

## Sujet n°1

# RESTITUTEUR D'EFFORT POUR SYSTEME DE TRANSMISSION CLUTCH-BY-WIRE<sup>1</sup>

## I. Présentation

### « L'embrayage par fil »

La conduite en ville nécessite des répétitions fréquentes de la manœuvre d'embrayage/débrayage. Pour améliorer le confort de conduite, on peut substituer la force musculaire du conducteur par une commande électrique de l'embrayage.

Dans ce cas, il devient nécessaire de renseigner l'unité de contrôle électronique sur les intentions du conducteur. Pour cela, plusieurs options sont possibles :

- soit à l'aide d'un capteur de position placé sur la pédale d'embrayage ;
- soit à l'aide d'un capteur situé sur la base du levier de vitesse, dans ce cas la pédale d'embrayage n'est pas nécessaire.

On peut aussi permettre au conducteur de choisir d'utiliser ou non la pédale d'embrayage.

Le calculateur contrôlera directement un actionneur électrique qui manœuvrera l'embrayage de façon optimale. L'automatisation de la fonction embrayage permet de corriger les éventuelles fausses manoeuvres du conducteur, d'assurer la fonction anti-calage du moteur et de participer aux fonctions d'anti-patinage et d'anti-blocage des roues.

### La restitution d'effort

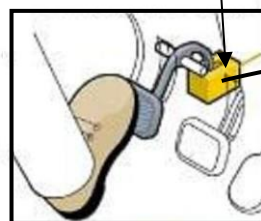
En cas d'utilisation de la pédale, il faut recréer les sensations du conducteur, c'est-à-dire une résistance mécanique proche de celle d'une commande mécanique classique. Pour réaliser ce système de retour d'effort, deux options sont envisageables :

- soit un dispositif passif, réalisé à l'aide d'un ressort par exemple ;
- soit un dispositif actif, réalisé à l'aide d'un actionneur électrique.

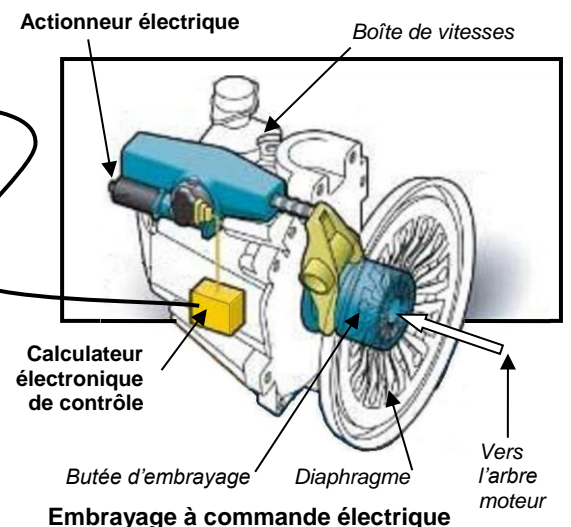
Les améliorations attendues sont :

- la réduction de la course et de l'effort à la pédale ;
- l'amélioration de la protection des pieds du conducteur en cas d'accident ;
- la réduction des retours de bruits et de vibrations dans l'habitacle.

- Restituteur d'effort comportant un actionneur électrique.  
- Capteur de position de la pédale.



**Pédale de commande et restituteur d'effort**



**Embrayage à commande électrique**

<sup>1</sup> D'après le concours Centrale-Supelec

Figure 1: d'après documents Valeo.

## II. Objet de l'étude.

L'étude porte sur un démonstrateur de restituteur actif d'effort à la pédale.

Le démonstrateur permet de tester différentes lois de restitution d'effort auprès d'un panel d'utilisateurs. En faisant varier plusieurs paramètres, il est alors possible de définir la loi de restitution d'effort sur des critères ergonomiques.

