



## TRAVAUX PRATIQUES SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGENIEUR



### Variation de vitesse des systèmes, Intérêt et mise en œuvre

DC20 DC22  
DC26

### Contrôle de la cadence d'un système de production

#### Problématique

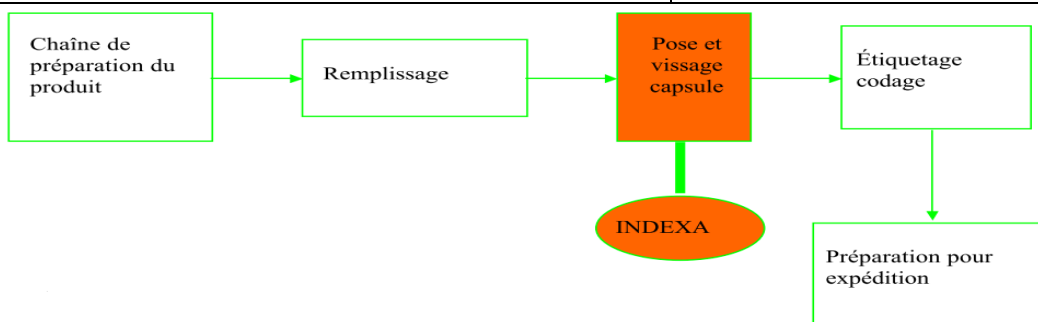
*Comment contrôler le mouvement d'entraînement du carrousel de remplissage de bocaux, du point de vue cinématique, des actions mécaniques et de ses chaînes d'énergie et d'information électrique ?*

#### Présentation du système

Le système INDEXA est une des dernières parties opératives d'une chaîne alimentaire, il permet de visser des capsules sur les bocaux d'aliments pour bébés.

Le système INDEXA se compose :

- d'un tapis d'alimentation des bocaux,
- d'un système électromécanique d'indexage des bocaux à croix de Malte,
- d'une partie opérative pneumatique de pose et vissage des capsules
- d'une partie commande par automate programmable TSX17 ou TSX 37.
- d'un pupitre de commande.



#### Démarche à suivre

On vous demande à partir de l'observation du système, de son dossier technique, de mesures et de simulations numériques, de vérifier et valider les solutions techniques adoptées pour :

- obtenir le mouvement de positionnement d'un bocal à capsuler et contrôler sa cadence,
- mettre en œuvre les moyens de réglages et configuration de ce mouvement.

**La résolution de la problématique proposée se fera sous forme collaborative (activité commune).**

#### Répartition des activités :

##### Activité 1 (2h15) / DC20 Cinématique et actions mécaniques des systèmes (Modéliser, Résoudre)

Mettre en évidence que la maîtrise du mouvement du maneton (position, vitesse, accélération), que la limitation des contraintes sur les éléments constitutifs du système, nécessitent la mise en place d'un entraînement à vitesse et couple contrôlés.

Chef de projet

##### Activité 2 (2h15) / DC22 Machines alternatives (MAS) et leur contrôle (Analyser, Résoudre, Expérimenter)

Déterminer la loi entrée sortie permettant de paramétrer le pilotage d'un moteur asynchrone en fréquence.

Déterminer les paramètres de réglage d'un profil de vitesse, le programmer dans un variateur industriel et valider sa réalisation par la mesure.

##### Activité 3 (2h15) / DC26 Acquisition d'une information de position, numérisation et traitement (Identifier, Analyser, Résoudre et adapter une solution programmée)

