

# AGREGATION

## SESSION 2004

### CONCOURS INTERNE

#### Section : GÉNIE ELECTRIQUE

Option A : ELECTRONIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE  
Option B : ELECTROTECHNIQUE ET ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

### ÉTUDE D'UN PROBLEME D'AUTOMATISATION

DURÉE : 6 HEURES, COEFFICIENT : 1

*Aucun document n'est autorisé.*

*Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999)  
Convertisseur en Euro autorisé*

### UNITE AUTOMATIQUE DE VISSAGE

Ce sujet comporte 3 dossiers distincts :

📁 Dossier de présentation, texte du sujet avec le travail demandé	15 pages
📁 Documents annexes	24 pages
📁 Documents réponses N°1 à 6	6 pages

Ce sujet comporte quatre parties indépendantes :

- Partie 1 : Etude mécanique des déplacements suivant les axes X et Y.
- Partie 2 : Etude des boucles d'asservissement dans le contrôle d'un axe électrique.
- Partie 3 : Etude de la motorisation de l'axe.
- Partie 4 : Etude du système de lecture / écriture radio fréquence sur l'étiquette électronique.

Ces quatre parties sont à traiter obligatoirement **mais** :

les candidats de l'**option A** ne traiteront pas la question 3.3

les candidats de l'**option B** ne traiteront pas les questions 2.3.3 et 4.4

Trois exploitations pédagogiques sont proposées dans le sujet. Il est recommandé d'y consacrer environ 30% du temps de l'épreuve.

#### Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur feuilles séparées et clairement repérées. Chaque question est identifiée par une police italique et repérées par un numéro.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit :

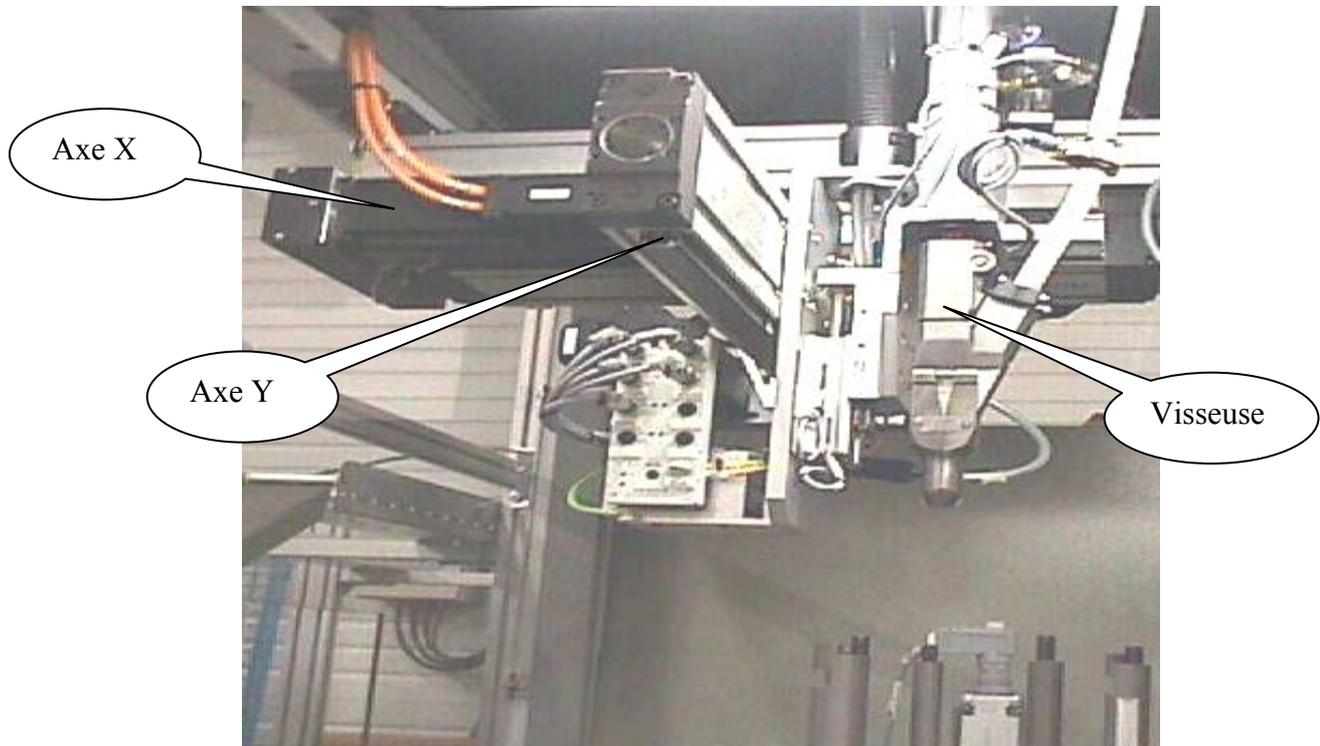
- après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.

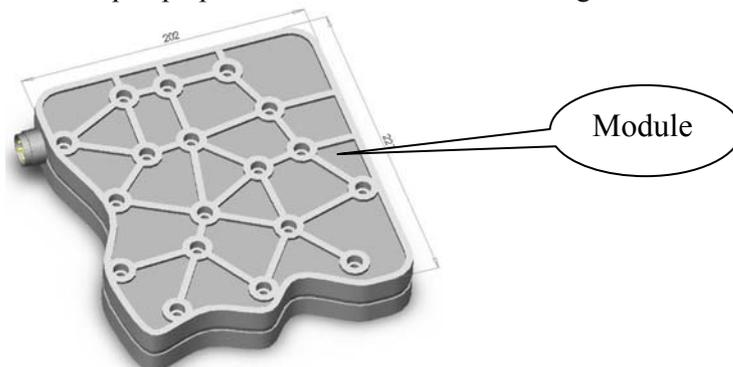
# Unité automatique de vissage

## Contexte industriel

L'entreprise FABRICOM est spécialisée dans la conception de chaînes de montage automatisées. Ce sujet fait référence à une ligne d'assemblage et de contrôle de modules hydrauliques de commande d'engins de travaux publics.



Chez FABRICOM, les chaînes de montage sont segmentées en plusieurs stations dont le nombre dépend de la complexité du produit à assembler. Celle-ci comporte 15 postes automatiques et 5 postes manuels. L'étude qui suit concernera l'équipement d'une station automatique qui permet la distribution et le vissage des 18 vis d'assemblage.

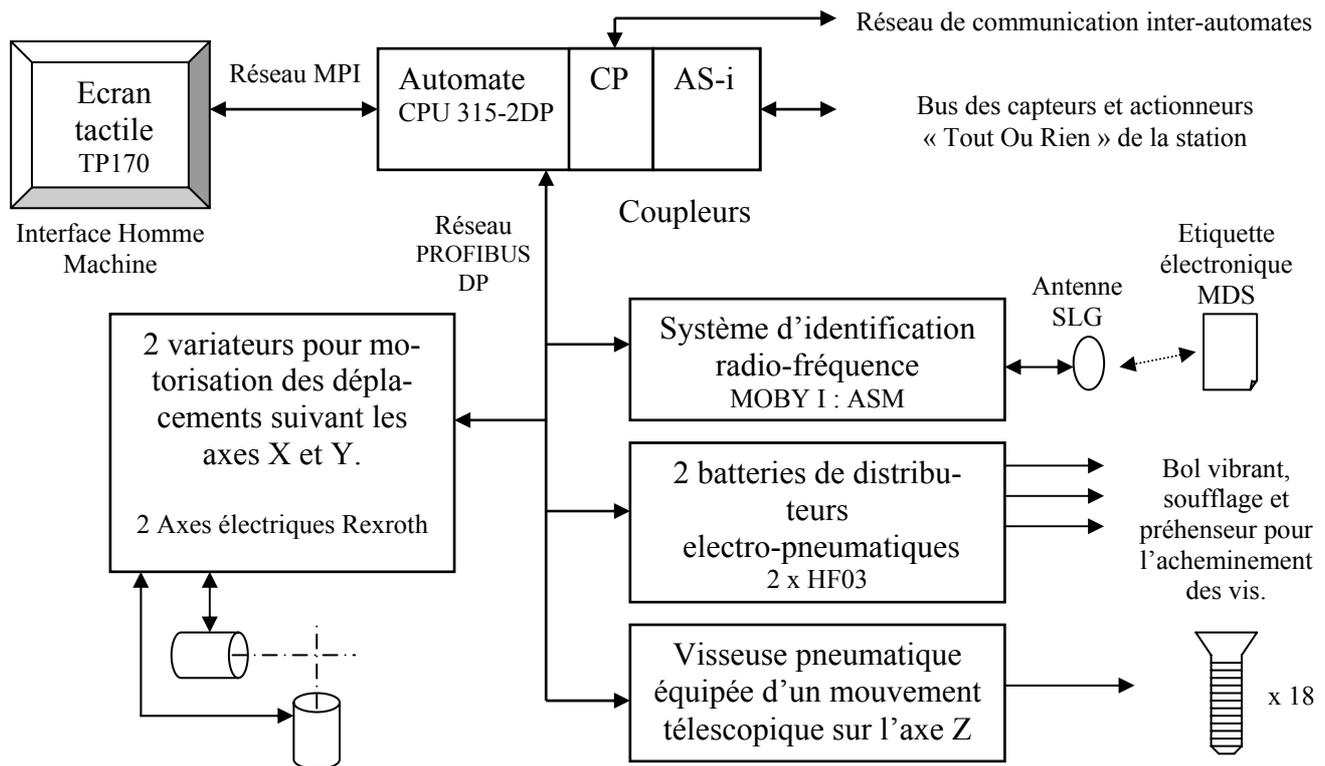


## Constitution de la station

La station est constituée d'un « arrêt palette » implanté dans une structure de cellule automatique standard. Les principaux sous-ensembles de la station sont :

- Un manipulateur X-Y qui permet de déplacer la visseuse automatique au-dessus des positions de vissage.
- Un système d'approvisionnement par soufflage des vis.
- Une visseuse automatique.
- Un dispositif de lecture / écriture de l'étiquette électronique pour traçabilité.

## Architecture de l'automatisme de la station



## Données techniques générales

Contraintes de production	94 modules par heure soit un temps de cycle instantané de 38 secondes par module.	
Durée de vie demandée	10 ans minimum avec une utilisation annuelle moyenne de 7 000 heures	
Axe électrique suivant X	Bosch – Rexroth CKK 20/145 Motorisation AC brushless Rexroth MKD 041B-144-KG1-KN ; Variateur Indramat	
Axe électrique suivant Y	Bosch – Rexroth CKK 15/110 Motorisation AC brushless Rexroth MKD 041B-144-KG1-KN ; Variateur Indramat	
Longueur des axes (vis à billes)	630 mm	
Précision exigée dans le positionnement	0,05 mm	
Profil du déplacement	trapézoïdale : accélération : 20 m/s <sup>2</sup> , vitesse : 1,2 m/s	
Trajectoire	Voir table des points (annexe 1)	
Visseuse Bosh	Pneumatique - mouvement télescopique sur l'axe Z	
Couple de serrage des vis	12 Nm +/- 1 Nm	
Ecriture sur étiquette inductive	Ecrivain : MOBY I - carte d'interface ASM450/451 - émetteur / récepteur SLG 41S étiquette : MDS 404 (FRAM 8 Koctet)	
Informations transcrites pour chaque vis :	Couple final atteint lors du vissage de la vis n° X	1 mot de 16 bits
- Couple de serrage	Rotation nécessaire pour visser complètement la vis n° X	1 mot de 16 bits
- Angle final de vissage		
Composant Vis	M6 x 1 L = 35,5 mm Approvisionnement à l'aide d'un système de distribution par bol vibrant. acheminement jusqu'au préhenseur par soufflage.	

## Partie 1 : étude mécanique des déplacements sur X et Y

Les cycles de déplacement X-Y sont obtenus à l'aide de variateurs, qui commandent les motorisations brushless des axes.

### **1.1 Trajectoires et efforts moyens (autres que axiaux) appliqués pendant la translation et notés $F_m$**

1.1.1 A partir des données techniques générales et de l'annexe 1.1, calculer la longueur des trajectoires en X et en Y qui permettent d'implanter les vis 1 à 4 ; la position initiale étant celle de la vis 1.

Justifier l'ordre de vissage car la trajectoire choisie ne minimise pas la trajectoire.

Les trajectoires totales pour le vissage complet d'un bloc font apparaître :

- 1 374 mm suivant X
- 1 835 mm suivant Y

1.1.2 A partir des données techniques générales, des annexes 1.2 et 1.3, calculer l'effort moyen (mean equivalent load)  $F_m$ , lié à la charge translatée, à respecter pour satisfaire la contrainte de durée de vie imposée (on veillera à prendre la contrainte la plus exigeante).

1.1.3 Quelle masse totale maximale  $m_{fr\ MAX}$  peut-on envisager de déplacer dans ces conditions ? (voir l'annexe 1.3).

### **1.2 Vérification de la validité des choix technologiques effectués pour l'axe X**

L'axe électrique suivant X supporte les efforts les plus grands car il déplace l'autre axe, la visseuse, ainsi que les accessoires. Les déterminations suivantes vont permettre de vérifier l'adéquation du moteur avec les contraintes de l'axe ainsi que le calcul du moment d'inertie total  $J_{TOT}$ .

L'ensemble représente une masse à translater  $m_{fr} = 18$  kg (dont 13 kg pour l'axe Y équipé de son moteur).

1.2.1 A partir des données techniques générales et des l'annexes 1.3 à 1.5 :

- Choisir le diamètre et le pas des vis à billes pour l'application.
- Indiquer le couple moteur maximum autorisé.
- Indiquer la vitesse maximum d'utilisation du moteur  $n_{max}$  (en tr/mn) compte tenu des possibilités de l'axe.
- Calculer le moment d'inertie total  $J_{TOT}$ .

Le fabricant de l'axe impose l'utilisation d'un moteur tel que  $J_M > J_{fr} / 6$ .

$J_M$  est le moment d'inertie du moteur (frein non pris en compte).

$J_{fr}$  est le moment d'inertie de toutes les charges additionnelles.

1.2.2 Donner une explication pertinente quant à cette exigence.

1.2.3 A partir des annexes 1.6 et 1.7, vérifier que le moteur choisi répond aux contraintes déterminées précédemment. Préciser les 3 critères les plus importants.

### **1.3 Etude d'un déplacement à profil de vitesse trapézoïdal**

L'étude qui suit concerne toujours l'axe X. Le couple statique de charge du moteur est uniquement dû aux frottements secs de l'axe (déterminé sur l'annexe 1.5).

1.3.1 Compléter le document réponse 1 qui représente le déplacement de la vis 10 à la vis 11. Tracer les évolutions de :

- la vitesse tangentielle  $V(t)$ .
- le couple  $M(t)$ .
- la vitesse tangentielle  $V(x)$  ou  $x$  est la position relative par rapport à la vis 10.

Pour chaque chronogramme, préciser les valeurs numériques caractéristiques sur les axes.

1.3.2 Compléter le schéma bloc du document réponse 1. Celui-ci établit un modèle dynamique de la fonction liant  $X(p)$  à  $M(p)$  ( $p$  est la variable de Laplace).

#### **1.4 Réflexions et propositions pédagogiques**

Vous souhaitez développer autour de ce thème une série de travaux pratiques. Vous disposez du sous-système didactisé décrit dans l'annexe 1.8. Vous allez l'utiliser pour mettre en application certains points étudiés dans cette partie 1.

1.4.1 Pour la masse utile ( $m_U$ ) maximale, calculer l'inertie ( $J_{TOT}$ ) totale ramenée sur l'arbre moteur. On négligera l'inertie du réducteur.

En admettant que les pertes dans la chaîne de transmission sont essentiellement dues à des frottements secs, calculer le couple de frottement  $M_R$  ramené sur l'arbre moteur.

L'axe est utilisable avec une accélération maximale  $A_{MAX} = 5 \text{ m/s}^2$  et une vitesse maximale de palier  $V_{PALIER} = 0,3 \text{ m/s}$ .

1.4.2 Compléter le tableau du document réponse 2. Celui-ci doit faire la synthèse des similitudes qui apparaissent les plus fondamentales, ceci pour la crédibilité du sous-système didactique sensé avoir un comportement similaire au sous-système réel.

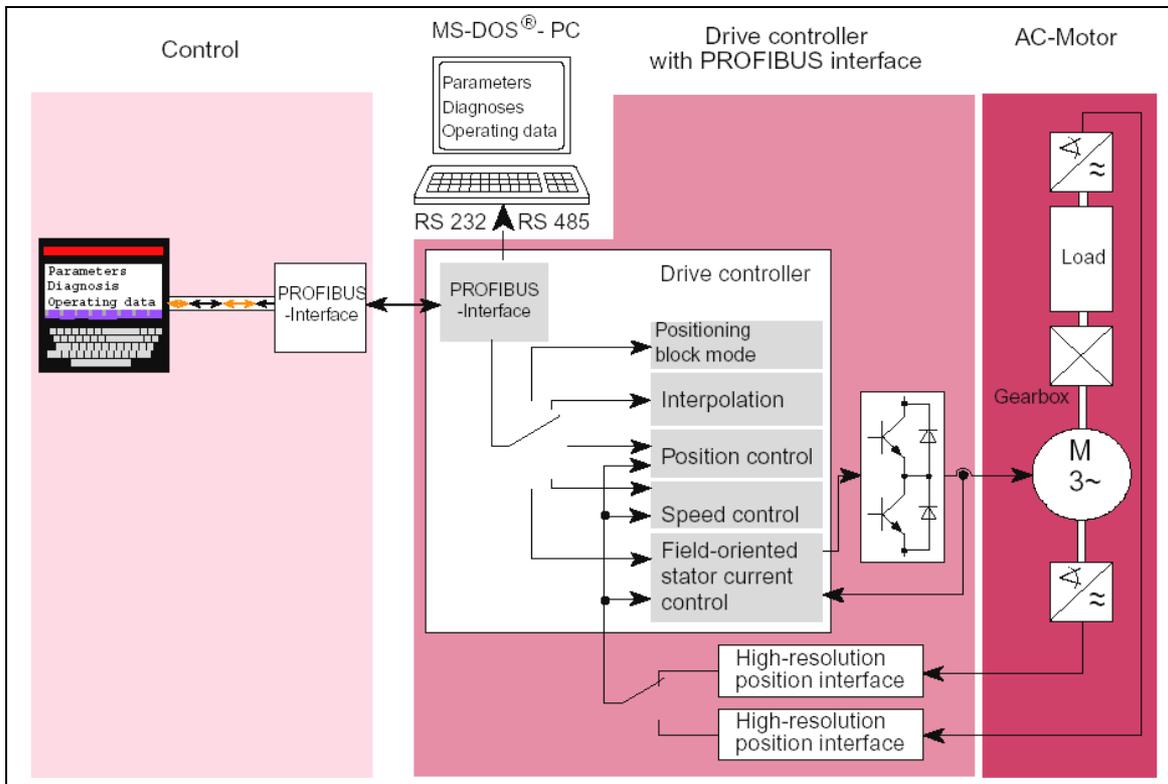
Sur ce même document réponse, compléter le polygone de similitude puis conclure.

1.4.3 Définir le niveau de formation visé. Quel(s) objectif(s), en terme de transmission de savoir, peut-on envisager ?

Rédiger un point d'expérimentation. Définir les pré-requis nécessaires, décrire les procédures, définir le temps imparti et l'exploitation visée.

## Partie 2 : étude des boucles d'asservissement

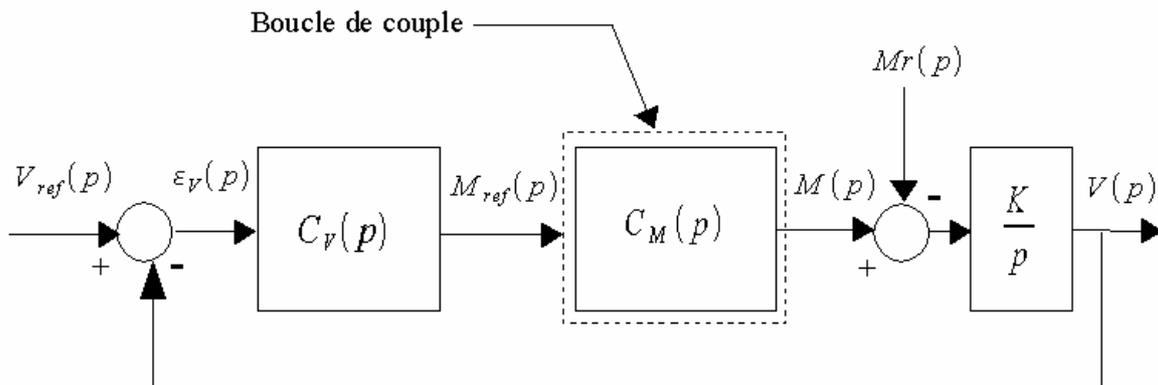
Les cycles de déplacement X-Y sont contrôlés à l'aide de variateurs INDRAMAT DKC03, raccordés sur réseau PROFIBUS DP. Ceux ci commandent les motorisations brushless des axes. Les capteurs absolus de position sont intégrés aux moteurs (et non au niveau de la charge).



