



TRAVAUX PRATIQUES

SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGENIEUR



Modélisation dynamique et pilotage des systèmes

CI23 CI24
CI26

DAE : dynamique de l'assistance de la direction

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

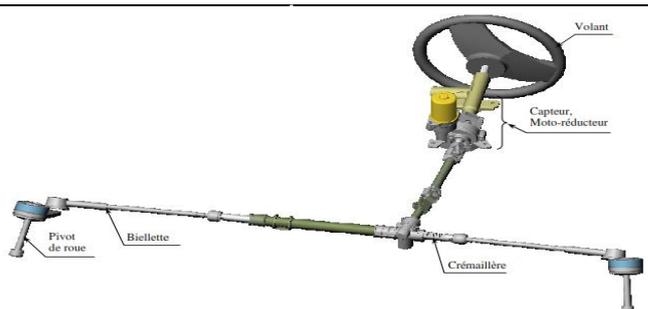
- d'exploiter un modèle 3D pour établir en partie le modèle de connaissance,
- d'acquérir la réponse indicielle et d'en déduire un modèle de comportement,
- d'agir sur le réglage d'un correcteur pour ajuster une réponse dynamique.

Présentation du système

La direction assistée électrique variable assiste les efforts de direction dès la sollicitation du volant.

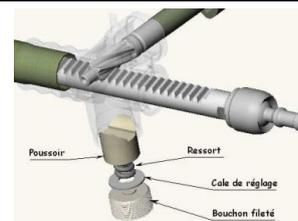
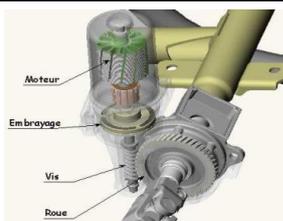
Quand un effort apparaît au volant, il est transmis mécaniquement à la crémaillère. L'image de cet effort du conducteur est présentée au calculateur.

Celui-ci par l'intermédiaire d'une interface d'électronique de puissance, fournit au moteur électrique un courant d'alimentation en fonction du couple imposé au volant et de la vitesse du véhicule.



Cet effort (couple d'assistance) s'additionne au couple appliqué par le conducteur au volant via un réducteur de type vis sans fin et roue.

Détail du motoréducteur et de la cinématique associée à la colonne de direction et à la crémaillère.



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 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)

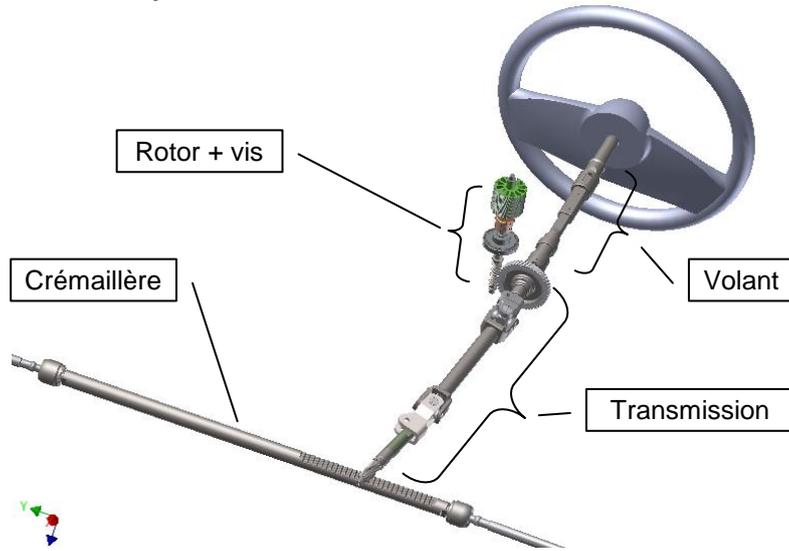
Le **chef de projet** gère la mise en commun des travaux effectués, il complète la « fiche bilan » distribuée, synthétise les études et résultats obtenus avec pour objectifs de **comprendre et expliquer le lien entre les 3 activités et la problématique posée**.

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 importants pour sa dynamique :

ENERGIE CINETIQUE, PUISSANCES INTERIEURES ET EXTERIEURES

Mise en place des éléments de l'étude



Données :

$$J_{\text{transmission}} = 281 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

$$\left. \begin{matrix} J_{\text{rotor+vis}} = J_{rv} \\ J_{\text{volant}} = J_v \\ M_{\text{crémaillère}} = M_c \end{matrix} \right\} \text{ Valeurs numériques à retrouver sur modèle Inventor}$$

Rayon pignon : $R_p = 7 \text{ mm}$

Caractéristiques roue et vis sans fin :

$$\left. \begin{matrix} \text{Vis : 1 filet} \\ \text{Roue : 23 dents} \end{matrix} \right\} \text{ Rapport de réduction : } r_{rv}$$

1. Lister les principaux composants dont les caractéristiques (masse et inertie) peuvent influencer sur le comportement dynamique de la direction lors de la mise en route de l'assistance électrique.