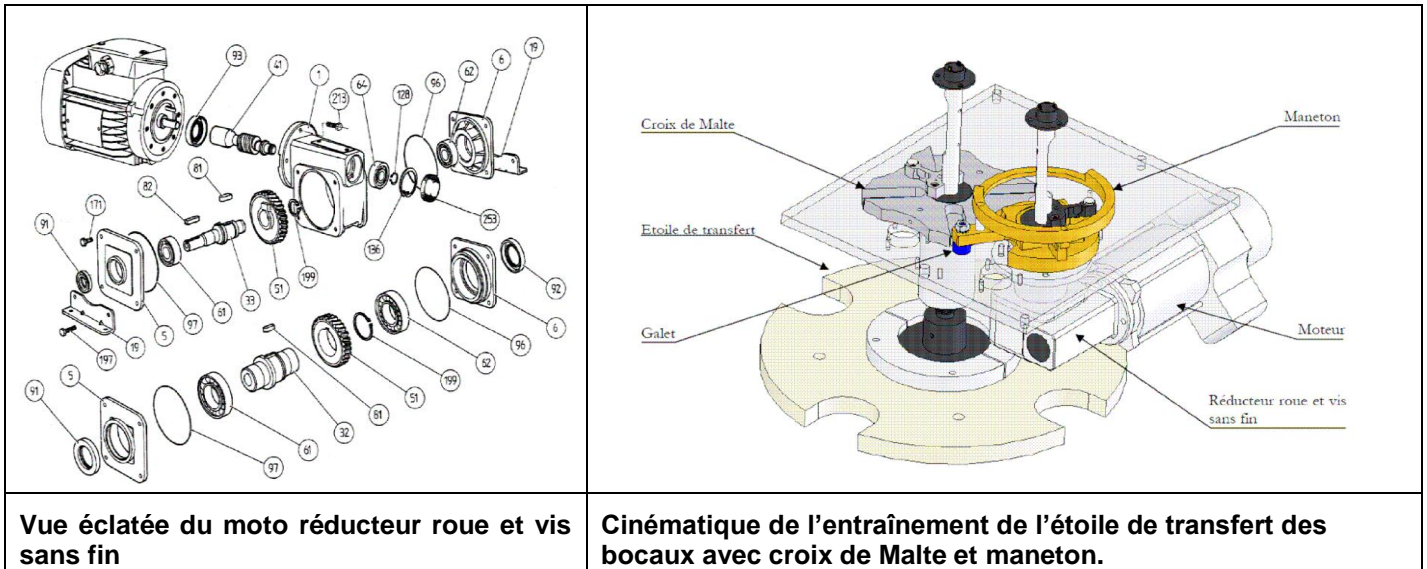
Valider la solution d'acquisition en place, déterminer sa fonction de transfert analogique / numérique, paramétrer une procédure programmée d'étalonnage automatique sur une interface programmable (ARDUINO).

##### Activité commune de synthèse et restitution orale (30' + 5') / (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,
- présenter oralement cette synthèse et les principaux résultats obtenus en respectant les critères d'évaluation.

Présentation du système



Vue éclatée du moto réducteur roue et vis sans fin

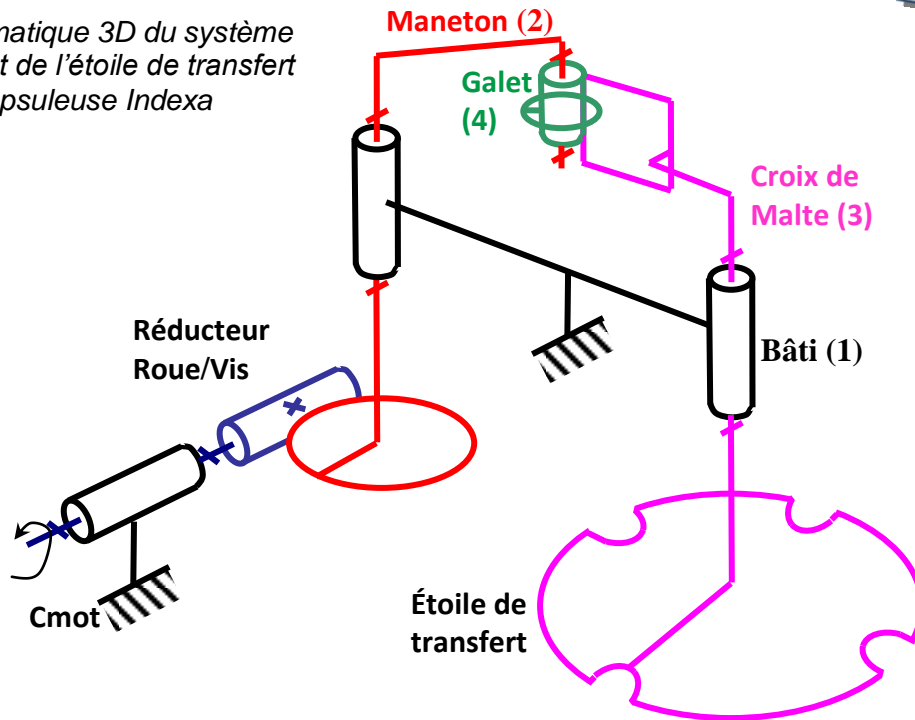
Cinématique de l'entraînement de l'étoile de transfert des boccas avec croix de Malte et maneton.