L'étude sera conduite de la façon suivante :

- analyse du système de manœuvre d'un embrayage ;
- élaboration du modèle de l'ensemble de la chaîne d'énergie ;
- justification du correcteur de l'asservissement permettant de recopier les différentes lois d'effort imposées.

## III. Courbe d'effort à la pédale.

**Objectif : Etudier la loi d'effort à restituer.**

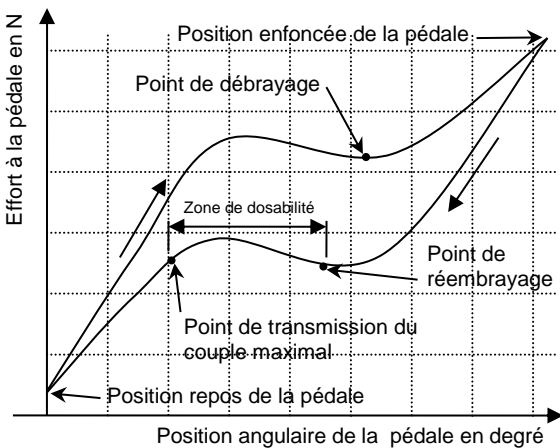


Figure 2a

Type de loi que devra restituer le restituteur

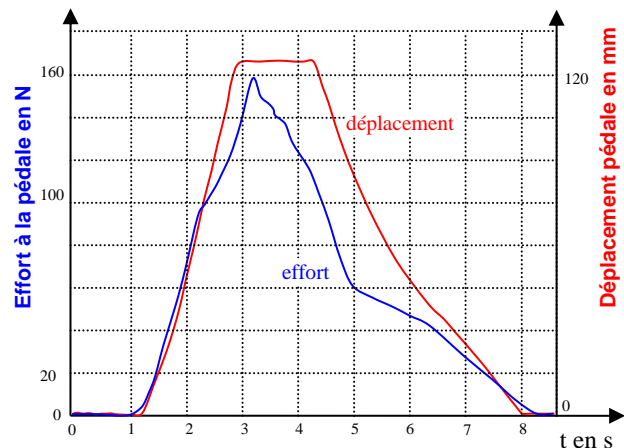


Figure 2b

Effort mesuré à la pédale et déplacement du point d'application de l'effort à la pédale

Remarque : le déplacement pédale est proportionnel à l'angle de la pédale.

Figure 2 : courbes d'efforts et de déplacement de la pédale.

Avant de concevoir le système de restitution, on étudie l'évolution de l'effort à la pédale sur un véhicule équipé d'un système classique de commande de l'embrayage. Le démonstrateur restituera des lois effort-déplacement obtenues à partir de la courbe de la Figure 2a. Plusieurs profils de loi seront testés. Les courbes de la Figure 2b sont le résultat d'une mesure de l'effort exercé par le conducteur sur la pédale et le déplacement du point d'appui du pied sur la pédale par rapport au châssis du véhicule, lors d'une phase de débrayage, embrayage. Ces courbes suivent à peu près la loi de la Figure 2a. On appelle phase de débrayage la phase d'appui sur la pédale et phase d'embrayage la phase de relâché de la pédale.

**Q1.** Identifier sur la figure 2b du document réponse les phases de débrayage et d'embrayage.

## IV. Modélisation du restituteur d'effort.

**Objectif : Faire un modèle du restituteur dans le but d'étudier sa commande.**

### IV.1 Étude géométrique du mouvement de la pédale

**Objectif : Etablir la relation entre la position angulaire de la pédale et le déplacement du piston du restituteur.**

La figure ci-dessous montre le système de transformation de mouvement de **rotation de la pédale** (paramètre angulaire  $\theta$ ), en **translation du piston** (paramètre  $y$ ).