L'énergie cinétique accumulée dans le système

2. Exprimer l'énergie cinétique correspondante pour les sous-systèmes suivants : crémaillère, transmission, volant et rotor + vis. Les écritures abordées en cours seront impérativement respectées.
3. 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 la crémaillère $V_{c/0}$ et vitesses angulaires de la transmission $\omega_{tr/0}$ et du volant $\omega_{v/0}$ en fonction de la vitesse angulaire du rotor par rapport au bâti notée $\omega_{m/0}$.
4. Puis établir l'expression littérale de l'énergie cinétique totale sous la forme $E_{c \text{ totale}} = \frac{1}{2} J_{\text{éq}} \omega_{m/0}^2$.

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

Prise en compte des puissances intérieures

5. 1^{er} cas : On suppose la liaison glissière entre la crémaillère et le bâti comme parfaite. Déterminer le moment 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.
6. 2^{ème} cas : Les frottements sont pris en compte dans cette même liaison glissière. Ils sont associés au modèle d'une force résistante, notée F_r , suivant la direction \vec{y} du déplacement. En déduire la puissance désormais dissipée dans cette liaison.
7. Dans quel cas cette puissance sera considérée comme « intérieure » ou « extérieure » au système (termes utilisés dans l'écriture du théorème de la puissance cinétique).
8. Proposer un protocole expérimental permettant de quantifier les pertes dues au frottement entre le volant et la sortie de la crémaillère. Puis le mettre en œuvre et estimer le couple de frottement correspondant.
9. Conclure sur les solutions technologiques employées pour minimiser ces pertes.
10. Quelle hypothèse doit-on impérativement vérifier 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 moteur est alimenté.
12. Formuler l'écriture de la puissance extérieure correspondante.

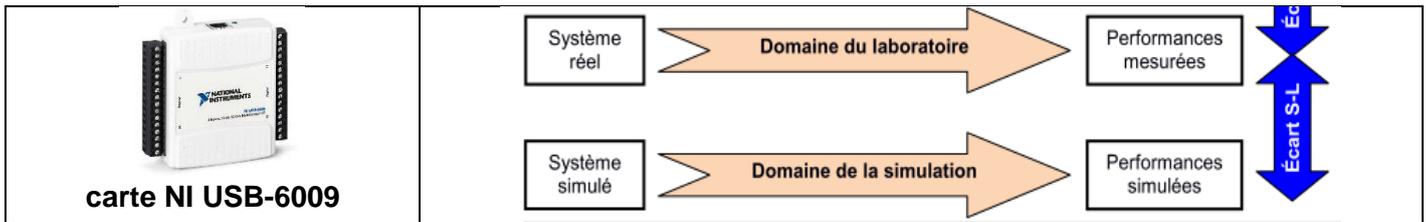
SYNTHESE DE L'ETUDE

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_{mot} . En fonction de $J_{\text{éq}}$, $\dot{\omega}_{m/0}$, r_{rv} et $C_{\text{résistant}} = C_r$.
14. Afin de répondre suffisamment rapidement à des sollicitations rapides exercées sur le volant par le conducteur, l'accélération du moteur sera égale à $20000 \text{ tr.min}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Déterminer le couple moteur à fournir en conséquence et vérifier le dimensionnement du moteur en place.

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.

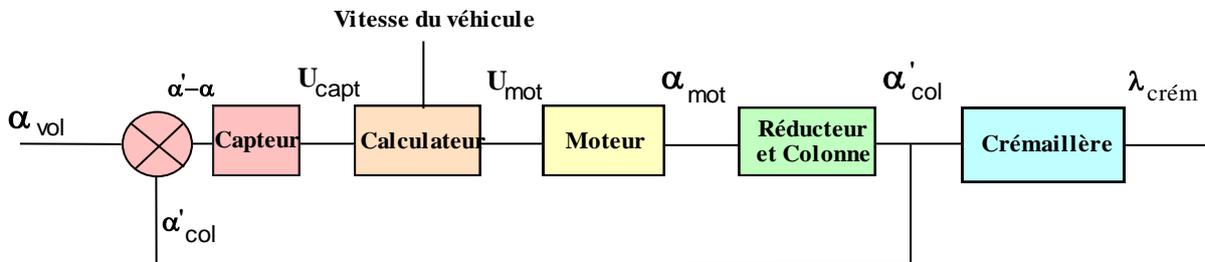
MODELISATION EXPERIMENTALE, ETABLISSEMENT DU MODELE

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 DAE, en utilisant le schéma bloc ci-dessous, INDIQUER comment il faudrait envisager la modélisation expérimentale de l'ensemble MCC + 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

DECOUVERTE DU SYSTEME ET DU LOGICIEL D'ACQUISITION

La DAE étant hors tension, les deux pivots de roue étant serrés pour simuler le frottement des roues au sol.

