

## DS 05 - DS05: Panneaux déroulants

Avec Correction

PTSI

Samedi 05 mai 2018

### Table des matières

1	Découverte du système	2
2	Étude de la fonction : « enrouler ou dérouler l'affiche »	5
3	Étude de la fonction : « gérer le défilement des affiches »	8
4	Étude de la fonction : « tendre l'affiche »	8
5	Étude de la fonction : « guider le rouleau par rapport au châssis »	17
6	Correction	27

# DS05: Panneaux déroulants

Les copies sont en séparer en trois parties :

1. Questions 1 à 20,
2. Questions 21 à 34,
3. Document réponse.

## 1 Découverte du système

Le panneau publicitaire déroulant, appartenant à la catégorie des MUPI (Mobilier Urbain Pour l'Information), est un objet installé dans l'espace public. C'est un media de masse qui permet de toucher le consommateur sur son lieu de vie. La société JC DECAUX qui installe des mobiliers urbains fixes s'est intéressée depuis longtemps à pouvoir toucher un maximum de personnes grâce à l'utilisation de ces panneaux.

En effet, on a longtemps utilisé des panneaux fixes mais les études réalisées par JC Decaux Wordlink ont permis d'analyser les effets publicitaires de l'introduction du mouvement dans la communication extérieure. Cette étude, appelée Sutton démontre qu'un panneau en mouvement augmente le contact visuel avec le panneau de 37%. Ceci signifie que 90% du trafic aura au moins un contact visuel avec le site durant son passage. Lorsque le panneau est déroulant, plus de deux-tiers de personnes mémorisent la campagne. C'est pourquoi JC DECAUX a été amené à développer ce type de panneau déroulant. L'expérience de JC DECAUX dans ce domaine date de plus de trente ans puisque le premier brevet concernant ce type de panneau a été déposé en décembre 1977.

Le système étudié est le système de panneau type sénior de  $8m^2$  qui équipe de nombreuses villes dont Paris. Ce panneau permet de faire défiler successivement dans un sens puis dans l'autre jusqu'à 7 affiches avec un temps d'exposition constant pour chaque affiche.

Le système actuel est décrit en annexe 1.



Figure 1 – Panneau déroulant

### 1.1 Mise en situation

Le format des affiches rétro éclairées est d'environ  $8m^2$ .

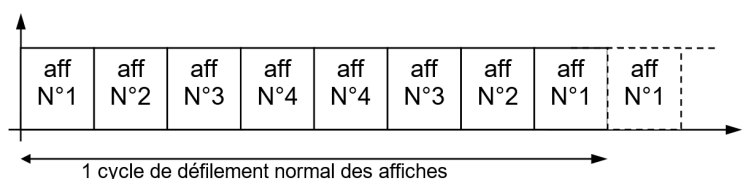
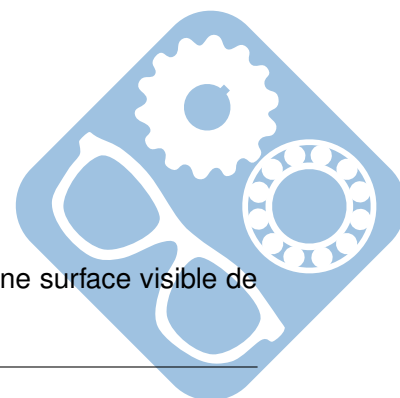


Figure 2 – Défilement pour 4 affiches

Les affiches sont de dimensions : 3200 x 2300 mm (largeur x hauteur) avec une surface visible de 3060 x 2230 mm.



Le défilement s'effectue à la vitesse de 1m/s avec une rampe d'accélération et de décélération de chacune 1 seconde.

Les affiches étant changées tous les 15 jours, il faut faciliter leur mise en place. Pour cela, elles sont disposées en bandeau et placées sur le rouleau du haut lors de leur installation. La première est une amorce fixée au rouleau du haut avec un adhésif puis elles sont reliées les unes aux autres par un système de zip. La dernière est une amorce qui est également fixée au rouleau du bas par un adhésif. Cet ensemble constitue un bandeau.

Dans la solution actuelle, l'entraînement se fait par deux moteurs asynchrones identiques commandés par deux variateurs scalaires. L'ensemble est géré par l'automate programmable.

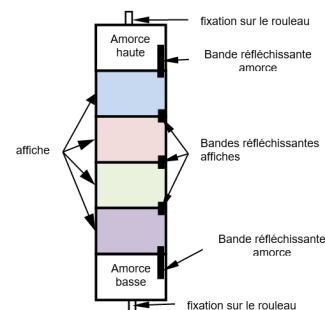


Figure 3 – Affiches

## 1.2 Diagramme des cas d'utilisation

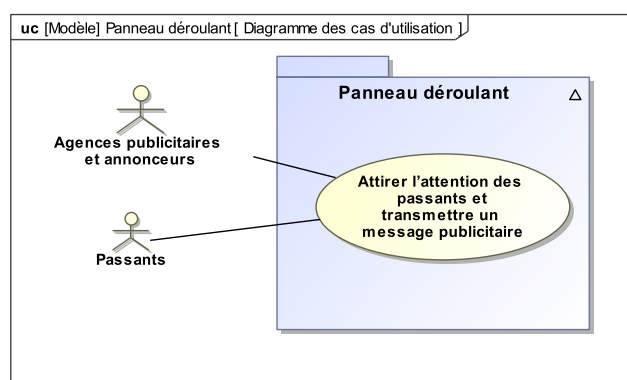


Figure 4 – Diagramme des cas d'utilisation

## 1.3 Diagramme de contexte

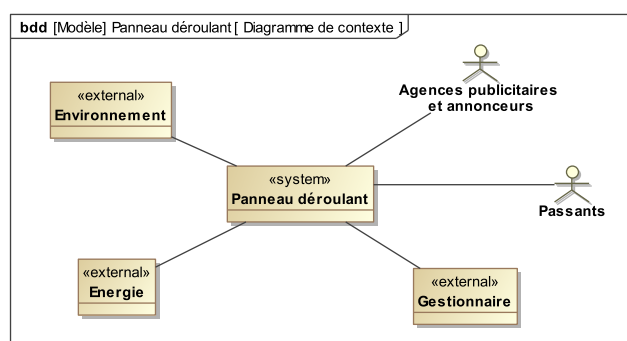
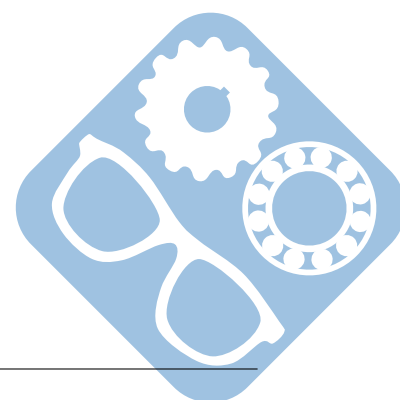


Figure 5 – Diagramme de contexte



## 1.4 Diagramme d'exigences

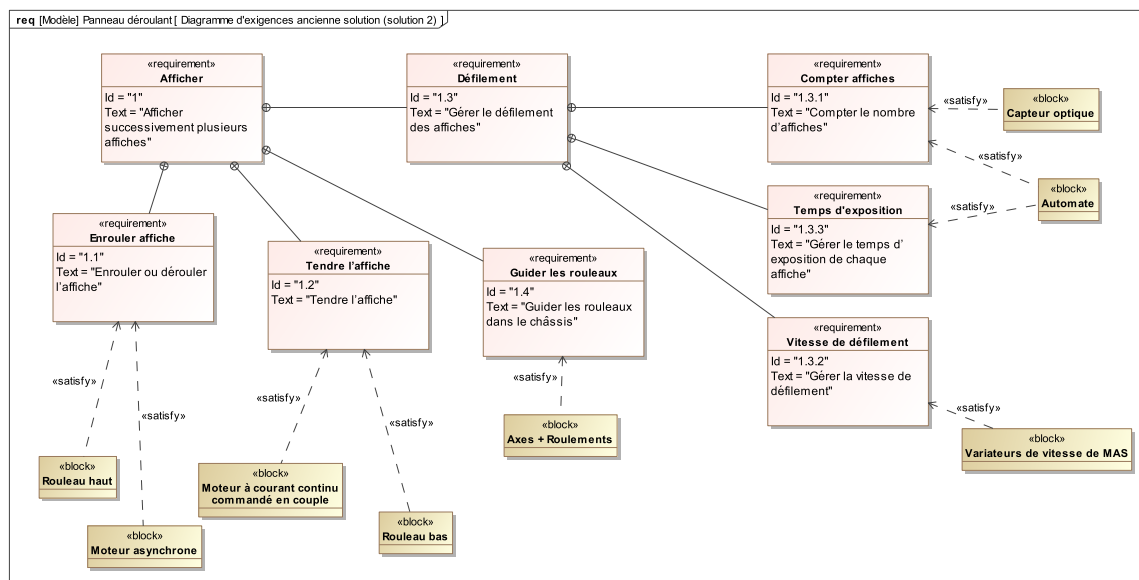


Figure 6 – Diagramme d'exigence de l'ancienne solution (solution 2)

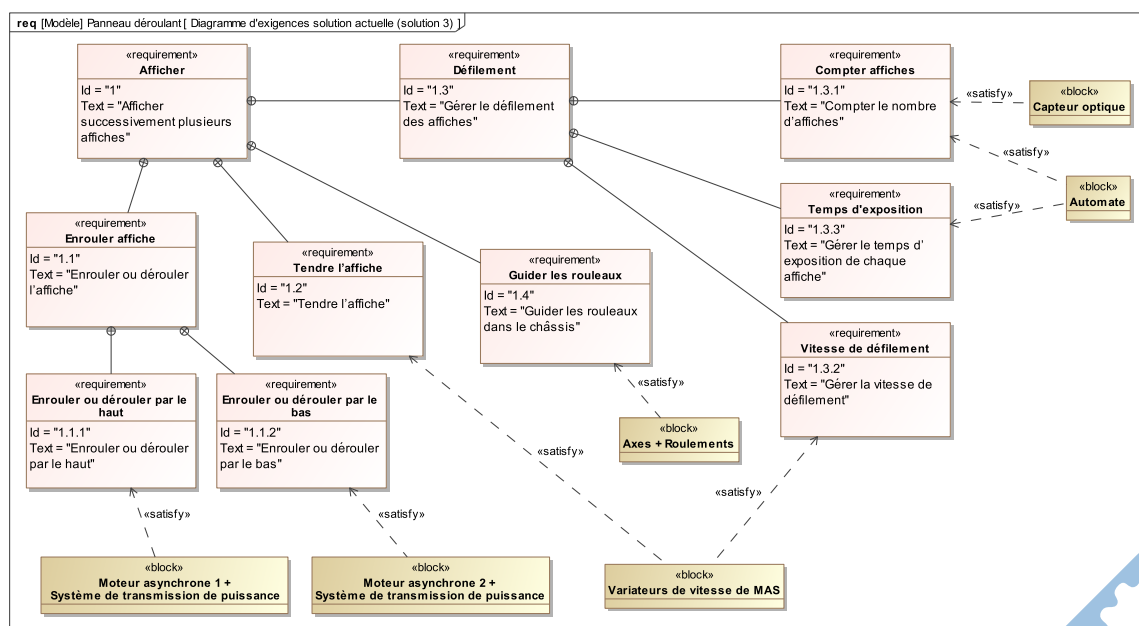


Figure 7 – Diagramme d'exigence de la solution actuelle (solution 3)

## 2 Étude de la fonction : « enrouler ou dérouler l'affiche »

On s'intéresse ici au rouleau supérieur du panneau d'affichage et on considère que le bandeau d'affiches s'enroule sur ce rouleau supérieur.

L'étude du comportement dynamique du système nous amène à chercher la masse du rouleau.

Hypothèses :

- le rouleau supérieur vide est un cylindre creux en aluminium de longueur  $L$ , de diamètre intérieur  $d_1$  et de diamètre extérieur  $d_2$ ,
- une fois entièrement enroulé autour du rouleau supérieur, le bandeau d'affiches est un cylindre creux de longueur  $L=3200$  mm, de diamètre intérieur  $d_2$  et de diamètre extérieur  $d_3$ .

