

PARTIE 1 – PROJET MECANIQUE

Répondre sur des copies différentes de celles utilisées pour la partie Projet Electricité

PARTIE A : ETUDE GEOMETRIQUE ET CINEMATIQUE

Etude de la fonction FS1

Hypothèse

On ne considère qu'un seul câble-lanceur.

Présentation

Pour démarrer l'essai, il faut s'assurer que le câble-lanceur a une tension suffisante.

On se propose d'étudier l'ensemble poulies-tendeur. Le schéma cinématique est donné dans le document DAM1. Le graphe de structure de l'ensemble poulies-tendeur est donné dans le document DAM2. L'enroulement du câble-lanceur est donné dans le document DAM3.

L'ensemble poulies-tendeur est constitué de trois poulies S_1 , S_2 et S_3 sur lesquelles s'enroule le câble-lanceur (non représenté dans le document DAM1).

$R_0(O, \vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)$ est le repère lié au bâti S_0 , les axes des poulies S_1 et S_3 sont respectivement (C, \vec{Z}_0) et (I, \vec{Z}_0) et l'axe de la poulie S_2 est légèrement incliné. Soit $R_2(E, \vec{X}_0, \vec{Y}_2, \vec{Z}_2)$ le repère lié à S_2 . On note θ l'angle entre (\vec{Z}_0, \vec{Z}_2) , θ est constant.

La tension du câble-lanceur est obtenue par deux systèmes :

- un tire-fort (non représenté) qui permet le déplacement du solide S_4 par rapport au solide S_0 dans la direction \vec{X}_0 . Ce tire-fort est modélisé, dans le plan, par la liaison glissière en O. Ce déplacement a une course de 500 mm.
- un vérin hydraulique, placé entre les solides S_5 et S_6 , permet un déplacement dans la direction \vec{X}_5 . Ce vérin est modélisé, dans le plan, par une liaison glissière. Ce déplacement a une course d'environ 300 mm.

Le tire-fort est actionné en premier. Il permet un pré-réglage grossier. Le vérin hydraulique, actionné en deuxième, permet un réglage plus fin.

Hypothèse : dans cette étude, le tire-fort est déjà actionné et le solide S_4 est immobile par rapport au solide S_0 .

Le vérin hydraulique déplace les poulies S_1 et S_2 par l'intermédiaire d'un système de biellettes.

Soit $R_5(F, \vec{X}_5, \vec{Y}_5, \vec{Z}_0)$ le repère lié à S_5 , soit $\alpha(t) = (\vec{X}_0, \vec{X}_5)$.

Soit $R_7(B, \vec{X}_7, \vec{Y}_7, \vec{Z}_0)$ le repère lié à S_7 , soit $\beta(t) = (\vec{X}_0, \vec{X}_7)$.

Soit $R_9(C, \vec{X}_9, \vec{Y}_9, \vec{Z}_0)$ le repère lié à S_9 , soit $\delta(t) = (\vec{X}_7, \vec{X}_9)$.

Les coordonnées des différents points sont les suivantes (les longueurs sont données en mm) :

$$\overrightarrow{FB} = -680 \vec{X}_0 + 380 \vec{Y}_0$$

$$\overrightarrow{FG} = -x(t) \vec{X}_5$$

$$\overrightarrow{BG} = -l \vec{Y}_7$$

$$\overrightarrow{BA} = -640 \vec{X}_0 + 90 \vec{Y}_0$$

$$\overrightarrow{BC} = l \vec{Y}_7$$

$$\overrightarrow{FO} \cdot \vec{X}_0 = \lambda(t)$$

$$\overrightarrow{CE} \cdot \vec{X}_0 = -850 \text{ et } \|\overrightarrow{CE}\| = 900$$

$$\overrightarrow{AD} = l \vec{Y}_7$$

(A, B, C, D) est un parallélogramme.

$$l = 400 \text{ mm}$$

Hypothèses :

- On fait l'approximation que $\alpha = 0$ lorsque le mécanisme est en position « avancée ».
- Lorsque l'ensemble poulies-tendeur est en position « avancée », l'angle $\beta = 22^\circ$ et $x = 530$ mm.