Le variateur gère plusieurs boucles d'asservissement : contrôle du couple, contrôle vectoriel du flux, contrôle de la vitesse et de la position. L'étude qui suit débouche sur le réglage de ces deux dernières boucles.

### 2.1 Asservissement de vitesse

La boucle de vitesse fait apparaître le schéma fonctionnel suivant :



L'asservissement du couple est réglé par le constructeur. On considérera que la dynamique de cette boucle est rapide par rapport à la boucle de vitesse. Le modèle retenu est le donc :

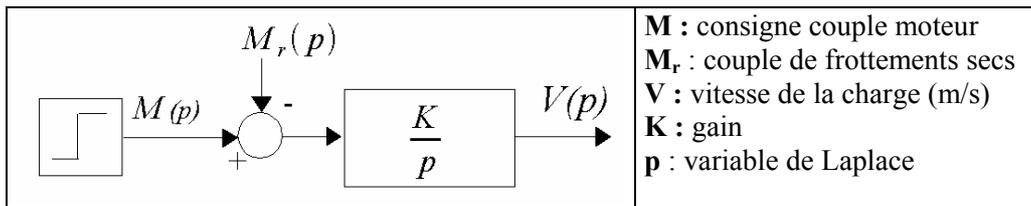
$$C_M(p) = 1$$

Le couple de frottements secs  $M_f$  est considéré nul à vitesse nulle et sera supposé constant de module  $M_f = M_{r0} = 1 \text{ N.m}$ , dès qu'il y aura mouvement.

#### 2.1.1

## Modélisation

On adopte le modèle linéaire initial ci-dessous :



Calculer K sachant que lors d'un essai de réponse à un échelon de couple ( $M - M_r = 1\text{Nm}$ ), la vitesse initialement nulle a atteint 1 m/s en 200 ms.

### 2.1.2 Correction Proportionnelle

$$C_V(p) = K_o$$

On applique à l'entrée de l'asservissement un échelon de vitesse d'amplitude  $V_o$ . Donner les expressions littérales de l'erreur statique de vitesse  $\epsilon_{s1}$  selon l'amplitude  $V_o$ .

### 2.1.3 Correction Proportionnelle / Intégrale

$$C_V(p) = \frac{K_o}{p} \cdot (1 + \tau_i p)$$

2.1.3.1 Donner l'expression littérale de l'erreur  $\epsilon_V(p)$  en fonction de  $V_{ref}(p)$ ,  $M_r(p)$ ,  $K_o$  et  $\tau_i$  (lors de la rotation du moteur).

2.1.3.2 On applique à l'entrée de l'asservissement un échelon de vitesse d'amplitude  $V_o$ . Donner l'expression de l'erreur statique de vitesse  $\epsilon_{s2}$  et justifier le rôle du correcteur.

2.1.3.3 On applique à l'entrée de l'asservissement une rampe de vitesse de pente  $R_o$ . Donner l'expression de l'erreur de traînage  $\epsilon_{T2}$ .

Dans la suite nous nous intéresserons aux comportements dynamiques autour d'un point de repos. En conséquence, nous négligerons l'effet du couple de frottements secs :  $M_r(p) = 0$  quelque soit  $V(p)$ .

2.1.3.4 Calculer les constantes  $K_o$  et  $\tau_i$  permettant d'obtenir une marge de phase de  $45^\circ$  à la pulsation  $\omega_c = 2000\text{rad/s}$  (imposé par la dynamique de la boucle de couple).

2.1.3.5 Tracer les allures des diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{BO1}(p)$  sur le document réponse 3.

### 2.1.4 Activité pédagogique - Réglage expérimental d'un correcteur

2.1.4.1 Après avoir analysé les différents oscillogrammes de l'annexe 2.1 :

- Donner l'erreur statique absolue de vitesse dans les conditions du graphe 3.
- P1 est-il plus grand que P2 ? Justifier la réponse.
- P3 est-il plus grand que P5 ? Justifier la réponse.

Vous enseignez à des étudiants de BTS / IUT qui possèdent les connaissances théoriques leur permettant de comprendre la problématique liée aux asservissements (précision, stabilité, correction Proportionnelle – intégrale ...).

2.1.4.2 Détaillez l'approche pédagogique qui vous permettrait de conduire ces étudiants à réaliser de façon expérimentale un réglage satisfaisant du correcteur de la boucle de vitesse sur le système didactisé des annexes 1.8 et 2.1.

Vous préciserez l'état initial des réglages et détaillerez les ressources complémentaires éventuelles à fournir aux étudiants. Présentez votre démarche de façon structurée.

### 2.1.5

## Filtre de boucle (condition d'étude des questions 2.1.3.4 et 2.1.3.5)

2.1.5.1 A partir de l'annexe 2.2. Expliciter le rôle du paramètre P-0-0004.

2.1.5.2 Donner l'expression littérale de la fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{BO2}(p)$  intégrant ce filtre de boucle. Ce dernier est assimilable à un premier ordre d'amplification unitaire et de constante de temps notée TF.

2.1.5.3 En appliquant le critère de Routh (voir annexe 2.3), calculer la valeur limite de TF permettant de garantir un système stable (stabilité théorique) en boucle fermée.

2.1.5.4 Calculer la valeur limite de TF qui ne dégrade pas la marge de phase (établie à la question 2.1.3.4) de plus de 5.

## 2.2 Asservissement de position

L'asservissement de position est décomposé en deux modes :

- **un mode boucle ouverte ou génération de consigne de vitesse (K=0)** : la consigne de vitesse  $V_{ref}(t)$  est élaborée à partir de la connaissance du profil de vitesse défini par  $A$  et  $V_{max}$ , d'un seuil  $\epsilon_s$  et de la mesure de position  $X(t)$ .
- **un mode boucle fermée (K=1)** : la consigne de vitesse est générée par une boucle de régulation à partir de la position de référence  $X_{ref}(t)$  et de la mesure de position  $X(t)$ .

Le passage d'un mode à l'autre se fait en fonction de la distance entre  $X_{ref}(t)$  et  $X(t)$ . On définit  $\epsilon_s$  l'écart de passage d'un mode à l'autre, on a alors :

$$\epsilon_X = |X_{ref} - X| > \epsilon_s \rightarrow \text{mode boucle ouverte}$$

$$\epsilon_X = |X_{ref} - X| < \epsilon_s \rightarrow \text{mode boucle fermée}$$

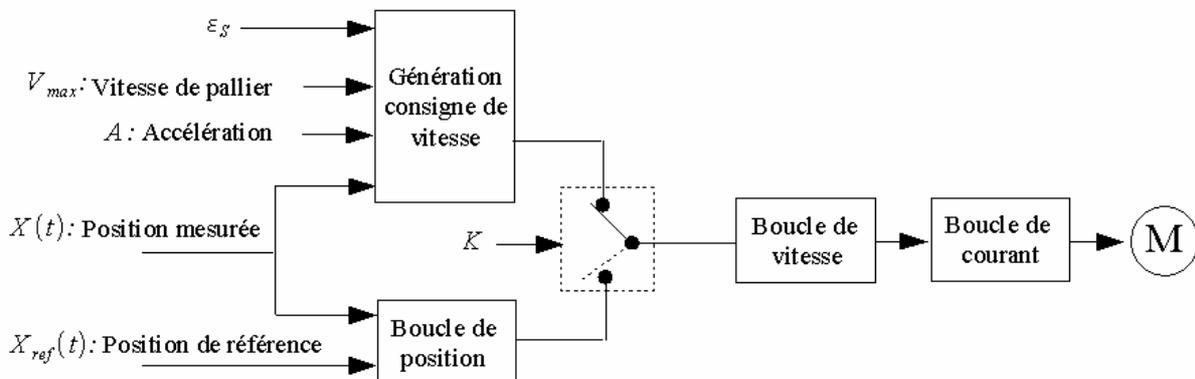
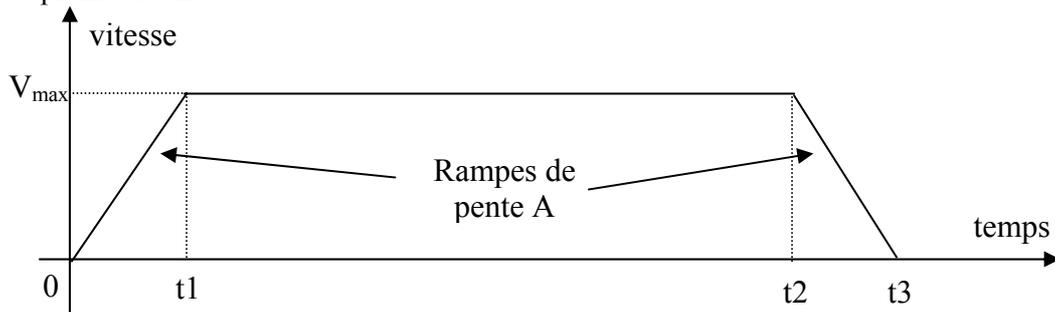


Schéma de principe de l'asservissement de position

### 2.2.1 Fonctionnement en boucle ouverte

On considère le profil suivant :



On notera :

- DCY, le départ de cycle,
- $X_1$ , la position atteinte par la charge à l'instant  $t = t_1$ ,
- $X_2$ , la position atteinte par la charge à l'instant  $t = t_2$ ,
- $X_{ref}$ , la position à atteindre l'instant  $t = t_3$ ,
- $X$ , la position mesurée à tout instant,
- $V_1(X)$ , l'expression de la vitesse pendant la phase d'accélération,
- $V_2$ , la consigne pendant la phase à vitesse constante,
- $V_3(X)$ , l'expression de la vitesse pendant la phase de décélération,
- $V_{ref}$ , la consigne appliquée à l'entrée de la boucle de vitesse,

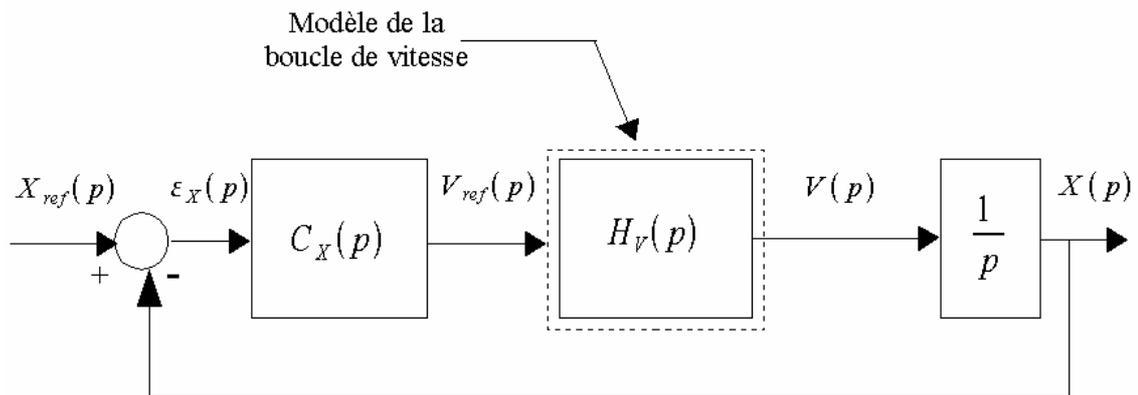
On supposera que la position initiale à l'instant  $t = 0$ , est  $X_0 = 0$ . Pour éviter les oscillations éventuelles aux passages d'une consigne à une autre, on veillera à mettre en place des comparaisons avec un hystérésis de largeur  $2\Delta X$  (position  $+ \Delta X$  et position  $- \Delta X$ ).

Proposer un « grafcet » permettant de générer la consigne de vitesse à partir de ce profil.

On ne considèrera qu'un déplacement vers les X positifs.

### 2.2.2 Fonctionnement en boucle fermée

La boucle de position fait alors apparaître le schéma fonctionnel suivant :



La consigne de position est un échelon d'amplitude  $X_0$ .

Le correcteur utilisé est un correcteur proportionnel de fonction de transfert :  $C_X(p) = K_1$

- 2.2.2.1 Donner, sans calcul, la valeur de l'erreur statique de position. Justifier votre réponse.
- 2.2.2.2 On donne, en annexe 2.3, les diagrammes de Bode du système en boucle ouverte pour  $K_1=1$ . On propose d'utiliser la fonction de transfert ci dessous pour modéliser le système en boucle ouverte.

$$H_{BOa}(p) = \frac{G_a}{p(1 + \tau_a p)}$$

- 2.2.2.3 Identifier les valeurs numériques de  $G_a$  et  $\tau_a$ .
- 2.2.2.4 Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée  $H_{BFa}(p)$  en fonction de  $K_1$ .
- 2.2.2.5 On donne  $V_{max} = 1,2$  m/s,  $A = 20$  m/s<sup>2</sup> et  $(t_3-t_2) = 60$  ms. On désire que le basculement boucle ouverte → boucle fermée ait lieu pour  $\epsilon_s = 5$ mm. Calculer le temps de réponse minimal de la boucle.
- 2.2.2.6 A partir de l'abaque du bas de l'annexe 2.3, calculer la valeur de  $K_1$  permettant d'obtenir un coefficient d'amortissement unitaire et de vérifier la contrainte de la question précédente.

### 2.3 Traitement numérique de l'asservissement de vitesse

La boucle de vitesse est réalisée numériquement. Toutes les grandeurs sont échantillonnées à la fréquence  $F_e = \frac{1}{T_e}$ . Pour un signal  $x(t)$ , les échantillons, pris aux instants  $kT_e, (k-1)T_e$ , seront notés  $x(k), x(k-1), \dots$

La transformée en  $z$  du signal  $x(t)$  sera notée  $X(z)$ .

La consigne de vitesse  $V_{ref}$  est générée directement sous forme numérique par le CPU. De même, le correcteur  $C_v(p)$  est implanté sous forme numérique. La vitesse est estimée à partir de la mesure de position  $X(t)$ .

2.3.1 Compléter le document réponse 4.1 en indiquant les fonctions réalisées dans les blocs pointillés.

#### 2.3.2 Approximations numériques : méthode d'Euler

On rappelle que la méthode d'Euler permet d'approximer la dérivée d'un signal  $x(t)$  à l'instant  $t = kT_e$ , à partir de la connaissance des échantillons  $x(k)$  et  $x(k-1)$ .

2.3.2.1 Représenter, sur le document réponse 4.2, l'approximation d'Euler de la dérivée du signal  $x(t)$  à l'instant  $kT_e$ . Compléter le document réponse 4.3. Proposer un algorithme d'estimation des échantillons de la vitesse  $V(k)$  utilisant la méthode d'Euler.

2.3.2.2 En utilisant la même approximation, donner l'équation récurrente permettant de calculer l'échantillon  $M(k)$  connaissant les échantillons  $\varepsilon_v(k), \varepsilon_v(k-1)$  et  $M(k-1)$ .

2.3.2.3 En déduire l'expression de la transmittance en  $z$  du correcteur  $C_v(z)$  en fonction de  $T_e, \tau_i$  et  $K_o$ . Effectuer l'application numérique pour  $T_e = 500 \mu s, K_o = 6.10^5, \tau_i = 6.10^{-4}$ .

#### 2.3.3 Influence du blocage des échantillons (Option A uniquement)

2.3.3.1 Démontrer que la fonction de transfert du bloqueur d'ordre zéro s'écrit :

$$B_o(p) = \frac{1 - e^{-pT_e}}{p}$$

2.3.3.2 Quelle est l'influence du terme  $e^{-pT_e}$  sur la stabilité globale de la boucle de vitesse ?

2.3.3.3 Quelles peuvent être les conséquences d'un mauvais choix de  $T_e$  ? Justifier votre réponse.

## Partie 3 : motorisation de l'axe

### 3.1 Elasticité des transmissions.

L'élasticité des divers organes de transmission de l'énergie mécanique (principalement accouplement + vis à billes) va introduire un phénomène de résonance mécanique. L'étude qui suit doit permettre de modéliser la transmission en considérant que le couple transmis  $M_t$  est proportionnel à la déformation  $\Delta\theta$  :

$M_t = K \times \Delta\theta$ , expression dans laquelle  $K$  (N/rad) correspond à un coefficient lié aux dimensions et aux matériaux. Il sera considéré comme constant.

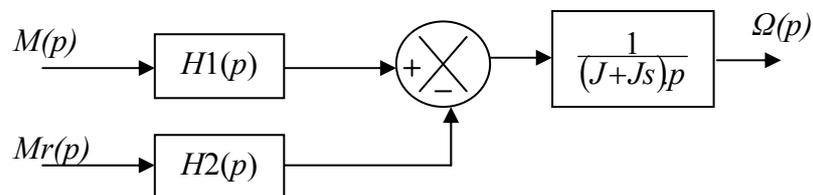
On notera :

- $M_t$  : Moment du couple transmis (à l'origine de la déformation)
  - $M$  : Moment du couple sur l'arbre moteur (en amont de l'accouplement)
  - $M_r$  : Moment du couple de frottements secs (considéré au niveau du chariot)
  - $J$  : Moment d'inertie lié aux masses en rotation coté moteur (rotor, frein ...)
  - $J_s$  : Moment d'inertie lié aux masses en translation côté charge
- Les moments d'inertie des éléments de transmission (vis, accouplement ...) sont négligés
- $\Omega$  : Vitesse angulaire au niveau de l'arbre moteur
  - $\Omega_s$  : Vitesse angulaire au niveau du chariot (coté charge)

3.1.1 Compléter le schéma fonctionnel du document réponse 5 en écrivant les fonctions de transfert symboliques ( $p$  : variable de Laplace) et en raccordant les 2 liaisons manquantes.

Le schéma fonctionnel précédent peut se mettre sous la forme ci-dessous.  $H_1(p)$  et  $H_2(p)$  sont deux fonctions de transfert qui prennent en compte l'élasticité. Le phénomène de résonance mécanique apparaît directement dans ces fonctions.

Remarque : Pour une transmission idéale considérée rigide ( $H_1(p) = H_2(p) = 1$ ), on retrouve le schéma fonctionnel classique.



3.1.2 Etablir les expressions littérales de  $H_1(p)$  et  $H_2(p)$ . Donner l'expression de la pulsation de résonance  $\omega_{RES}$ . Simplifier son expression en considérant  $J = J_s / 3$ .

Calculer  $\omega_{RES}$  pour  $K = 3 \text{ N/°}$  et  $J_s = 4 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$ .

3.1.3 Sur le document réponse 5, tracer les diagrammes asymptotiques de Bode de la fonction  $H_1(j\omega)$  puis ajouter le tracé de l'allure du diagramme réel de gain.

L'annexe 3.1 présente les inconvénients de ce phénomène de résonance et propose la mise en place d'un filtre réjecteur de bande, interne au variateur. Dans le cadre d'un projet de fin de cycle bac+2, vous êtes confronté à la mise en place en entreprise d'un ensemble moto - variateur - axe électrique sur lequel l'utilisation du filtre réjecteur semble incontournable.

3.1.4 Fournir l'expression littérale d'une fonction de transfert simple  $F(p)$  d'un filtre réjecteur. On notera  $\omega_0$  la pulsation rejetée et  $z$  le coefficient d'amortissement. Préciser la relation existante entre la bande rejetée  $B_w$ ,  $z$  et  $\omega_0$ .

3.1.5 Définir une démarche pédagogique pour amener le groupe d'étudiants concerné à la compréhension du phénomène de résonance, de son filtrage. L'objectif étant de leur faire effectuer les réglages suivant la méthode « constructeur » de l'annexe 3.2, tout en leur donnant les moyens d'une certaine analyse critique.

### 3.2 Réversibilité énergétique.

L'annexe 3.3 montre le raccordement au réseau ( $3 \times 400 \text{ V}$ ) du variateur. Il y figure deux modules optionnels : BZM et CZM.

3.2.1 En une courte synthèse, poser la problématique liée à ces 2 modules optionnels puis commenter l'intérêt de l'un par rapport à l'autre. Considérons pour la suite les données suivantes :

$M_{r0}$ :	Moment du couple de frottements secs :	1 Nm
$J_{TOT}$ :	Moment d'inertie total ramené sur l'arbre moteur :	$800 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$
$N_0$ :	Fréquence de rotation moteur en palier :	4 000 tr/mn
$t_D$ :	Durée de la décélération (constante) jusqu'à arrêt :	100 ms
$\eta$ :	Rendement moteur :	0,9

3.2.2 Calculer l'énergie électrique absorbée par le moteur pendant la phase de décélération.

3.2.3 Compte tenu de la caractéristique fournie par le constructeur sur l'annexe 3.3, faut-il installer un module BZM et/ou CZM ? Jusqu'à quel seuil peut-on aller avec un module CZM installé.