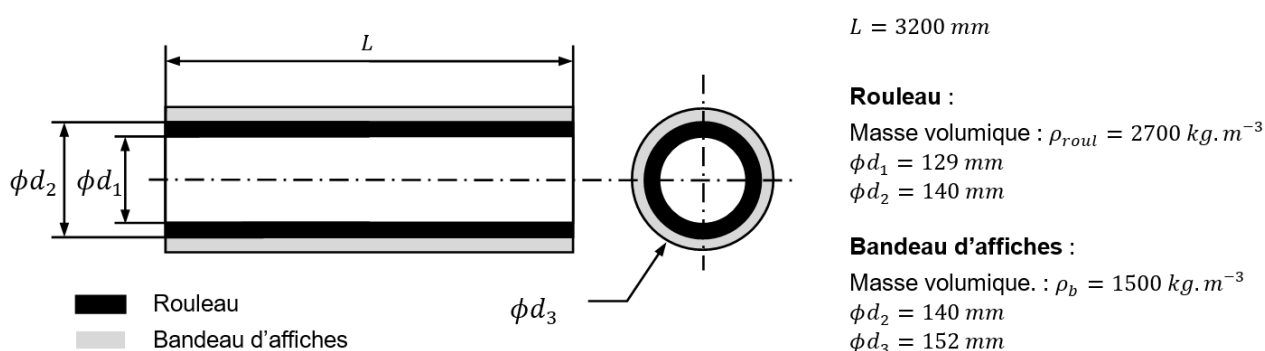


Figure 8 – Modèle pour le calcul de la masse

On donne :  $0,14^2 = 0,0196$ ,  $0,129^2 = 0,0166$  et  $0,152^2 = 0,0231$ .

**Question 1** Donner l'expression de la masse du rouleau  $M_{roul}$  en fonction de  $\rho_{roul}$ ,  $L$ ,  $d_1$  et  $d_2$ . Calculer  $M_{roul}$ .

**Question 2** Donner l'expression de la masse du bandeau d'affiches  $M_b$  en fonction de  $\rho_b$ ,  $L$ ,  $d_2$  et  $d_3$ . Calculer  $M_b$ .

La figure 9 présente un modèle du montage des roulements qui supportent les rouleaux.

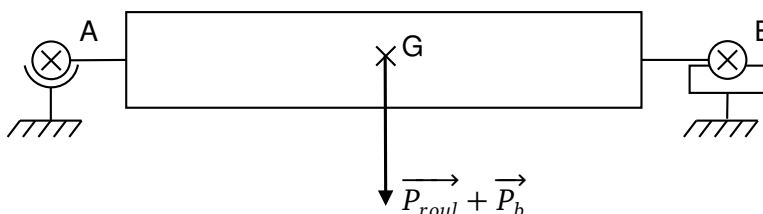
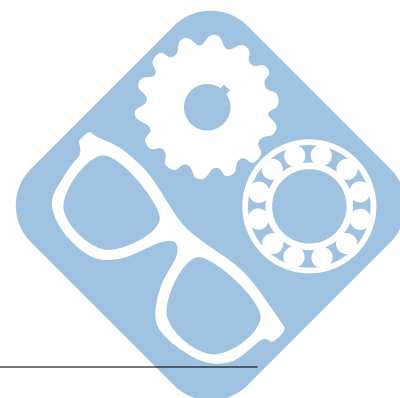


Figure 9 – Montage rouleau

**Question 3** Déterminer les actions dans les liaisons en A et en B.

**Question 4** En déduire les actions radiales que supportent ces roulements.



## 2.1 Détermination de la loi de variation de la vitesse angulaire du rouleau au cours de l'enroulement des affiches

Lors de l'enroulement sur le rouleau, on souhaite respecter la loi cinématique suivante :

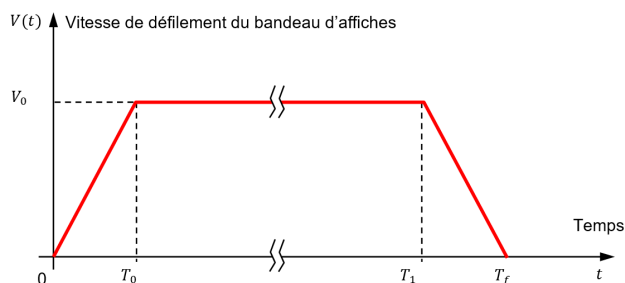


Figure 10 – Loi cinématique de défilement d'une affiche du bandeau

On s'intéresse à la phase durant laquelle  $V(t) = V_0 = \text{constante}$ .

On utilise le modèle suivant pour l'étude de l'enroulement des affiches :

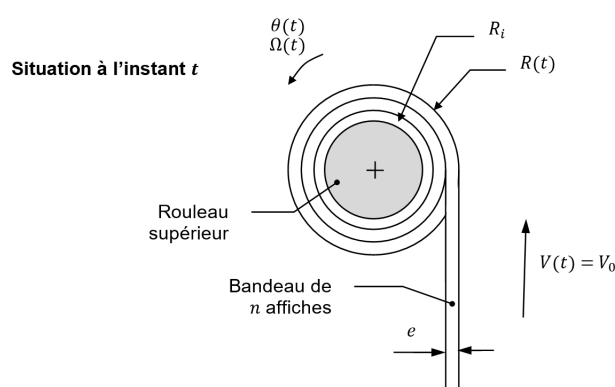
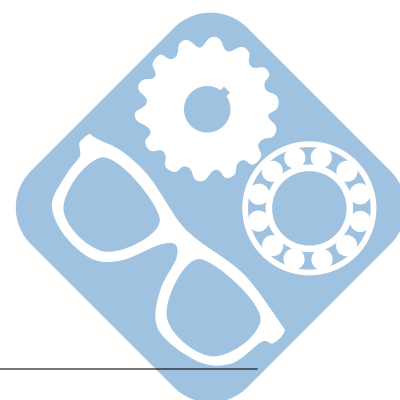


Figure 11 – Modèle pour l'enroulement des affiches sur le rouleau supérieur



**Données complémentaires :**

- Rouleau :
  - Rayon initial :  $\frac{d_2}{2} = R_i = 70mm$ ,
  - Rayon en cours d'enroulement :  $R(t)$ ,
  - Rayon final :  $\frac{d_3}{2} = R_f$ ,
  - Position angulaire du rouleau par rapport au bâti :  $\theta(t)$ ,
  - Vitesse angulaire du rouleau par rapport au bâti :  $\Omega(t)$ .
- Affiche :
  - Hauteur d'une affiche :  $H = 2300mm$ ,
  - Largeur d'une affiche :  $L = 3200mm$ ,
  - Épaisseur d'une affiche :  $e = 200\mu m$ ,
  - Vitesse de défilement en régime établi :  $V_0 = 1m.s^{-1}$ ,
- Bandeau :
  - Nombre d'affiches sur le bandeau :  $n = 6$ ,
  - Longueur du bandeau (affiches + amorces) :  $L_b = 15m$ .

On adopte la loi de variation suivante pour  $R(t)$  :

$$R(t) = R_i + \left[ \frac{\theta(t)}{2\pi} \right] \cdot e$$

La vitesse d'enroulement  $V(t)$  est maintenue constante :

$$V_0 = R(t) \cdot \Omega(t) = \text{constante avec } \Omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$$

**Question 5** Par dérivation de l'expression de  $R(t)$  par rapport au temps, montrer que l'on peut écrire :

$$\frac{dR(t)}{dt} = \left[ \frac{e}{2\pi} \right] \cdot \frac{V_0}{R(t)}$$

**Question 6** En utilisant la condition initiale  $R(0) = R_i$ , montrer que l'expression suivante  $R(t) = \sqrt{R_i^2 + \frac{e}{\pi} \cdot V_0 \cdot t}$  est solution de l'équation précédente.

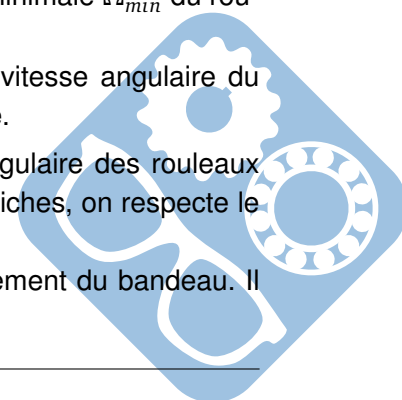
**Question 7** En négligeant la durée des phases d'accélération et de décélération de la loi cinématique de la figure 10 vis-à-vis de la durée de la phase à vitesse constante, calculer la valeur du rayon final  $R_f$  si on considère que  $T_f = 14s$ .

**Question 8** Exprimer puis calculer les vitesses angulaires maximale  $\Omega_{max}$  et minimale  $\Omega_{min}$  du rouleau au cours de l'enroulement.

**Question 9** Calculer l'écart relatif  $\frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{\Omega_{max}}$  et conclure sur l'évolution de la vitesse angulaire du rouleau au cours de l'enroulement (ou du déroulement) de l'affiche.

Dans toute la suite du sujet, on considèrera qu'en maintenant la vitesse angulaire des rouleaux constante pendant les phases d'enroulement et de déroulement du bandeau d'affiches, on respecte le cahier des charges fonctionnel.

Le rayon  $R(t)$  pourra donc être considéré comme constant pendant l'enroulement du bandeau. Il sera noté  $R$  avec  $R = 76mm$ .



### 3 Étude de la fonction : « gérer le défilement des affiches »

La gestion du défilement des affiches s'effectue par un automate programmable de type Siemens S7-216.

Le système dispose d'un capteur optique situé sur le côté arrière à égale distance des deux rouleaux. La distance «  $d$  » entre les deux rouleaux est de 2300 mm.

Les affiches (3200 x 2300 mm) sont reliées entre elles par un procédé ZipGrip et renforcées par une bande adhésive. Sur le bord de celles-ci est placée une bande réfléchissante de 50 x 150 mm à cheval sur les deux affiches. Aux extrémités des affiches se trouvent des amorces (support d'affiche de même longueur) avec des bandes réfléchissantes 50 x 600 mm.

Lors d'un défilement normal, le capteur ne voit que les bandes réfléchissantes d'affiche (brAf).

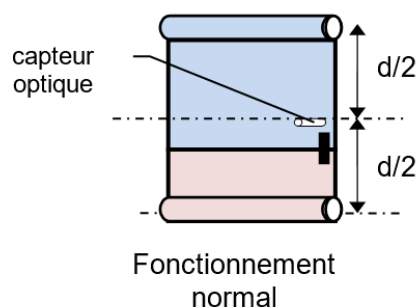


Figure 12 – Bande d'affiches sur les rouleaux (vue arrière)

#### Hypothèses :

Pour simplifier l'étude, on supposera qu'un seul moteur (moteur haut ou bas) est commandé à la fois pour enrouler l'affiche sur son rouleau.

Les commandes MH et MB pilotent les mises en marche et l'arrêt des variateurs associés aux moteurs, c'est-à-dire qu'elles déclenchent les rampes d'accélération et décélération des moteurs.

On s'intéresse à deux aspects du défilement des affiches que sont la commande du moteur d'entraînement et la mise en forme du signal provenant du capteur optique.

#### 3.1 Réglage de la temporisation de commande du moteur d'entraînement

Le but est de déterminer les paramètres de réglage de l'automate pour obtenir le positionnement correct des affiches.

Lors du défilement des affiches, on constate que l'arrêt ne doit pas s'effectuer lors du passage de la bande réfléchissante d'affiche mais après un temps  $T_p$  qui doit être programmé dans l'automate.

Lors du fonctionnement normal, la commande des moteurs s'effectue suivant le cycle dans lequel  $T_{exp}$  représente le temps d'exposition :

**Question 10** Déterminer le temps  $T_a$  pour parcourir la distance  $\frac{d}{2}$  en tenant compte de la phase de décélération.