1. TOURNER à plusieurs reprises le volant. Que constate-t-on du point de vue sensation au volant ?

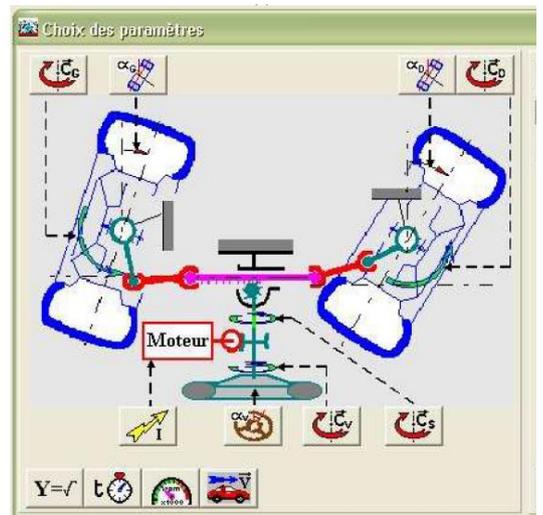
La DAE étant sous tension avec assistance (mode normal de fonctionnement)

Mettre le moteur du véhicule en marche par l'interrupteur régime moteur en position 1, régler la vitesse du véhicule au minimum (potentiomètre en butée à gauche), tourner la clé de contact près du volant.

Vérifier que le voyant rouge de défaut s'allume quelques instants puis s'éteint, que le voyant jaune de l'embrayage s'allume et que le voyant moteur vert s'allume lorsque l'on tourne le volant.

2. TOURNER à plusieurs reprises le volant. Que constate-t-on maintenant du point de vue sensation au volant ?

3. LANCER le logiciel « Acquisition DAE » qui permet d'acquérir et de visualiser les mesures. Etablir la communication en validant successivement [Mesures], [Initialiser]. Un message à l'écran indique que la mesure est prête à démarrer. Appuyer sur le bouton « Départ mesure » du tableau de bord suffisamment longtemps pour que la mesure se lance, le chronomètre se met alors à décompter une durée de 10s.



4. Pendant ces 10s, TOURNER lentement le volant vers la gauche d'environ un tour, puis vers la droite toujours d'un tour. Lorsque l'importation des résultats est terminée FERMER la fenêtre en cours.

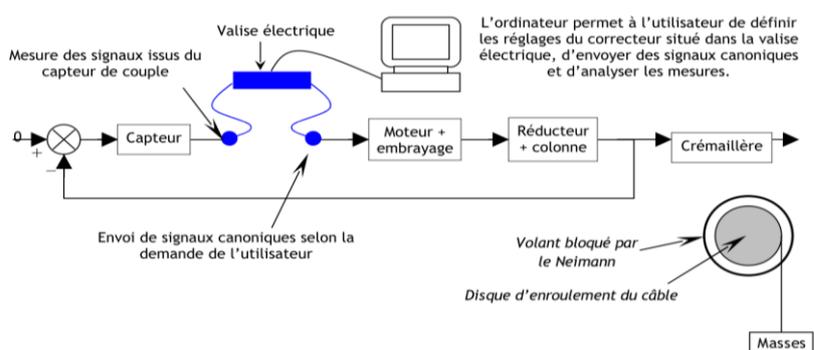
Faire TRACER simultanément le couple exercé au volant et le couple exercé par la colonne de direction. MONTRER que le couple d'assistance existe et le QUALIFIER au fil de votre mesure en sens et intensité.

JUGER du comportement stable de cette boucle d'assistance.

REGLAGE DU CORRECTEUR PID

Une valise externe, équipée d'un microprocesseur identique à celui de la machine, permet de piloter la machine en remplacement de la carte industrielle. Elle permet d'effectuer une correction PID (Proportionnelle Intégrale Dérivée).

La mise en œuvre de cette carte additionnelle doit suivre la fiche en Annexe 1.



5. Suivre scrupuleusement l'Annexe 1 pour la mise en œuvre de la valise externe et de son câblage.

Faire vérifier le câblage par le professeur

REGLAGE PROPORTIONNEL :

6. METTRE l'ordinateur sous tension et LANCER le programme VEDAE. CHOISIR le mode de fonctionnement « boucle fermée ». REGLER les paramètres de commande : $K_p = 0,8$; $K_i = K_d = 0$

7. LANCER une mesure et TOURNER le volant à plusieurs reprises. VERIFIER que l'on retrouve sensiblement les mêmes sensations d'assistance qu'avec la DAE et son calculateur d'origine lors de l'essai de la question 2.

8. MODIFIER les paramètres de commande : Soit $K_p = 0$ et $K_i = K_d = 0$ et relancer une nouvelle mesure. De quel essai se rapproche-t-on alors ?
 9. MODIFIER à nouveau les paramètres du correcteur en augmentant progressivement $K_p = 1 ; 1,5 ; 2 \dots$
COMMENTER le comportement de l'assistance et les sensations ressenties lors de la manœuvre du volant.
- REGLAGE INTEGRAL** : 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).
10. CONSERVER le correcteur proportionnel $K_p=0,8$ puis AUGMENTER K_i progressivement, valeurs 10; 20; 30; 40.
COMPARER les réponses et CONCLURE sur la précision et la stabilité.

SYNTHESE ET CONCLUSION SUR VOTRE ACTIVITE

11. INDIQUER et COMMENTER quelles sont les influences sur **le comportement de l'assistance de direction** du type de correction P et PI d'un point de vue dynamique.
12. 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 de la direction.