3.2.4 Le constructeur donne la possibilité d'associer les deux variateurs (axes X et Y) par le bus continu. Cela offre-t-il un avantage dans le cas présent ? Commenter.

### 3.3 Principe de la commande du moteur brushless (Option B uniquement)

L'organisation de la commande de la machine synchrone auto pilotée est présentée à la figure 1. L'angle  $\theta_s$  du champ statorique (imposé par les courants d'alimentation) est asservi par rapport à la position (électrique)  $\theta$  du rotor. Voir figure 3.

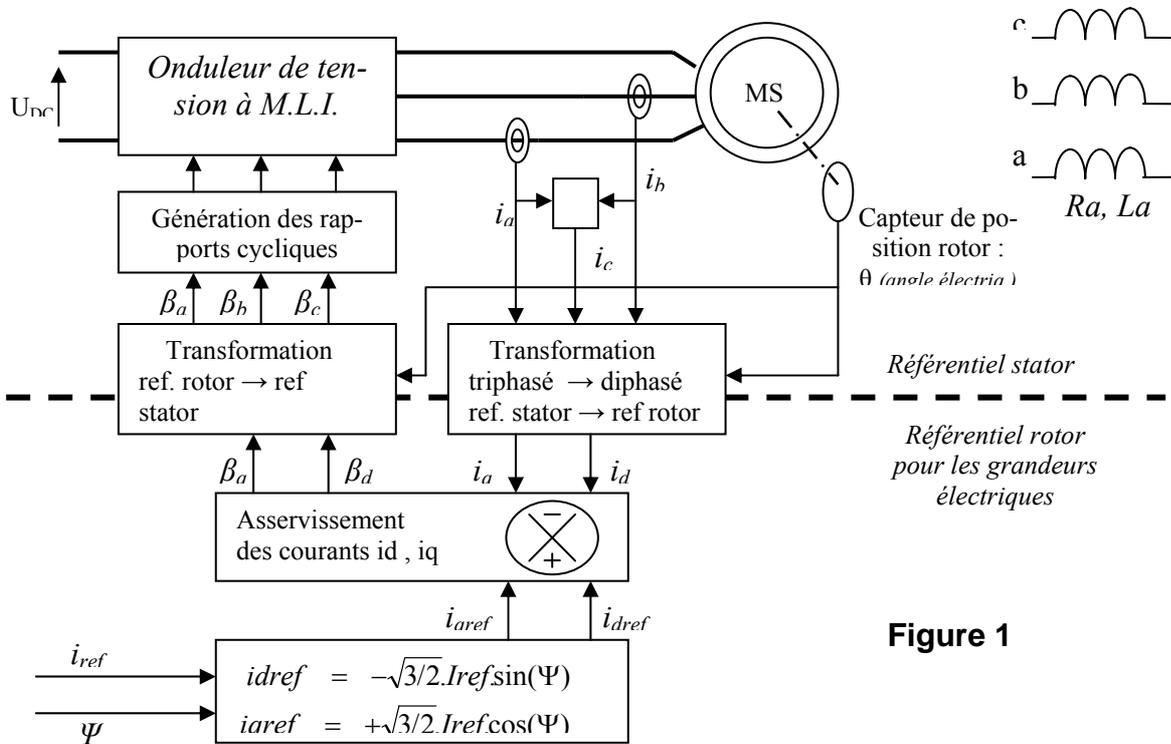


Figure 1

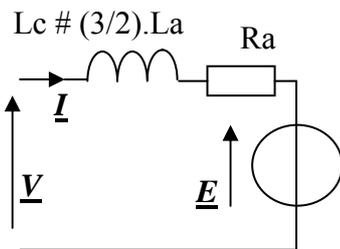


Figure 2 (pour une phase en régime établi)

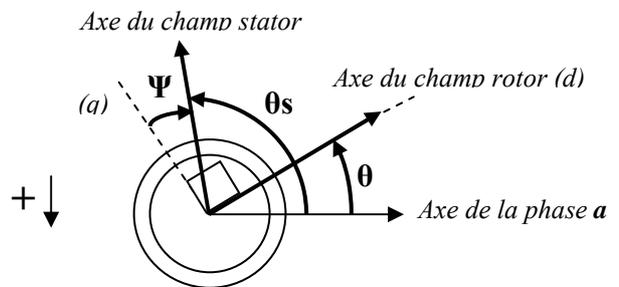


Figure 3

On notera :

$\Psi$  : angle d'autopilotage ;  $C$ 'est aussi le déphasage entre  $\underline{E}$  et  $\underline{I}$  en régime établi.

$\varphi$  : déphasage entre  $\underline{I}$  et  $\underline{V}$ .

$n$  : vitesse de rotation de la machine (en tr/mn)

$I$  : courant efficace dans une phase

$U$  : tension efficace entre phases,  $V$  tension efficace pour une phase.

Hypothèse :

Les pertes fer et mécaniques sont supposées négligeables. L'étude est faite en régime établi. Le modèle d'une phase est précisé sur la figure 2.

3.3.1 Pour un couple et une vitesse donnés, quel angle d'autopilotage  $\Psi$  permet de minimiser les courants dans les bobinages du moteur ?

Les caractéristiques fournies par le constructeur sur l'annexe 1.6 correspondent à ces conditions d'alimentation. Tracer l'allure des diagrammes vectoriels de Behn Eschenburg :

- a) en fonctionnement moteur
- b) en fonctionnement frein.

On prendra la phase de  $\underline{E}$  comme origine et on précisera l'orientation du champ rotor.

3.3.2 Pour le fonctionnement moteur, exprimer en fonction de  $n$  et de  $I$  ainsi que des différents paramètres de la machine :

- la fréquence d'alimentation électrique de la machine
- son facteur de puissance
- la tension efficace  $U$  entre phases de son alimentation.

Effectuer les applications numériques pour  $n = 3\ 000$  tr/mn et  $I = 6,7$  A.

La tension efficace entre phases est limitée par la valeur de la tension  $U_{DC}$  sur le bus continu. Ainsi :

- a)  $U = 381$  V si  $U_{DC} = 540$  V (variateur à alimentation tri.  $3 \times 400$  V)
- b)  $U = 141$  V si  $U_{DC} = 200$  V (alimentation mono. 230 V + filtrage LC)

3.3.3 Dans le cas b) et pour  $I = 6,7$  A puis 15 A, calculer la vitesse maximale possible. Vérifie t'on cette limite sur la documentation constructeur de l'annexe 1.7 ?

3.3.4 Pour dépasser cette limitation liée à la tension du bus continu, le processus de commande du variateur modifie une caractéristique de l'autopilotage. De laquelle s'agit-il ? Tracer l'allure du diagramme vectoriel de Behn Eschenburg dans ce cas (fonctionnement moteur).

3.3.5 En régime établi, et pour une vitesse  $n = 3\ 000$  tr/mn, quelle est la fréquence des courants de référence des asservissements, notés  $i_{dref}$  et  $i_{qref}$  sur la figure 1. Justifier la réponse. Quel courant représente l'image du couple électromagnétique ?

## Partie 4 : système d'identification Radio Fréquence

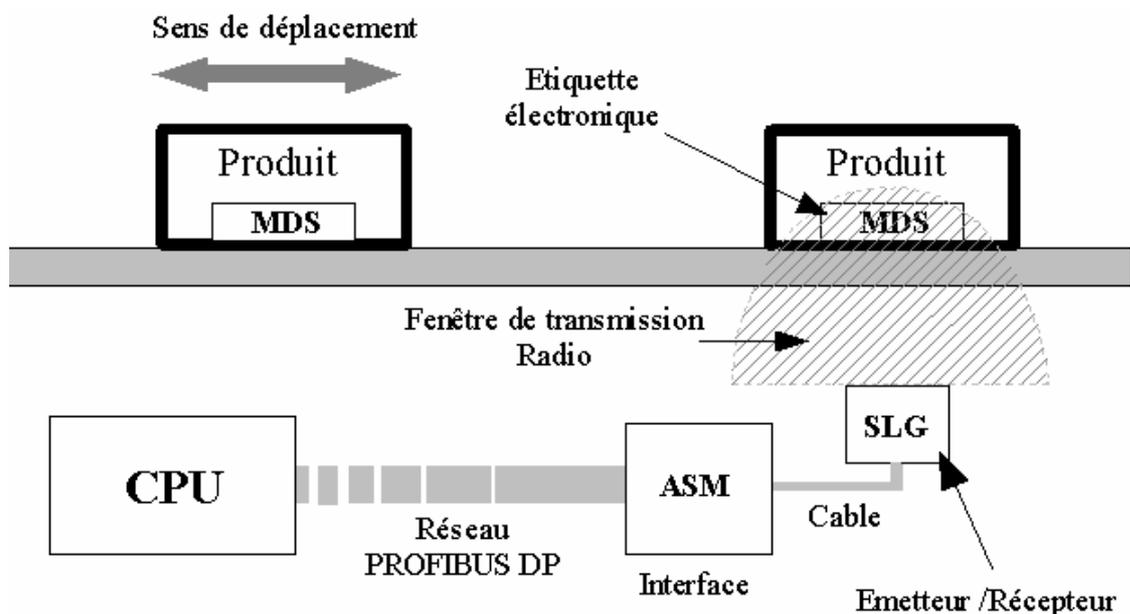
Lors du cycle machine, les résultats de couple final et d'angle des cycles de vissage sont transmis à l'automate. Ces données sont transmises à l'étiquette électronique positionnée sur la palette par l'intermédiaire des modules ASM et SLG.

Si le cycle de vissage des 18 vis s'est bien déroulé, le produit est déclaré conforme pour la suite de l'assemblage. Dans le cas contraire, il est déclaré non conforme et sera mis dans le tiroir à rebut.

Le système d'identification MOBY I (Siemens) est composé de trois éléments :

- une carte d'interface (ASM),
- un système de lecture ou de lecture/écriture (SLG),
- une étiquette électronique (MDS).

Les données sont transmises du processeur vers la carte d'interface puis échangées entre l'émetteur / récepteur et l'étiquette électronique :



L'interface ASM transmet les données à l'émetteur MDS directement par leur adresse physique.

### 4.1 Choix du système d'identification

Choisir, en justifiant votre réponse, l'interface ASM adaptée à l'application (voir annexe 4.6).

### 4.2 Implantation du système MOBY I

Le choix de l'émetteur / récepteur se porte sur : SLG 41S

Le choix de l'étiquette se porte sur : MDS 404 (FRAM 8 Koctet)

On cherche, dans cette partie, à définir l'implantation des différents éléments sur la station permettant d'obtenir une communication correcte entre les modules.

- 4.2.1 Compléter le document réponse 6.1 définissant la distance verticale à respecter entre les modules SLG 41S et MDS 404 (voir annexes 4.1 et 4.5).
- 4.2.2 Calculer  $X_1$  et  $X_2$  définissant la distance entre les axes de symétrie de l'émetteur SLG 41S et les bords de l'étiquette MDS404 (voir annexes 4.5 et 4.7).
- 4.2.3 Quelle est la distance minimale à respecter entre deux étiquettes (voir annexe 4.5)?

### 4.3 Fonctionnement dynamique

Dans cette partie, nous cherchons à déterminer si le transfert des données peut être effectué pendant le déplacement de la palette. Pour cela, on supposera qu'après vissage des vis, la palette se déplace à la vitesse de 1 m/s.

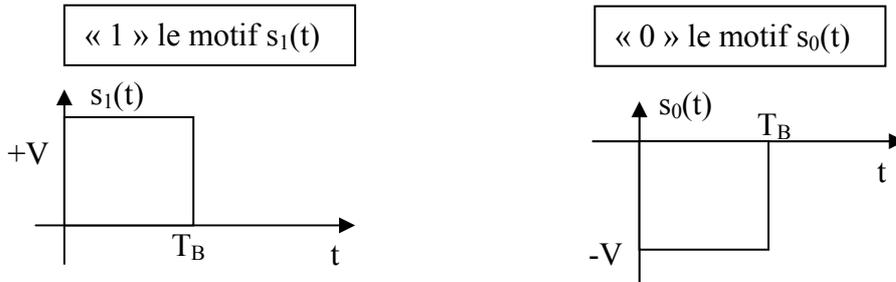
- 4.3.1 A partir des données techniques générales, déterminer le nombre d'octets N à transmettre à l'étiquette MDS404 (voir annexe 3.1).
- 4.3.2 Calculer la vitesse de déplacement limite  $V_{lim}$  permettant d'effectuer ce transfert en mode dynamique.

**4.4 Transmission des données** (Option A uniquement)

4.4.1 Codage NRZ

En mode lecture, le module SLG41S peut recevoir des données codées (D) en provenance de l'étiquette électronique au travers d'une transmission de type « Backscatter Modulation ». Avant d'être transmises, les données sont codées en NRZ.

On rappelle que le codage NRZ (Non Retour à Zéro) fait correspondre à un :



Avec  $T_B$  : période de transmission des données.

On propose de calculer la bande de fréquence nécessaire pour transmettre le signal NRZ. Pour cela on définit la densité spectrale de puissance d'un signal  $x(t)$  :

$$G(f) = \frac{|\underline{S}(f)|^2}{T_B} \text{ avec } \underline{S}(f) : \text{transformée de Fourier de } x(t)$$

4.4.1.1 Exprimer  $\underline{S}(f)$  pour le motif  $s_1(t)$  et donner le résultat sous la forme :

$$\underline{S}(f) = K \cdot e^{-j\pi f T_B} \frac{\sin(\pi f T_B)}{\pi f T_B} \quad (\text{On rappelle que } \sin(x) = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j})$$

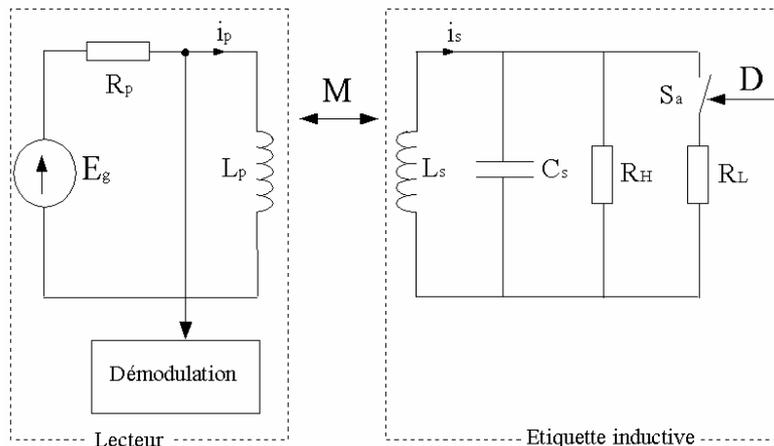
4.4.1.2 En déduire les expressions de  $G(f)$  pour les motifs  $s_1(t)$  puis  $s_0(t)$ .

4.4.1.3 Représenter l'allure de  $G(f)$ .

4.4.1.4 Dans le cas où l'on transmet directement le signal NRZ (transmission en bande de base), quelle doit être approximativement la bande passante du canal de transmission ? Effectuer l'application numérique à partir de l'annexe 4.8.

**4.4.2 Modulation de l'onde porteuse**

Les données codées permettent de moduler une porteuse sinusoïdale. Le schéma de principe du modulateur est le suivant :

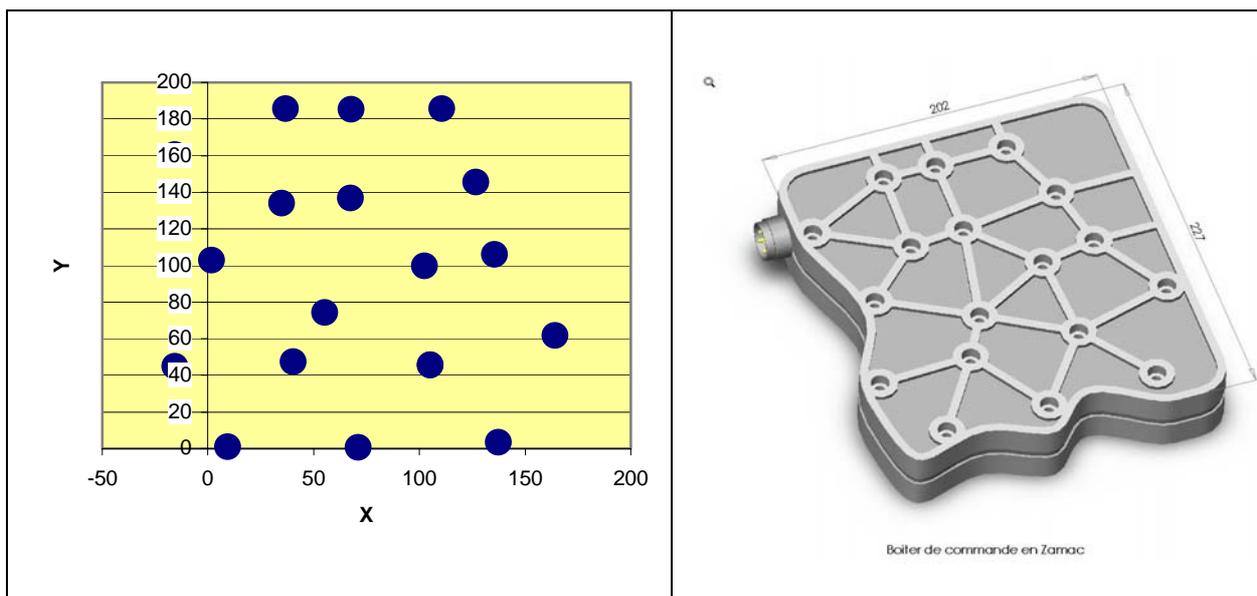


Le lecteur et l'étiquette possèdent chacun une antenne modélisée respectivement par les inductances  $L_p$  et  $L_s$ . Le circuit primaire ( $L_p, R_p$ ) est alimenté par un oscillateur sinusoïdal de fréquence porteuse  $f_0$ . Les données numériques, stockées dans la mémoire de l'étiquette, commandent le commutateur  $S_a$  suivant la table de vérité suivante :

D	High	Low
S <sub>a</sub>	OFF	ON

- 4.4.2.1 On donne  $R_H \gg R_L$ . Donner les valeurs de la résistance équivalente (notée  $R_S$ ) du circuit secondaire en fonction de l'état de la donnée D.
- 4.4.2.2 On adopte, pour le secondaire, un modèle ( $R, L, C$ ) série. Calculer les expressions des nouveaux paramètres ( $R'_S, L'_S, C'_S$ ).
- 4.4.2.3 Donner les expressions du coefficient de qualité  $Q_S$  et de la pulsation de résonance  $\omega_0$  du circuit secondaire.
- 4.4.2.4 En notant  $k$  le coefficient de couplage des deux bobinages, donner l'expression de l'inductance mutuelle  $M$ .
- 4.4.2.5 Coté lecteur, donner l'équation différentielle liant  $E_g(t)$  à  $i_p(t)$  et  $i_s(t)$ .
- 4.4.2.6 Coté étiquette, donner l'équation différentielle liant  $i_p(t)$  à  $i_s(t)$  en fonction de  $R'_S, L'_S, C'_S$  et  $M$ .
- 4.4.2.7 Que devient cette dernière équation en régime permanent sinusoïdal pour la pulsation de résonance  $\omega_0$ ?
- 4.4.2.8 En déduire, vue du lecteur, l'expression de l'impédance d'entrée équivalente notée  $Z_{in}$  en fonction de  $L_p, \omega_0, k$  et  $Q_S$ .
- 4.4.2.9 Compléter le document réponse 6.2 sachant que  $V_L(t)$  est la tension aux bornes de l'inductance  $L_p$ .
- 4.4.2.10 Quel type de modulation obtient-on avec ce procédé ?
- 4.4.2.11 Sur quelle pulsation doit être accordé le circuit de l'étiquette inductive?
- 4.4.2.12 Quelle est la bande de fréquence utilisée par la porteuse modulée en amplitude par le signal FSK ?
- 4.4.2.13 Proposer un procédé de démodulation du signal  $V_L(t)$ .