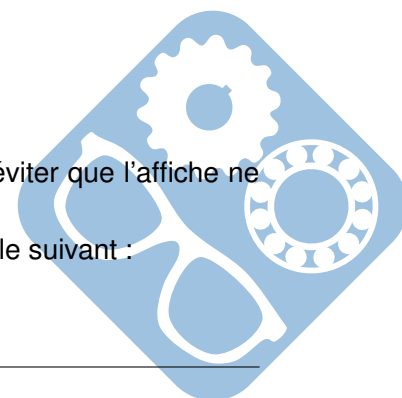
**Question 11** En déduire la temporisation  $T_p$  à programmer pour déclencher la décélération sur le variateur.

### 4 Étude de la fonction : « tendre l'affiche »

Au cours de l'enroulement du bandeau d'affiches sur un des rouleaux il faut éviter que l'affiche ne se plisse (problème de lecture de l'affiche par les passants) ou ne se déchire.

La tension  $T_{aff}$  dans l'affiche est alors fixée par le constructeur dans l'intervalle suivant :

$$30N \leq T_{aff} \leq 50N$$





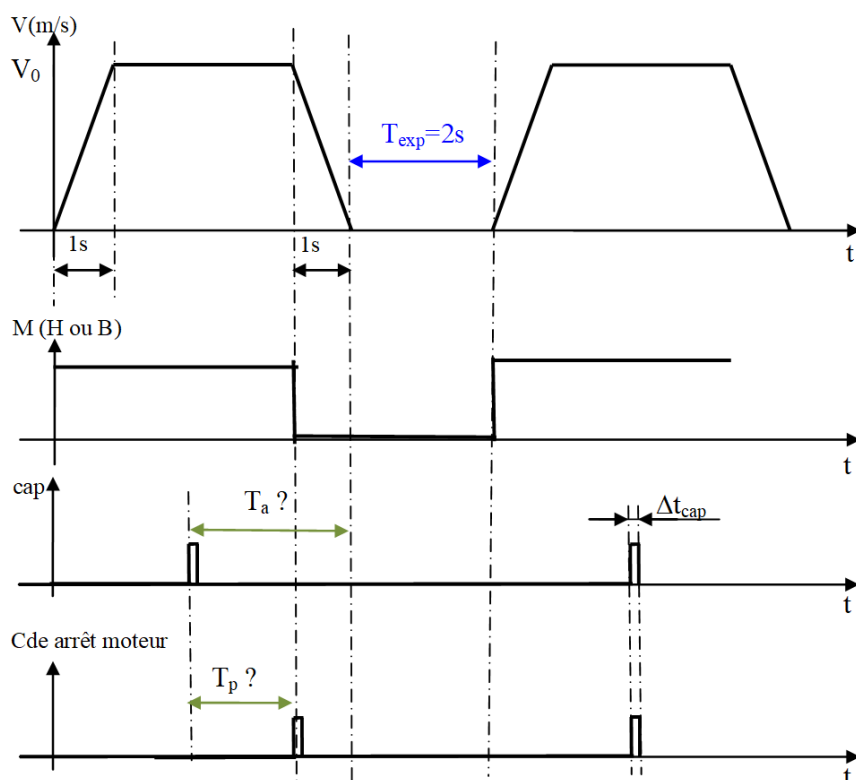


Figure 13 – Cycle de commande en fonctionnement normal

L'objectif est de comparer différentes solutions mises en place par le constructeur pour assurer le bon niveau de tension dans le bandeau d'affiches.

#### 4.1 Analyse de la solution 1 (solution à un seul moteur) (brevet N° FR 77 39575 année 1977)

Lors des premières années de développement des panneaux d'affichage déroulant, une solution à un seul moteur a été développée.

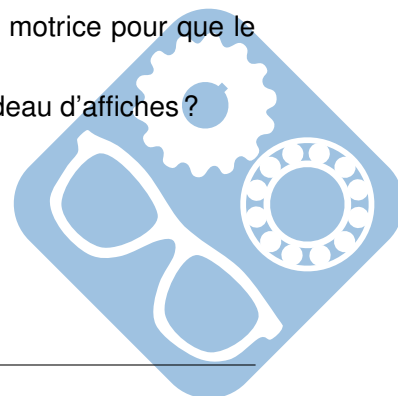
Cette solution est décrite par une vue latérale sur le document annexe 5.

Elle est composée des éléments suivants :

- un moteur,
- une transmission par chaîne,
- un contrepoids,
- un système de compensation.

**Question 12** Dans quel sens (horaire ou trigonométrique) doit tourner la poulie motrice pour que le bandeau d'affiches s'enroule sur le rouleau haut ?

**Question 13** Quel élément du système permet d'assurer la tension dans le bandeau d'affiches ?

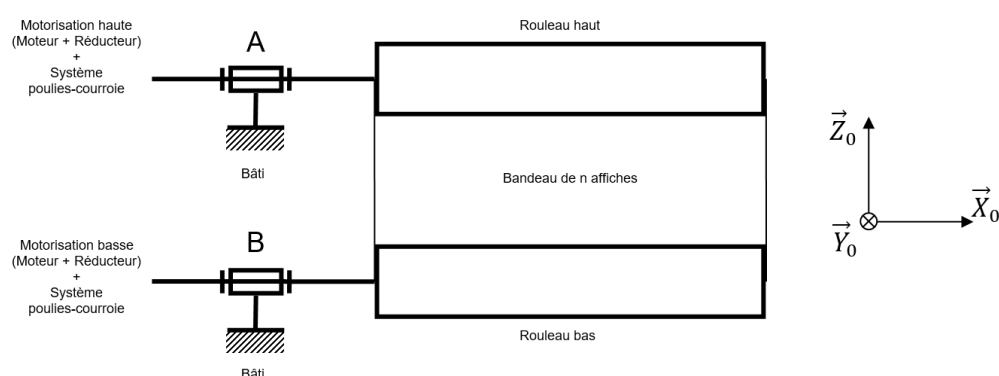


Cette solution a été rapidement abandonnée par le constructeur au profit d'une solution à deux moteurs.

**Question 14** Énoncer deux raisons qui pourraient expliquer l'abandon de cette technologie. Vous pourrez vous aider du document annexe 4 (brevet FR 2 659 161) décrivant la solution à deux moteurs.

## 4.2 Analyse de la solution à deux motorisations à commande alternée.

Cette solution peut être décrite par le schéma simplifié suivant :



**Figure 10** : Structure de la solution à deux motorisations

Figure 14 – Structure de la solution à deux motorisations

Dans un premier temps, on utilise deux groupes motoréducteurs identiques.

Le fonctionnement de ce système est décrit par le tableau suivant :

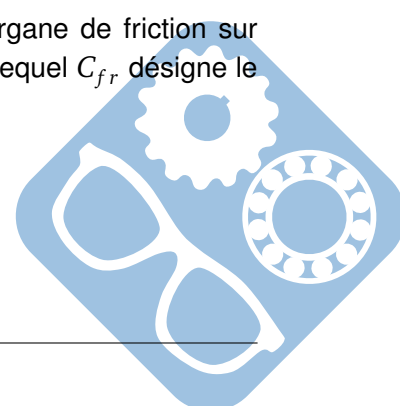
	Motorisation haute	Motorisation basse
Enroulement sur rouleau haut	Alimentée	Non alimentée
Enroulement sur rouleau bas	Non alimentée	Alimentée

Au cours de l'enroulement du bandeau d'affiches sur un rouleau, l'ensemble des pièces est donc entraîné par un seul moteur.

Pour garantir en permanence une tension suffisante dans l'affiche même en régime établi, on décide d'implanter des organes de friction (frottement sec) au niveau de chaque liaison pivot entre chaque rouleau et le bâti.

Pendant l'enroulement sur le rouleau haut, l'action mécanique de chaque organe de friction sur chacun des rouleaux bas et haut peut être modélisée par le torseur suivant dans lequel  $C_{fr}$  désigne le couple de frottement :

$$\begin{aligned} \{T_{(Frott:bati \rightarrow rouleau\ haut)}\} &= \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ -C_{fr} \cdot \vec{X}_0 \end{array} \right\}_A \text{ avec } C_{fr} > 0 \\ \{T_{(Frott:bati \rightarrow rouleau\ bas)}\} &= \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ -C_{fr} \cdot \vec{X}_0 \end{array} \right\}_B \text{ avec } C_{fr} > 0 \end{aligned}$$



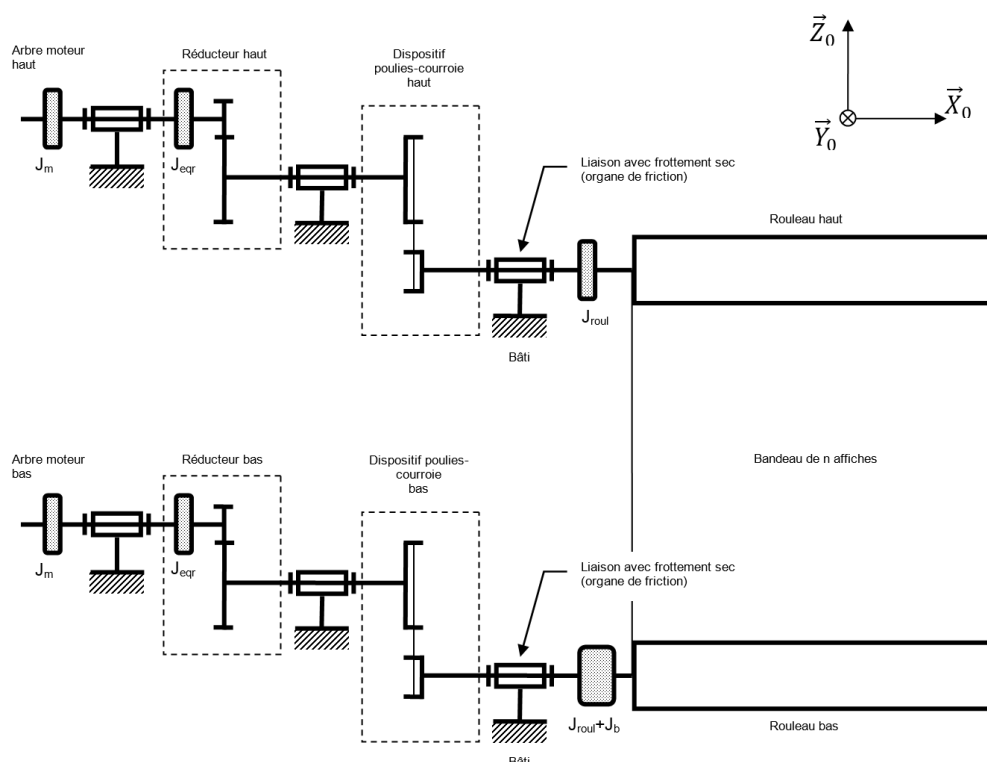


Figure 15 – Modèle retenu pour l'étude

Pour l'étude, on propose alors le schéma détaillé suivant :

#### Hypothèses :

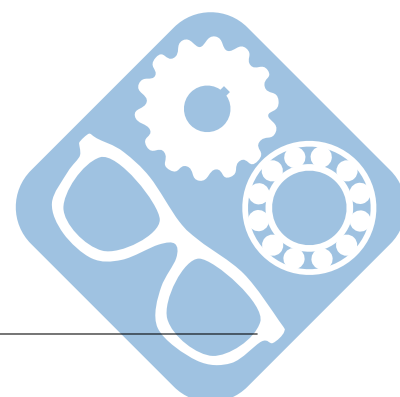
- le référentiel  $R_0$  lié au bâti 0 est galiléen,
- initialement le bandeau d'affiches est entièrement enroulé sur le rouleau bas,
- on étudie l'enroulement du bandeau sur le rouleau haut,
- les rayons des rouleaux sont supposés constants durant l'enroulement du bandeau sur le rouleau haut (les deux rouleaux tournent à la même vitesse pendant l'enroulement du bandeau),
- l'effet de la pesanteur est négligé face aux autres actions mécaniques,
- les liaisons sont supposées parfaites,
- les inerties des pièces des dispositifs poulies-courroie sont négligées,
- les courroies sont inextensibles et sans masse,
- le bandeau d'affiches est inextensible,
- la partie du bandeau d'affiches située entre les deux rouleaux (partie non enroulée) est sans masse.