Activité 1 / DC20 Cinématique et actions mécaniques des systèmes

INDEXA

*Chef de projet*

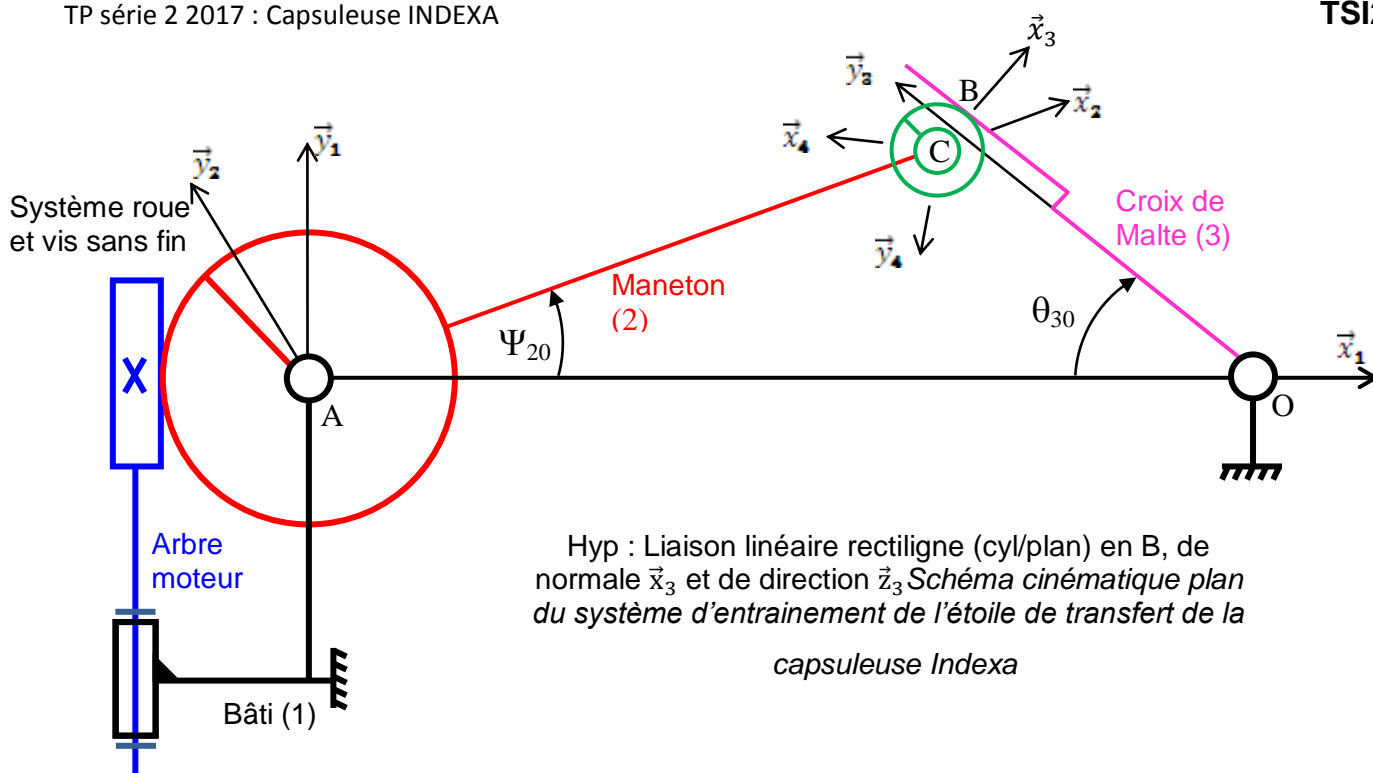
Schéma cinématique 3D du système d'entraînement de l'étoile de transfert de la capsuleuse Indexa