## ANNEXE 1.1 : CARTOGRAPHIE DES POINTS DE VISSAGE

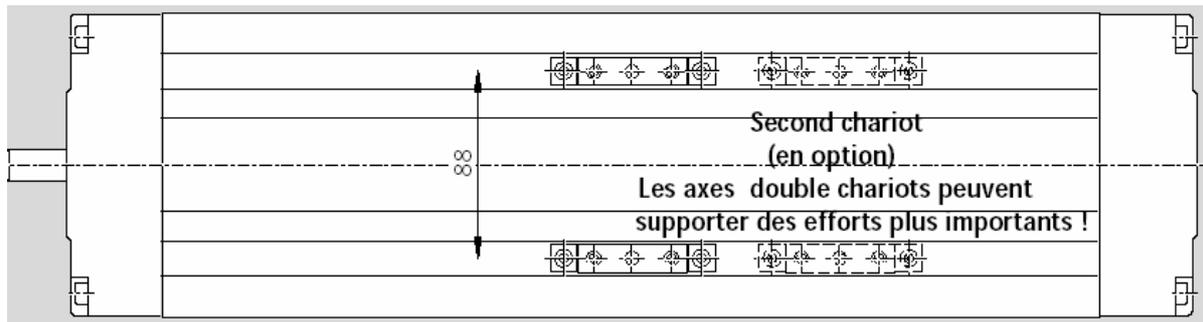


Point	X (mm)	Y (mm)
1	55,086	74,337
2	67,453	136,834
3	105,117	45,850
4	1,739	102,807
5	102,481	99,911
6	40,317	47,619
7	34,746	134,088
8	9,316	1,084
9	126,740	145,683
10	-15,497	160,455
11	137,384	3,437
12	67,836	185,334
13	71,164	0,705
14	135,672	106,023
15	-15,516	45,131
16	110,707	185,545
17	164,028	61,705
18	36,567	185,863

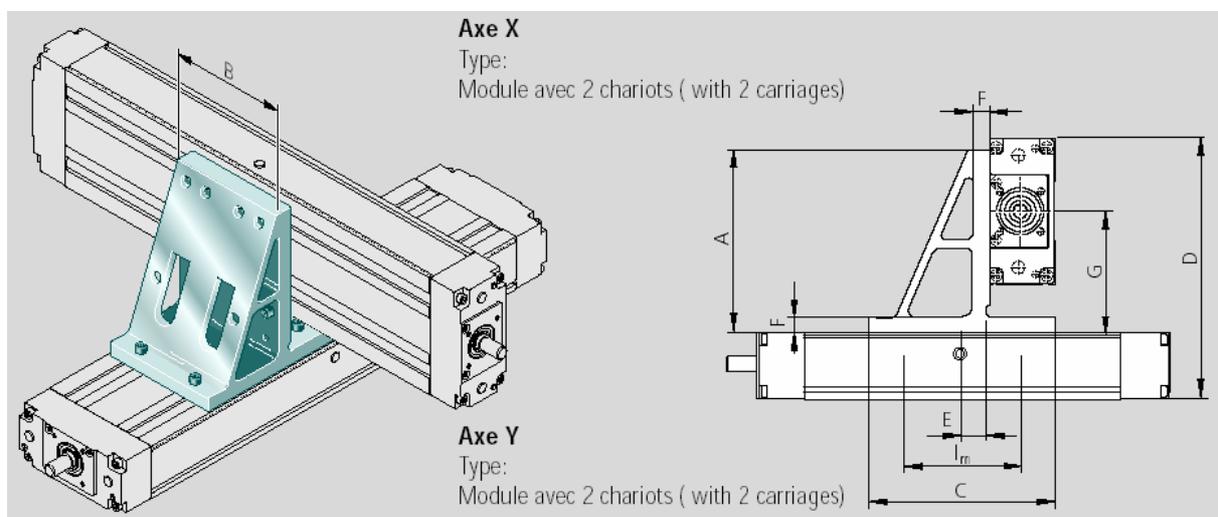
L'enchaînement des vissages numérotés de 1 à 18, est réalisé dans l'ordre défini selon le plan de vissage ci-contre.

## ANNEXE 1.2 : AXES : CONSTITUTION ET DUREE DE VIE

### Axes à structure aluminium. Système vis-écrou à billes comportant 2 chariots



Association des 2 axes : La structure est inversée par rapport à la photo de la 1<sup>ère</sup> page



### Durée de vie nominale (Nominal life)

Nominal life in meters:

$$L_{10} = \left( \frac{C}{F_m} \right)^3 \cdot 10^5$$

Nominal life in hours:

$$L_{10h} = \frac{L_{10}}{60 \cdot v}$$

$L_{10}$  = nominal life in meters (m)

$L_{10h}$  = nominal life in hours (h)

$C$  = dynamic load capacity (N)

$F_m$  = mean equivalent dynamic load (N)

$v$  = velocity (from "permissible velocity" chart) (m/min)

$v$  : Vitesse autorisée (Permissible velocity) :

voir annexe 1.3

$C$  : Efforts maximum supportables pendant la translation (dynamic load capacity): 25 340 N voir annexe 1.3

## ANNEXE 1.3 (page 1/2) : AXES : EFFORTS, COUPLE, VITESSE SUPPORTABLES

### Efforts maxima supportables pendant la translation (autres que axiaux) (Dynamic load capacity) : C

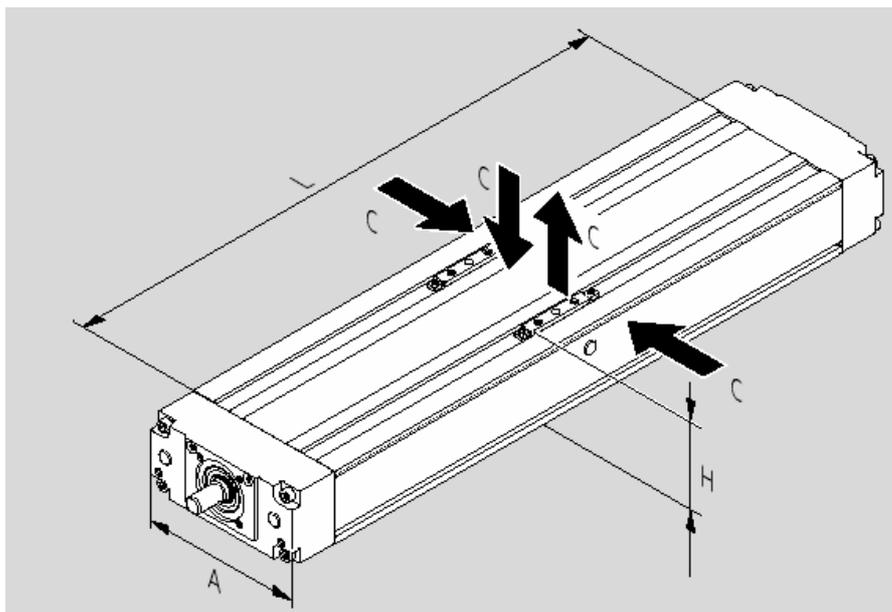
Les efforts moyens (autres que axiaux) appliqués pendant la translation sont notés  $F_m$ .

La durée de vie de l'axe est fonction de  $F_m$ .

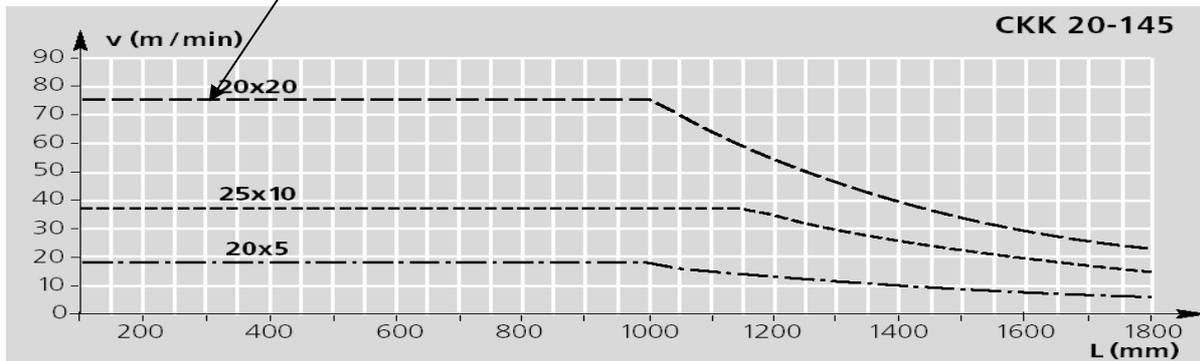
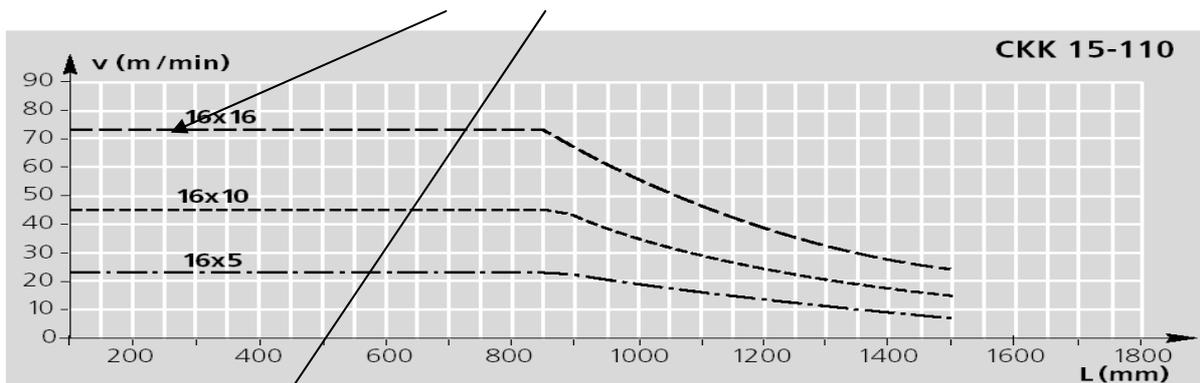
Le fabricant préconise de veiller à avoir :

$$F_m < 20\% C$$

Ceci pour obtenir une durée de vie conséquente.

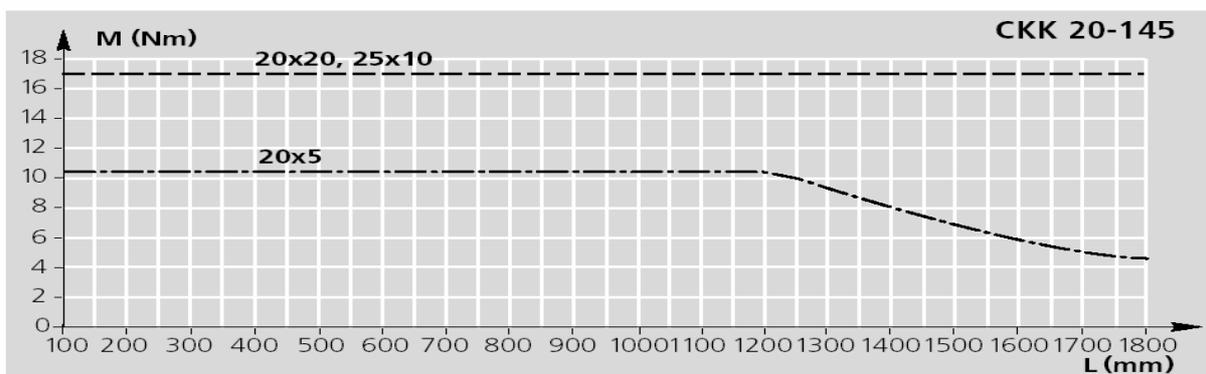
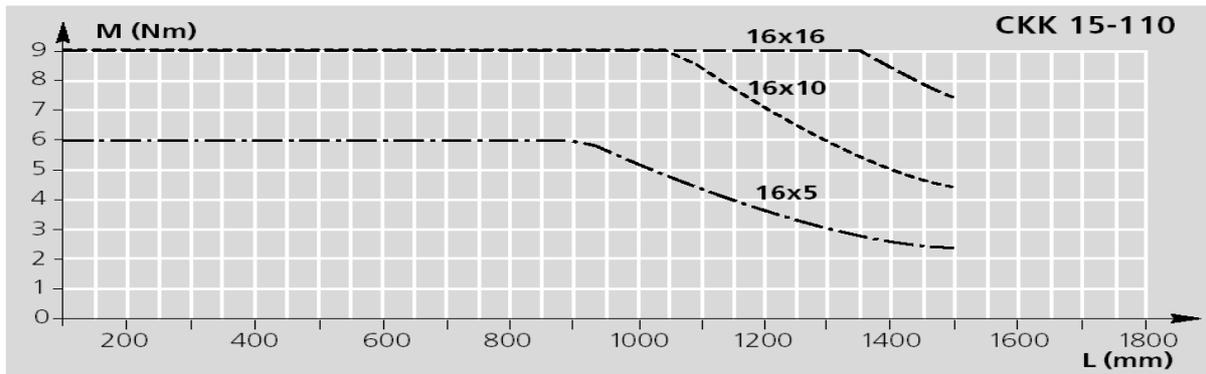


### Vitesse maximum possible (permissible velocity) en fonction des caractéristiques des ensembles vis à billes – écrous (diamètre $d_0$ × pas p) et de la longueur L.

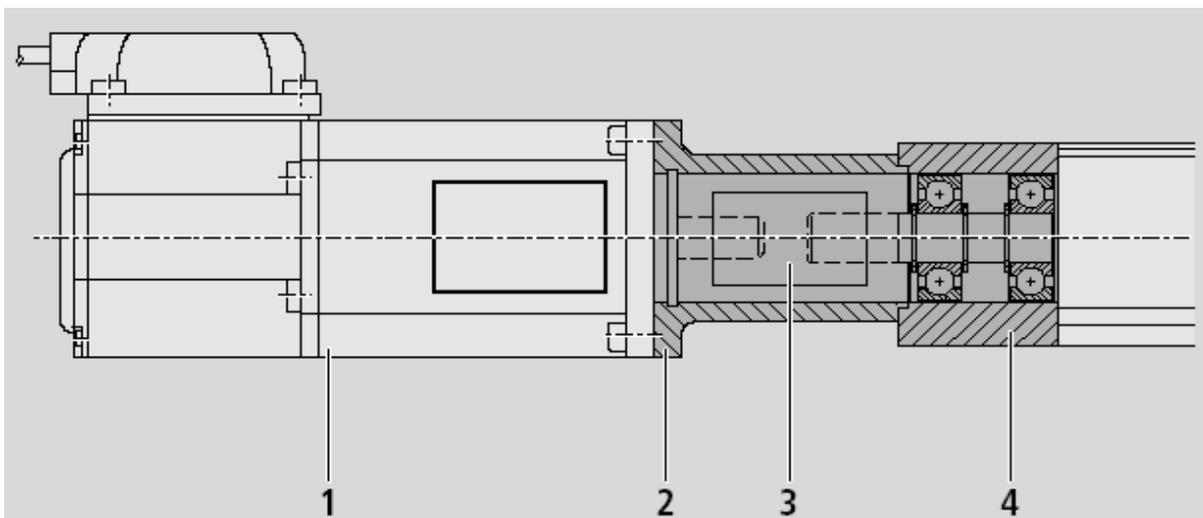


## ANNEXE 1.3 (page 2/2) : AXES : EFFORTS, COUPLE, VITESSE SUPPORTABLES

Couple moteur maximum autorisé  $M_{PER}$ , (pour des déplacements horizontaux)  
(maximum permissible drive torque)



### Accouplement axe - moteur



- 1** Motor
- 2** Motor mount
- 3** Coupling
- 4** Compact Module

Our standard couplings compensate for the thermal expansion of the system. If other makes of couplings are used, thermal expansion must be taken into account.

## ANNEXE 1.4 : AXES : MOMENTS D'INERTIE

Détermination du moment d'inertie du moteur (mass moment of inertia of motor) :  $J_M$

Celui ci est équipé d'un frein (brake) d'inertie :  $J_{Br}$ .

### AC servo motor data

⚡ see "Controllers, Motors, Electrical Accessories" catalog RE 82 701

Motor type	MKD 25B-144 KG1	MKD 41B-144 KG1	MDD 71A-N-060-N2S-095 GB1
Maximum effective speed $n_{max}$ (min <sup>-1</sup> )	⚡	⚡	⚡
Rated torque $M_N$ (Nm)	0.9	2.7	2.2
Maximum torque $M_{max}$ (Nm)	⚡	⚡	⚡
Mass moment of inertia $J_M + J_{Br}$ (10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup> )	30 + 8	170 + 16	440 + 38
Braking torque $M_{BR}$ (Nm)	1.0	2.2	3
Mass with brake $m_{Br}$ (kg)	2.25	4.65	6.88

Détermination du moment d'inertie de l'accouplement (accouplement direct) :  $J_K$ .

Compact Module	Rated torque of coupling $M_K$ (Nm)	Mass moment of inertia $J_K$ (10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup> )	Coupling mass (kg)
CKK 12-90	14	12.13	0.092
CKK 15-110	14	12.13	0.092
CKK 20-145	26	42.30	0.140

Détermination du moment d'inertie total ramené sur l'arbre moteur (total mass moment of inertia) :  $J_{tot}$ .

$J_{fr} = J_S + J_K + J_{Br}$ $J_S = (k_1 + k_2 \cdot L + k_3 \cdot m_{fr}) \cdot 10^{-6}$ $J_{tot} = J_{fr} + J_M = J_S + J_K + J_{Br} + J_M$	$J_{tot}$ = total mass moment of inertia (kgm <sup>2</sup> ) $J_{fr}$ = mass moment of inertia of additional load (kgm <sup>2</sup> ) $J_S$ = mass moment of inertia of system with additional load (kgm <sup>2</sup> ) $J_K$ = mass moment of inertia of coupling (kgm <sup>2</sup> ) $J_{Br}$ = mass moment of inertia of motor brake (kgm <sup>2</sup> ) $J_M$ = mass moment of inertia of motor (kgm <sup>2</sup> )  $m_{fr}$ = additional load (kg) $L$ = length of Compact Module (mm)  $k_1, k_2, k_3$ = constants, see "Constants" table
--	--

## ANNEXE 1.5 : AXES : CONSTANTES ET FROTTEMENTS

Constantes  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  pour le calcul du moments d'inertie  $J_s$  du système (voir annexe 4) et détermination du couple de frottements secs (Moment of friction)  $M_R$ .

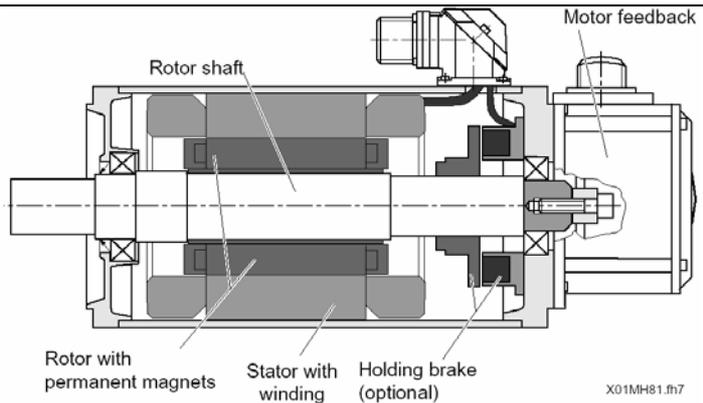
Compact Module	Ball screw $d_0 \times P$	Constants				Moment of friction $M_R$ (Nm)
		$k_1$		$k_2$	$k_3$	
		1 carriage	2 carriages			
CKK 12-90	12 x 5	1.454	1.600	0.011	0.633	0.15
	12 x 10	2.138	2.750	0.011	2.533	0.18
CKK 15-110	16 x 5	5.088	5.303	0.029	0.633	0.44
	16 x 10	6.076	6.937	0.029	2.533	0.47
	16 x 16	8.161	10.365	0.033	6.485	0.50
CKK 20-145	20 x 5	22.516	23.054	0.079	0.633	0.60
	20 x 20	33.962	42.575	0.0741	10.132	0.77
	25 x 10	26.278	28.431	0.233	2.533	0.78

## ANNEXE 1.6 : CARACTERISTIQUES DU MOTEUR MKD041B-144

C'est un moteur AC brushless (ou synchrone autocommuté) qui, en association avec les variateurs INDRAMAT, fourni une solution performante et peu coûteuse pour les applications d'automatisation.