On appelle :

- $am$  : les arbres moteur des transmissions haute et basse,
- $aer$  : les arbres d'entrée des réducteurs haut et bas,
- $asr$  : les arbres de sortie des réducteurs haut et bas,
- $roul$  : les rouleaux haut et bas.

On note :

- $J_{roul}$  : le moment d'inertie d'un rouleau vide par rapport à son axe,
- $J_m$  : le moment d'inertie de l'arbre moteur par rapport à son axe,



- $J_{eqr}$  : le moment d'inertie équivalent du réducteur ramené sur son arbre d'entrée,
- $J_b$  : le moment d'inertie du bandeau d'affiches par rapport à l'axe d'un rouleau lorsque le bandeau d'affiches est entièrement enroulé sur le dit rouleau,
- $\Omega_{roul}$  : la vitesse angulaire du rouleau autour de son axe par rapport à  $R_0$ ,
- $\Omega_m$  : la vitesse angulaire de l'arbre moteur autour de son axe par rapport à  $R_0$ ,
- $\Omega_{asr}$  : la vitesse angulaire de l'arbre de sortie du réducteur autour de son axe par rapport à  $R_0$ ,
- $k_r$  : le rapport de transmission du réducteur :  $k_r = \frac{\Omega_{asr}}{\Omega_{aer}} = \frac{\Omega_{asr}}{\Omega_m}$ ,
- $k_{pc}$  : le rapport de transmission du dispositif poulies-courroie,  $k_{pc} = \frac{\Omega_{roul}}{\Omega_{asr}}$ ,
- $C_m$  : le couple exercé sur l'arbre moteur par le stator du moteur alimenté.

**Question 15** Donner l'expression de la vitesse linéaire de l'affiche en régime établi  $V_0$  en fonction de  $\Omega_m$ ,  $k_r$ ,  $k_{pc}$  et du rayon d'enroulement  $R$  du bandeau sur le rouleau.

Pendant la phase d'accélération du bandeau d'affiche (voir figure 10), la vitesse de défilement du bandeau est variable. Elle est notée  $V(t)$ . L'accélération linéaire du bandeau est constante. Elle est notée  $\gamma$ .

**Question 16** Donner l'expression de l'accélération linéaire de l'affiche  $\gamma$  en fonction de  $k_r$ ,  $k_{pc}$ , du rayon d'enroulement  $R$  et de l'accélération angulaire de l'arbre moteur notée  $\dot{\Omega}_m$ .

#### 4.2.1 Étude de l'asservissement en couple du moteur à courant continu

Le but de cette étude est de vérifier les comportements statique et dynamique du système assurant la fonction « tendre l'affiche » et de définir le type de correcteur le mieux approprié à cette application.

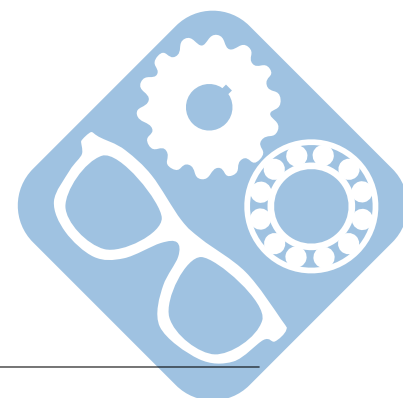
Le moteur haut est un moteur asynchrone qui assure le défilement des affiches. Le moteur bas est un moteur à courant continu à aimant permanent asservi en couple grâce à un variateur. Il assure la tension des affiches.

On rappelle les équations du moteur en négligeant l'inductance de l'induit :

$$\begin{cases} E(t) = k_e \cdot \Omega_m(t) \\ C_m(t) = k_c \cdot i(t) \\ V_a(t) = R_a \cdot i(t) + E(t) \\ J_{mc} \cdot \frac{d\Omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) \end{cases}$$

Avec :

- $k_c$  : constante de couple,
- $k_e$  : constante de f.e.m. On posera  $k_e = k_c = k$ ,
- $R_a$  : résistance d'induit,
- $J_{mc}$  : moment d'inertie ramené sur l'arbre du moteur,
- $C_r$  : couple résistant,
- $C_m$  : moment du couple moteur,
- $V_a$  : tension appliquée aux bornes de l'induit,
- $\Omega_m$  : vitesse angulaire de l'arbre du moteur,
- $i$  : courant d'induit.



**Question 17** Déterminer les transformées de Laplace de ces différentes expressions.

Le moteur asservi se présente sous la forme suivante où la partie en pointillé représente le modèle du moteur à courant continu :

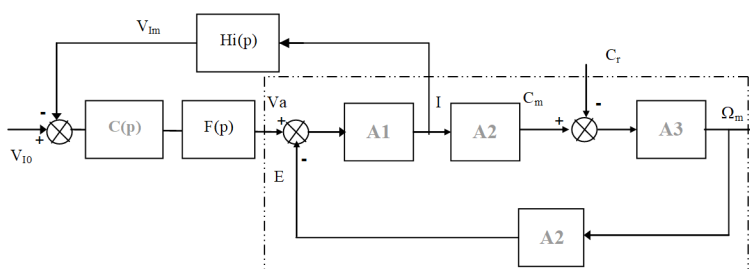


Figure 16 – Schéma bloc du moteur asservi

- $V_{I0}$  représente la consigne de courant donc de couple,
- $F(p)$  représente la fonction de transfert du hacheur commandant le moteur. Elle est supposée constante  $F(p) = F_0$ ,
- $C(p)$  le correcteur associé au hacheur,
- On appelle  $H(p) = C(p).F(p)$ ,
- $H_i(p)$  représente le capteur de courant.

**Question 18** Déterminer les expressions des différents blocs A1, A2, A3 associés au modèle du moteur à courant continu.

Le système commandé en couple peut donc se mettre sous la forme suivante :

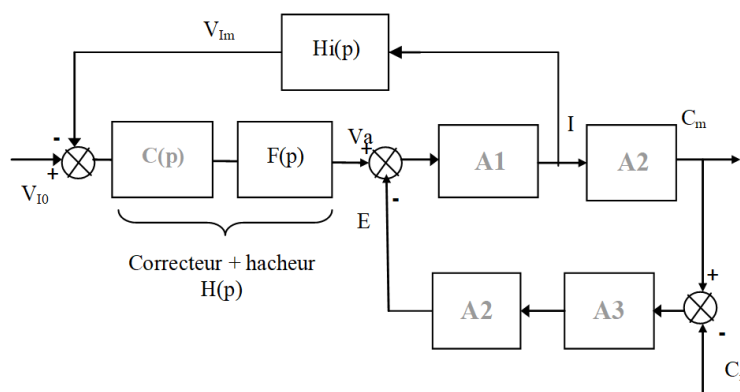
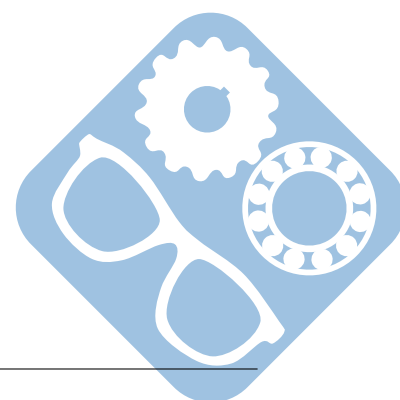


Figure 17 – Schéma bloc de l'asservissement en couple

**Question 19** Exprimer  $C_m$  en fonction de  $V_{I0}$ ,  $C_r$  et des fonctions de transfert.



$C_r$  représente le couple résistant de l'ensemble affiches, rouleaux, réducteurs et moteur asynchrone d'entraînement haut.

### Hypothèses :

- on néglige toutes les pertes associées aux différents éléments de la chaîne de transmission que l'on suppose rigide,
- on suppose que le rapport de réduction du moteur asynchrone est le même que celui du moteur à courant continu. De ce fait, et compte tenu que l'épaisseur du papier est négligeable, on peut considérer que les deux machines tournent à la même vitesse angulaire,
- on a donc  $C_r = -C_{m1}$ .

D'après les résultats de l'exercice précédent, on obtient donc :

$$C_r = -\lambda.(\Omega_s - \Omega_m) = \lambda.(\Omega_m - \Omega_s).$$

On obtient alors le schéma complet de l'ensemble des deux machines :

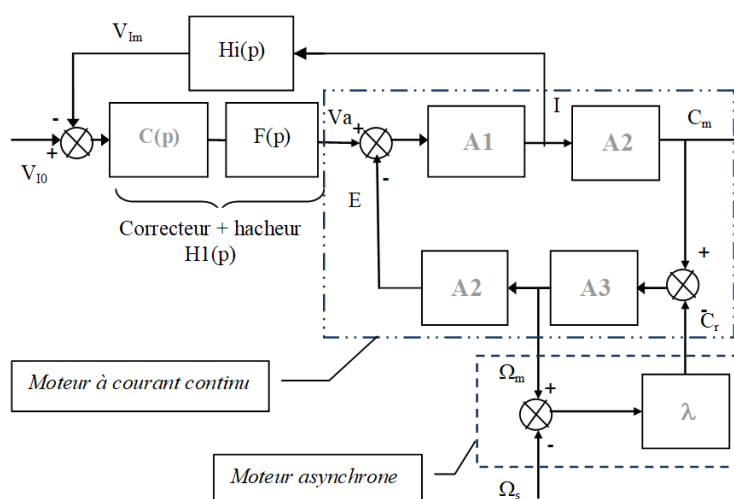
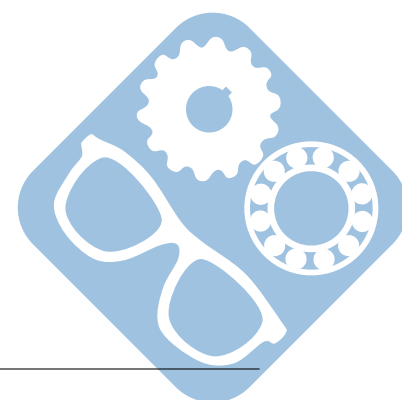
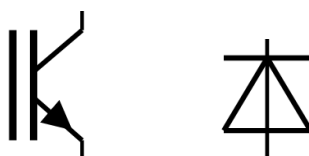


Figure 18 – Schéma bloc de l'ensemble des deux machines

**Question 20** Déterminer l'expression de  $C_m$  en fonction des différents éléments et de  $V_{I0}$  et  $\Omega_s$ .

**Question 21** Proposer une structure de hacheur permettant de commander le moteur à courant continu afin de fonctionner dans les deux sens de rotation tout en assurant un couple quasi-constant. Utiliser pour cela les deux composants suivants.

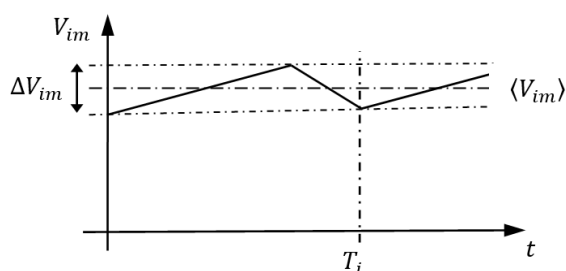


#### 4.2.2 Mesure du courant image du couple moteur

La mesure du couple moteur se fait par la mesure du courant grâce à un capteur à effet Hall qui délivre une tension  $V_{im}$ .

On obtient une tension  $V_{im}(1V.A^{-1})$  image du courant  $I_m$  dans le moteur.

L'allure de l'image du courant est la suivante :



- $\langle V_{im} \rangle$  tension image du courant moyen,
- $V_{im}$  tension image de l'ondulation du courant,
- $T_i = 0,5ms$ .

Figure 19 – Image du courant  $I_m$

On désire obtenir l'image du courant moyen avec une atténuation de l'ondulation relative  $\frac{\Delta V_{im}}{\langle V_{im} \rangle}$  d'au moins 40dB afin d'obtenir une valeur moyenne sans perturbation pour un asservissement correct. Le but est de dimensionner les composants du filtre passif.