On définit les éléments suivants :

- $R_1 (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  le repère associé au bâti,
- $R_2 (A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  le repère associé au maneton en liaison pivot d'axe  $(A, \vec{z}_1)$ ,
- $R_3 (O, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$  le repère associé à la croix de Malte en liaison pivot d'axe  $(O, \vec{z}_1)$ ,
- $R_4 (C, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$  le repère associé au galet en liaison pivot d'axe  $(C, \vec{z}_4)$ .  $\theta_{43} = (\vec{x}_3, \vec{x}_4)$

On note  $\{T_{i \rightarrow j}\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{i \rightarrow j} \\ \vec{M}_{P, i \rightarrow j} \end{Bmatrix}_P = \begin{Bmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{Bmatrix}_{P, R_k}$ , le torseur des actions mécaniques du solide i sur le solide j au point P dans le repère  $R_k$ .



Hyp : Liaison linéaire rectiligne (cyl/plan) en B, de normale  $\vec{x}_3$  et de direction  $\vec{z}_3$   
 Schéma cinématique plan du système d'entraînement de l'étoile de transfert de la capsuleuse Indexa

**Critères de choix du galet**

L'étude qui suit ne prend pas en compte le motoréducteur (moteur et réducteur roue et vis sans fin).

1. Déterminer le degré d'hyperstatisme « h » du système simplifié et montrer qu'une condition géométrique est nécessaire au bouclage du mécanisme. La spécifier.
2. Proposer une modification du modèle du système pour obtenir un système isostatique.

La présence du galet dans la transmission de puissance est-elle justifiée ? 3 étapes à suivre :

- Recherche des efforts encaissés par ce galet lors de la mise en mouvement de la croix (Q4 et Q5),
- Justification de la présence d'un galet (Q5),
- Critères de choix d'un galet (Q6 et Q7).

3. Proposer une ou plusieurs démarches permettant d'évaluer les efforts au niveau du galet.

Vous avez à votre disposition un modèle 3D (Inventor) du système d'entraînement maneton/croix de Malte avec les différents composants (Ressources CPGE / TSI-2 / SI / Maquettes Inventor / Indexa / SysCompMonté Croix4T.iam).

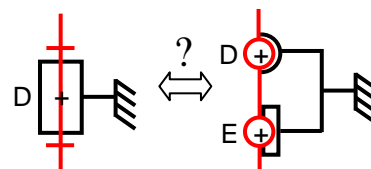
4. Lancer la simulation dynamique (tous les paramètres sont en place sur le modèle) et afficher le graphique de sortie « Force\_ref1 » obtenu dans la liaison de force du « Contact Galet, Croix de Malte ».
5. Imprimer ou tracer la courbe de l'effort encaissé par le galet tout au long du déplacement de la croix. Justifier l'allure de cette courbe. Préciser la valeur maxi  $F_{\text{galet max}}$  que vous prendrez en compte pour la suite de l'étude du dimensionnement du galet. La présence d'un galet semble-t-elle justifiée ?
6. Critères de choix du galet : selon la méthode de votre choix, estimer le nombre de tours effectués par le galet (condition de roulement sans glissement) lorsque la croix pivote de 90°.
  - Le cahier des charges impose une cadence de capsulage de 10 bouchons maximum par minute.
  - Avec un fonctionnement 24h/24 et 365 jours par an.
  - Une intervention de maintenance sur le système est prévue annuellement.
7. En suivant la notice de calcul d'un roulement, sélectionner une référence de galet compatible avec le cahier des charges exprimé ci-dessus. Hyp : la charge dynamique  $P = F_{\text{galet max}}$  (effort purement radial).
8. Conclure sur l'étude menée (démarche, critères de choix des galets (roulements)) et indiquer si le galet en place actuellement paraît correctement dimensionné.