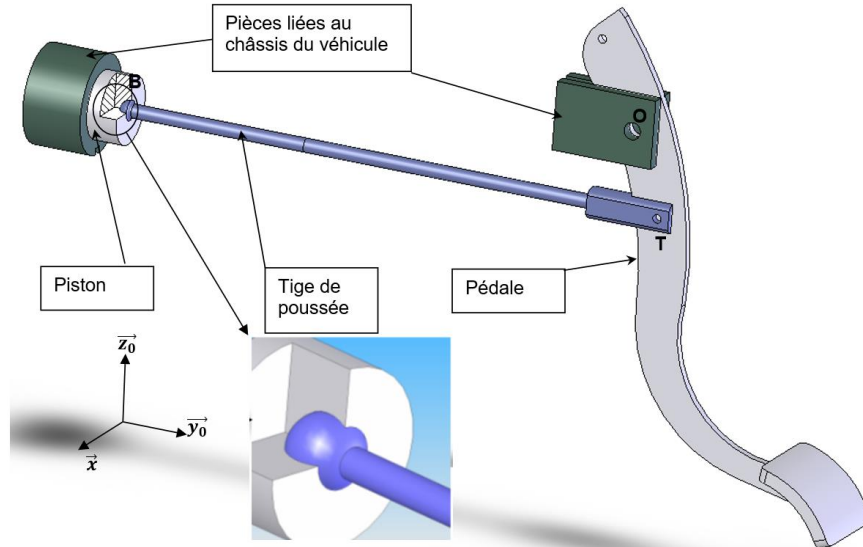


Figure 3: mouvement pédale.

Les liaisons en O et T sont réalisées par un axe cylindrique et des arrêts plans sur les côtés. La liaison en B entre la tige et le piston est constituée d'une sphère dans une sphère. La liaison entre le piston et la pièce liée au châssis correspond à un contact cylindrique. On appelle  $S_0$  l'ensemble cinématiquement équivalent lié au châssis,  $S_1$  le piston,  $S_2$  la tige de poussée et  $S_3$  le solide lié à la pédale.

**Q2.** Compléter alors le tableau du document réponse en donnant le nom des deux solides en liaison, le nom de la liaison, les caractéristiques géométriques (Axes, direction, centre, normale ...) et les degrés de liberté permis (rotation et translation). En déduire le graphe des liaisons du mécanisme.

**Q3.** Faire un schéma cinématique normalisé en couleur dans le plan  $(\vec{y}_0, \vec{z}_0)$  donné sur le document réponse (les points et axes sont déjà placés).

On donne le paramétrage suivant :  $\vec{BT} = l \cdot \vec{y}_2$  ;  $\vec{OT} = -d \cdot \vec{z}_3$  ;  $\vec{BO} = y \cdot \vec{y}_0 + a \cdot \vec{z}_0$

$$\varphi = (\vec{y}_0, \vec{y}_2) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2) \text{ et } \theta = (\vec{y}_0, \vec{y}_3) = (\vec{z}_0, \vec{z}_3)$$

**Q4.** Tracer les figures de changement de bases pour bien représenter les angles.

**Q5.** Déterminer le système d'équations obtenu en réalisant une fermeture géométrique de la boucle reliant les solides  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$ .

**Q6.** Combiner ces équations pour en déduire une relation entre  $y$  et  $\theta$  (aucun autre paramètre variable ne doit intervenir dans cette relation). Ne pas simplifier la relation obtenue.

La figure ci-dessous représente la relation  $y(\theta)$ .

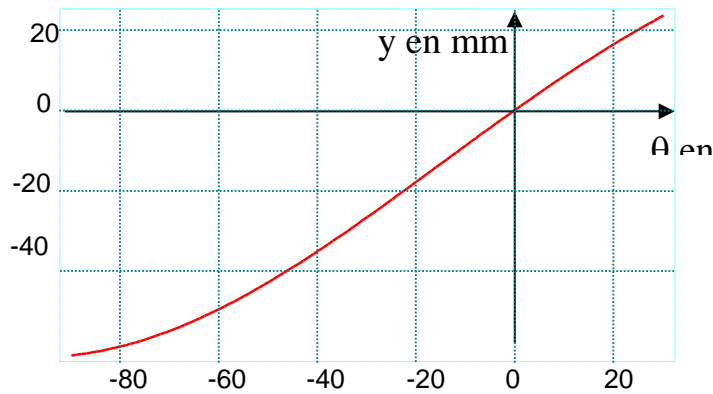


Figure 4: relation géométrique  $y(\theta)$ .

