



## TRAVAUX PRATIQUES SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGENIEUR



### Modélisation dynamique et pilotage d'un système

CI23 CI24  
CI26

### Bras de robot MAXPID : réponse dynamique

**Problématique** : Quels sont les paramètres influents sur la dynamique d'un système lors de sa mise en position ?  
Pour cela vous êtes chargés :

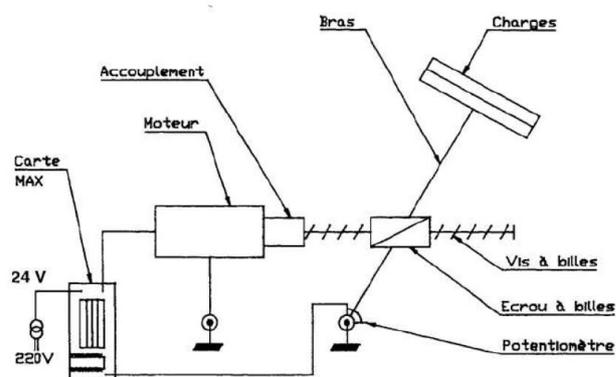
- d'exploiter un modèle 3D pour établir en partie le modèle de connaissance,
- d'acquérir la réponse indicielle et d'en déduire un modèle de comportement,
- d'agir sur le réglage d'un correcteur pour ajuster une réponse dynamique.

Le bras articulé MAXPID s'intègre aux engins agricoles pour permettre une mécanisation optimale (pulvérisation, effeuillage, vendange, taille, ramassage) qui permet de garantir des performances élevées.

Le système du laboratoire correspond à un seul axe d'articulation didactisé avec des capteurs, un logiciel d'acquisition de réglage et de visualisation.



Robot de récolte d'oranges : « Citrus »



Vue d'ensemble

**Démarche à suivre** : La résolution de la problématique proposée est faite sous forme collaborative en trois activités autour du même support (*travail en îlot*).

#### ACTIVITE 1 CI23 (2H30) : Dynamique du système par le théorème « Energie / Puissance »

- Localiser et exprimer l'énergie cinétique de ses différentes pièces en mouvement, et en faire le bilan.
- Localiser et exprimer les puissances extérieures,
- Localiser l'origine des puissances intérieures (pertes) à partir de la cinématique,
- Savoir exprimer analytiquement et évaluer expérimentalement ces pertes (rendement),
- Etablir et résoudre le théorème « Energie / Puissance ».

Chef de projet

#### ACTIVITE 2 CI24 CI26 (2H30) : Acquisition d'une loi « Entrée / Sortie » et modèle de comportement

- Configurer et raccorder une carte d'acquisition numérique multi entrées (DAQ NI6009) pour acquérir les grandeurs analogiques « Entrée / Sortie » du système,
- Faire l'acquisition et traiter éventuellement les données (mise à l'échelle, filtrage),
- Etablir le modèle de comportement par une méthode graphique et des abaques, par une méthode numérique et un tableur (Excel) et en déduire les caractéristiques dynamiques du système,
- Vérifier que la méthode expérimentale suivie peut s'appliquer au système étudié.

#### ACTIVITE 3 CI24 (2H30) : Réglage des performances dynamiques de l'asservissement

- Agir sur le réglage du correcteur et obtenir une réponse répondant aux critères de stabilité, précision, rapidité,
- Relever les caractéristiques dynamiques de la réponse, et les commenter pour le contexte d'emploi,
- Conclure sur les caractéristiques attendues d'une correction PI dans le contexte de votre système.

#### ACTIVITE COMMUNE DE SYNTHÈSE ET RESTITUTION ECRITE (20') / (Communiquer)

**Le chef de projet** gère la mise en commun des travaux effectués, il complète la « fiche bilan » distribuée, synthétise les études et résultats obtenus avec pour objectifs de **comprendre et expliquer le lien entre les 3 activités et la problématique posée.**

**ACTIVITE 1 CI23 (2H30) : Dynamique du système par le théorème « Energie / Puissance »**

En exploitant le système réel, sa documentation et les documents de cours, vous allez faire un bilan des éléments mécaniques influents sur sa dynamique.