**Modèle de liaison équivalente**

La liaison pivot entre le maneton et le bâti est réalisée par un montage de roulements qui amène le schéma de montage suivant :

9. Etablir l'équivalence statique entre le montage des 2 liaisons élémentaires et la liaison pivot.

Démarche : établir les torseurs statiques des 2 liaisons simples, les réduire en un même point (à vous de paramétrer), et comparer la somme de ces torseurs avec l'allure d'un torseur statique d'une liaison pivot.



**Bilan activité 1**

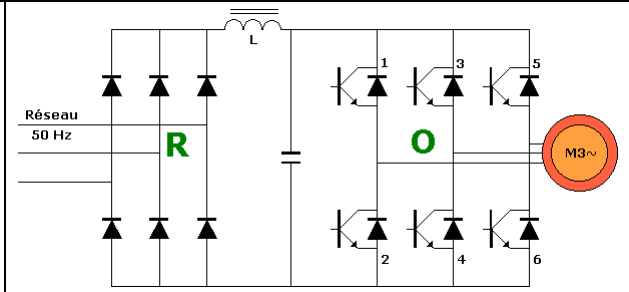
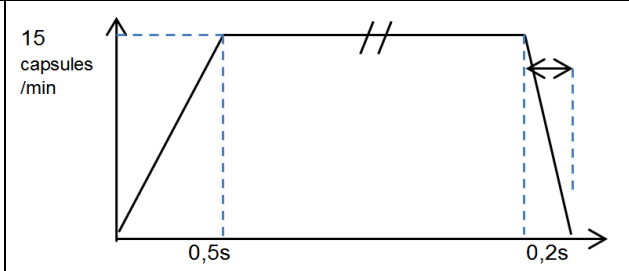
10. Justifier l'étude menée dans le cadre de la problématique posée.

## Activité 2 / DC22 Machines alternatives triphasées (MAS) et leur contrôle

### Travail préparatoire, détermination des paramètres de variateur à programmer

1. Justifier la nécessité de mettre en place sur ce système une variation de vitesse sur le cycle de capsulage.
2. Relever le rapport de réduction  $R$  du réducteur et identifier sa technologie selon la forme de son carter.
3. Relever la vitesse nominale du moteur en place sur le système. Calculer le glissement nominal  $g_N$  du moteur et fournir la relation entre la vitesse du rotor  $\Omega_{R/0}$  le glissement  $g$  et la vitesse de synchronisme  $\Omega_{S/0}$ .
4. Etablir la relation entre la vitesse de rotation du rotor moteur  $\Omega_{R/0}$  ( $\text{rad.s}^{-1}$ ) et la vitesse de rotation du maneton 2  $\Omega_{2/0}$  ( $\text{rad.s}^{-1}$ ). Faire pour la vitesse nominale du moteur, l'application numérique pour  $N_{2/0}$  (tr/min).
5. A partir de vos réponses précédentes, établir en considérant le glissement constant et égal à  $g_n$ , la relation entre la fréquence d'alimentation du moteur  $f$  et de la vitesse de rotation du maneton  $N_{2/0}$  en tr/min. Donner alors la valeur de  $K$  dans l'expression  $N_{2/0} = K.f$ .
6. Indiquer en justifiant la réversibilité ou l'irréversibilité de l'entraînement mécanique du point de vue de l'application, la grandeur d'entrée étant la vitesse de rotation du moteur.
7. Si on applique un couple entraînant sur la sortie (côté maneton), indiquer en justifiant technologiquement, la réversibilité ou l'irréversibilité de l'entraînement mécanique en direction de l'entrée (coté moteur).
8. Dédire alors pour le système, les quadrants de fonctionnement du moteur dans le plan couple/vitesse lors du fonctionnement, d'un point de vue de régime établi. Illustrer votre réponse dans le plan  $C=f(\Omega_{R/0})$ .