Pour l'étude de la commande on cherche un modèle linéaire pour la relation  $y(\theta)$ .  $\theta$  varie entre  $[0, -40^\circ]$ .

**Q7.** Donner la relation  $y(\theta)$  linéarisée au point  $(0,0)$  pour la plage de variation utilisée.

#### IV.2 Etude cinématique du restituteur.

**Objectif : Établir la relation entre la vitesse angulaire du moteur et la vitesse de déplacement du piston.**

Le schéma ci-dessous représente le restituteur électrique d'efforts.

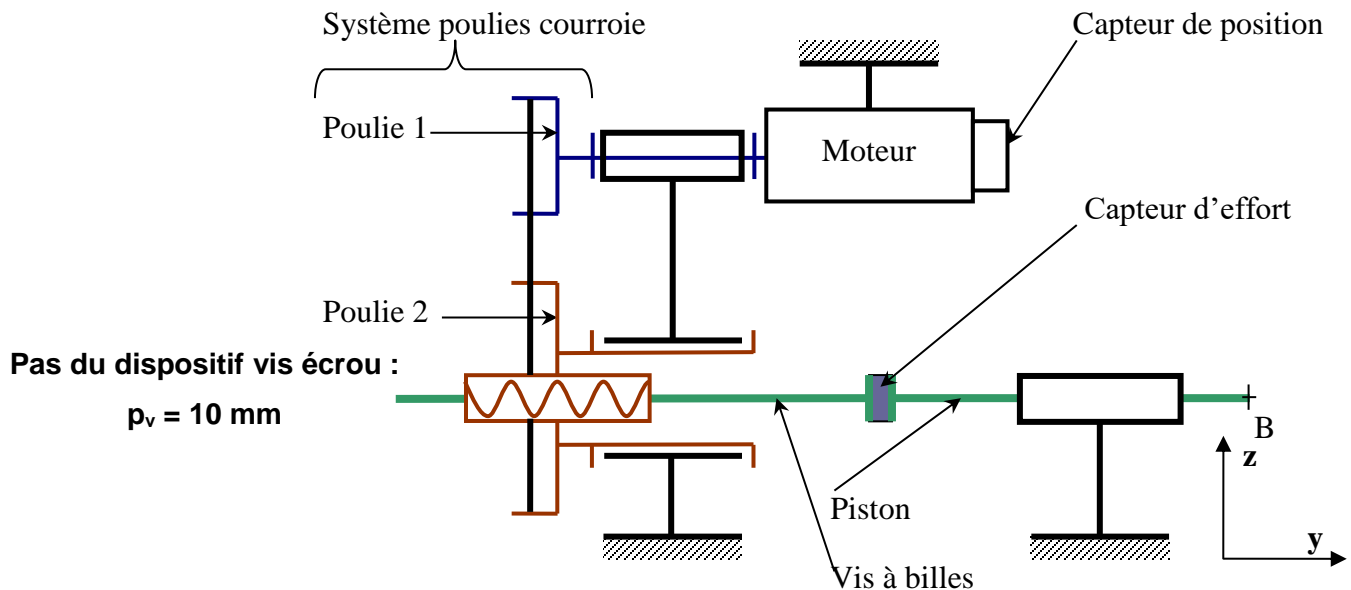


Figure 5a: restituteur d'efforts

On donne le pas du dispositif vis écrou :  $p_v = 10 \text{ mm}$  par tour de vis

Le diamètre de la poulie 2 est égal au double du diamètre de la poulie 1 liée à l'arbre du moteur.