Pour cela on utilise la structure suivante dont l'étude sera menée avec la représentation complexe (on rappelle que l'impédance d'un condensateur idéal est notée  $z_c = \frac{1}{j.C.\omega}$ ).

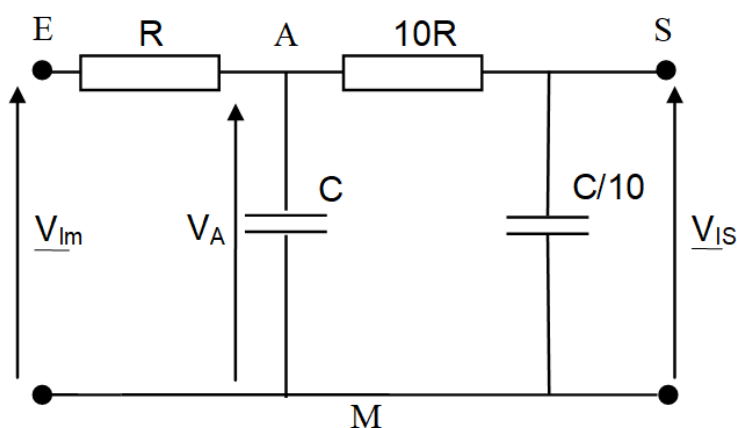


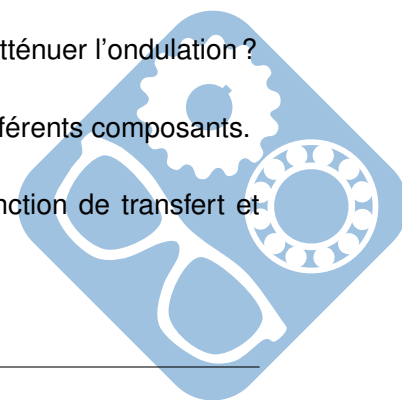
Figure 20 – Structure du filtre passif

**Question 22** Quel type de filtre permet de garder la composante continue et d'atténuer l'ondulation ?

**Question 23** Exprimer la tension  $V_A$  en fonction des tensions  $V_{is}$  et  $V_{im}$  et les différents composants.

**Question 24** Exprimer  $V_{is}$  en fonction de  $V_A$ . En déduire l'expression de la fonction de transfert et montrer qu'elle se met sous la forme :

$$\frac{V_{is}}{V_{im}} = \frac{1}{1 + \alpha \cdot j \cdot \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \cdot \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \text{ avec } \omega_0 = \frac{1}{R \cdot C}$$



**Question 25** On désire une atténuation de 40dB du fondamental  $\omega_i$  du signal  $V_{im}$ . Compte tenu de la fréquence de ce signal calculer la valeur de la pulsation  $\omega_0$ .

On prendra  $R = 10k\Omega$  pour ne pas trop charger le capteur à effet Hall.

**Question 26** En déduire la valeur de C.

### 4.3 Étude du comportement de la solution actuelle (solution 3)

Pour une simplicité de la maintenance, la dernière solution retenue par JC Decaux consiste en l'utilisation de deux motoréducteurs asynchrones identiques associés à deux variateurs de vitesse.

Le réglage du couple moteur et donc de la tension des affiches se fait par réglage différentiel des vitesses de synchronisme des deux moteurs.

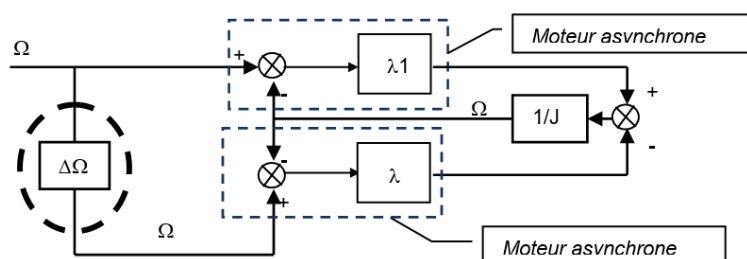


Figure 21 – Modèle de la solution 3

Lors d'une phase d'enroulement sur le rouleau haut (phase en montée), on obtient les caractéristiques  $C(\Omega)$  ci-contre (M1 trait continu, M2 trait pointillé) :

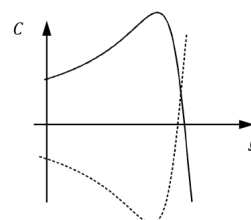


Figure 22 – Caractéristiques Couple - Vitesse

Le but est de déterminer le réglage du différentiel de fréquence  $\Delta f$  (donc  $\Delta\Omega_s = \Delta f \cdot \pi = \Omega_{s1} - \Omega_{s2}$ ) entre les deux variateurs afin d'obtenir un couple  $C_m = 0,3Nm$  permettant d'assurer la tension correcte des affiches.

Compte tenu du fait que les machines fonctionnent dans leur zone linéaire, les caractéristiques des machines dans le plan  $C(\Omega)$  dans les deux phases de fonctionnement sont les suivantes :

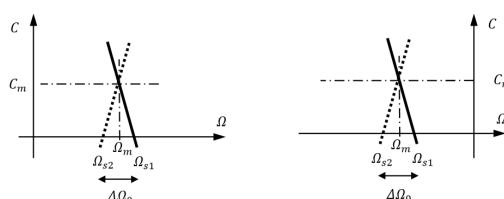
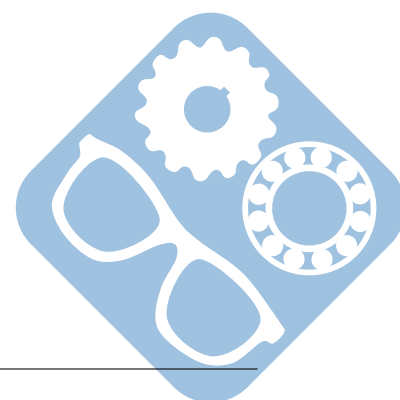


Figure 23 – Caractéristiques des deux machines





Ceux-ci fonctionnent dans la partie linéaire de leur caractéristique. En conséquence on obtient les équations suivantes :

- $C_m(t) = \lambda \cdot (\Omega_{s1} - \Omega_m)$ ,
- $C_r(t) = \lambda \cdot (\Omega_m - \Omega_{s2})$ ,
- $J_{mc} \cdot \frac{d\Omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$
- $\lambda = 0,05$  : coefficient du moteur,
- $J_{mc}$  : moment d'inertie ramené sur l'arbre du moteur 1,
- $C_r$  : moment du couple moteur 2 fonctionnant en couple résistant,
- $C_m$  : moment du couple moteur 1.

**Question 27** Déterminer l'expression de l'équation différentielle du moteur. En déduire la vitesse  $\Omega_m$  du moteur en régime permanent en fonction de  $\Omega_{s1}$  et  $\Omega_{s2}$ .

**Question 28** Déterminer l'écart de pulsation  $\Delta\Omega_s$  pour avoir un couple  $C_m = 0,3Nm$  en régime permanent de vitesse. En déduire  $\Delta f$ .

## 5 Étude de la fonction : « guider le rouleau par rapport au châssis »

L'objectif est de justifier la présence d'un dispositif de réglage permettant un enroulement correct du bandeau d'affiches et la présence d'une spécification géométrique sur le rouleau. Le modèle retenu pour l'étude est le suivant :

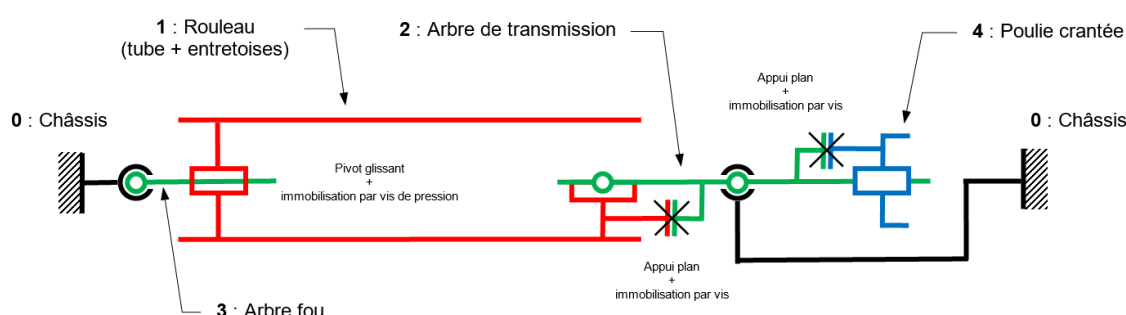


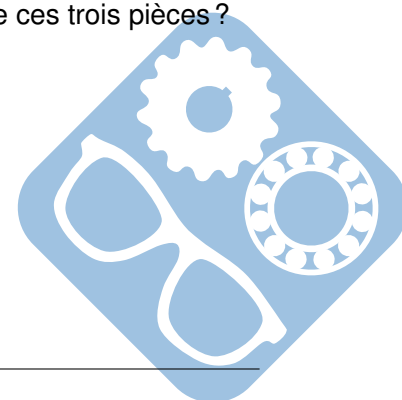
Figure 24 – Modèle retenu pour le montage et l'entraînement d'un rouleau

L'entraînement du rouleau 1 est réalisé grâce une courroie crantée montée sur la poulie crantée 4 elle-même montée sur l'arbre de transmission 2.

**Question 29** Déterminer le degré d'hyperstatisme  $h$  de la liaison entre l'ensemble formé par le rouleau 1, l'arbre de transmission 2 et l'arbre fou 3 (qui sera considéré comme une classe d'équivalence) et le châssis 0.

**Question 30** Quelles sont les conséquences sur les conditions d'assemblage de ces trois pièces ?

**Remarque :** vous pourrez vous aider de croquis ou schémas.



On souhaite étudier les conséquences d'écarts d'orientation et de position au niveau du châssis 0.

La prise en compte de ces écarts sur le châssis peut aboutir à la situation décrite par le modèle d'écart suivant :

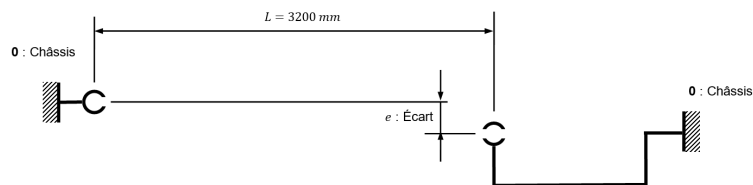


Figure 25 – Modèle d'écart pour le châssis 0

Si on suppose que les pièces autres que le châssis sont sans défaut, l'assemblage avec le châssis donnera la situation suivante :

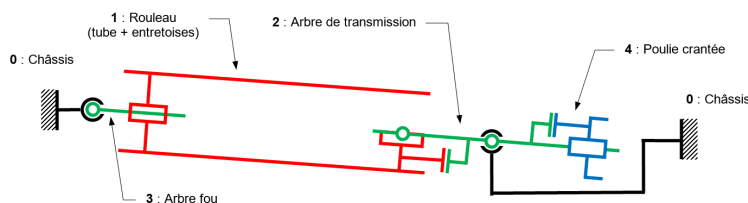


Figure 26 – Modèle de l'assemblage avec châssis comportant un écart

Les liaisons entre le châssis 0 et les arbres de transmission 2 et fou 3 sont assurées respectivement par des roulements à deux rangées de billes de type 2204 E 2RS et 2205 E 2RS.

Des caractéristiques de ces roulements sont données sur le document annexe 6.

**Question 31** Les roulements utilisés sont-ils adaptés pour accepter cette situation ? Pourquoi ?

**Question 32** Quel problème risque-t-on de rencontrer au niveau de la transmission poulie-courroie ?

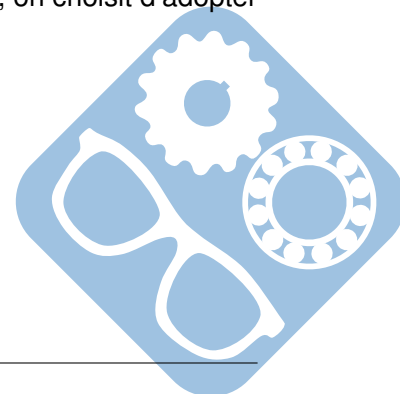
Pour minimiser ce problème, on décide de modifier la solution de guidage du rouleau par rapport au châssis.