- hautes performances dynamiques
- capacité de surcharge importante

Il est équipé d'un résolveur multitours, absolu sur 4096 tours qui fourni un précision angulaire de 8 minutes (sauvegarde par pile, durée 10 ans)



Designation	Symbol	Unit	Data
Motor type			MKD041B-144
Nominal motor speed <sup>1)</sup>	n	min <sup>-1</sup>	6000
Torque at standstill <sup>2)</sup> (rotor bloqué)	M <sub>dN</sub>	Nm	2.7
Cooling natural convection mode			
Current at standstill (rotor bloqué)	I <sub>dN</sub>	A	6.7
Cooling natural convection mode			
Theoretical maximum torque <sup>3)</sup>	M <sub>max</sub>	Nm	11.3
Peak current	I <sub>max</sub>	A	34.0
Moment of inertia of rotor <sup>4)</sup>	J <sub>M</sub>	kgm <sup>2</sup>	1.7 x 10 <sup>-4</sup>
Torque constant at 20°C	K <sub>m</sub>	Nm/A	0.40
Voltage constant at 20°C <sup>5)</sup>	K <sub>Eeff</sub>	V/1000 min <sup>-1</sup>	24.2
Windings resistance at 20°C	R <sub>A</sub>	Ohm	1.8
Windings inductance	L <sub>A</sub>	mH	5.0
Thermal time constant	T <sub>th</sub>	min	30
Mass <sup>4)</sup>	m <sub>M</sub>	kg	4.4
Allowable ambient temperatures <sup>6)</sup>	T <sub>um</sub>	°C	0 to +45

### Remarques

Bobinage statorique : Bobinage triphasé à 3 paires de pôles, couplage étoile  
 Courant I<sub>dN</sub> : Moyenne quadratique des courants efficaces en ligne  
 Relation couple - courant : M<sub>dN</sub> = K<sub>m</sub> · I<sub>dN</sub>  
 Relation F.E.M. - vitesse : E<sub>PP</sub> = K<sub>Eeff</sub> · n (n en tr/mn)  
 F.E.M. E<sub>PP</sub> : Valeur efficace entre phases  
 Résistance et inductance : R<sub>A</sub> et L<sub>A</sub> sont données pour un enroulement

1) Depends on torque requirements of application. For standard applications see n<sub>max</sub> in the selection lists of the motor/controller combination. The usable speed for other applications is determined using the required torque as specified in the speed/torque curves.

2) Given 60 Kelvin overtemperature at the housing of the motor.

3) The achievable maximum torque depends on the drive controller used. **Only** the maximum torque M<sub>max</sub> specified in the selection lists of the motor/controller combination are binding.

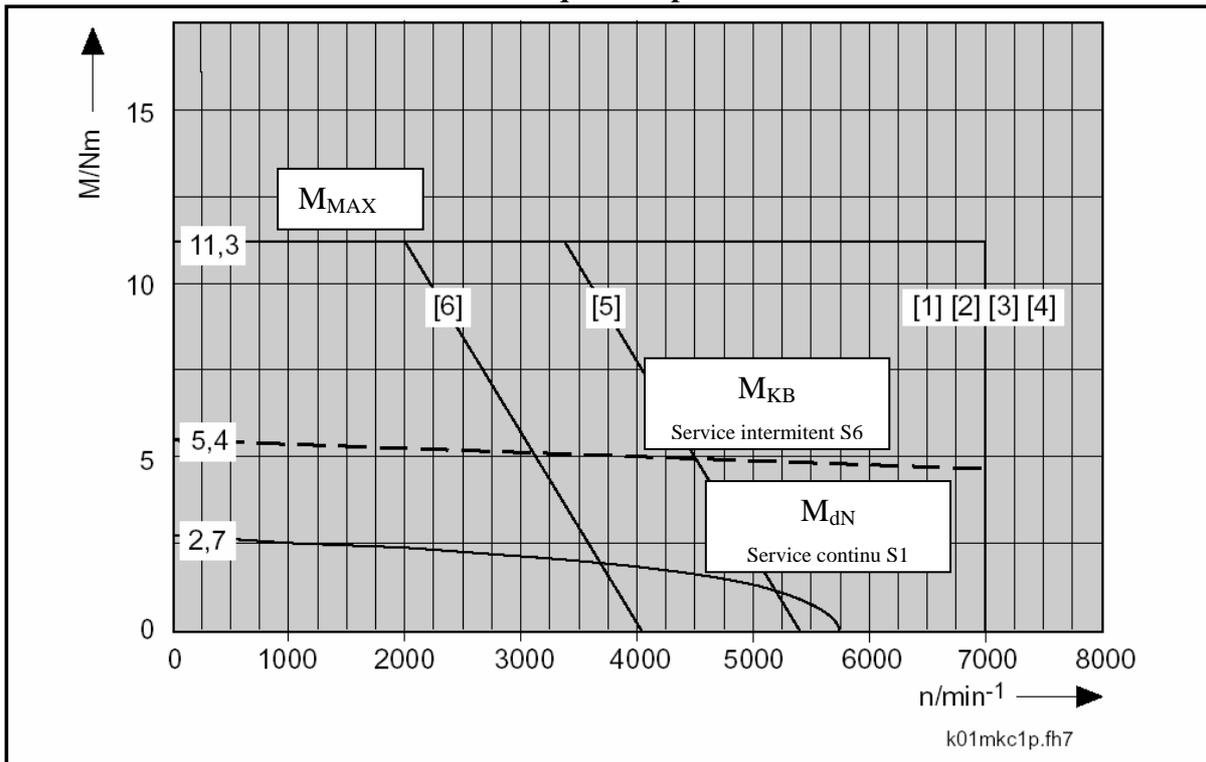
4) Without holding brake.

5) At 1000 min<sup>-1</sup>.

6) Given deviating ambient temperatures, see Section 3.1.

## ANNEXE 1.7 : CARACTERISTIQUES DU MOTEUR MKD041B-144

### Caractéristiques couple – vitesse



**Curves (1) to (6)** At the peak or "knee" speed, maximum achievable usable speed depends on the available torque. As this maximum speed is determined by the DC bus voltage, separate curves result for each individual drive controller in terms of the supply unit used and possibly its supply voltage.

1. **HDS or HDD on an HVR power supply unit.**
2. **HDS or HDD on an HVE power supply unit** connected to a mains of **3 x AC 480 V -or- DKC....-...-7** with a mains of **3 x AC 480 V.**
3. **HDS or HDD on an HVE power supply unit** connected to a mains of **3 x AC 440 V -or- DKC....-...-7** connected to **3 x AC 440 V.**
4. **HDS or HDD on an HVE power supply unit** connected to a mains of **3 x AC 400 V -or- DKC....-...-7** connected to **3 x AC 400 V.**
5. **DKC ....-...-3** with a mains connection of **3 x AC 230 V.**
6. **DKC ....-...-3** with a mains connection of **1 x AC 230 V.**

### Caractéristiques du frein

Designation	Symbol	Unit	Data Holding brake
Holding torque	$M_H$	Nm	2.2
Nominal voltage	$U_N$	V	DC 24 $\pm$ 10%
Nominal current	$I_N$	A	0.34
Moment of inertia	$J_B$	kgm <sup>2</sup>	$0.16 \times 10^{-4}$
Release delay	$t_l$	ms	28
Clamping delay	$t_k$	ms	14
Mass	$m_B$	kg	0.25

## ANNEXE 1.8 : SYSTEME PÉDAGOGIQUE

Ce système didactisé va servir de support pour les séquences pédagogiques (parties 1 et 2).

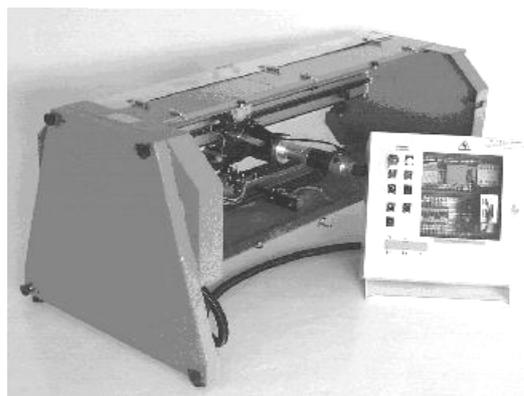
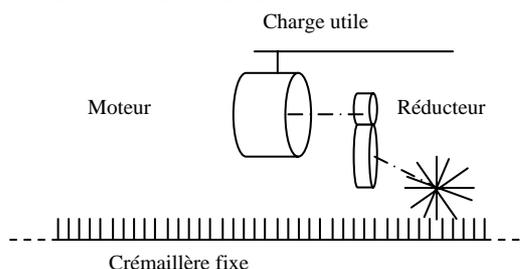
### Description

Cette PARTIE OPERATIVE est composée d'un axe de transgerbeur pouvant prendre deux positions : HORIZONTALE ou VERTICALE.

L'ENTRAÎNEMENT est effectué par un ensemble pignon – crémaillère : le moteur est embarqué.

La MOTORISATION est du type brushless et utilise un réducteur entre moteur et pignon.

Des POINTS DE MESURE sont prévus donnant accès au couple moteur, à la vitesse effective, à la consigne vitesse et à la position absolue.



La tension appliquée entre les phases du moteur et le courant moteur sont également accessibles.

Deux types de COMMANDE sont possibles :

- MANUELLE : permet la conduite de l'axe en fonctionnement semi-automatique suivant un cycle pendulaire trapézoïdal. Vitesse de palier et accélération sont réglables. L'amplitude du déplacement est d'environ 1,2 m.
- AUTOMATIQUE : permet, à partir d'un automate programmable (ou tout autre système programmable) de générer la consigne de vitesse. Un codeur incrémental et un capteur de référence (situé à l'une des extrémités) permettent de réaliser un asservissement de position.

### Caractéristiques

Masse chariot + moteur Brushless + réducteur :

$$m_S = 17,5 \text{ kg}$$

Masse additionnelle variable

$$m_U : \text{ de } 0 \text{ à } 20 \text{ kg}$$

Rapport crémaillère / pignon :

$$K_C = 170 \text{ mm / tour}$$

Rapport réducteur : Pignon / moteur

$$K_R = 1/16$$

Rendement de la transmission rotation / réduction / translation :

$$\eta_T = 0,9$$

donné pour une rotation à 3 000 tr/mn avec un couple moteur de 3 N.m

Moteur brushless SMV 75UM30 avec frein, en nominal :

$$n = 3\,000 \text{ tr / mn}$$

$M = 1,1 \text{ Nm}$ ,  $K_T = 1,6 \text{ Nm/A}$ ,  $J_M$  (rotor + frein) =  $63 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$

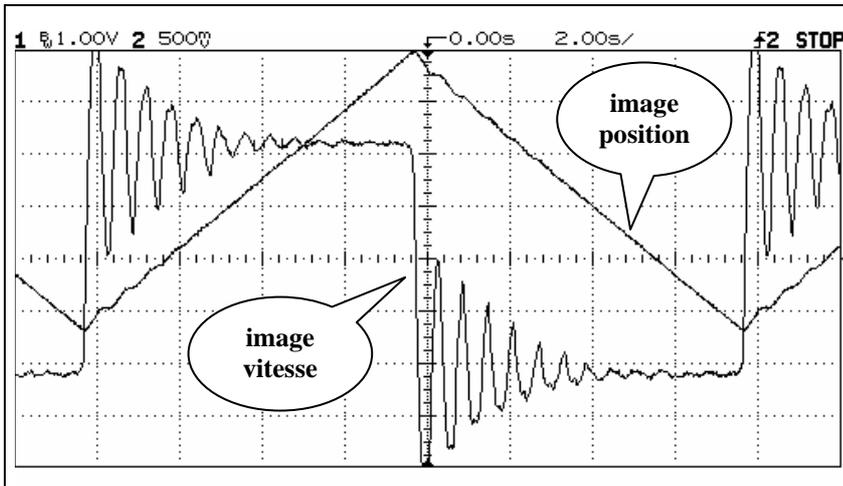
Nombre de points du codeur (sur arbre pignon) :

$$170 \text{ périodes / tour}$$

Le codeur génère deux signaux logiques en quadrature

## ANNEXE 2.1 (page 1/2) : REGLAGE EXPERIMENTAL D'UN CORRECTEUR

Le variateur du système didactisé, présenté à l'annexe 1.8, possède deux paramètres P et I qui permettent de régler respectivement l'action proportionnelle et l'action intégrale de la boucle de vitesse.



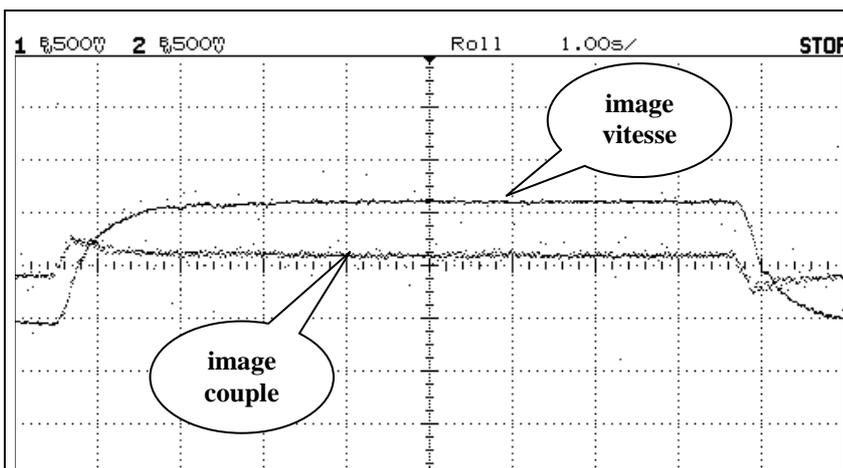
**GRAPHE 1**

La consigne de vitesse est trapézoïdale.

Le relevé ci-contre représente la position et la vitesse pour un mauvais réglage du correcteur de la boucle de vitesse.

D'autres réglages vont être expérimentés

Pour les 5 relevés qui suivent, la consigne trapézoïdale de vitesse est identique. Par contre, les réglages du correcteur de la boucle de vitesse diffèrent.



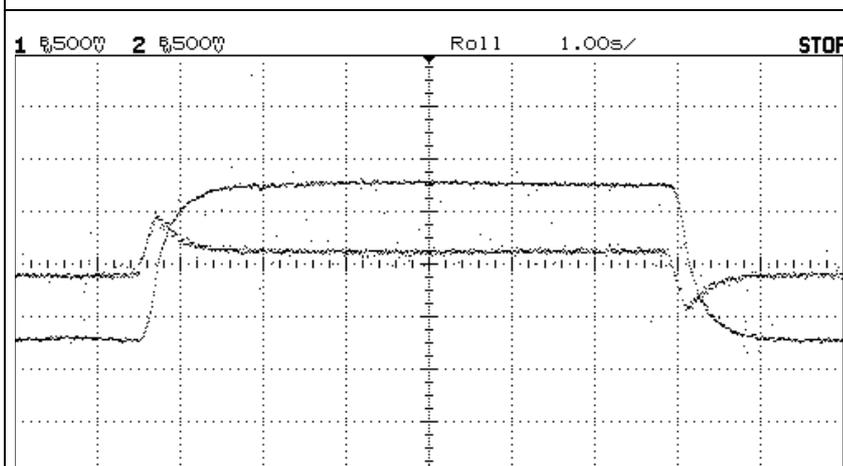
**GRAPHE 2**

Réglage du correcteur :

Pas d'action intégrale

Action proportionnelle P1

Image de la vitesse sur voie 2 :  
(sensibilité 1 V pour 0,15 m/s)



**GRAPHE 3**

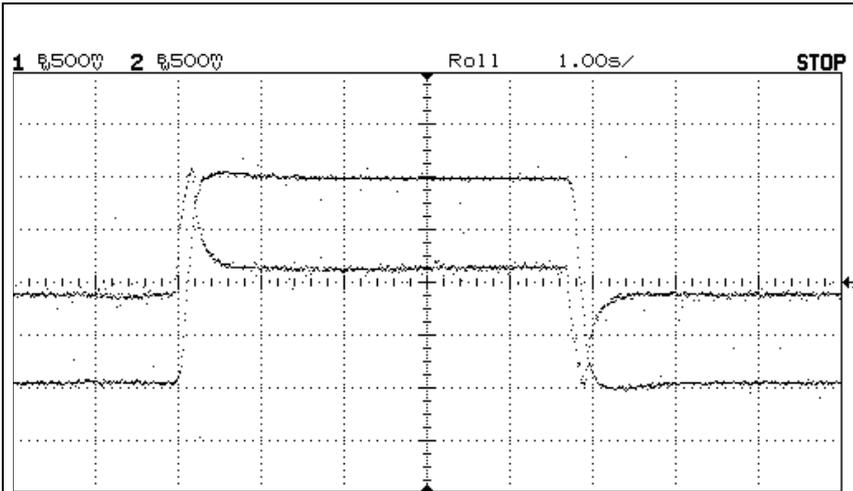
Réglage du correcteur :

Pas d'action intégrale

Action proportionnelle P2  
(évolution d'un facteur 2 ou 1/2  
par rapport à P1)

Image de la vitesse sur voie 2 :  
(sensibilité 1 V pour 0,15 m/s)

## ANNEXE 2.1 (page 2/2) : REGLAGE EXPERIMENTAL D'UN CORRECTEUR



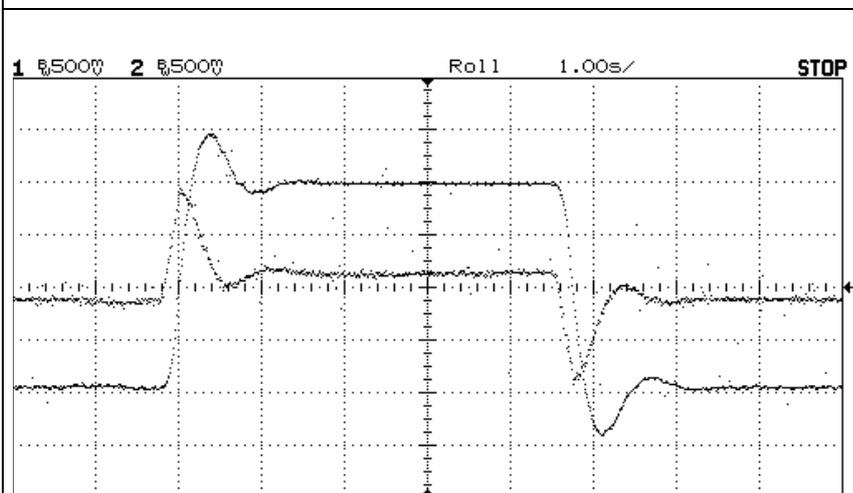
### GRAPHE 4

Réglage du correcteur :

Action intégrale I1

Action proportionnelle P3  
(évolution d'un facteur 4 ou  $\frac{1}{4}$   
par rapport à P2)

Image de la vitesse sur voie 2 :  
(sensibilité 1 V pour 0,15 m/s)



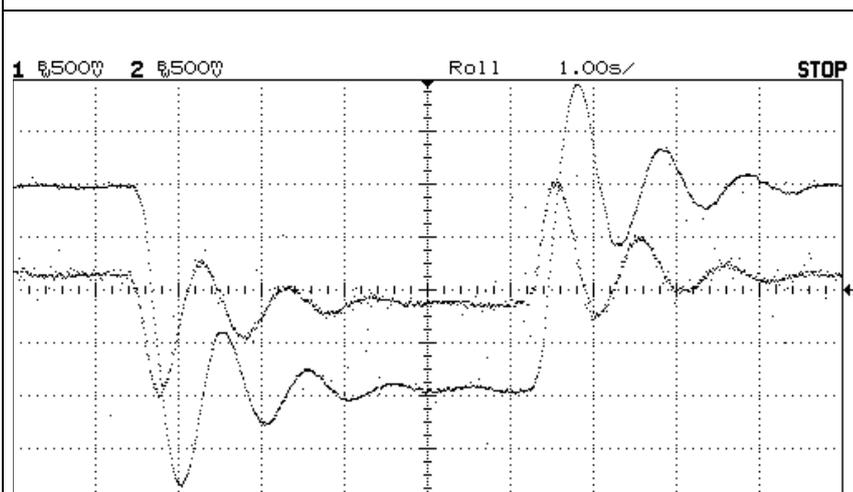
### GRAPHE 5

Réglage du correcteur :

Action intégrale I1

Action proportionnelle P4  
(évolution d'un facteur 4 ou  $\frac{1}{4}$   
par rapport à P3)

Image de la vitesse sur voie 2 :  
(sensibilité 1 V pour 0,15 m/s)



### GRAPHE 6

Réglage du correcteur :

Action intégrale I1

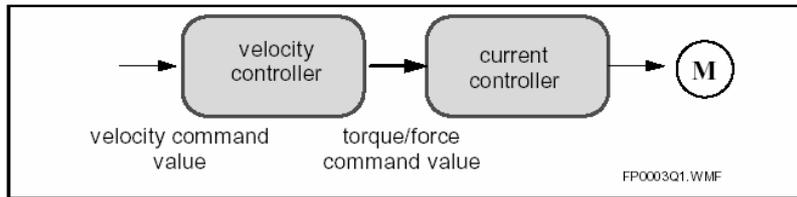
Action proportionnelle P5  
(évolution d'un facteur 4 ou  $\frac{1}{4}$   
par rapport à P4)

Image de la vitesse sur voie 2 :  
(sensibilité 1 V pour 0,15 m/s)

## ANNEXE 2.2 : CONSTITUTION DE LA BOUCLE DE VITESSE

The command values are specified in the parameters **S-0-0036, Velocity Command Value** and **S-0-0037, Additive velocity command value**.

Mode-related monitoring functions are:



### Velocity controller

The effective velocity command value results from adding the values of **S-0-0036, Velocity Command Value** and of **S-0-0037, Additive velocity command value**.