Question 1 : Donner l'expression littérale de la course du vérin hydraulique qui permet de déplacer le système {S₁, S₂, S₇, S₈, S₉} de 300 mm suivant \vec{X}_0 dans le sens positif. Faire l'application numérique.

Pour aller de la position « avancée » (câble tendu) à la position « reculée », l'ensemble {S₅, S₆} a un mouvement de rotation autour du point F. Notons α_{300} ce débattement angulaire.

Question 2 : Donner l'expression littérale du débattement angulaire α_{300} du vérin hydraulique (S₅, S₆). Faire l'application numérique.

Question 3 : Donner l'expression du torseur cinématique $\{v_{(S_7/S_0)}\}$ au point C par ses éléments de réduction : $\{v_{(S_7/S_0)}\}_c = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{(S_7/S_0)} \\ \vec{V}_{C,S_7/S_0} \end{Bmatrix}$.

Question 4 : Identifier et justifier la nature du mouvement du solide S₉ par rapport au solide S₀.

Question 5 : Donner l'expression du torseur cinématique $\{v_{(S_9/S_0)}\}$ au point E par ses éléments de réduction : $\{v_{(S_9/S_0)}\}_E = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{(S_9/S_0)} \\ \vec{V}_{E,S_9/S_0} \end{Bmatrix}$.

Question 6 : Déterminer graphiquement $\vec{V}_{E,S_9/S_0}$ sachant que $\|\vec{V}_{G,S_6/S_5}\| = 0,5$ m/s. Le sens de déplacement du solide S₆ par rapport au solide S₅ est suivant \vec{X}_0 dans le sens négatif.

Répondre sur le document réponse DRM1 en adoptant comme échelle de tracé : 0,1 m/s → 10 mm.

PARTIE B : ETUDE CINETIQUE ET DYNAMIQUE

Etude des fonctions FS1 et FS6

Le repère $R_0 (O, \vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)$, associé au bâti du banc d'essai dynamique, est supposé galiléen.

Les incidents qui peuvent survenir en début d'essai doivent être traités. En conséquence, il faut être capable de freiner le câble-lanceur et le chariot-tracteur lorsque :

- le véhicule de transport quitte l'axe du banc d'essai,
- le suivi de la pente d'accélération n'est pas respecté,
- une défaillance apparaît sur la structure de la catapulte.

Le dispositif de freinage est commandé hydrauliquement (cette fonction de commande ne sera pas étudiée).

Le système d'entraînement du chariot-tracteur se compose des éléments suivants (figure M1) :

- un moteur à courant continu,
- un accouplement élastique,
- un réducteur à axes orthogonaux,
- un frein monté en bout de réducteur,
- une poulie motrice.

Schéma de l'ensemble poulies-moteur

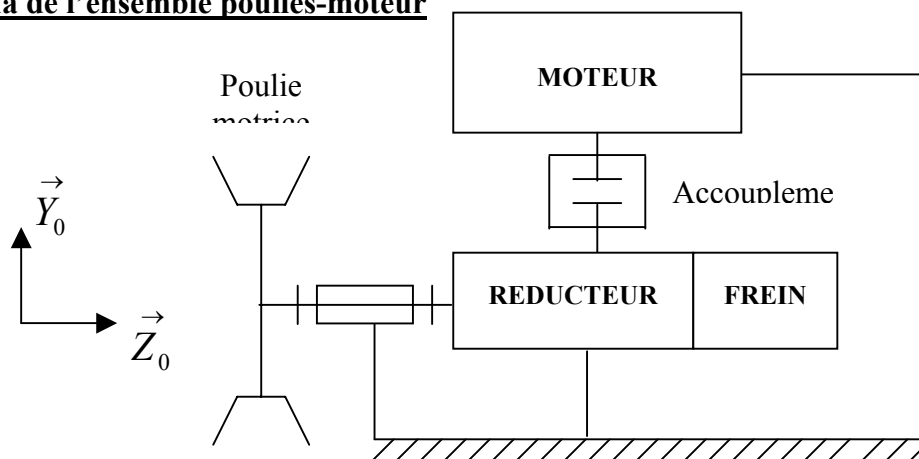


Figure M1

Le dessin d'ensemble d'une partie du réducteur est représenté sur le document DAM15. Sa nomenclature est donnée dans le document DAM7.