**ENERGIE CINETIQUE, PUISSANCES INTERIEURES ET EXTERIEURES**

**Mise en place des éléments de l'étude**

- (0) : bâti
- (1) : bras
- (2) : écrou
- (3) : vis à billes (pas  $p = 4 \text{ mm}$ )
- (4) : bloc moteur

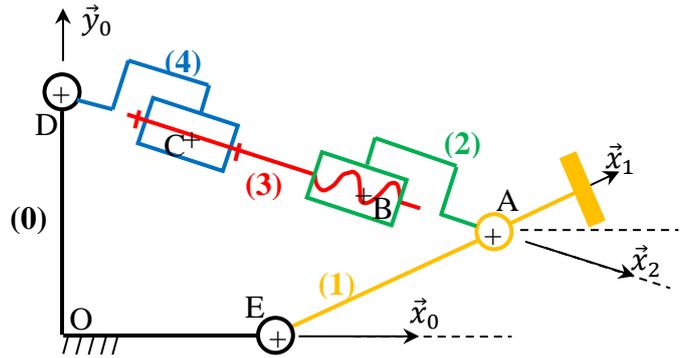


Schéma cinématique plan du système Maxpid

1. Le schéma cinématique est donné. Localiser sur le système les différents éléments et décrire précisément la nature des mouvements : Mvt 4/0, mvt 3/4, mvt 3/2, mvt 2/4 et mvt 1/0.

**L'énergie cinétique accumulée dans le système**

2. Pour chacun de ces mouvements, exprimer l'énergie cinétique correspondante. Les écritures abordées en cours seront impérativement respectées.
3. D'après l'observation du système en fonctionnement, sélectionner en justifiant, les mouvements qui engendrent une énergie cinétique significative.
4. En vue du dimensionnement de l'actionneur, il faut « rapporter » les inerties au niveau de l'axe moteur. Pour cela, exprimer les différentes vitesses (vitesse linéaire de l'écrou / vis et vitesse angulaire du bras / bâti) en fonction de la vitesse angulaire de la vis par rapport au bloc moteur :  $\omega_{34}$ .  
*Information : Le mécanisme de transformation de mouvement qui à partir de la rotation du rotor moteur produit la rotation du bras apporte un rapport de réduction de l'ordre de 1/100.*

5. Puis établir l'expression littérale de l'énergie cinétique totale sous la forme  $E_{c \text{ totale}} = \frac{1}{2} J_{\text{éq}} \omega_{34}^2$ .

Déterminer numériquement  $J_{\text{éq}}$  et comparer la contribution de chaque élément (rotor+ vis, écrou et bras) aux phénomènes inertiels engendrés et rapportés au niveau du rotor moteur. Conclure.

*Informations :  $J_{\text{rotor}}$  = voir catalogue constructeur ;  $J_{\text{vis}}$ ,  $M_{\text{écrou}}$  et  $J_{\text{bras}}$  sont à rechercher sur le modèle volumique (Pour  $J_{\text{bras}}$  ouvrir le fichier « calcul inertie bras.iam »).*

**Prise en compte des puissances intérieures**

6. 1<sup>er</sup> cas : On suppose la liaison pivot entre le bras (1) et le bâti (0) comme parfaite. Déterminer le comoment des torseurs cinématique et statique au centre de cette liaison (attention à l'ordre des indices). En déduire l'écriture correspondante de la puissance dissipée par cette liaison.
7. 2<sup>ème</sup> cas : Les frottements sont pris en compte dans cette même liaison pivot. Ils sont associés au modèle d'un couple résistant, noté  $C_r$ , autour de l'axe de rotation. En déduire la puissance désormais dissipée dans cette liaison.
8. Dans quel cas cette puissance sera considérée comme « intérieure » ou « extérieure » au système (termes utilisés dans l'écriture du théorème de la puissance cinétique).
9. Proposer un protocole expérimental permettant de quantifier les pertes dues au frottement au niveau de cette liaison bras / bâti. Puis le mettre en œuvre et estimer le couple de frottement  $C_r$  correspondant.
10. Quelle hypothèse doit-on impérativement vérifier (ou établir) avant de commencer une étude dynamique ?