**Question 33** Proposer un dispositif de réglage sous forme de schéma cinématique permettant d'annuler ce problème.

On s'intéresse maintenant plus particulièrement à la liaison entre le rouleau 1 et l'arbre fou 3.

Cette liaison est réalisée par deux portées cylindriques.

Étant donné la valeur du rapport « longueur du guidage / diamètre de l'arbre », on choisit d'adopter un nouveau modèle pour l'étude de la liaison entre le rouleau 1 et l'arbre fou 3.



Ce modèle est constitué de deux liaisons pivots glissants :

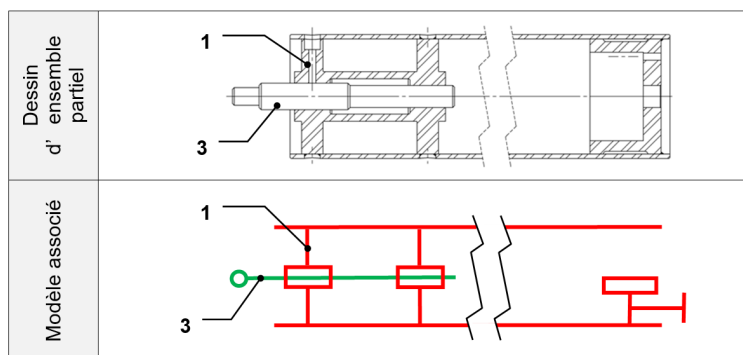


Figure 27 – Assemblage rouleau - arbre fou (Dessin d'ensemble partiel - Modèle associé)

**Question 34** Déterminer le degré d'hyperstatisme de l'assemblage du rouleau 1 et l'arbre fou 3.

On s'intéresse maintenant au guidage entre l'arbre de transmission 2 et le châssis 0 et à la liaison entre l'arbre de transmission 2 et la poulie crantée 4.

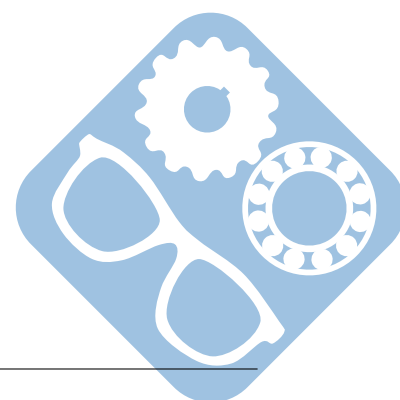
Le document réponse (à rendre avec la copie) propose une mise en place des différents composants concernés. On y voit notamment :

- le rouleau 1,
- l'arbre de transmission 2 (formes à compléter),
- le roulement à deux rangées de billes de type 2204 E 2RS (roulement graissé à vie),
- la poulie crantée 4 (formes à compléter),
- le support de roulement (formes à compléter) fixé sur le montant du panneau d'affichage et assurant le guidage de la bague extérieure du roulement.

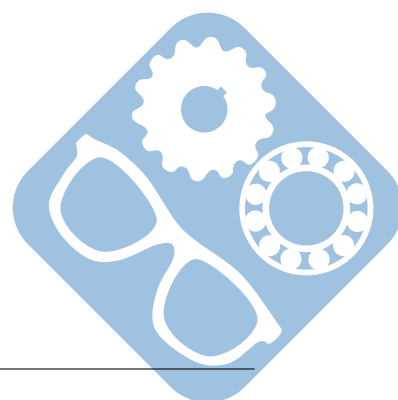
**Question 35** Compléter la vue en coupe AA du document réponse.

On représentera notamment :

- les arrêts axiaux des bagues du roulement à billes,
- une solution démontable permettant la transmission du couple entre la poulie 4 et l'arbre de transmission 2,
- les formes des pièces à compléter,
- les tolérances arbre et alésage pour le montage des bagues du roulement à billes.



## Annexes



## Annexe 1

Caractéristiques techniques du produit actuel

Caractéristiques techniques du système :

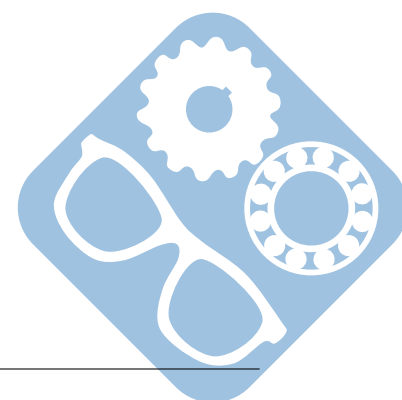
- panneau  $8m^2$ ,
- déroulant vertical pour 2 à 7 affiches,
- détection des affiches par un capteur optique,
- rétro éclairage par 14 tubes fluorescents,
- alimentation électrique : 220V - 50Hz monophasé,
- matériel de classe I : protection différentielle de 30mA et mise à la terre,
- entraînement : deux moteurs asynchrones SEW Eurodrive associés à deux variateurs,
- automate programmable : Siemens S7-216,
- interface de dialogue avec l'automate : console Siemens TD200 ou système GSM Wacom,
- consommation : moins de 400W pour un système déroulant et 815W pour l'éclairage.

Caractéristiques techniques des affiches à utiliser :

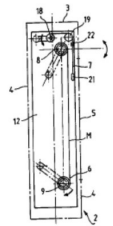
- support : Papier ou longue conservation ( $165$  ou  $190\text{ g.m}^{-2}$ ),
- dimensions :  $3130 \times 2300\text{ mm}$ ,
- épaisseur :  $200\mu m$ ,
- résistance à la traction : ISO 187 :1990,
- accroche des affiches par système Zip Grip.

Cahier des charges de fonctionnement classique :

- rampe d'accélération et de décélération : 1s,
- temps d'exposition d'une affiche :  $T_{\text{ex}} = 2\text{s}$  à la montée et à la descente,
- temps d'exposition des affiches extrêmes : 4s,
- vitesse de défilement d'une affiche :  $V_0 = 1\text{m.s}^{-1}$ ,
- effort de tension sur les affiches : entre 30N et 50N.



## Annexe 4

<b>19</b> RÉPUBLIQUE FRANÇAISE <b>INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE</b> <b>PARIS</b>		<b>17</b> N° de publication : <b>2 696 034</b> <small>(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)</small> <b>21</b> N° d'enregistrement national : <b>92 11396</b> <b>51</b> Int Cl <sup>8</sup> : G 09 F 11/295, 19/22, E 01 F 9/00
<b>12</b> <b>DEMANDE DE BREVET D'INVENTION</b> <b>A1</b>		
<b>22</b> Date de dépôt : 24.09.92. <b>30</b> Priorité : <b>43</b> Date de la mise à disposition du public de la demande : 25.03.94 Bulletin 94/12. <b>50</b> Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule. <b>59</b> Références à d'autres documents nationaux apparentés :	<b>71</b> Demandeur(s) : DECAUX JC société anonyme — FR. <b>72</b> Inventeur(s) : Tellier Daniel. <b>73</b> Titulaire(s) : <b>74</b> Mandataire : Cabinet Claude Rodhain.	
<b>64</b> Procédé et appareillage de visualisation sélective d'un message inscrit sur une bande support de messages. <b>67</b> L'invention concerne la visualisation des messages d'une bande (6) dont le défilement est commandé à distance. Un message étant initialement visible dans une fenêtre (5), avant de visualiser un autre message, un rideau (7) est actionné pour masquer la fenêtre; si le message de la fenêtre n'est pas celui calculé comme précédant celui désiré, un moteur entraîne la bande (6) pour amener derrière la fenêtre le nombre de messages calculé comme séparant le message initial du message désiré, à vitesse constante après accélération; le défilement est ralenti, et le message suivant, après arrêt derrière la fenêtre, est identifié, un comparateur déterminant si c'est le message désiré; lorsque la vérification est satisfaisante, le rideau (7), escamoté, démasque la fenêtre (5), dévoilant le nouveau message. L'invention permet la visualisation de pictogrammes de signalisation sur routes et autoroutes.		
		

La présente invention concerne un dispositif d'enroulement d'une bande sur un rouleau à partir d'un autre rouleau, du type comprenant un bâti, deux rouleaux qui sont montés rotatifs sur ce bâti suivant des axes parallèles à écartement fixe et sur chacun desquels la bande est fixée et enroulée par l'une de ses extrémités, des moyens d'entraînement en rotation d'au moins l'un des rouleaux et des moyens de réglage de la tension de la bande entre les deux rouleaux.

Ce type de dispositif d'enroulement est en particulier destiné à équiper un panneau d'affichage à affiches mobiles, la bande comportant une série d'affiches à exposer.

Il a été proposé plusieurs types de dispositifs d'enroulement de bande destinés à cette même fonction.

Selon le brevet français 2 325 124, les moyens d'entraînement des bobines sont constitués par un groupe motoréducteur incorporé dans chaque bobine.

Les bobines n'étant motrices que lorsqu'elles sont réceptrices, ces groupes motoréducteurs ne fonctionnent qu'à tour de rôle. Ce dispositif comporte également des moyens pour tendre correctement l'affiche, constitué pour chaque bobine, d'une courroie reliant la bobine et deux ressorts de tension réglable, travaillant à la compression et à l'extension, fixés par leur extrémité inférieure au bâti de façon à être perpendiculaire à l'axe de la bobine et étant en équilibre sous tension quand la bande d'affiches est au repos. Ladite courroie est appliquée dans la gorge d'une poulie montée sur l'axe de rotation de la bobine de telle façon que la poulie fonctionne en roue libre quand la bobine est réceptrice et est solidaire en rotation avec celle-ci lorsqu'elle est débitrice.

Selon un autre dispositif antérieur divulgué dans le brevet français 2 413 302, les moyens

d'entraînement sont constitués d'une transmission à chaîne montée en bout d'arbre des rouleaux et reliée en bout d'arbre d'un motoréducteur. Les moyens de relâchement et de relèvement simultanés de la tension comprennent un chariot monté mobile suivant la direction verticale et comportant deux pignons de renvoi interposés respectivement sur chacun des deux bras de la chaîne de transmission. Ces moyens de relâchement et de relèvement simultanés de la tension sont complétés par des moyens d'application d'effort à peu près constant constitués par un poids suspendu à une extrémité d'un câble qui passe dans la gorge d'une poulie montée folle à l'extrémité inférieure de la tige de guidage du chariot et dont l'autre extrémité est fixée de manière amovible en un point disposé à la partie inférieure du bâti.

De tels dispositifs comprennent des mécanismes particulièrement lourds et encombrants.

En particulier le système de transmission à chaîne destiné au relâchement et au relèvement simultanés de la tension génère des bruits totalement indésirables.

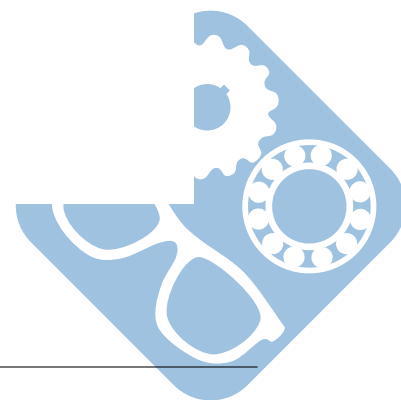
De tels systèmes de ressorts combinés à un système à courroie ou de contrepois entraîne des à-coups dans l'entraînement de la bande d'affiches. Ces à-coups occasionnent souvent des efforts trop considérables sur la bande qui se déchire.

Par ailleurs, la longueur de la bande et en conséquence le nombre d'affiches pouvant être exposées est limité à la course du contre-poids.