Pendant le fonctionnement (figure M2), le véhicule de transport est modélisé par un solide S de masse m_V , qui suit une trajectoire linéaire rectiligne dans la direction \vec{X}_0 et animé d'une vitesse de translation par rapport au bâti fixe S_0 notée $v(t)$. La vitesse angulaire de la poulie motrice par rapport au bâti est notée $\Omega_{pm/0} = \omega_{m/0}(t)$. \vec{Z}_0 .

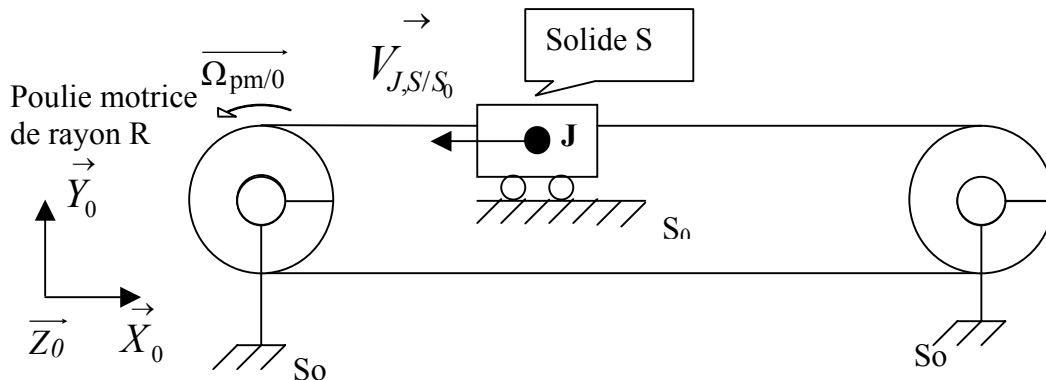


Figure M2

On définit l'ensemble E tel que $\{E\} = \{\text{véhicule de transport S} + \text{chariot-tracteur} + \text{câble-lanceur} + \text{poulie motrice}\}$. Soit J, le centre d'inertie du solide S.

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- l'action de l'air sur le véhicule de transport est négligée,
- la vitesse du véhicule de transport est notée : $\vec{V}_{J,S/S_0} = -v(t) \cdot \vec{X}_0$.
- la masse du câble-lanceur est négligée et la masse du chariot-tracteur est incluse dans la masse m_V du véhicule de transport.
- le véhicule de transport a un mouvement rectiligne uniformément accéléré pendant la phase d'accélération, qui a une durée t_a de 3,3 secondes (temps suffisant pour amener le véhicule de transport à la vitesse $\vec{V}_{J,S/S_0} = -v_M \cdot \vec{X}_0$).
- la norme de l'accélération du véhicule de transport vaut 5 m/s^2 soit $\|\vec{a}_{J,S/S_0}\| = 5 \text{ m/s}^2$.
- après la phase d'accélération, le mouvement du véhicule de transport est un mouvement à vitesse constante de norme v_M . A cette vitesse, la poulie motrice tourne à vitesse angulaire constante, notée ω_M (vrai $\forall t \geq t_a$).

Question 7 : Dessiner le diagramme des vitesses algébriques $v(t)$ pendant les deux phases de la mise en mouvement du véhicule de transport (dans un repère $(v(t),t)$). Calculer numériquement v_{Maxi} (notée v_M).