The effective velocity command value is limited to **S-0-0091, Bipolar Velocity Limit Value**, 10 rpm.

The warning **E259 Command velocity limitation active** is displayed if the resulting command value is in limitation.

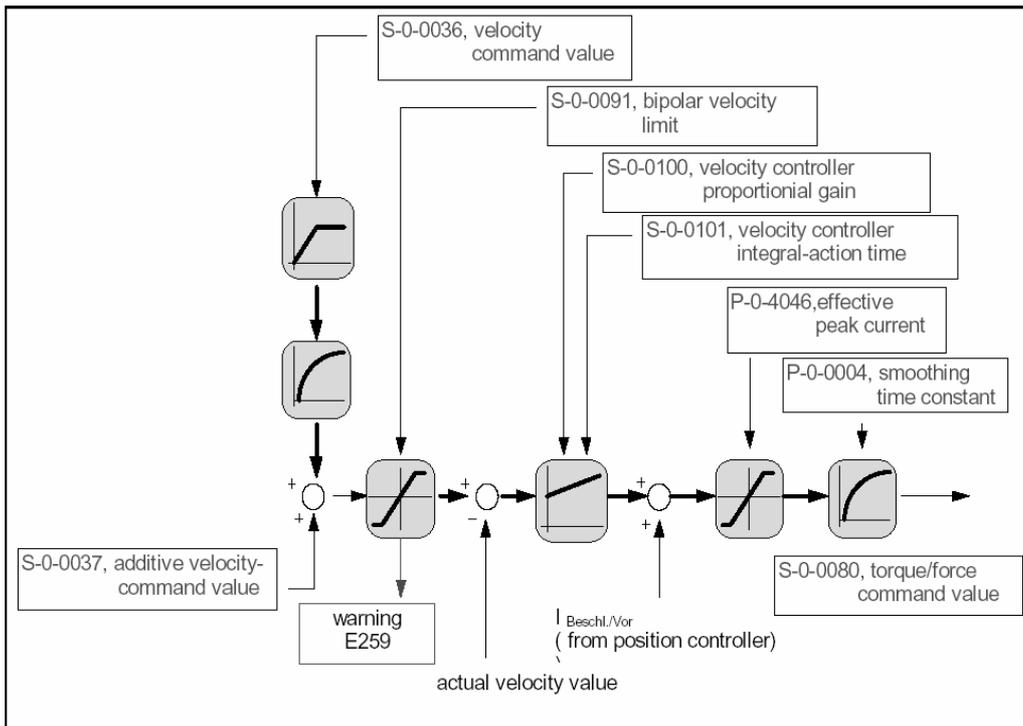
A mixing point permits the raw actual velocities of the motor and, if available, the external measuring system to be merged to an actual velocity value that is used in controlling (see also "Setting the velocity mixing factor").

Using a low-pass filter, additional band-filtering is possible (selection via **S-0-0392, Velocity Feedback Filter time constant**) before it is output as actual control value to the velocity controller.

If a lag-free position control mode has been activated and if the parameter **S-0-0348, Acceleration Feedforward prop. Gain** is not equal "0", the precontrol component is added to the manipulated variable from the velocity controller.

Subsequently, this variable is fed to the current and torque/force limitation.

**P-0-0004, Smoothing Time Constant** permits a band-width limitation of the command value for the current controller.



### ANNEXE 2.3 : CRITERE DE ROUTH

Soit la fonction de transfert  $H(p) = \frac{\text{num}(p)}{\text{den}(p)}$  dont le dénominateur est mis sous la forme :

$$\text{den}(p) = \alpha_0 p^n + \alpha_1 p^{n-1} + \dots + \alpha_{n-1} p + \alpha_n$$

La partie réelle des pôles de  $H(p)$  est négative si les trois conditions suivantes sont satisfaites :

*condition 1 : aucun des  $\alpha_i$  ne doit être nul,*

*condition 2 : tous les  $\alpha_i$  doivent être de même signe,*

On forme le tableau :

- première ligne  $\alpha_0, \alpha_2, \alpha_4, \dots$
- seconde ligne  $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_5, \dots$

Et on calcule les lignes suivantes par les relations :

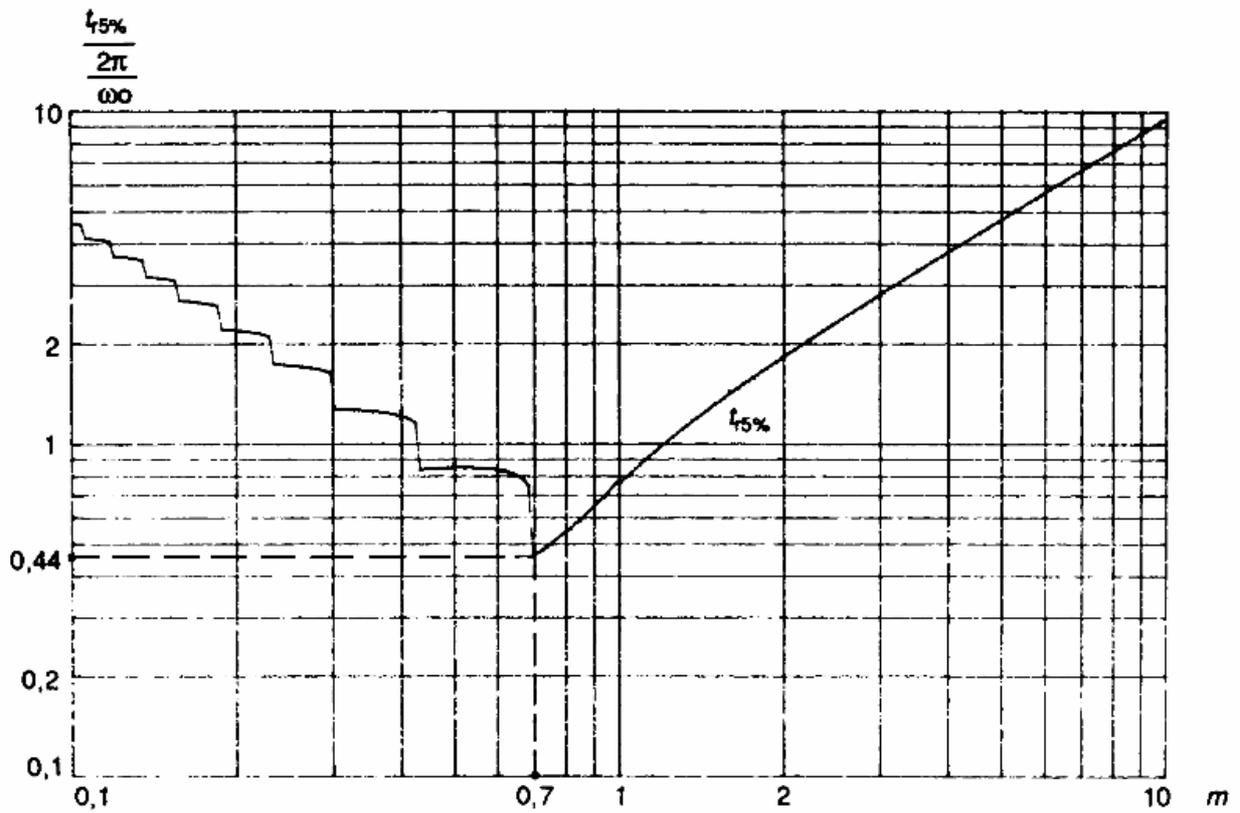
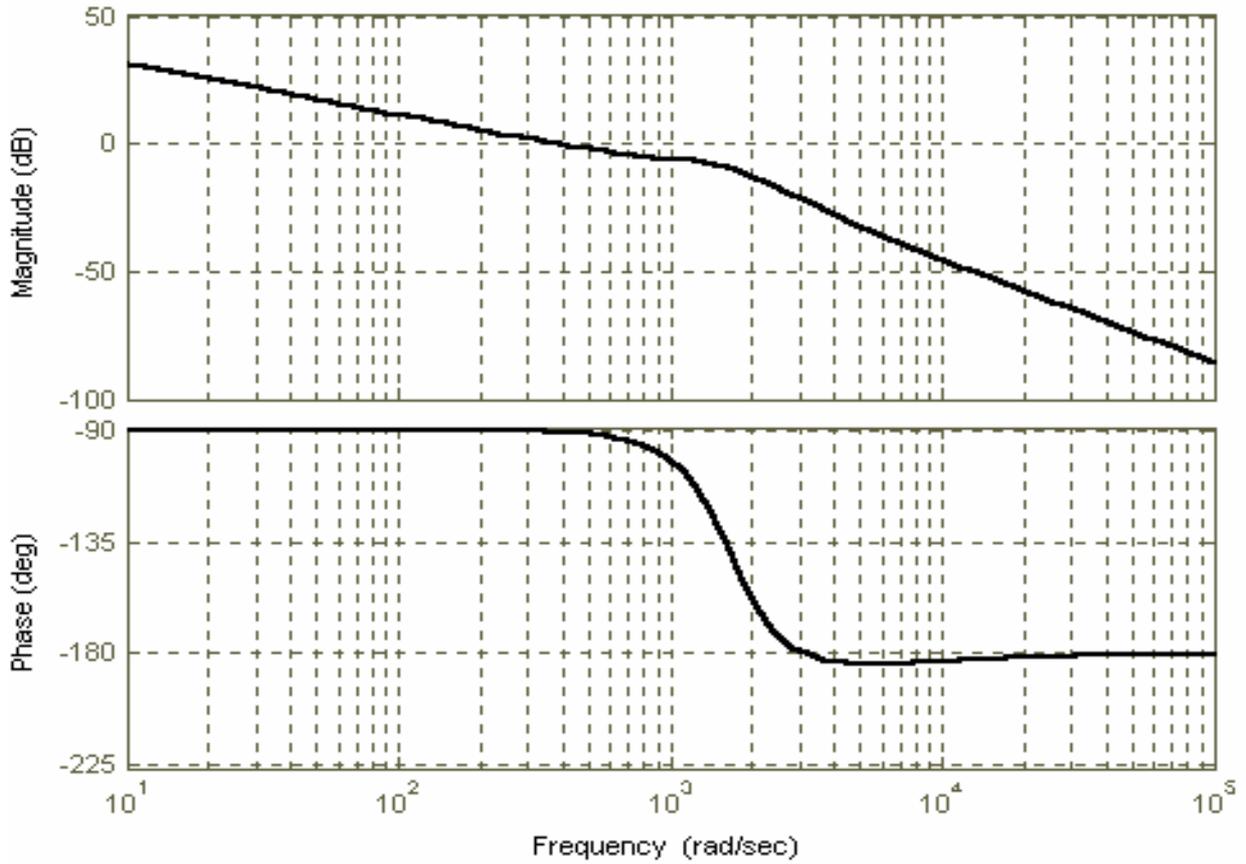
- troisième ligne  $\beta_1 = \frac{\alpha_1 \alpha_2 - \alpha_0 \alpha_3}{\alpha_1}, \beta_2 = \frac{\alpha_1 \alpha_4 - \alpha_0 \alpha_5}{\alpha_1}, \dots$
- quatrième ligne  $\gamma_1 = \frac{\beta_1 \alpha_3 - \beta_2 \alpha_1}{\beta_1}, \gamma_2 = \frac{\beta_1 \alpha_5 - \beta_2 \alpha_1}{\beta_1}, \dots$

La dernière condition à respecter est :

*condition 3 : tous les coefficients de la première colonne doivent être de même signe.*

### ANNEXE 2.3 : ASSERVISSEMENT DE POSITION

Diagrammes de Bode du système en boucle ouverte pour  $K_1=1$



## ANNEXE 3.1 : ELASTICITE DES TRANSMISSIONS

### Filtering oscillations from mechanical resonance

The drives are able to suppress oscillations caused by the drive train (gear) between the motor and the axis or by the spindle mechanics even in a narrow band. Thus, an increased drive dynamics with good stability can be achieved.

The mechanical system of rotor-drive train-load is induced to generate mechanical oscillations as a result of position/velocity feedback in a closed control loop. This behavior identified as a "two mass oscillator" is generally within the 100 to 800 Hz range, depending on the rigidity (or elasticity) and spatial volume of the mechanical system.

This "two mass oscillation" usually has a clear resonance frequency which can be specifically suppressed by a notch filter (band suppressor) provided in the drive.

By suppressing the rejection frequency the dynamics of the velocity and position control loops in terms of control can be significantly improved compared to without a band suppression filter.

This results in greater contour accuracy and smaller cycle times for positioning processes, leaving sufficient stability margin.

The rejection frequency and bandwidth can be set. The rejection frequency is the one with highest attenuation, the bandwidth determines the frequency range, at whose borders the attenuation is 3dB less. Greater bandwidth leads to smaller band attenuation of the center frequency!

The following parameters can be used to set both:

- P-0-0180, Rejection frequency velocity loop
- P-0-0181, Rejection bandwidth velocity loop

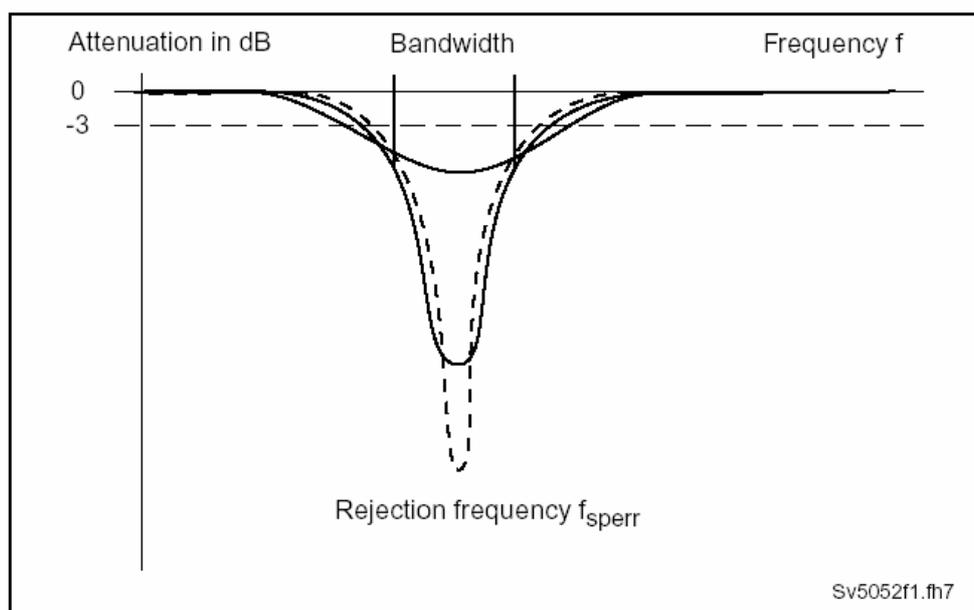


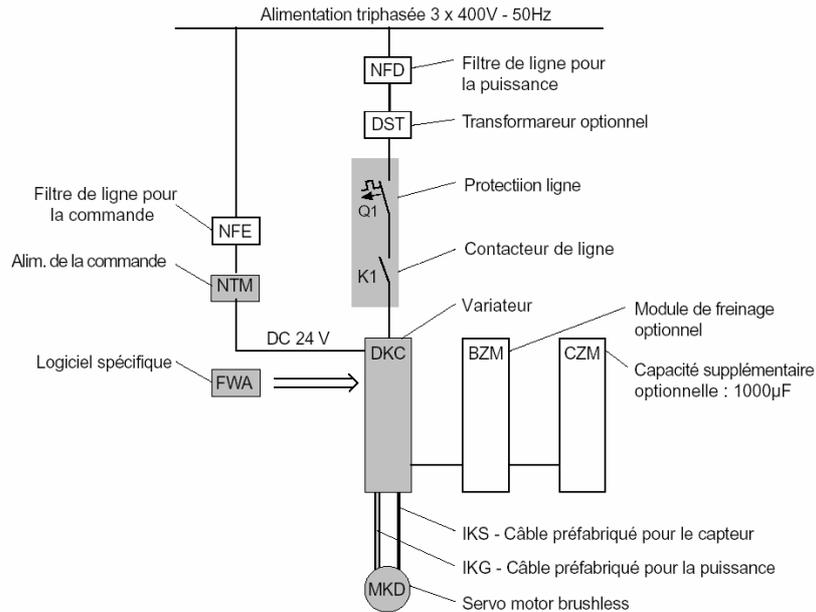
Fig. 7.65: Amplitude response of the rejection filter in terms of bandwidth - qualitative

## ANNEXE 3.2 : REGLAGE DU FILTRE REJECTEUR

To set the band filter, we recommend the procedure described as follows:

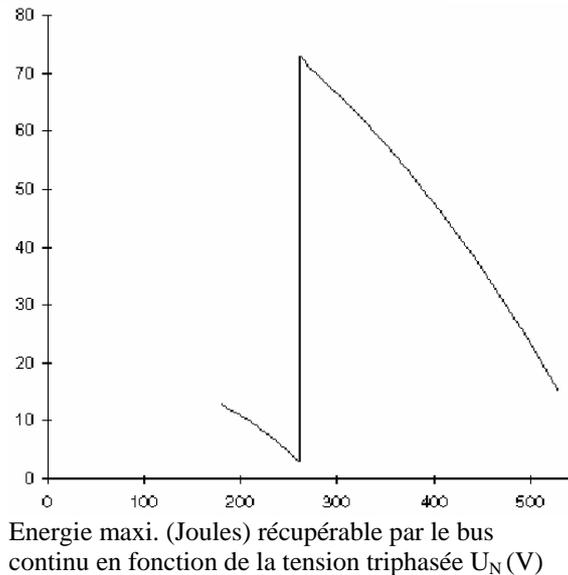
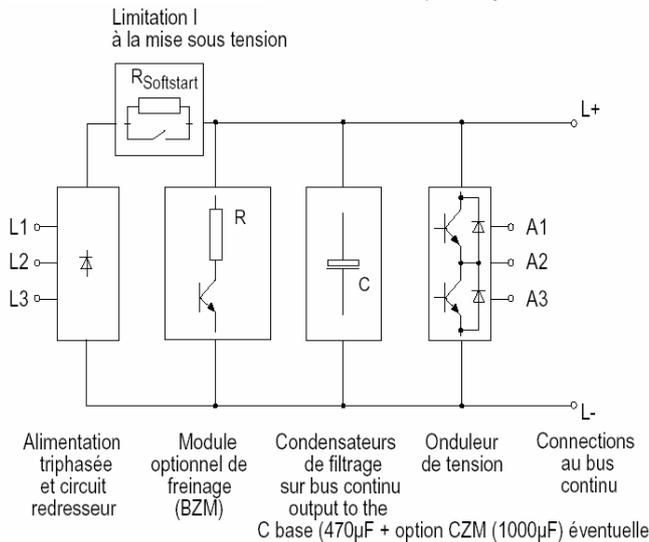
- Pre-settings** ⇒ Set rejection filter inactive. Set 0 in parameter **P-0-0181 Rejection bandwidth velocity loop**.
- Determining resonance frequency** ⇒ Connect oscilloscope to analog output channels. Assign velocity feedback value to analog output 1 (in **P-0-0420, Analog output 1, signal selection "S-0-0040"** and in **P-0-0422, Analog output 1 scaling** enter the scaling, e.g., 100 Rpm / 10 Volts).
- or -
- ⇒ Use the oscilloscope function of the drive to display velocity feedback value.
- ⇒ Excite the drive mechanics, e.g., tap lightly with a rubber hammer.
- ⇒ Record the time of the velocity oscillations with an oscilloscope or oscilloscope function and analyze the clearly salient frequencies. If the oscilloscope function is used, then the resonance frequency can be directly read out of the frequency readout.
- Determining the initial state of the loop** ⇒ Set the drive enable signal and optimize the velocity loop with inactive rejection filter (see "Setting the Velocity Controller").
- ⇒ Record step response of the velocity feedback and the torque/force generating command current with a small velocity command step. (The torque-generating command current may not enter the limit during this process.)
- Turn rejection filter on and check the effect** ⇒ Enter the most salient frequency in Hz in parameter **P-0-0180, Rejection frequency velocity loop**.
- ⇒ Enter a minimum bandwidth in parameter **P-0-0181, Rejection bandwidth velocity loop**, e.g., 25 Hz.
- ⇒ Record the previous step response again.
- If the step response features less overshoot and shorter periods of oscillation, then:**
- ⇒ Check whether increasing the value of **P-0-0181, Rejection bandwidth velocity loop** causes an improvement
- or -
- ⇒ check whether a change in the value of **P-0-0180, Rejection frequency velocity loop** means an improvement.
- If the step response results in the same behavior, then:**
- ⇒ Check the resonance frequency analysis
- or -
- ⇒ clearly increase the value in **P-0-0181, Rejection bandwidth velocity loop**.
- Optimize rejection filter or velocity loop** ⇒ with the pre-optimized values of **P-0-0180, Rejection frequency velocity loop** and **P-0-0181, Rejection bandwidth velocity loop**, optimize the velocity controller again (see above).
- The step responses defined above must have a similar appearance with higher values for **Velocity loop proportional gain** and / or smaller values for **Velocity loop integral action time**.
- An additional optimizing run may be necessary for **P-0-0180 Rejection frequency velocity loop** and **P-0-0181, Rejection bandwidth velocity loop** using the step response (see above).