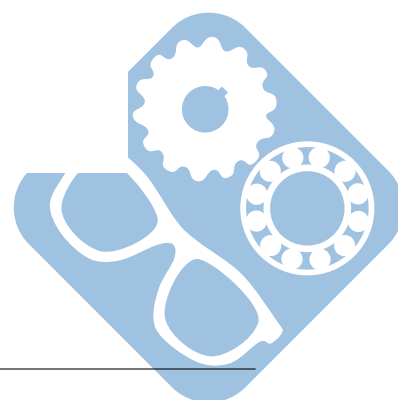
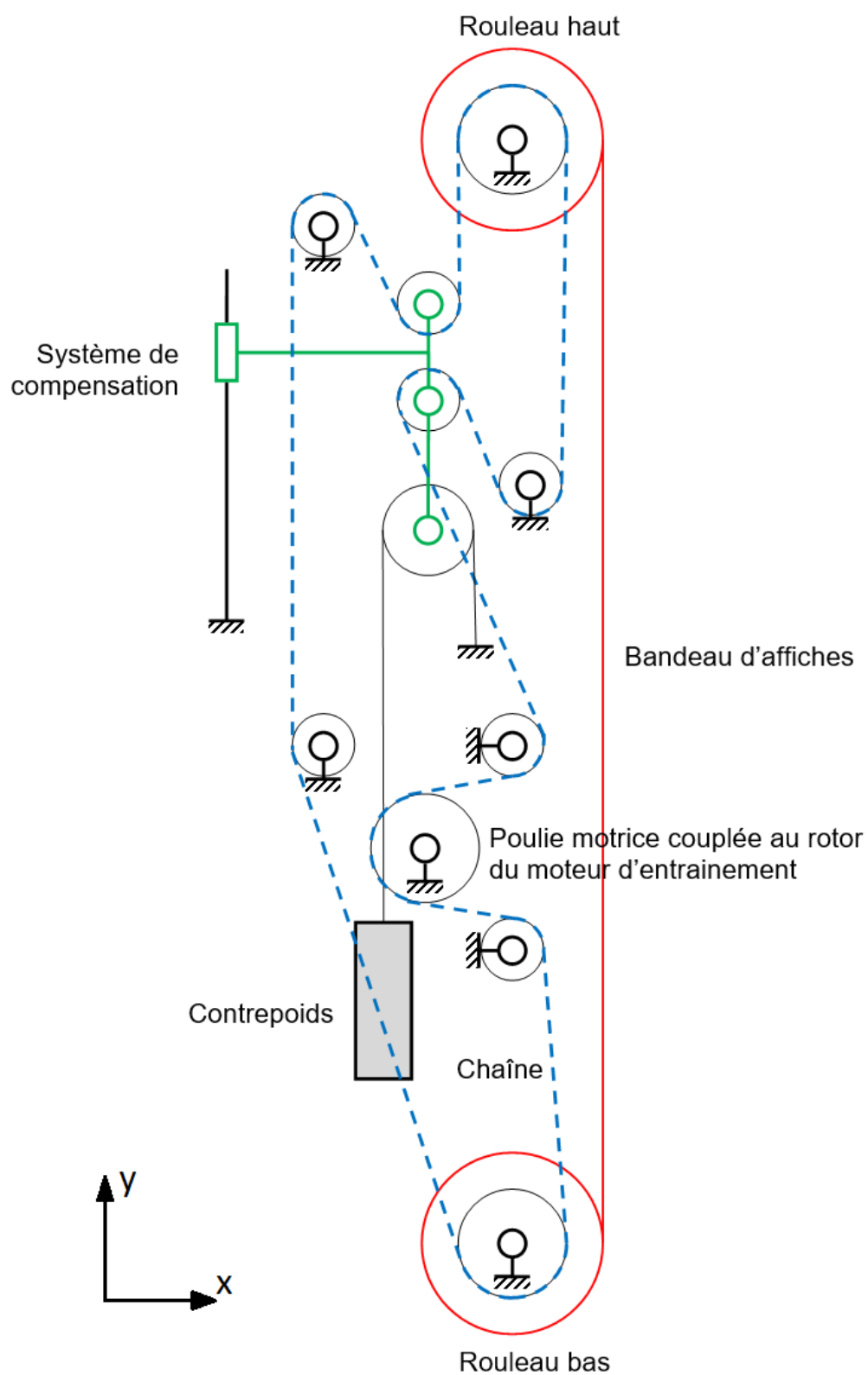
Un autre type de dispositif a été décrit dans le brevet français 2 354 604.

Selon ce brevet antérieur, les moyens d'entraînement sont constitués par un moteur central actionnant à tour de rôle les bobines supérieure et inférieure et un limiteur de couple à aimant permanent,

..... Pour résoudre ces divers problèmes, la présente invention propose un dispositif d'enroulement d'une bande sur un rouleau à partir d'un autre rouleau, destiné en particulier à équiper un panneau d'affichage à affiches mobiles, la bande comportant une série d'affiches à exposer du type comprenant un bâti, deux rouleaux qui sont montés rotatifs sur ce bâti suivant des axes parallèles à écartement fixe et sur chacun desquels la bande est fixée et enroulée par l'une de ses extrémités, des moyens d'entraînement en rotation d'au moins l'un des rouleaux et des moyens de réglage de la tension de la bande entre les deux rouleaux ; l'invention est remarquable en ce que ledit moyen d'entraînement en rotation est un motoréducteur actionnant l'un des rouleaux et que ledit moyen de réglage de la tension de la bande est un moteur couple actionnant l'autre rouleau.



## Annexe 5

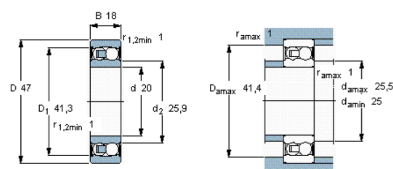


## Annexe 6

Roulements à rotule sur billes, alésage cylindrique et conique, alésage cylindrique, joints des deux côtés

SKF

Dimensions d'encombrement			Charges de base		Limite de fatigue	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	Vitesse de référence	Vitesse limite	kg	-
mm			kN		kN	tr/min			
20	47	18	12,7	3,4	0,18	-	10000	0,14	2204 E-2RS1TN9



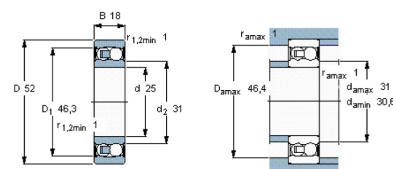
Coefficients de calcul

e 0,3  
Y<sub>1</sub> 2,1  
Y<sub>2</sub> 3,3  
Y<sub>0</sub> 2,2

Roulements à rotule sur billes, alésage cylindrique et conique, alésage cylindrique, joints des deux côtés

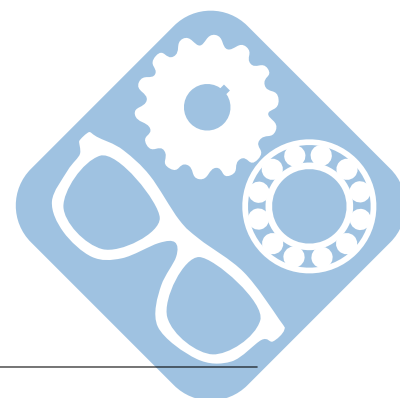
SKF

Dimensions d'encombrement			Charges de base		Limite de fatigue	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	Vitesse de référence	Vitesse limite	kg	-
mm			kN		kN	tr/min			
25	52	18	14,3	4	0,21	-	9000	0,16	2205 E-2RS1TN9



Coefficients de calcul

e 0,28  
Y<sub>1</sub> 2,2  
Y<sub>2</sub> 3,5  
Y<sub>0</sub> 2,5

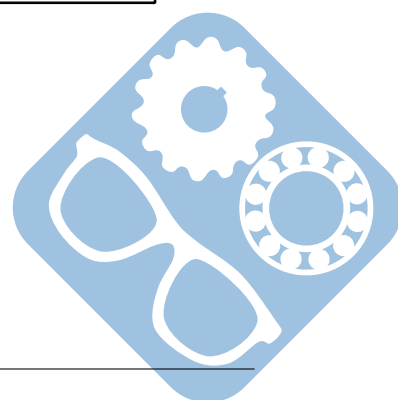
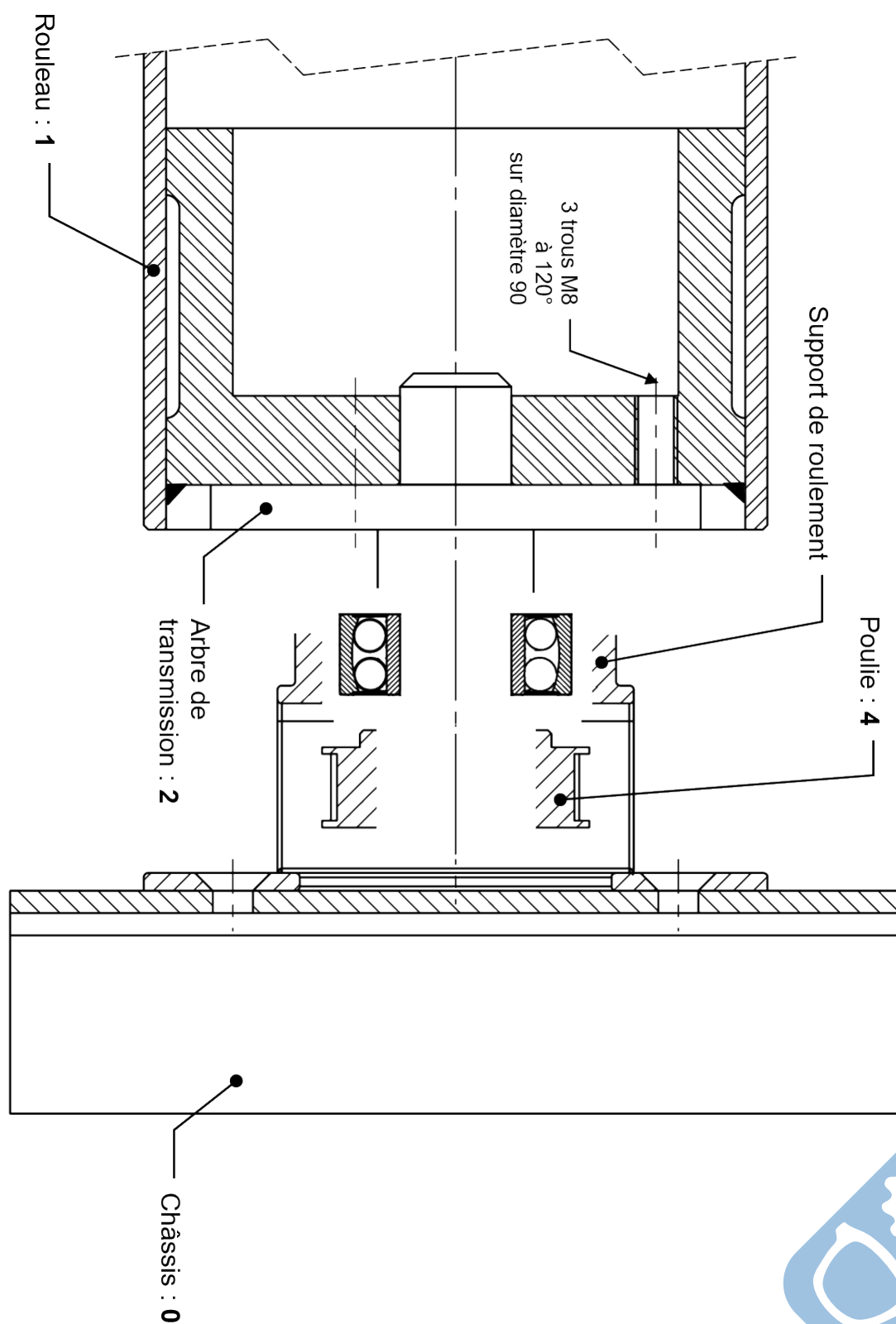




Document réponse

— Nom=.....

— Prénom=.....