Le piston et la vis à billes sont en liaison encastrement.

**Q8.** Etablir la relation entre la vitesse angulaire du moteur par rapport au bâti, notée  $\omega_m$  et la vitesse de déplacement du piston par rapport au bâti, notée  $V$ . On supposera que  $\omega_m$  et  $V$  sont de même signe. Quelle est alors la relation entre  $\omega_m$  et  $\dot{\theta}$  ?

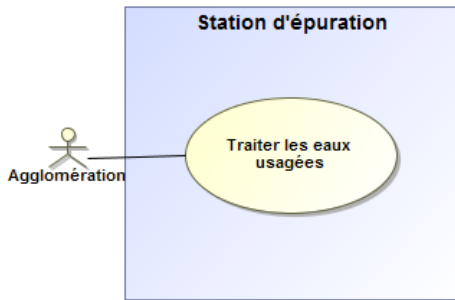
Sujet 2

**STATION D'EPURATION**

**Article I. Fonctionnement d'une station**

Une station d'épuration traite les eaux usées collectées par le réseau d'égouts des agglomérations. Elle a pour fonction de les débarrasser de la pollution liée à l'activité humaine. Les eaux purifiées sont ensuite rejetées dans le milieu naturel (fleuve, rivière, ...).

L'objet de ce sujet est de valider la capacité de la solution « station d'épuration » à satisfaire la prestation attendue « traiter les eaux usées » telle qu'elle est caractérisée sur la figure 1 :



Remarque : pour notre étude, les critères biologiques d'épuration sont ramenés au critère de débit. Si le débit est respecté alors le niveau de pureté de l'eau en sortie de la station le sera aussi.

Critères	Valeurs
Volume moyen journalier	5500 m <sup>3</sup>
Débit moyen horaire	230 m <sup>3</sup> /h

La parties pour postes

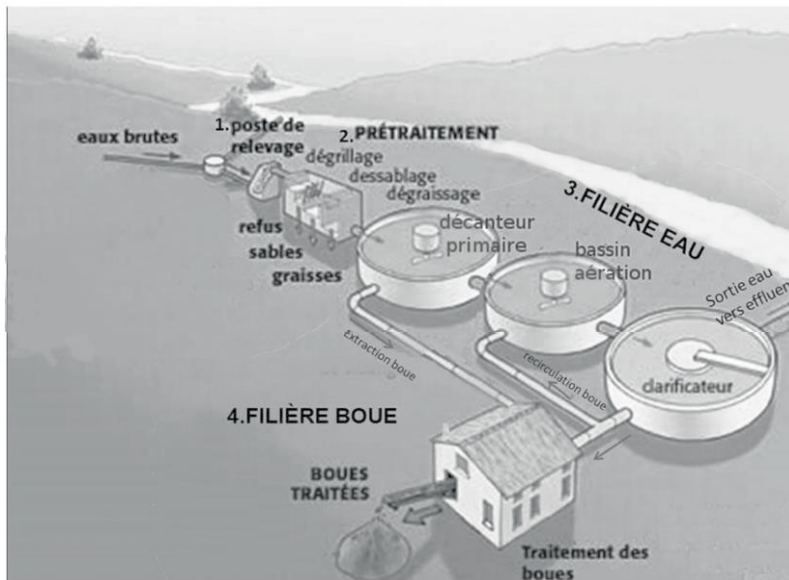


Figure 6 : Diagramme des cas d'utilisation

station est organisée en 4 grandes (Figure 2) :

1. Le relevage : le poste de relevage a pour fonction d'amener eaux usées à une altitude suffisante que leur déplacement vers les autres de la station se fasse par gravité.

2. Le prétraitement : le prétraitement a pour fonction d'enlever les déchets non

organiques ou trop gros. Il comporte :

- un dégrilleur qui va retenir les gros déchets (avec une grille) ;
- un dessableur qui va retenir les

déchets solides non organiques qui sont passés au travers de la grille du dégrilleur ;

Figure 7 : Implantation d'une station d'épuration

- un dégraisseur qui va retenir les parties surnageantes (huiles et graisses).