### ANNEXE 3.3 : REVERSIBILITE ENERGETIQUE DES VARIATEURS

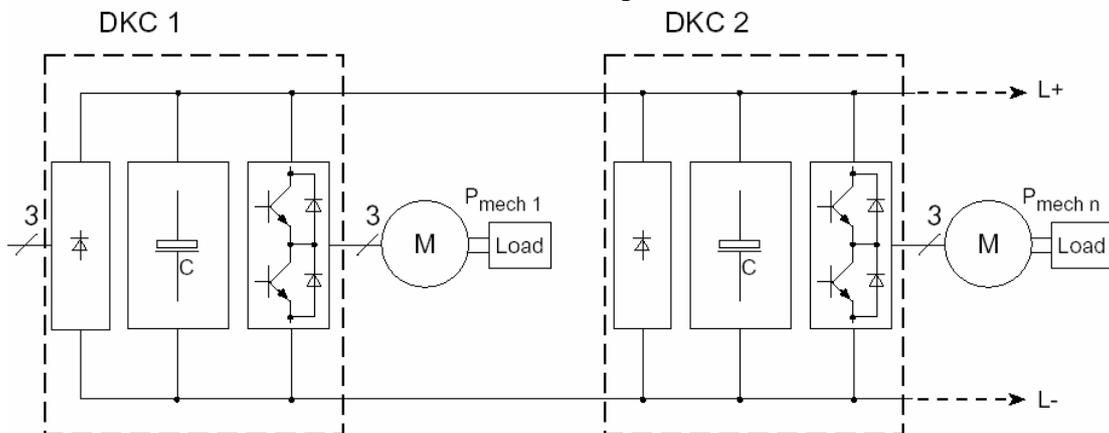


Les composants grisés sont absolument nécessaires.

Fa5035f1.fh7



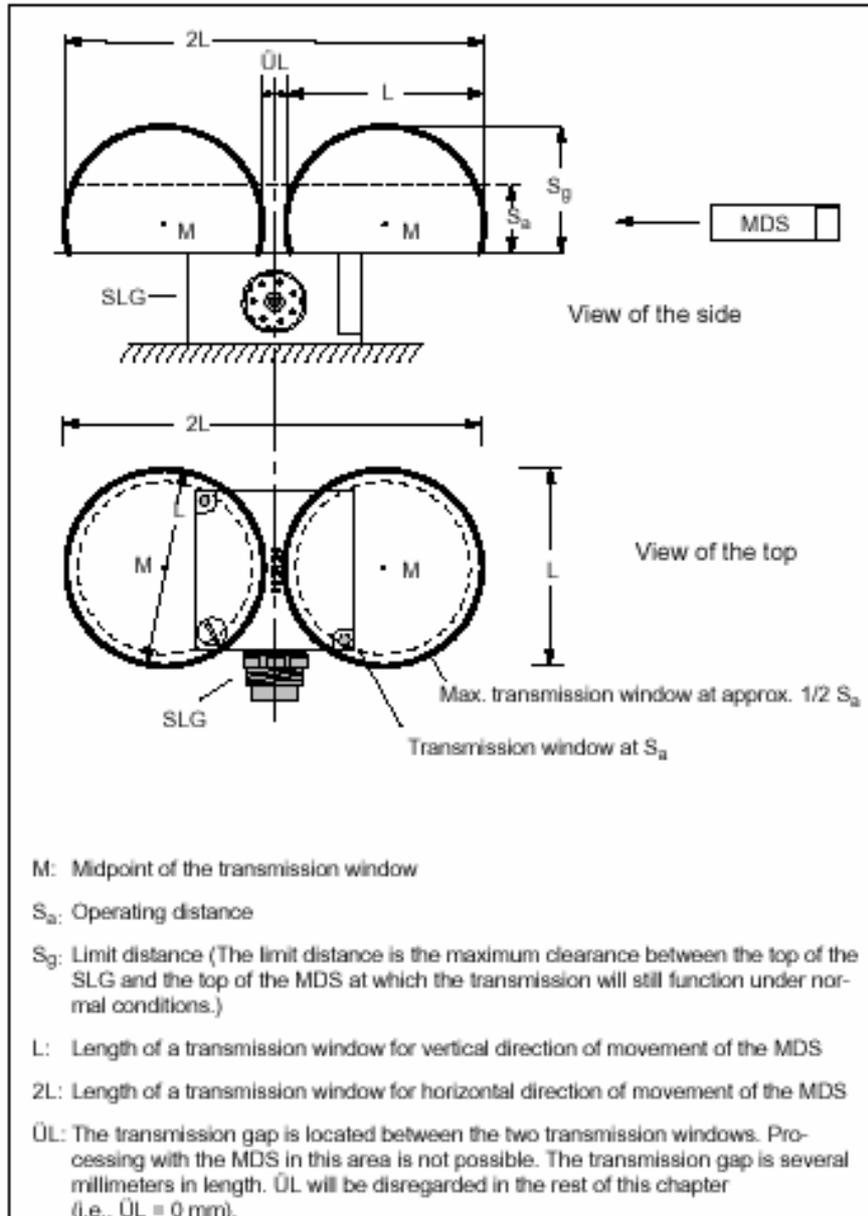
#### Association de 2 variateurs par le bus continu.



## ANNEXE 4.1 : SYSTEME DE LECTURE / ECRITURE RADIO FREQUENCE

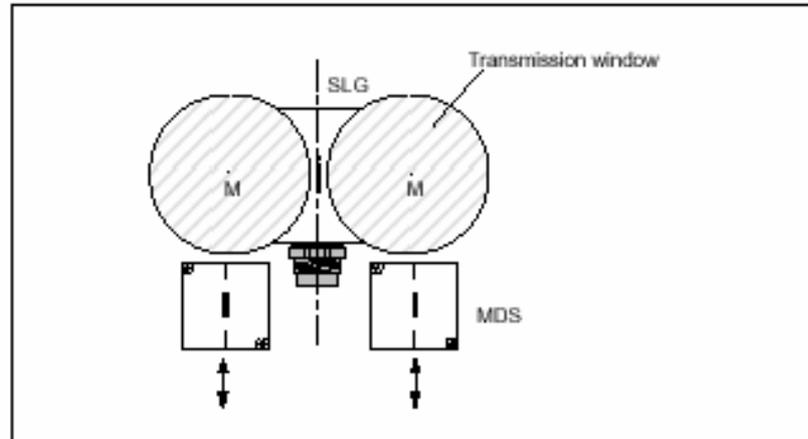
The read/write device (i.e., SLG) generates an inductive alternating field. The field is strongest in the vicinity of the SLG and decreases in strength the greater the distance from the SLG. Distribution of the field depends on the layout and geometry of the antennas on the SLG and the MDS.

MDS functionality requires a minimum field strength on the MDS achieved at a distance of  $S_g$  from the SLG. The figure below shows the transmission window between the MDS and the SLG.



## ANNEXE 4.2 : SYSTEME DE LECTURE / ECRITURE RADIO FREQUENCE

Working in dynamic operation



Working in dynamic operation

Width of the transmission window

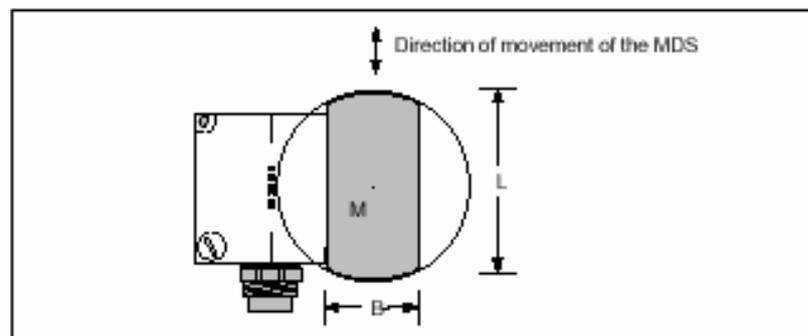
The following approximation formula applies to practical applications.

$$B = 0.4 \cdot L$$

B: Width of the transmission window

L: Length of the transmission window

The width of the transmission window (B) is particularly important for the tolerance of mechanical tracking. When B is maintained, the formula can be used without restriction for the transmit period. The active area can be represented as shown below.



This direction of movement does not produce a "gap" in data transmission. The presence signal (i.e., ANW) precisely indicates the presence of an MDS. This direction of movement is always recommended when the configuration permits.

## ANNEXE 4.3 : SYSTEME DE LECTURE / ECRITURE RADIO FREQUENCE

### Transmit Period of the MDS

The transmit period is the time during which the MDS is located in the transmission window of an SLG. During this time, the SLG can exchange data with the MDS.

The formula used to calculate the transmit period is shown below.

$$T_V = \frac{L \cdot 0.8 [m]}{V_{MDS} [m/s]}$$

- $t_V$ : Transmit period of the MDS  
 $L$ : Length of the transmission window  
 $V_{MDS}$ : Speed of the data memory in dynamic operation  
0.8: Constant factor. Compensates for temperature influences and production tolerances.

During static operation, the transmit period can be any length of time. The transmit period must last at least as long as necessary to conclude communication with the MDS.

During dynamic operation, the transmit period is determined by the system environment. The amount of data to be transferred must be adjusted to the transmit period or vice versa.

General formula:

$$t_V \geq t_K$$

- $t_V$ : Transmit period of the data memory in the field of the SLG  
 $t_K$ : Communication time between MDS and ASM

### Communication between ASM, SLG and MDS

Communication between ASM, SLG and MDS is asynchronous with a transmission speed of 19200 baud.

General formula:

$$t_K = K + t_{Byte} \cdot n$$

Calculation of the maximum amount of user data:

$$n_{max} = \frac{t_V - K}{t_{Byte}}$$

- $t_K$ : Communication time between ASM, SLG and MDS  
 $t_V$ : Transmit period  
 $n$ : Amount of user data in bytes  
 $n_{max}$ : Maximum amount of user data in bytes during dynamic operation  
 $t_{byte}$ : Transmission time for 1 byte (cf. table 3-1)  
 $K$ : Constant. The constant represents an internal system time. It contains the time required for power buildup on the MDS and the time required for command transmission (cf. table 3-1).

## ANNEXE 4.4 : SYSTEME DE LECTURE / ECRITURE RADIO FREQUENCE

Table 3-1 Time constants K and  $t_{byte}$

Constant K [msec]		$t_{byte}$ [msec]	Data Memory			Operating Mode
MDS 507	All Other MDSs		Memory Type	Memory Size	Operation <sup>1</sup>	
66	16	0.8	RAM/FRAM	All	R/W	Normal operation
66	16	0.8	EEPROM	8 Kbytes	R	
-	17	0.8	EEPROM	128 bytes	R	
66	16	3.8	EEPROM	8 Kbytes	W	
-	16	40.5	EEPROM	128 bytes	W	
88 <sup>2</sup>	38 <sup>2</sup>	1.4	RAM/FRAM	All	R	ECC-operation <sup>3</sup>
88 <sup>2</sup>	38 <sup>2</sup>	1.4	EEPROM	8 Kbytes	R	
107 <sup>2</sup>	57 <sup>2</sup>	1.4	RAM/FRAM	All	W	
190 <sup>2</sup>	140 <sup>2</sup>	4.4	EEPROM	8 Kbytes	W	
-	38 <sup>2</sup>	1.4	EEPROM	128 bytes	R	
-	1200 <sup>2</sup>	41	EEPROM	128 bytes	W	
110	60	1	RAM/FRAM	All	R/W	
190	140	1.4	EEPROM	8 Kbytes	R	
190	140	3.8	EEPROM	8 Kbytes	W	
190	140	2.6	RAM/FRAM	All	R	File handler with ECC <sup>3</sup>
190	140	3.0	RAM/FRAM	All	W	
270	220	3.5	EEPROM	8 Kbytes	R	
330	280	8.6	EEPROM	8 Kbytes	W	

1 Operation: R = Read, W = Write

2 Worst-case values. Usually not reached.

3 ECC operation: The above table does not contain the ASM computing times for error correction of data when MDS is defective. Net capacity of the MDS is reduced.

## ANNEXE 4.5 : SYSTEME DE LECTURE / ECRITURE RADIO FREQUENCE

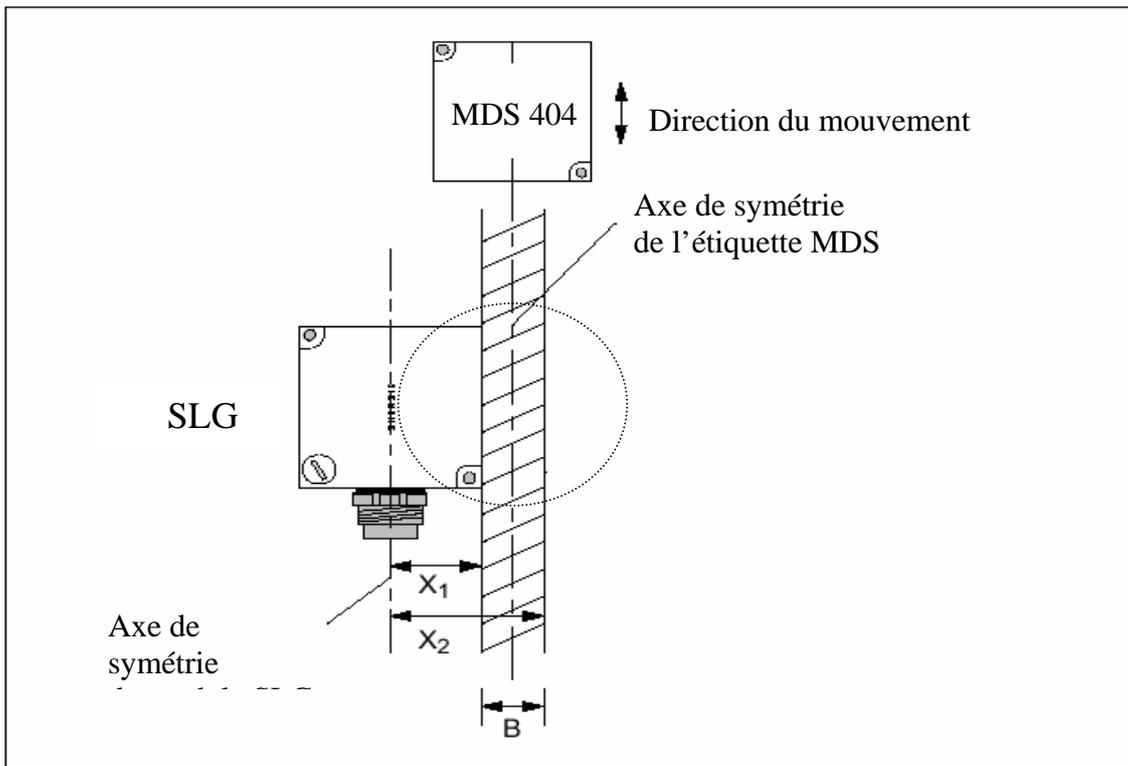
Field data of all MDS and SLG components

MDS SLG	MDS 114 MDS 514 MDS 404	MDS 413 E	MDS 506	MDS 439 E	MDS 302 MDS 401 MDS 402	MDS 403	MDS 507
<b>Length of the Transmission Window in mm (L)</b>							
	L	2L	L	2L	L	2L	L <sup>1</sup>
SLG 40	-	-	-	-	-	-	-
SLG 40-S	-	-	-	-	-	-	-
SLG 41-S	36	72	30	60	-	-	-
SLG 41C	30	60	-	-	-	-	-
SLG 42	90	180	80	160	120	190	120
SLG 43	140	260	120	230	220	400	190
SLG 44	-	-	-	-	-	-	-
SIM 4x	60	80	55	70	85	100	75
<b>Width of the Transmission Window in mm (B)</b>							
SLG 40	-		-		-		-
SLG 40-S	-		-		-		-
SLG 41-S	15		12		-		-
SLG 41C	12		-		-		-
SLG 42	36		32		48		48
SLG 43	60		52		88		76
SLG 44	-		-		-		-
SIM 4x	20		20		30		30
<b>Operating Distance in mm (S<sub>d</sub>)</b>							
SLG 40	-		-		-		2 to 8
SLG 40-S	-		-		-		2 to 6
SLG 41-S	0 to 12		0 to 10		-		0 to 6
SLG 41C	0 to 12		-		-		0 to 6
SLG 42	0 to 30		0 to 25		10 to 35		10 to 55
SLG 43	0 to 50		0 to 50		20 to 100		20 to 80
SLG 44	-		-		-		-
SIM 4x	0 to 20		0 to 20		0 to 25		0 to 25
<b>Limit distance in mm (S<sub>g</sub>)</b>							
SLG 40	-		-		-		10
SLG 40-S	-		-		-		8
SLG 41-S	25		22		-		10
SLG 41C	25		-		-		10
SLG 42	60		55		70		70
SLG 43	90		80		150		125
SLG 44	-		-		-		-
SIM 4x	33		30		40		33
<b>Distance from MDS to MDS in mm (D1)</b>							
SLG 40	-		-		-		> 50
SLG 40-S	-		-		-		> 50
SLG 41-S	> 90		> 90		-		> 80
SLG 41C	> 90		-		-		> 80
SLG 42	> 250		> 250		> 300		> 500
SLG 43	> 500		> 500		> 600		> 600
SLG 44	-		-		-		-
SIM 4x	> 200		> 200		> 300		> 300

## ANNEXE 4.6 : SYSTEME DE LECTURE / ECRITURE RADIO FREQUENCE

ASM Type	Interfaces to PC/Computer	Interfaces to SLG	Function blocks	SLG Connections	Dimensions W x H x D in mm	Data addresses
ASM 400/401	Can be installed S5-115 to 155U	9-pin sub D socket	FB 250/252 FB 230	1 per CM 4 per ASM		Absolute
ASM 410	Can be installed in S5-100U/ET 200U	Can be connected Via bus module	opt.: FB 41 for ASM 410	2 (multi-plex)	45 x 135 x 100	Absolute
ASM 420/421	V.24, RS422, TTY	9-pin sub D socket	Driver 3964R	1	20 x 100 x 160	Physical
ASM 424	RS 232 RS 422	9-pin sub D socket	MOBY-API	4 (parallel)	205 x 130 x 60	Physical
ASM 440	PROFIBUS-DP	9-pin sub D socket	FB 240 FC 44	1	20 x 100 x 160	Absolute
ASM 450/451	PROFIBUS-DP/V1	2 5-pin proximity switch plug connectors	FB 240 FC 44 FC 46 FB 246	2 (multiplex)	134 x 110 x 55	Physical
ASM 470	Can be installed in S7-300/ET 200M	Via screw terminals	FC 47 FB 47	2 (multiplex)	40 x 125 x 120	Physical