### Programmation du variateur et vérification expérimentale

|   |  |
|---|--|
| <p>Vous avez à disposition <u>en dehors de votre système</u>, un variateur type ATV 21 programmable selon la notice fournie en annexe, et un moteur asynchrone triphasé avec une mesure de vitesse par dynamo tachymétrique.</p> <p><b>Pour réaliser la fonction d'adaptation de vitesse de la capsuleuse (cadence en capsulage/min) et imposer les phases de démarrage et d'arrêt du moteur asynchrone, on programme le profil de vitesse ci-contre.</b></p> |   |
| <p><i>Remarque : Les accélérations sont linéaires, le temps fixé pour la rampe positive ou négative est toujours celui pour passer de 0 à 50Hz ou de 50 à 0Hz.</i></p> <p><i>Ainsi lorsque l'on veut un passage de 0 à 25 Hz en 2 s le temps à programmer sera de 4s, c'est-à-dire celui qui donnerait un passage de 0 à 50Hz même si la fréquence maxi est de 25Hz.</i></p>  |  |

9. Calculer la fréquence maxi **HSP** à fixer pour la vitesse établie et donner les valeurs de temps d'accélération **ACC** et de décélération **DEC** pour ce profil, en tenant compte de la remarque ci-dessus.
10. Relever la vitesse nominale du moteur mis à disposition et sa puissance utile. Dédire sa vitesse de synchronisme et indiquer si elle a même valeur que celle de votre application.

*Si ce n'est pas le cas vous programmerez néanmoins les paramètres prédéterminés.*

11. Réaliser le couplage du moteur en sachant que le variateur dont vous disposez délivre des tensions efficaces de 230V entre phases.

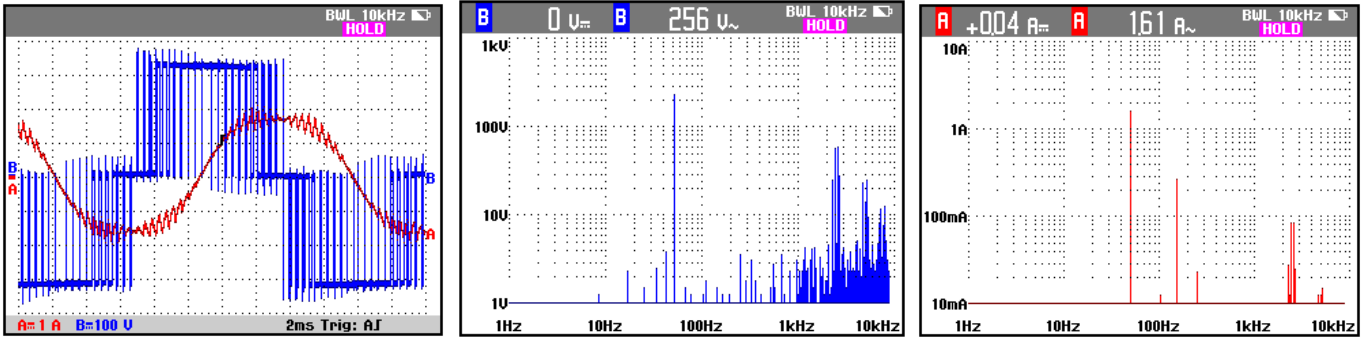
Avec le matériel en place sur le poste de travail, vous devez :

- mesurer la tension efficace  $V$  aux bornes d'un enroulement du moteur avec un **voltmètre**
- observer la tension  $v(t)$ , le courant  $i(t)$  aux bornes d'un enroulement moteur avec un **premier oscilloscope**.
- observer la rampe de mise en vitesse du moteur (dynamo tachymétrique) par un **second oscilloscope**.