3. La filière eau : la filière eau a pour fonction d'extraire les déchets organiques afin de pouvoir rejeter l'eau dans un effluent. Elle comporte :

un décanteur primaire : c'est un grand bassin dans lequel la circulation se fait suffisamment lentement pour que les matières organiques en suspension se déposent au fond. Les eaux passent ensuite dans le bassin d'activation à aération.

un bassin d'activation à aération : c'est un bassin dans lequel on effectue un brassage vigoureux des eaux afin de les oxygéner et d'activer ainsi la dégradation des matières organiques par des bactéries aérobies.

L'oxygène de l'air permet aux bactéries contenues dans les boues de se développer en se nourrissant des matières organiques dissoutes. Le produit séjourne ensuite dans le clarificateur.

- un clarificateur : c'est un grand bassin dans lequel la circulation se fait suffisamment lentement pour que les bactéries tombent au fond du bassin par décantation. Elles forment des boues qui sont soutirées.
- une évacuation des eaux traitées : l'eau en surface du clarificateur est « propre » ; elle est alors rejetée dans un cours d'eau (effluent).

4. La filière boue : la filière boue a pour fonction de traiter les boues extraites. Elle comporte :

- un circuit de recirculation : les boues accumulées au fond du clarificateur sont périodiquement aspirées et refoulées pour parfaire leur dégradation ;
- un circuit d'extraction : les boues suffisamment traitées sont dirigées vers un silo préconcentrateur
- une centrifugeuse qui permet l'élimination de l'eau contenue dans les boues extraites ;
- un incinérateur de boues.

Nous supposons que si chaque composant de la station d'épuration vérifie le critère de débit moyen horaire (donné dans le cahier des charges suivant) alors les critères de la prestation attendue « traiter les eaux usées » seront validés. Ce sujet propose donc de valider la prestation dans la phase de vie : « fonctionnement journalier sans intempérie exceptionnelle » en vérifiant la capacité des composants à réaliser le critère de débit. Le cahier des charges fonctionnel donne une modélisation de l'environnement dans cette phase de vie.

#### Cahier des charges des conditions de fonctionnement :

Exigences	Critères	Valeurs
E1 : traiter les eaux brutes	Volume moyen journalier	5500 m <sup>3</sup>
	Débit moyen horaire	230 m <sup>3</sup> /h
E2 : relever les eaux brutes afin que l'eau s'écoule par gravité	Hauteur	7 m
	Débit maximal	400 m <sup>3</sup> /h
	Couple maximal que peut transmettre le moteur	1000 N.m
	Filtrage des à-coups engendrés par les déchets solides	Pulsation de coupure du filtre passe-bas : 1,4 rad/s C et C <sub>V</sub> étant définis plus tard : $\left  \frac{C}{C_V} \right  = 0,65$ maxi pour $\omega = 3,2$ rad/s
	Précision pour la vitesse du tambour	N <sub>10c</sub> ± 0,1 tour/min N <sub>10c</sub> : vitesse de consigne du tambour
	Dépassement	Inférieure à 20 %
	Rapidité	Temps de réponse à 5 %      Tr <sub>5%</sub> < 1 min 30
Diamètre maximal	20 mm	
E3 : séparer les gros déchets des eaux brutes	Débit recirculation moyen horaire	320 m <sup>3</sup> /h ± 10 %

## Article II. Etude du relevage des eaux brutes

Les objectifs de cette partie sont de valider les performances de l'exigence « relever les eaux brutes afin que l'eau s'écoule par gravité ».

### 2.1. Organisation structurelle du relevage

Le poste de relevage a pour fonction d'amener les eaux usées à une altitude suffisante pour que leur déplacement vers les autres postes de la station se fasse par gravité. La solution technique permettant de réaliser cette fonction est l'utilisation d'une vis d'Archimède entraînée par un moteur asynchrone.