**Prise en compte des puissances extérieures**

11. Lister l(es) action(s) mécanique(s) engendrant une puissance dite « extérieure » lorsque le système est « horizontal » et que le moteur est alimenté.
12. Formuler l'écriture de la puissance extérieure correspondante.

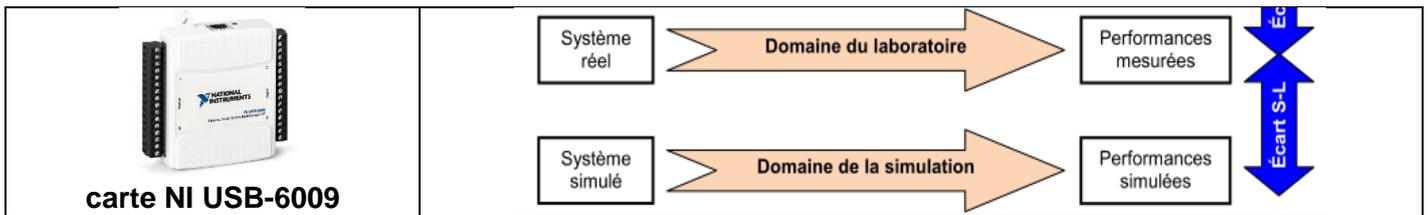
**SYNTHESE DE L'ETUDE**

13. Etablir littéralement l'expression du théorème de la puissance cinétique dans le cas d'un système parfait puis non parfait. Exprimer le couple moteur  $C_{\text{mot}}$ . En fonction de  $J_{\text{éq}}$ ,  $\dot{\omega}_{34}$  et  $C_{\text{résistant}} = C_r$ .
14. Déterminer l'accélération maximale à partir du couple maximal toléré par le moteur.
15. Proposer un protocole expérimental permettant de quantifier le rendement global du système d'un point de vue énergétique. Le mettre en œuvre et estimer le rendement  $\eta_{\text{global}}$ .

**ACTIVITE 2 CI26/ CI24 (2H30) : Acquisition d'une loi « Entrée / Sortie » et modèle de comportement**

Etablir le **modèle de connaissance** d'un système (à partir des équations) est parfois difficile et approximatif.

Etablir le **modèle comportemental** du système existant à partir d'un essai indiciel est souvent plus efficace et précis et tient compte du contexte d'emploi du système.



L'acquisition des mesures sera faite grâce à un module numérique NI USB-6009, puis elles seront exploitées :

- soit à partir de la réponse graphique à l'aide d'abaques,
- soit à partir d'un tableur et d'un fichier de points.

Vous devez modéliser la fonction de transfert liant la tension aux bornes de l'induit d'une MCC (variable d'entrée) à la vitesse de son rotor lors de son démarrage (variable de sortie).

L'alimentation de la machine est réalisée à partir d'une alimentation 0-30V réglée à 10V environ et subitement reliée à l'induit du moteur. Mettre la limitation de courant au maximum pour qu'elle n'intervienne pas lors de l'essai.

- La tension d'alimentation est observée par l'intermédiaire d'une sonde de tension isolée à gain ajustable...
- La vitesse est mesurée par une dynamo tachymétrique délivrant une tension proportionnelle à la vitesse.
- Une carte d'acquisition NI USB-6009 permet de récupérer les signaux sur ses entrées analogiques.

**EXPLOITATION DE LA NOTICE du boîtier NI USB-6009 et CONFIGURATION DE L'ACQUISITION**

Utiliser la notice résumée de la carte et du logiciel d'acquisition.

1. INDIQUER à l'aide de schémas la différence entre l'acquisition d'un signal en mode Différentiel (DIF) et en mode asymétrique référencé à la masse (RSE). CHOISIR le mode de raccordement de vos capteurs (dynamo tachymétrique et sonde de tension isolée).
2. DEDUIRE de ce qui précède le nombre maximum d'acquisitions simultanées analogiques pour une carte NI6009 dans chacun des 2 modes (DIF et RSE).
3. INDIQUER la fréquence d'échantillonnage maximum de la carte et DEDUIRE si on utilise 2 voies en mode DIFF, la fréquence d'échantillonnage maximale possible pour chaque voie.
4. INDIQUER les caractéristiques de la conversion CAN en nombre de bits et en DEDUIRE la résolution de mesure ou quantum (en mV) pour une plage de tension de 10V.