On considère maintenant que le véhicule de transport a atteint la vitesse uniforme v_M telle que :

$$\vec{V}_{J,S/S_0} = -v_M \cdot \vec{X}_0.$$

Question 8 : Ecrire, au point J, le torseur cinématique du véhicule de transport S par rapport à S_0 , par ses éléments de réduction, dans le repère R_0 .

Question 9 : Ecrire, au point J, le torseur cinétique du véhicule de transport S par rapport à So, par ses éléments de réduction, dans le repère Ro.

Question 10 : En déduire l'énergie cinétique du véhicule de transport S par rapport à So.

Soit K, le centre d'inertie de la poulie motrice (figure M3), soient R le rayon moyen de la poulie motrice et m_p sa masse. On donne la matrice d'inertie en K (K appartient à l'axe de rotation de la poulie) de la poulie motrice dans le repère $R'_0(K, \vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)$ attaché à So :

$$I(K, Poulie) = \begin{pmatrix} I_{pm} & 0 & 0 \\ 0 & I_{pm} & 0 \\ 0 & 0 & J_{pm} \end{pmatrix}_{R'_0}$$

Soit $R_p(K, \vec{X}_p, \vec{Y}_p, \vec{Z}_0)$, le repère attaché à la poulie motrice :

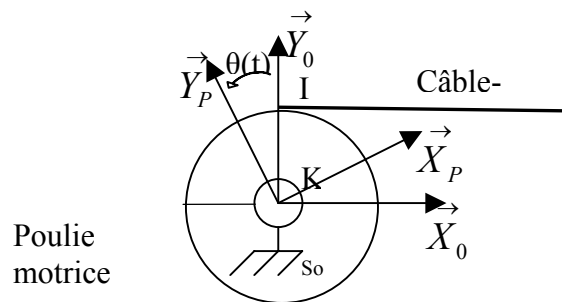


Figure M3

Question 11 : En exprimant que la vitesse de glissement au point I appartenant au câble-lanceur par rapport à la poulie motrice est nulle, déterminer une relation entre les paramètres ω_M et v_M .

Question 12 : Ecrire littéralement l'énergie cinétique de l'ensemble {E}, par rapport à R'_0 , en fonction des paramètres m_v , m_p et v_M ou ω_M . Faire l'application numérique avec les données numériques suivantes : $m_v = 2030$ kg , $R = 0,5$ m , $m_p = 800$ kg et v_M calculée en question 7.

Pour les raisons de sécurité évoquées dans la présentation (fonction de service FS6), on souhaite freiner la poulie motrice et stopper le véhicule de transport. Pour assurer cette fonction, le frein, monté en bout de réducteur, exercera un couple de freinage sur l'arbre de la poulie motrice.

On admet que le freinage s'effectue dans les conditions suivantes :

- la décélération est constante,
- le véhicule de transport, étant animé d'une vitesse de norme v_M (calculée par rapport à So et constante), est stoppé de telle façon que l'arrêt total se fasse au bout d'un temps de 2,6 secondes,
- le non glissement au contact roues/bâti (pas de blocage des roues),
- le couple de freinage, appelé C_f , est constant,

- les actions de contact roues/bâti sont représentées par un glisseur en J avec :

$$\{\tau_{S_0 \rightarrow S}\}_J = \begin{Bmatrix} T \vec{X}_0 + N \vec{Y}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}, \quad T = 2298 \text{ N} \text{ et } N = 22980 \text{ N},$$

- les liaisons sont parfaites (sauf au niveau du contact disques/garnitures du frein et roues/bâti) et les solides sont indéformables.