## ANNEXE 4.7



## ANNEXE 4.8

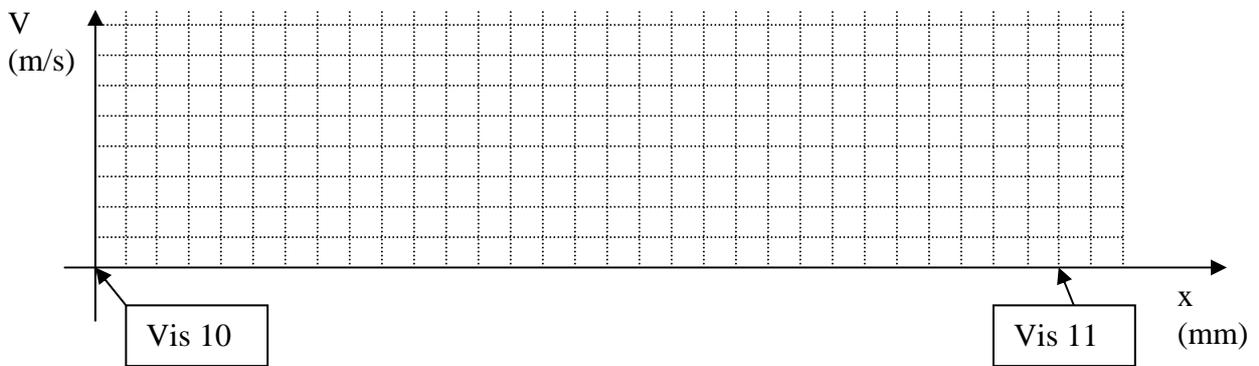
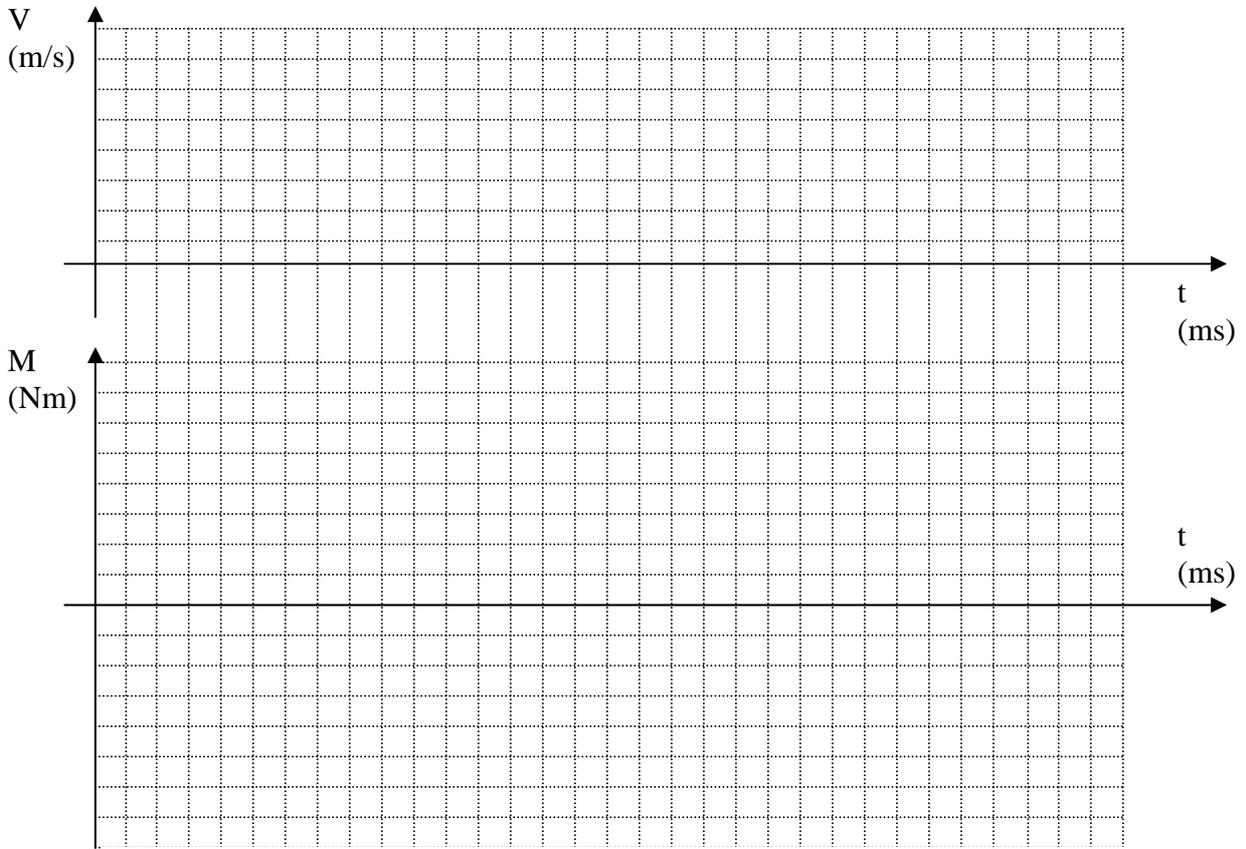
### Technical data of SLG 41/SLG 41-S

Inductive interface to MDS	
Data transmission speed	19200 baud
Read/write distance SLG to MDS (max.)	30 mm (see field data table)
Transmission frequency	
• Power	134 kHz
• Data	1.81 MHz
Serial interface to ASM	6-pin SLG plug connector in acc. w. DIN 43651
Transmission speed	19200 baud, RS 422
Line length, ASM to SLG (max.) at 24 V DC	360 m
Supply voltage (via serial interface)	
Nominal value	24 V DC
Permissible range	20 to 30 V DC
Current consumption	

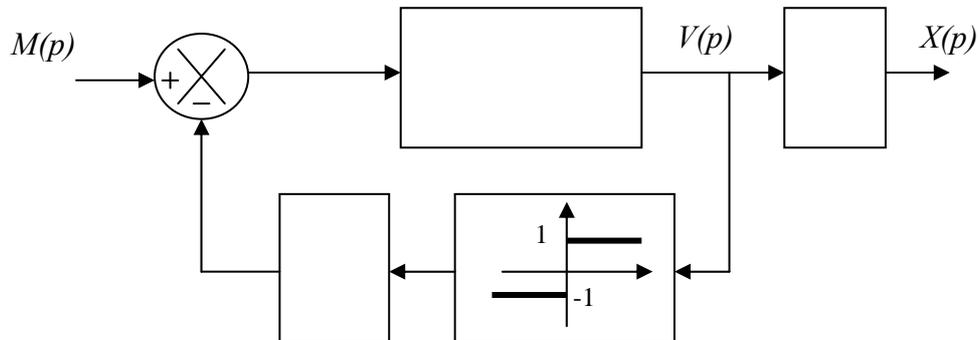
DOCUMENT REPONSE N° 1

1.3 : étude d'un déplacement à profil trapézoïdal

1.3.1



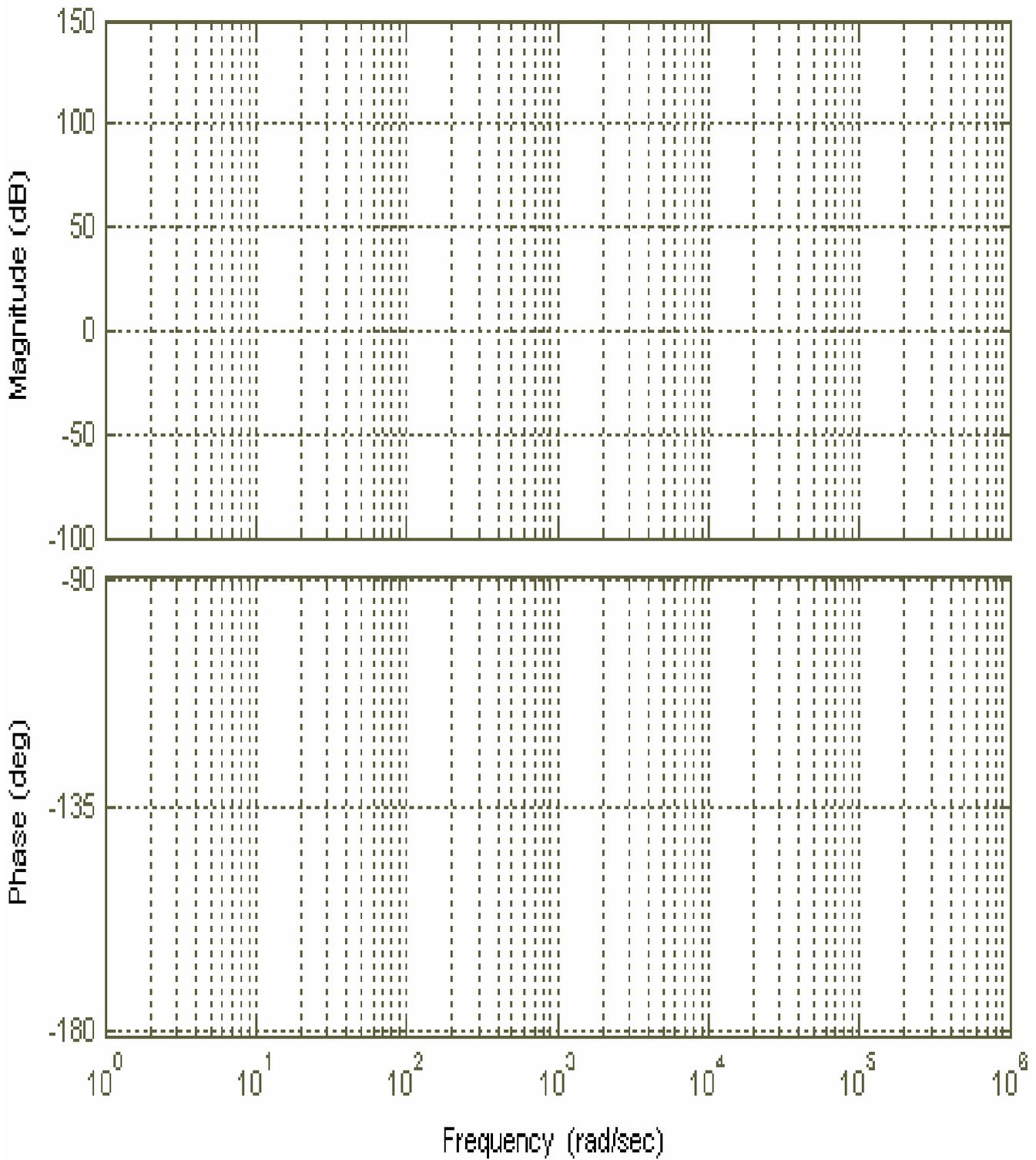
1.3.2





### DOCUMENT REPONSE N° 3

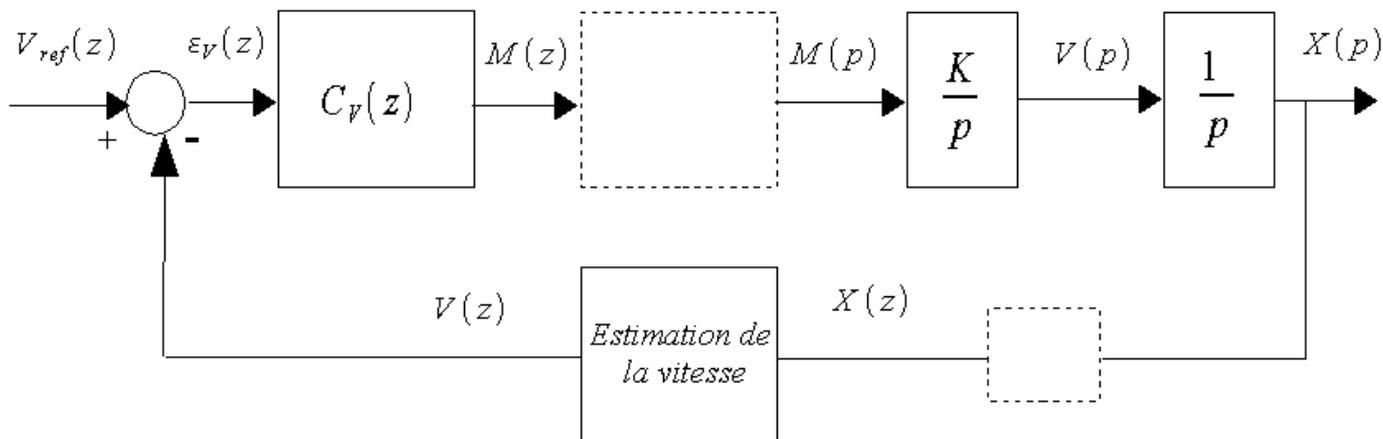
#### 2.1.3.5 : fonction de transfert en boucle ouverte



Remarques :

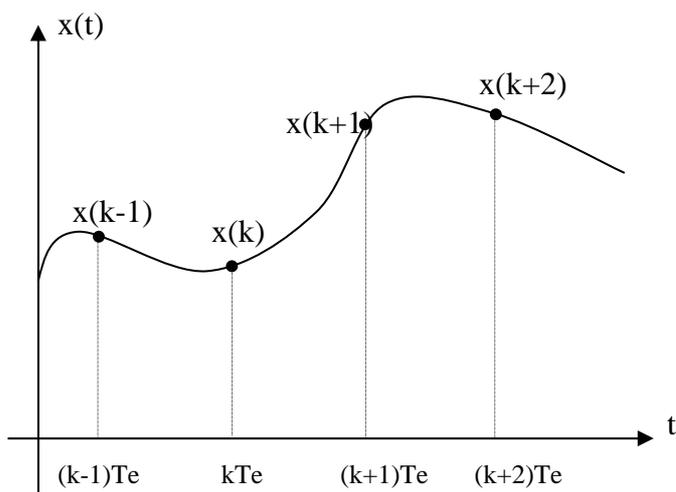
## DOCUMENT REPONSE N° 4.1

### 2.3.1 : traitement numérique de l'asservissement de vitesse



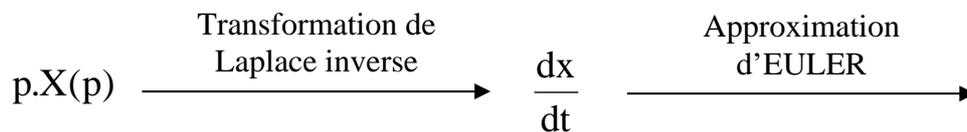
## DOCUMENT REPONSE N° 4.2

### 2.3.2.1 : approximations numériques : méthode d'Euler



Approximation d'Euler

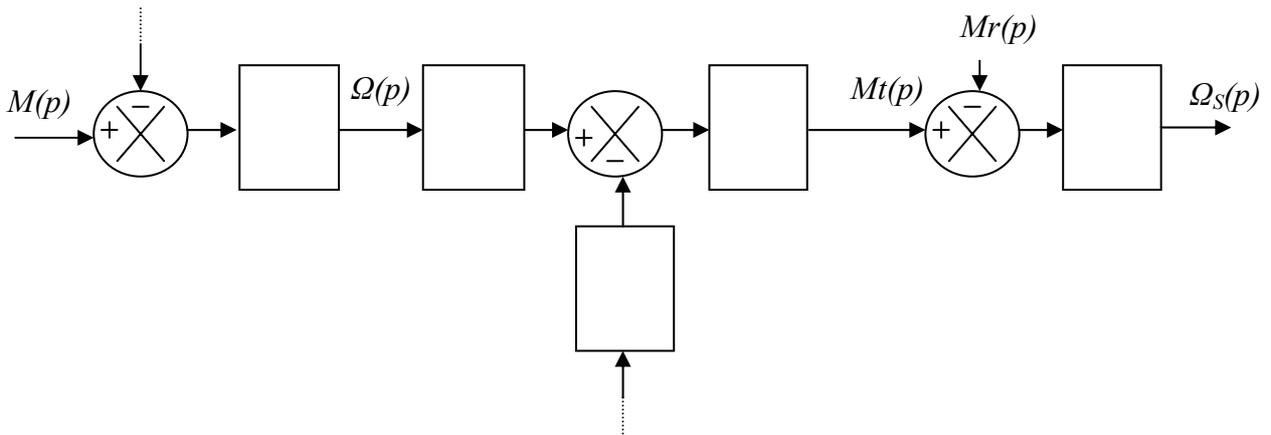
## DOCUMENT REPONSE N° 4.3



DOCUMENT REPOSE N° 5

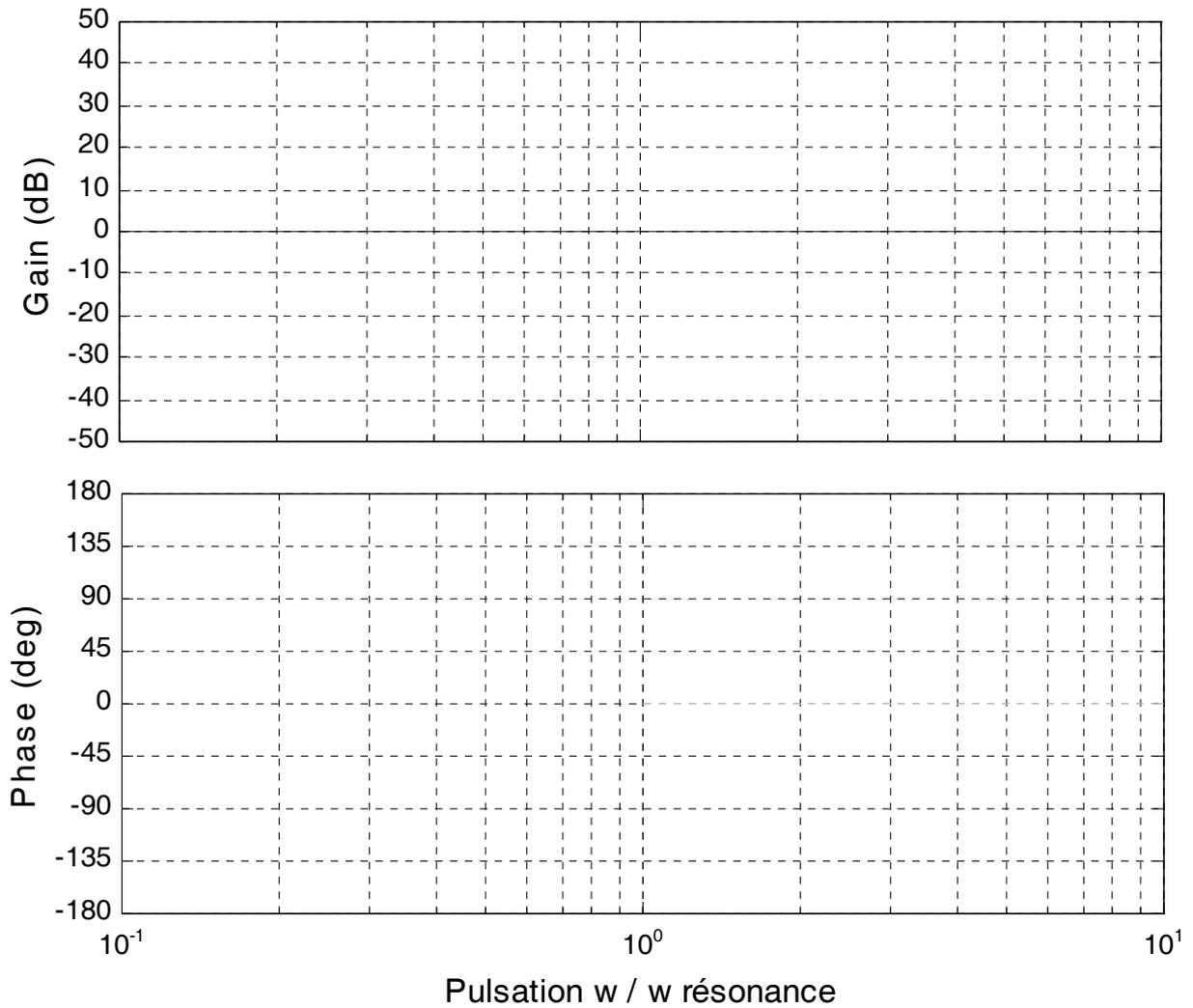
3.1.1 : élasticité des transmissions

3.1.1



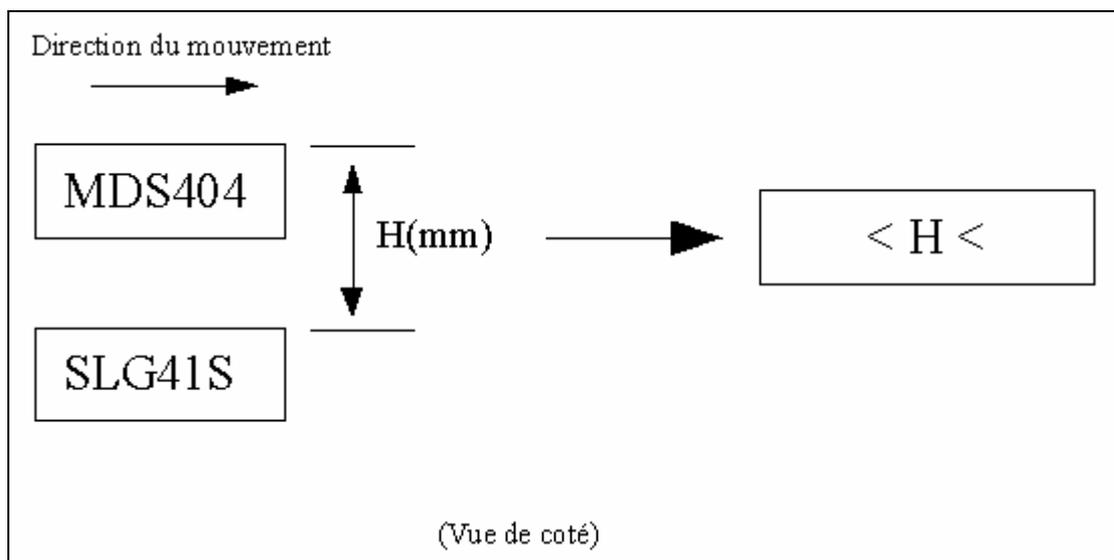
3.1.3

Diagrammes de Bode de  $H1(j\omega)$



## DOCUMENT REPONSE N° 6.1

### 4.2.1 : implantation du système MOBY I



## DOCUMENT REPONSE N° 6.2

### 4.4.2.9 : modulation de l'onde porteuse