**MISE EN ŒUVRE : ACQUISITION DE LA VITESSE au DEMARRAGE D'UNE MCC**

5. PROPOSER le schéma de câblage de façon à utiliser les 2 entrées en mode DIF.
6. RELEVER les coefficients utiles à la mesure pour les 2 capteurs utilisés.  
ESTIMER les amplitudes maximales des signaux à relever à partir des caractéristiques de la MCC pour une tension d'alimentation de 10V environ.

**Réaliser le câblage seulement s'il est validé par un professeur**

7. CONFIGURER les 2 entrées choisies avec le logiciel Labview Signal Express, CONFIGURER le coefficient de l'entrée vitesse de façon à obtenir directement la vitesse en rd/s.
8. DEFINIR les critères que vous vous fixez pour configurer la fréquence d'échantillonnage et la durée d'acquisition des signaux. REALISER cette configuration.
9. FAIRE L'ACQUISITION, et si elle est correcte, EXPORTER les données de mesure dans un tableur Excel de façon à pouvoir les exploiter ultérieurement.

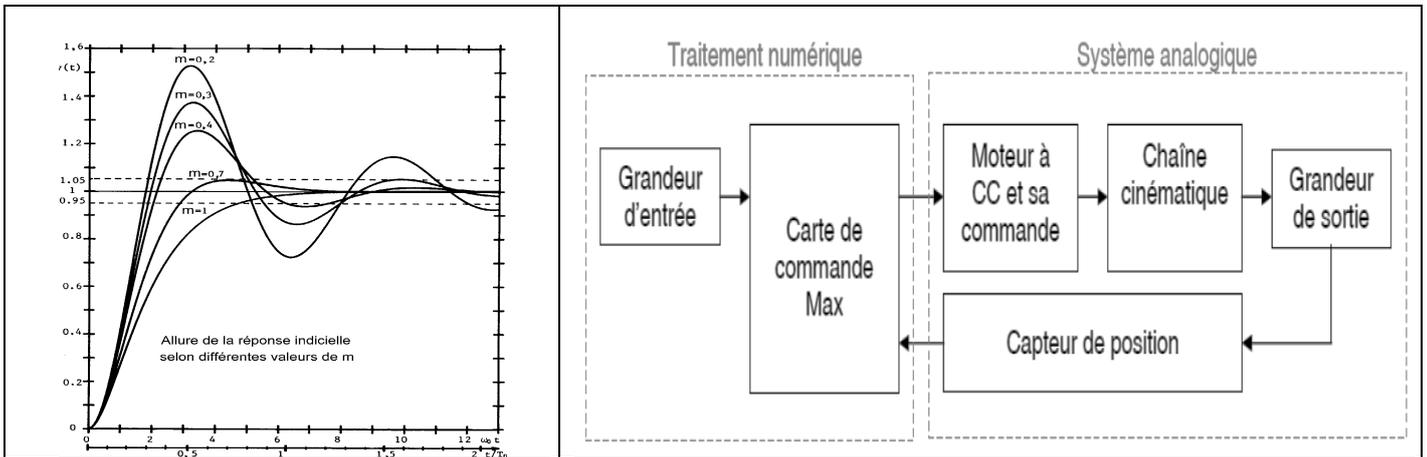
**MODELISATION EXPERIMENTALE, ETABLISSEMENT DU MODELE**

10. ETABLIR de 2 façons le modèle expérimental (fonction de transfert) entre la tension d'induit et la vitesse de rotation de la machine soit  $H(p) = \Omega(p) / U(p)$ .
  - Méthode graphique à partir du tracé en utilisant le document [Méthodes et abaques d'identification2015.pdf](#)
  - Méthode numérique à l'aide d'un tableur ([fichier Identif\\_numérique\\_ordre2\\_passe\\_bas.xlsx](#)).