Les paramètres caractéristiques, pendant la phase de freinage, sont donnés sur la figure M4 :

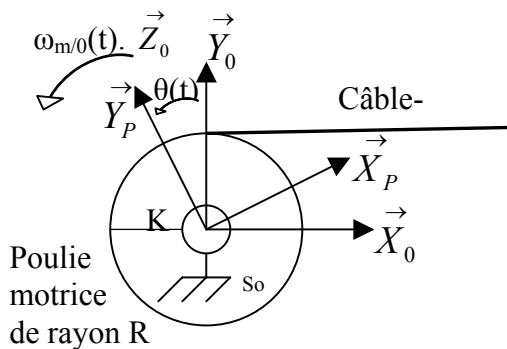


Figure M4

$t = t_0 = 0$: début du freinage.
 $t = t_d$: fin du freinage (jusqu'à l'arrêt total).
 $\omega_{m/0}(t)$ = vitesse angulaire de la poulie motrice par rapport au bâti, autour de (K, \vec{Z}_0) , à l'instant t .
 $\theta(t)$ = angle balayé par la poulie motrice, par rapport au bâti, autour de l'axe de la poulie. On prendra $\theta(t_0) = 0$ au début du freinage.
 θ_f = angle parcouru par la poulie motrice pendant tout le temps t_d de la décélération (jusqu'à l'arrêt total).

Attention : on se place pendant la phase de freinage et on note $\omega_{m/0}(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$ et

$$\dot{\omega}_{m/0}(t) = \frac{d\omega_{m/0}(t)}{dt}.$$

Question 13 : Calculer la valeur de la décélération $\dot{\omega}_{m/0}(t)$.

Déterminer l'équation du mouvement $\theta(t)$ de la poulie pendant cette phase de décélération (utiliser pour cela les conditions initiales et finales citées ci-dessus).

Calculer θ_f pour un temps t_d de décélération de 2,6 secondes.

Question 14 : Déterminer littéralement la puissance développée par les actions du bâti sur le véhicule de transport S.

Question 15 : Déterminer littéralement la puissance développée par les actions du frein sur le réducteur.

Question 16 : En écrivant le théorème de l'énergie cinétique galiléenne appliqué à l'ensemble $\{E\}$, déterminer la relation liant les paramètres C_f , m_v , m_p , $\dot{\omega}_{m/0}(t)$, T et R.

Question 17 : Donner l'expression littérale de la valeur du couple C_f , exercé par le frein hydraulique, nécessaire au freinage. Faire l'application numérique avec $R = 0,5$ m.

L'objectif final de cette partie est d'implanter, dans ce mécanisme, un frein hydraulique multi-disques à contact axial.

Question 18 : D'après la documentation technique sur le frein hydraulique multi-disques (document DAM4), faire un choix justifié prenant en compte vos calculs. Justifier technologiquement le choix du type de frein, à partir de la nature des liaisons avec l'arbre du réducteur et de sa fixation sur le bâti.

Réaliser, sur votre copie, un croquis à main levée montrant, d'une part la liaison entre le frein et l'arbre de sortie du réducteur et d'autre part la fixation du frein sur le bâti.

PARTIE C : CONCEPTION MECANIQUE

Les objectifs de cette partie sont :

- de réfléchir sur le mécanisme de réglage en translation axiale de la poulie motrice (fonction FS1),
- de concevoir la liaison pivot du montage de l'arbre de sortie du réducteur (fonction FS1).

Système de translation de la poulie motrice sur son axe (figure M5)

Certains véhicules nécessitent plusieurs câbles-lanceur (solllicitations plus importantes). Aussi, pour assurer le guidage, sans risque de déloger les câbles des gorges de la poulie motrice et dans un souci de sécurité, on souhaite régler la position axiale (variation de 100 mm) de la poulie motrice :

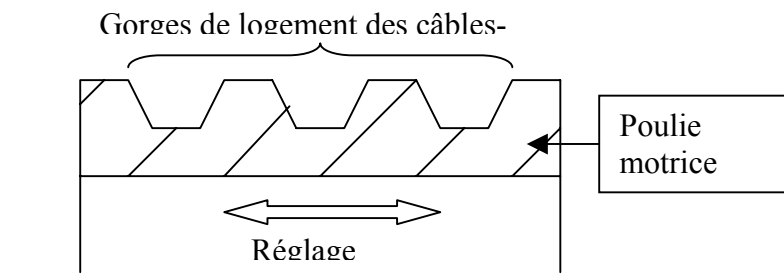


Figure M5

Pour prévoir le **réglage axial manuel** de la poulie motrice, il faut respecter les critères suivants :

- critère 1 : envisager une mise en position axiale par obstacle de la poulie motrice (encastrement démontable),
- critère 2 : garantir la position axiale de la poulie motrice avec une précision de ± 1 mm,
- critère 3 : faciliter le montage et la maintenance de ce mécanisme,
- critère 4 : faciliter le réglage manuel de la mise en position axiale de la poulie motrice.