12. Proposer un schéma et un protocole de mise en œuvre de ces mesures avec les appareils dont vous disposez. *Penser à la séparation de la mesure des signaux rapides (découpage de l'onduleur) et des signaux lents (vitesse).*

**Faire valider votre schéma et protocole, réaliser le câblage seulement si vous y êtes autorisé.**

13. En suivant les indications de la notice du variateur, programmer les paramètres **HSP**, **ACC** et **DEC** prédéterminés.
14. Mettre en service le variateur et vérifier les durées des 2 rampes de vitesse (démarrage et arrêt).
15. Pour la vitesse stabilisée (valeur de HSP), relever la tension efficace d'un enroulement et la fréquence.
16. Diviser par 2 cette vitesse à l'aide du potentiomètre du variateur et faire les mêmes relevés, **commentez**.
17. Observer simultanément la tension et le courant aux bornes d'un enroulement ajuster les réglages de l'oscilloscope pour obtenir des signaux comparables à ceux fournis ci-dessous à gauche.

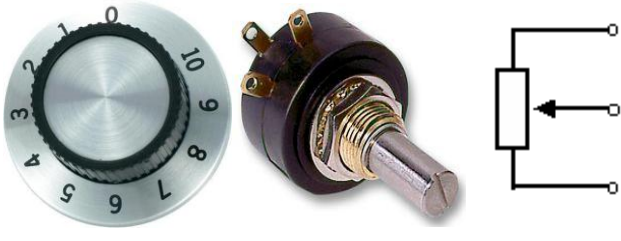


18. Expliquez ce que signifie MLI, relever la valeur de la tension du bus continu et le déphasage entre  $v(t)$  et  $i(t)$ .
19. Utilisez l'oscilloscope en analyseur de spectre sur la tension et sur le courant. Vous devez obtenir des signaux comparables à ceux fournis ci-dessus.  
Indiquez pourquoi le spectre du courant est plus réduit que celui de la tension.
20. Conclure sur l'intérêt qu'apporte la mise en place d'un variateur de vitesse dans un contexte de production industrielle ou ici de conditionnement.



**Activité 3 / DC26 Acquisition de l'information de cadence par minute, numérisation et traitement**

L'information de cadence de capsulage est fixée par un potentiomètre rotatif gradué.

|   |  |
|---|--|
|  | <p><b>ELECTRICAL</b></p> <p>RESISTANCE VALUES _____ 500,1K,2K,5K,10K,20K<br/> RESISTANCE TOLERANCE _____ <math>\pm 10\%</math><br/> LINEARITY(INDEPENDENT) _____ <math>\pm 1\%</math><br/> ELECTRICAL ANGLE _____ <math>320^\circ \pm 5^\circ</math><br/> END RESISTANCE _____ 0.2% MAX.<br/> RESOLUTION _____ ESSENTIALLY INFINITE</p> <p>La linéarité est donnée pour la pleine échelle (PE)</p> <p><b>MECHANICAL</b></p> <p>NO OF TURNS _____ 1<br/> MECHANICAL ROTATION _____ <math>320 \pm 5^\circ</math><br/> ROTATIONAL LIFE _____ 10,000,000 TURNS</p> |
| Vue du potentiomètre gradué et symbole  | Caractéristiques principales   |

**ETABLISSEMENT DE LA FONCTION DE TRANSFERT DU CAPTEUR**

On note l'angle du bouton  $\theta_B$  ( $^\circ$ ) et la tension de sortie du potentiomètre  $V_{\theta B}$  (V).