## 6 Correction

### Question 1:

$$M_{roul} = \pi \cdot L \cdot \rho_{roul} \cdot \left( \frac{d_2^2}{4} - \frac{d_1^2}{4} \right) = 3,14 \cdot 3,2 \cdot 2700 \cdot \left( \frac{0,0196}{4} - \frac{0,0166}{4} \right) \simeq 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot (4,9 - 4,15)$$

### Question 2:

$$M_b = \pi \cdot L \cdot \rho_b \cdot \left( \frac{d_3^2}{4} - \frac{d_2^2}{4} \right)$$

### Question 3:

$$\{T_A\} = \begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{Bmatrix}_A = \begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & L \cdot Z_A \\ Z_A & -L \cdot Y_A \end{Bmatrix}_B$$

$$\{T_A\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_B & 0 \\ Z_B & 0 \end{Bmatrix}_B$$

$$\{T_P\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -P_{roul} - P_m & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -P_{roul} - P_m & 0 \\ 0 & \frac{L}{2} \cdot (P_{roul} + P_m) \end{Bmatrix}_B$$

Donc,  $X_A = 0$ ,  $Y_A = Y_B = (P_{roul} + P_m)$ ,  $Z_A = Z_B = 0$ .

### Question 4:

Efforts radiaux :  $F_r = \sqrt{Y_A^2 + Z_A^2} = Y_A = (P_{roul} + P_m)$

### Question 5:

$R(t) = R_i + \frac{\theta(t)}{2\pi} \cdot e$ , donc par dérivation  $\frac{dR(t)}{dt} = \frac{d\theta(t)}{dt} \cdot \frac{e}{2\pi} = \Omega(t) \cdot \frac{e}{2\pi} = \frac{V_0}{R(t)} \cdot \frac{e}{2\pi}$

### Question 6:

$R(0) = R_i$ ,  $R(t) \cdot dR(t) = V_0 \cdot \frac{e}{2\pi} \cdot dt$ , donc  $\int_0^t R(t) \cdot dR(t) = \int_0^t V_0 \cdot \frac{e}{2\pi} \cdot dt$   
 $R^2(t) - R_i^2 = V_0 \cdot \frac{e}{2\pi} \cdot t$ , donc  $R(t) = \sqrt{R_i^2 + V_0 \cdot \frac{e}{\pi} \cdot t}$

### Question 7:

$R(T_f) = \sqrt{70^2 + 10^3 \cdot 0,2 \cdot \frac{14}{\pi}} \simeq 76 \text{ mm}$ .

### Question 8:

$\Omega_{min} = \frac{V_0}{R_f} \frac{1000}{76} \simeq 13 \text{ rad.s}^{-1}$  et  $\Omega_{max} = \frac{V_0}{R_i} \frac{100}{7} \simeq 14,3 \text{ rad.s}^{-1}$

### Question 9:

$\frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{\Omega_{max}} = \frac{1,3}{14,3} \simeq 9\%$

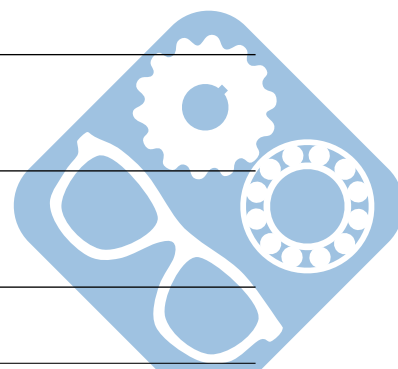
### Question 10:

$d = (2 \cdot T_a - 1) \cdot V_0$  donc  $T_a = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{d}{V_0} + 1 \right) = 1,65 \text{ s}$

### Question 11:

$T_p = T_a - 1 = 0,65 \text{ s}$

### Question 12:



Sens horaire

**Question 13:**

C'est le contre-poids avec le système de compensation.

**Question 14:**

Question ouverte mais quelques éléments de réponse :

- Système lourd (contre-poids),
- Bruits,
- A-coups,
- Longueur de bande limitée.

**Question 15:**

$$V_0 = k_r \cdot K_{pc} \cdot \Omega_m \cdot R$$

**Question 16:**

$$\gamma = \frac{dV_0}{dt} = k_r \cdot K_{pc} \cdot \dot{\Omega}_m \cdot R$$

**Question 17:**

- $E(p) = k_e \cdot \Omega_m(p)$ ,
- $V_a(p) = R_a \cdot I(p) + E(p)$ ,
- $C_m(p) = k_c \cdot I(p)$ ,
- $J_{mc} \cdot p \cdot \Omega_m(p) = C_m(p) - C_r(p)$

**Question 18:**

$$A1(p) = \frac{1}{R_a}, A2(p) = k_c = k_e = k, A3(p) = \frac{1}{J_{mc} \cdot p}$$

**Question 19:**

$$C_m = A1 \cdot A2 \cdot (V_a - E), V_a = H \cdot (V_{10} - V_{lm}) = H \cdot (V_{10} - H_i \cdot I) = H \cdot (V_{10} - H_i \cdot \frac{C_m}{A2}), E = A2 \cdot A3 \cdot (C_m - C_r),$$

donc

$$C_m(p) = \frac{A1 \cdot A2 \cdot H}{1 + A1 \cdot H \cdot H_i + A1 \cdot A2^2 \cdot A3} \cdot V_{10}(p) + \frac{A1 \cdot A2^2 \cdot A3}{1 + A1 \cdot H \cdot H_i + A1 \cdot A2^2 \cdot A3} \cdot C_r(p)$$

**Question 20:**

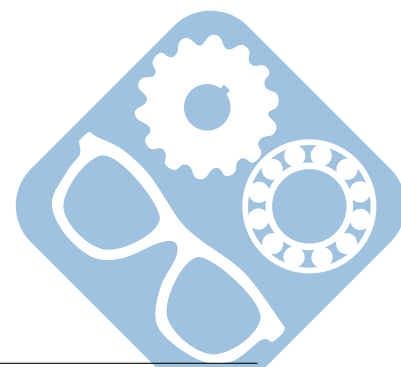
$$\Omega_m = A3 \cdot (C_m - C_r), C_r = \lambda \cdot (\Omega_m - \Omega_s) = \lambda \cdot (A3 \cdot (C_m - C_r) - \Omega_s)$$

donc

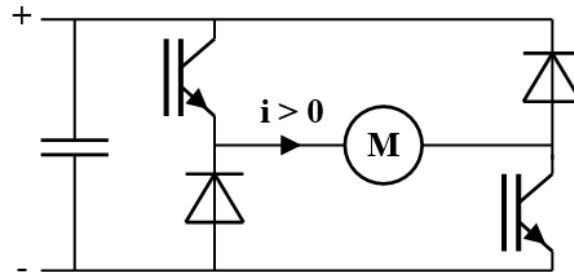
$$C_m = \frac{A1 \cdot A2 \cdot H}{1 + A1 \cdot H \cdot H_i + A1 \cdot A2^2 \cdot A3} \cdot V_{10} + \frac{A1 \cdot A2^2 \cdot A3}{1 + A1 \cdot H \cdot H_i + A1 \cdot A2^2 \cdot A3} \cdot \left( \frac{\lambda \cdot A3}{1 + \lambda \cdot A3} \cdot C_m - \frac{\lambda}{1 + \lambda \cdot A3} \cdot \Omega_s \right)$$

donc

$$C_m = \frac{A1 \cdot A2 \cdot H \cdot (1 + \lambda \cdot A3)}{1 + \lambda \cdot A3 + A1 \cdot H \cdot H_i + \lambda \cdot A1 \cdot A3 \cdot H \cdot H_i + A1 \cdot A2^2 \cdot A3} \cdot V_{10} + \frac{A1 \cdot A2^2 \cdot A3 \cdot \lambda}{1 + \lambda \cdot A3 + A1 \cdot H \cdot H_i + \lambda \cdot A1 \cdot A3 \cdot H \cdot H_i + A1 \cdot A2^2 \cdot A3} \cdot \Omega_s$$



**Question 21:**



**Question 22:**

Filtre passe bas

**Question 23:**

$$V_A = \frac{\frac{V_{im}}{R} + \frac{V_{is}}{10R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{10R} + j.C.\omega} = \frac{10.V_{im} + V_{is}}{11 + j.10.R.C.\omega}$$

**Question 24:**

$$V_{is} = V_A \cdot \frac{\frac{1}{j.10.C.\omega}}{\frac{1}{10R} + \frac{1}{j.10.C.\omega}} = V_A \cdot \frac{1}{1 + j.R.C.\omega}, \text{ ainsi}$$

$$V_{is} = \frac{10.V_{im} + V_{is}}{(11 + j.10.R.C.\omega)(1 + j.R.C.\omega)}$$

Donc

$$\frac{V_{is}}{V_{im}} = \frac{1}{1 + 2,1.j.\frac{\omega}{\omega_0} + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}, \text{ donc } \alpha = 2, 1.$$

**Question 25:**

C'est un filtre passe bas d'ordre 2, ainsi, la pente après la cassure est de -40dB/dec, il faut donc 1 décade pour une atténuation de 40dB, soit,  $\omega_i = 10.\omega_0$ , donc  $\omega_0 = \frac{\omega_i}{10} = \frac{\frac{2\pi}{0,5.10^{-3}}}{10} \simeq 1256 \text{ rad.s}^{-1}$

**Question 26:**

$$C = \frac{1}{R.\omega_0} = \frac{1}{10^4.1256} = 79 \text{ nF}$$

**Question 27:**

$$J_{mc} \cdot \frac{d\Omega_m(t)}{dt} = \lambda.(\Omega_{s1} - \Omega_m) - \lambda.(\Omega_m - \Omega_{s2}) = \lambda.(\Omega_{s1} + \Omega_{s2}) - 2.\lambda.\Omega_m$$

$$\text{En régime permanent, } \frac{d\Omega_m(t)}{dt} \rightarrow 0, \text{ donc } \Omega_m \rightarrow \frac{\Omega_{s1} + \Omega_{s2}}{2}.$$

**Question 28:**

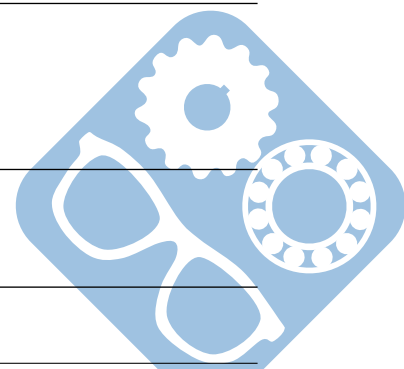
$$\Delta\Omega_s = \Omega_{s1} - \Omega_{s2} = \Omega_{s1} - (2.\Omega_m - \Omega_{s1}) = 2.\frac{C_m}{\lambda} = 2.\frac{0,3}{0,05} = 12 \text{ rad.s}^{-1}$$

$$\Delta f = \frac{\Delta\Omega_s}{2\pi} = \frac{12}{2\pi} \simeq 3,8 \text{ Hz}.$$

**Question 29:**

$$h = 3 + 3 - (6(2 - 1) - 1) = 1$$

**Question 30:**



Il faut prévoir un réglage, ce qui est fait grâce à la liaison pivot glissant et vis de pression entre 1 et 3.

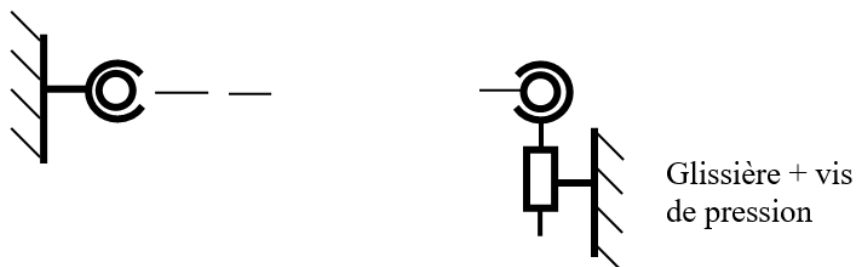
**Question 31:**

Ces roulements à deux rangées de billes permettent un fort rotulage ce qui est nécessaire à cette solution.

**Question 32:**

La pression sur la courroie ne sera pas uniforme sur toute sa largeur ce qui peut provoquer une dégradation plus rapide.

**Question 33:**



**Question 34:**

$h = 4 + 4 - (6(2 - 1) - 2) = 4$ , il faudrait pour que cela s'assemble que les deux portées de roulement soient coaxiales.

**Question 35:**