Afin de répondre à ces exigences, trois schémas cinématiques sont proposés (figures M6, M7 et M8).

1^{er} schéma

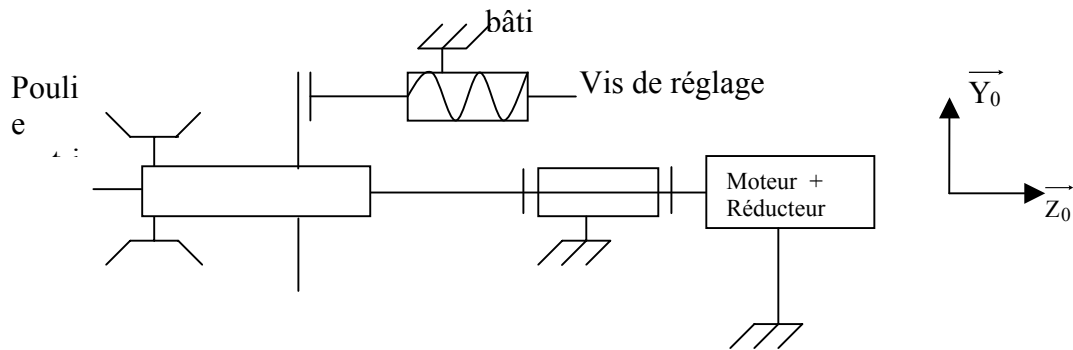


Figure M6

2^{ème} schéma

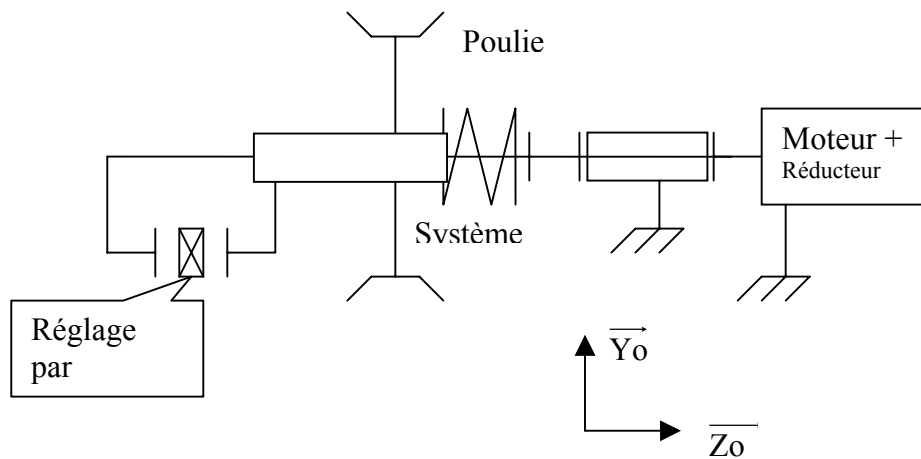


Figure M7

3^{ème} schéma

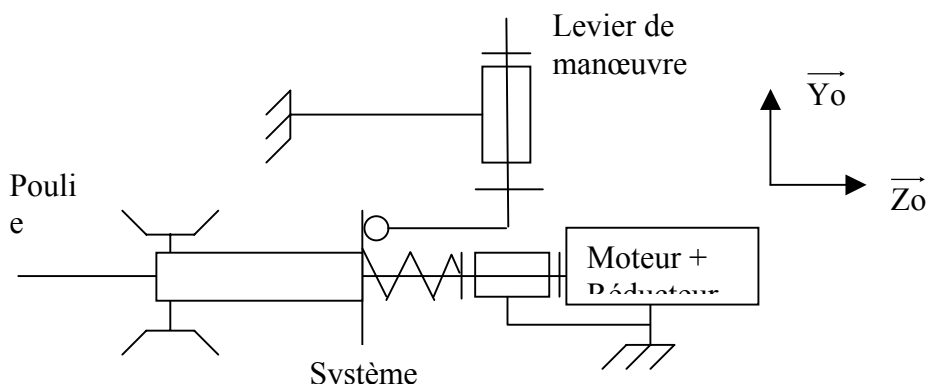


Figure M8

Question 19 : Comparer ces trois solutions techniques en remplissant le tableau ci-dessous (à recopier sur votre copie) et en adoptant la notation (+), (0) ou (-) correspondant respectivement à bon, passable ou ne convient pas.

	1 ^{er} schéma	2 ^{ème} schéma	3 ^{ème} schéma
Critère 1			
Critère 2			
Critère 3			
Critère 4			

Transmission de puissance

On se propose d'étudier la chaîne cinématique du réducteur (figure M9). Il est défini partiellement dans le document DAM15.