1. Indiquer la grandeur physique de l'information issue de ce capteur et le lien (logique, numérique, analogique) entre son entrée et sa sortie.
2. Représenter ce potentiomètre avec son symbole normalisé en mettant en place son alimentation  $V_{cc}$ , sa tension de sortie  $V_{\theta B}$  et la variable  $\theta_B$  qui agit sur la position de son curseur.
3. Donner la plage électrique et la plage mécanique de ce potentiomètre.
4. Etablir la fonction de transfert du potentiomètre sous la forme  $V_{\theta B} = K_B \cdot \theta_B$ . Calculer  $K_B$  pour  $V_{cc} = 10V$ .
5. Illustrer sur votre graphe ce que représente la linéarité du potentiomètre, calculer la valeur absolue de l'erreur angulaire maximale en  $^\circ$ .
6. Vérifier expérimentalement sur le système la loi que vous venez d'établir (proposer un protocole de mesure avec schéma et appareil).

Pour exploiter la commande de cadence machine par ce potentiomètre on peut soit relier directement le potentiomètre à une entrée analogique du variateur (le réglage est alors local) soit exploiter cette tension en la numérisant et en la traitant. On peut par exemple « brider » ou limiter la valeur maxi de capsulage pour l'adapter à la production par logiciel afin qu'un opérateur ne puisse pas afficher une valeur de cadence inadaptée.

On utilise pour cela un codage sur 8 bits non signé, on nomme incrément la variation du bit de poids faible (LSB).

7. Indiquer le nom de la fonction à mettre en place pour numériser le signal tension issu du capteur.
8. En admettant une exploitation complète de la plage de tension de 0 à 10 V pour l'angle de rotation électrique de  $320^\circ$ , déterminer la résolution obtenue par le codage numérique en  $V/\text{incrément}$  puis  $^\circ/\text{incrément}$ .

**On nomme  $q$  (quantum) cette valeur.**

9. Représenter la courbe liant le code  $N$  binaire à l'angle  $\theta_B$ , bien préciser les valeurs caractéristiques (tension et mot binaire de 8bits).
10. Donner sans aucun calcul en utilisant les propriétés du code binaire, la valeur du code format 8 bits pour un angle de bouton  $\theta_B = 160^\circ$  puis  $80^\circ$ .

**PROCEDURE DE « BRIDAGE » DE LA PLAGE DU POTENTIOMETRE (CARTE ARDUINO)**

On vous propose dans le document « Procédure de réglage d'un capteur analogique » un programme permettant un étalonnage du capteur dans son environnement de montage en place sur le système.

Ce document est un document réponse (DR) que vous complétez au fil des questions et de votre expérimentation.

11. Retrouver dans le programme les parties et les informations suivantes :
  - Localiser et indiquer sur le DR la déclaration des variables et le repère des entrées/sorties, relever leur affectation et leur rôle.
  - Localiser la partie du programme correspondant à la recherche de la plage du capteur exploitée, indiquer quelle est la durée de la phase d'étalonnage possible.
  - Proposer dans le programme une modification de cette durée pour l'étendre à 14s.
  - Indiquer dans quelle plage numérique et sur quel format l'information numérique va être calibrée après l'étalonnage.
  - Proposer dans le programme une modification pour que la plage totale issue du potentiomètre soit limitée à 80% de sa valeur maxi.
12. Compléter page 2 du document réponse (DR) le schéma en mettant en place le potentiomètre fourni et la LED.
13. Téléverser le programme modifié dans la carte ARDUINO et procéder aux essais vérifier la fonction « bridage ».
14. **Conclure en justifiant la procédure de bridage\* d'une commande sur un système réel.**

**Indiquer à quel moment cette procédure doit être faite.**

*\*Exemple : La législation sur les 2 roues est différente d'un pays à l'autre, l'importation d'un produit doit respecter la loi du pays importateur. Un scooter électrique roulant à 80km/h « poignée en coin » sera bridé à 45km/h s'il suit la législation française.*