Lors de la rotation de la vis, l'eau usée située dans le bassin de réserve est emprisonnée entre deux filets et

relevée jusqu'à un bassin d'arrivée. Lorsque la vis fait un tour, le volume d'eau emprisonné (noté  $V_{pas}$ ) se translate de la valeur du pas. La transmission de puissance entre le moteur et la vis est composée d'un système poulie-courroie, d'un réducteur et d'un accouplement élastique (Figure 8, page 8).

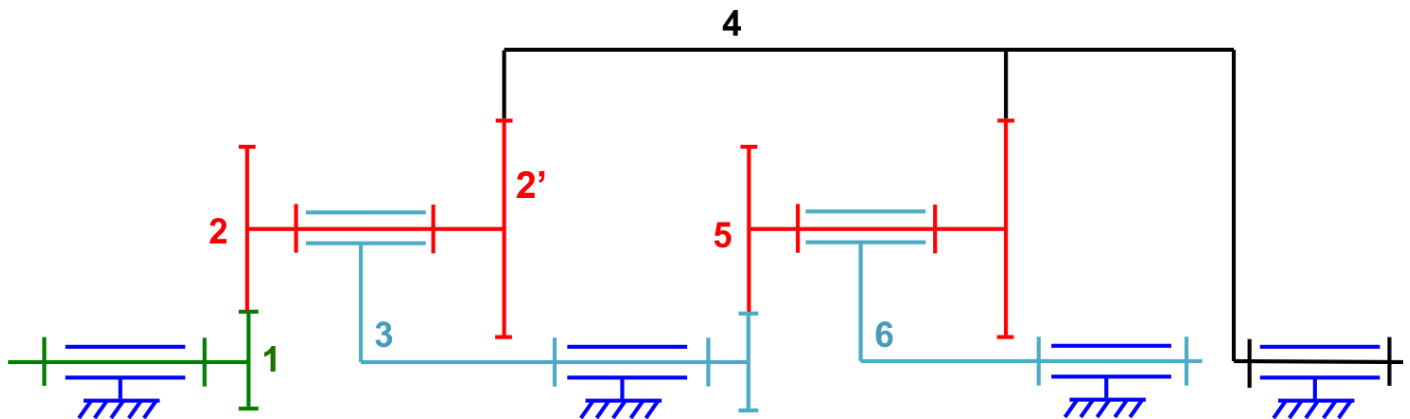
**Q9. Question 1 :** Compléter le document réponse avec le nom des transmetteurs manquants dans les blocs et la grandeur transmise et son unité entre chaque bloc.

**Q10. Question 2 :** Sur le document réponse, noter pour chaque transmetteur, la grandeur d'entrée, la grandeur de sortie et le rapport de réduction.

**2.2. Validation du moteur**

L'objectif de cette partie est de vérifier que les performances nominales du moteur permettent de transmettre l'énergie mécanique nécessaire à l'eau brute lors du relevage.

Le réducteur est le train épicycloïdal ci-dessous avec  $Z_1=9$ ,  $Z_2=18$ ,  $Z_2'=23$  et  $Z_4 = 50$ .  
L'arbre 1 est lié à la poulie et l'arbre 6 est lié à l'accouplement élastique.



**Q11. Question 3 :** on note  $\frac{\omega_{40}-\omega_{30}}{\omega_{10}-\omega_{30}} = -k$  . Exprimer  $k$  en fonction du nombre de dents des engrenages et en déduire sa valeur numérique.

**Q12. Question 4 :** Les engrenages des deux trains épicycloïdaux sont identiques et la pièce 4 est fixée au bâti, calculer le rapport de réduction de  $\frac{\omega_{6/0}}{\omega_{1/0}}$ , en déduire  $\lambda$ .