Pour chaque méthode CHOISIR en justifiant une forme d'écriture canonique de type ordre 1 ou 2 passe bas et définir ses caractéristiques.

**SYNTHESE DE L'ACTIVITE, extrapolation au SYSTEME ETUDIE puis à votre TIPE**

11. Pour le système MAXPID, en utilisant le schéma bloc de la page suivante, INDIQUER comment il faudrait envisager la modélisation expérimentale de l'ensemble MC + cinématique et EXPOSER les difficultés à mettre en œuvre cette méthode pour un système complet en ordre de marche.
12. Pour votre TIPE, ENVISAGER une démarche comparable de type « modélisation expérimentale ». CITER la modélisation dont vous avez besoin et DONNER les grandes lignes de la méthode à mettre en œuvre (types des grandeurs pertinentes à mesurer, capteurs qu'il vous faudra utiliser).

**ACTIVITE 3 CI24 (2H30) : Réglage des performances dynamiques de l'asservissement****TRAVAIL PREPARATOIRE**

Prendre connaissance de l'extrait du mode d'emploi du MAXPID et de la notice du logiciel d'asservissement.

1. METTRE en service le système et PROCEDER à l'étalonnage du capteur de position (suivre la procédure fournie).

**REPONSE INDICIELLE DU BRAS POUR UN MOUVEMENT DANS LE PLAN HORIZONTAL**

2. CHARGER le bras de robot avec une masse de 650g si ce n'est déjà le cas.
3. ACCEDER au réglage du correcteur PID et REGLER la valeur de  $K_p$  à 70, et celles de  $K_i$  et  $K_d$  à la valeur « 0 ».
4. FAIRE un essai indiciel d'environ  $30^\circ$ , de la position  $40^\circ$  à la position  $70^\circ$  environ, dans un sens puis dans l'autre.
5. ENREGISTRER les tracés de la réponse en **angle du bras et du courant moteur** l'IMPRIMER sur feuille.
6. RELEVER pour l'**angle du bras** les résultats importants (**distinguer valeur absolue avec ses unités et relative en %**) :
  - valeur finale et valeur éventuelle du premier dépassement  $D1(\%)$ , l'erreur finale absolue et relative,
  - temps de réponse à 5% et temps de montée (de 10% à 90% de la variation de la sortie),
  - pseudo période  $\omega_R$  éventuelle des oscillations,
  - symétrie ou non du fonctionnement pour les 2 sens de rotation du bras.
7. RELEVER la valeur du pic de courant et du courant permanent lorsque la position est atteinte.
8. EFFECTUER le même essai et les mêmes relevés avec 2 masses de 650g, COMPARER le temps de réponse et JUSTIFIER son évolution.

**REPONSE INDICIELLE DU BRAS POUR UN MOUVEMENT DANS LE PLAN VERTICAL**

9. LAISSER en place les 2 masses de 650g et placer le « Maxpid » verticalement, RENOUELER l'essai précédant avec les mêmes réglages du correcteur et de la course du bras dans les 2 sens.
10. ENREGISTRER les tracés de la réponse en angle du bras sans l'imprimer, OBSERVER et RELEVER la valeur de l'erreur finale. JUSTIFIER la présence d'une erreur statique dans cette situation.

Pour supprimer l'erreur finale dite « erreur statique » car en réponse à un échelon, il faut mettre en place une correction de type PI (Proportionnelle + Intégrale).

11. AGIR sur le correcteur PI pour OBTENIR une réponse sans dépassement mais la plus rapide possible (amortissement  $m = 1$ , réponse dite critique).
12. ENREGISTRER le tracé de la réponse en **angle du bras** et du **courant moteur** pour un angle positif et l'IMPRIMER.

**SYNTHESE ET CONCLUSION SUR VOTRE ACTIVITE**

13. INDIQUER et COMMENTER quelles sont les influences sur le **positionnement du bras** du type de correction P et PI d'un point de vue dynamique.
14. Pour un réglage du correcteur donné, DEVELOPPER une analyse qualitative de l'influence des actions mécaniques (statique), des liaisons (cinématique), de l'énergétique et des pertes (dynamique) sur le comportement lors du mouvement.