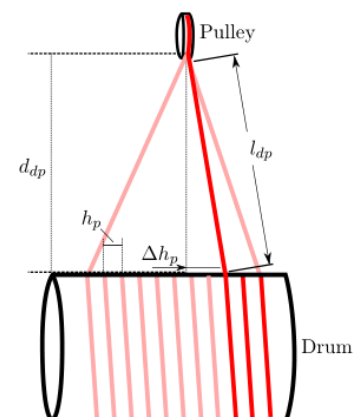
- 1 | D'après la documentation quelle est la vitesse de rotation maximale conseillée en sortie de réducteur.
- 2 | Pour simplifier l'étude, on considère que l'orientation du mobile reste nulle (mobile horizontal) et on ne prend pas en compte le diamètre des poulies de renvois (elles sont assimilées à leurs centres). Proposer un croquis paramétré pour la poulie Haut Gauge (HG)
- 3 | Montrer que l'angle α correspond à l'angle $\theta_{\text{câble}}$ affiché sur l'interface de visualisation du mobile (à cocher en bas pour l'activer). Donner la relation entre α et (x, y) puis valider sur quelques points.



- 4 | Déterminer la relation entre la vitesse du câble $\dot{\lambda}$ et le déplacement du mobile (y, \dot{y}) dans le cas d'un déplacement vertical centré, on peut aussi demander l'expression en fonction de (α, \dot{y})
 - A partir d'une fermeture géométrique
 - A partir d'une analyse cinématique

- 5 | Déterminer la relation entre la vitesse angulaire ω_m du moteur et la vitesse du câble $\dot{\lambda}$, en déduire la relation $\omega_m = f(y, \dot{y})$

- 7 | Faire un essai de déplacement vertical centré sur toute la hauteur et utiliser la courbe de vitesse angulaire de l'enrouleur pour valider votre modèle.



- 8 | Analyser le choix du moteur par rapport aux performances attendus

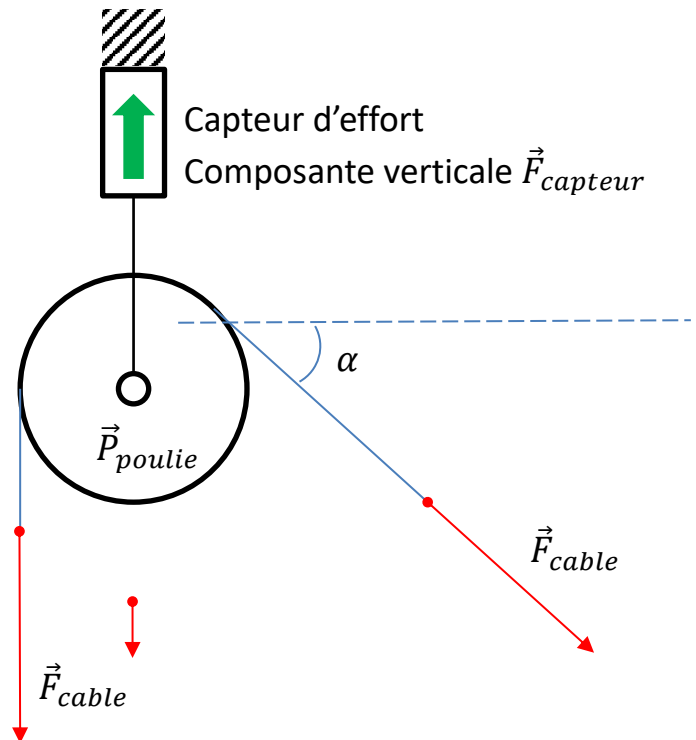
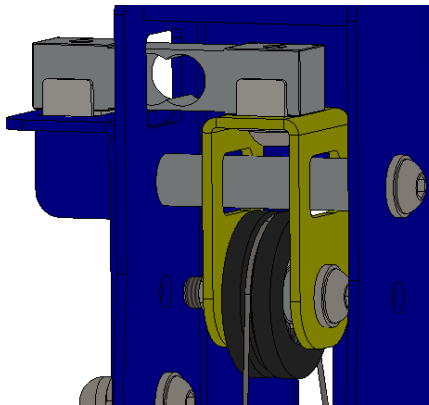
Tension des câbles (Statique)

🔧 *Objectif: La tension dans les câbles est un paramètre important, par exemple pour vérifier leurs déformations et évaluer leur dimensionnement. La résolution en dynamique avec les 4 câbles est difficile mais un capteur d'effort a été mis en place sur une poulie de renvoie et permettra d'estimer les tensions de câble. Il faudra auparavant étalonner ce capteur et vérifier sa fiabilité.*

Pour simplifier l'étude, on commence avec un mobile centré avec déplacement vertical (mode symétrique) avec les câbles du bas détendus

1 | Déterminer la relation entre la masse du mobile et la tension dans les câbles du haut en position centrée.

2 | Déterminer la relation entre l'effort mesuré par la poulie de renvoie et la tension du câble



3 | Etalonner le capteur pour différentes masses en position centrale de façon à afficher la masse du mobile dans le synoptique

4 | Faire varier la position selon la verticale et vérifier la corrélation avec le modèle théorique

🔧 *On se place maintenant dans le mode câble bas en tension pour évaluer leur influence et identifier d'éventuelles pertes*

5 | Faire varier la position selon la verticale et vérifier la corrélation avec le modèle théorique

6 | Comment prévoir l'action des câbles du bas dans le modèle précédent

7 | Vérifier corrélation expérimentalement

Accélération maximale (dynamique)

Prochainement :

- Calcul théorique de l'accélération mobile pour un essai vertical
- Vérification expérimentale et analyse des performances
- Calcul théorique de l'inertie équivalente sur un essai diagonal
- Vérification expérimentale en diagonale

Génération de consigne (informatique interpolation)

Prochainement :

- Compréhension de la construction d'une consigne par interpolation
- Problématique des « sauts » sur les discontinuités selon les points choisis.

Gestion magasin (diagramme d'état)

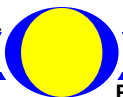
Prochainement :

Proposer un graphe d'état, le programmer sur stateflow et piloter en temps réel le système avec matlab via le serveur TCP

Asservissement des axes (automatique)

Prochainement :

- Modélisation boucle de courant
- Modélisation boucle de position
- Anticipation
- Perturbations des autres câbles, modèle global



Déformation des câbles (RDM)

Prochainement

- Elongation des câbles selon les efforts (qui dépendent de la position)
- En déduire l'erreur de positionnement commise.
- Evaluation de la déformation lors d'un régime dynamique et impact sur les performances.

Génération d'une trajectoire circulaire (info)

TD informatique comment générer une trajectoire circulaire