**Q13. Question 5 :** on supposera qu'en régime permanent l'accouplement élastique est homocinéétique, c'est-à-dire que  $\omega_r = \omega_V$ . Donner la relation  $\frac{\omega_V}{\omega_m}$  et la valeur de  $\omega_V$  en  $\text{rad.s}^{-1}$  pour  $\omega_m$  nominal.

**Q14. Question 6 :** Conclure sur la capacité du moteur à atteindre le débit maximal annoncé dans le cahier des charges.



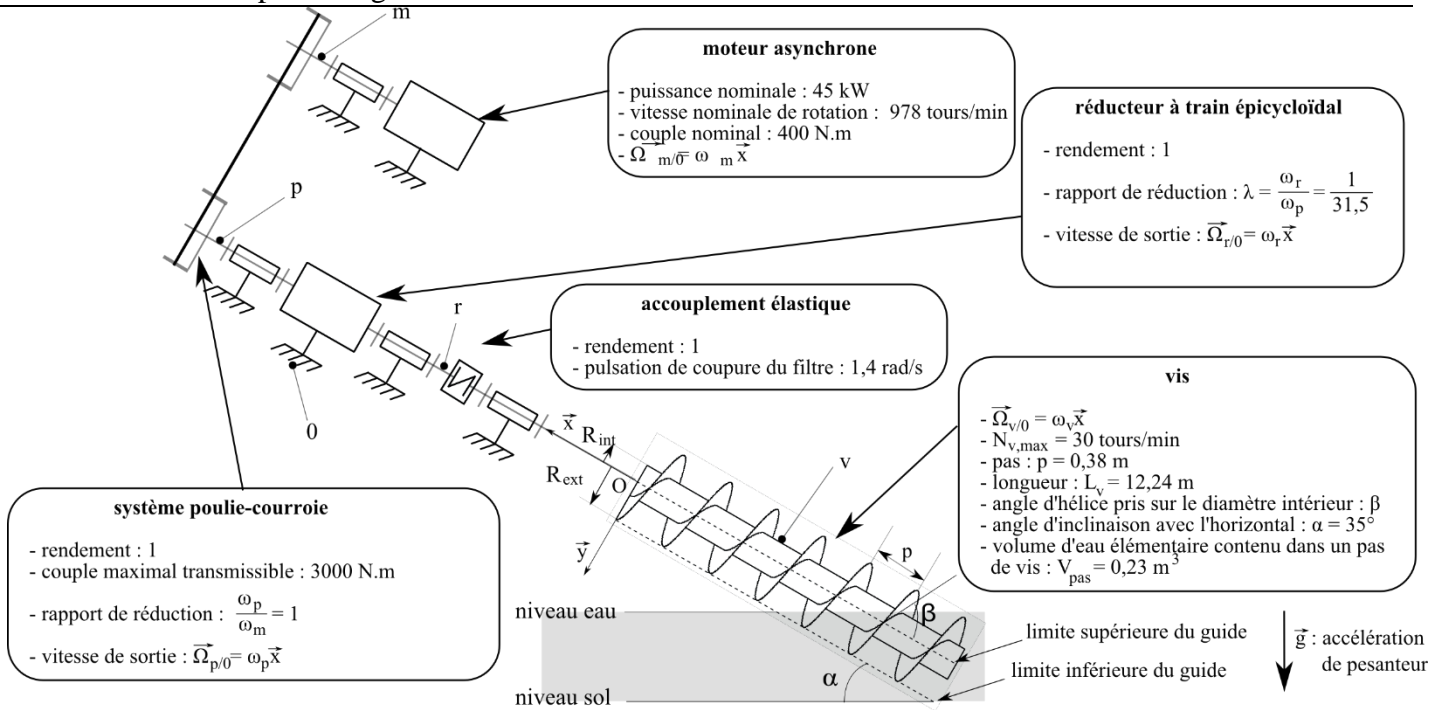


Figure 8 : Schéma du poste de relevage