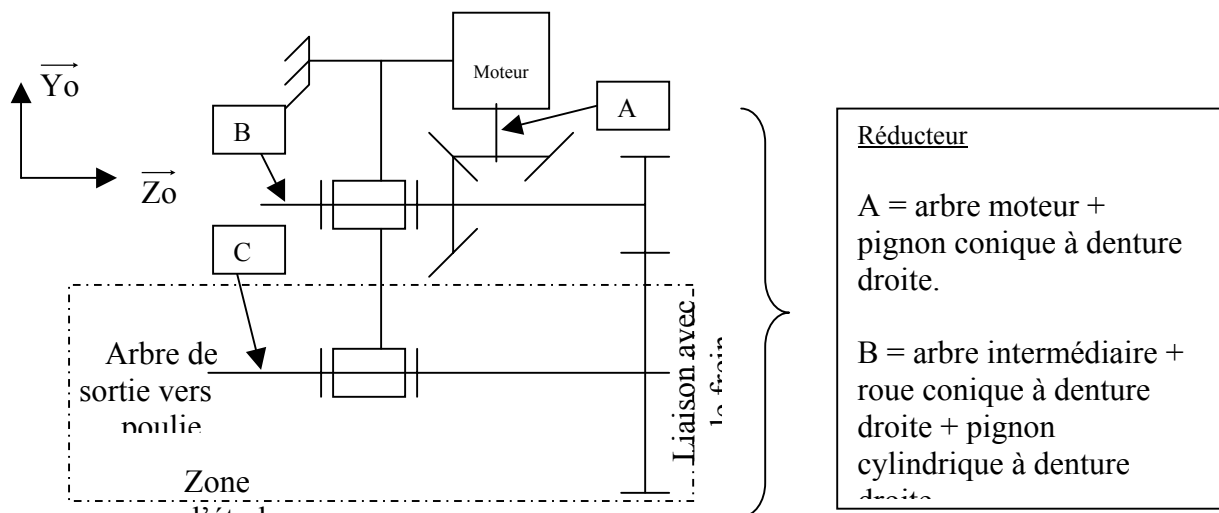


Figure M9 : Chaîne cinématique du réducteur

Le rapport de réduction de l'engrenage à roues coniques à denture droite vaut 0,65.

Le rapport de réduction de l'engrenage à roues cylindriques à denture droite vaut 0,5.

Le moteur développe une puissance de 371 kW à la fréquence de rotation de 1100 tr/min, dans la fin de la phase d'accélération (rendement de la chaîne cinématique égal à 0,7).

Le diamètre minimal de l'arbre de sortie, côté poulie motrice, est de 56 mm.

La roue cylindrique, placée sur l'arbre de sortie, est en liaison encastrement. Cet encastrement démontable est réalisé par des cannelures cylindriques à flancs parallèles et des arrêts axiaux.