Avant de répondre à ces premières questions, on pourra consulter le dossier technique.

Partie 1 : nécessité de MALT et compréhension du fonctionnement

Toutes les installations électriques de puissance sont équipées d'une mise à la terre (Malt), dans certaines situations il est nécessaire que le circuit soit équipé d'une mise à la terre rapide.

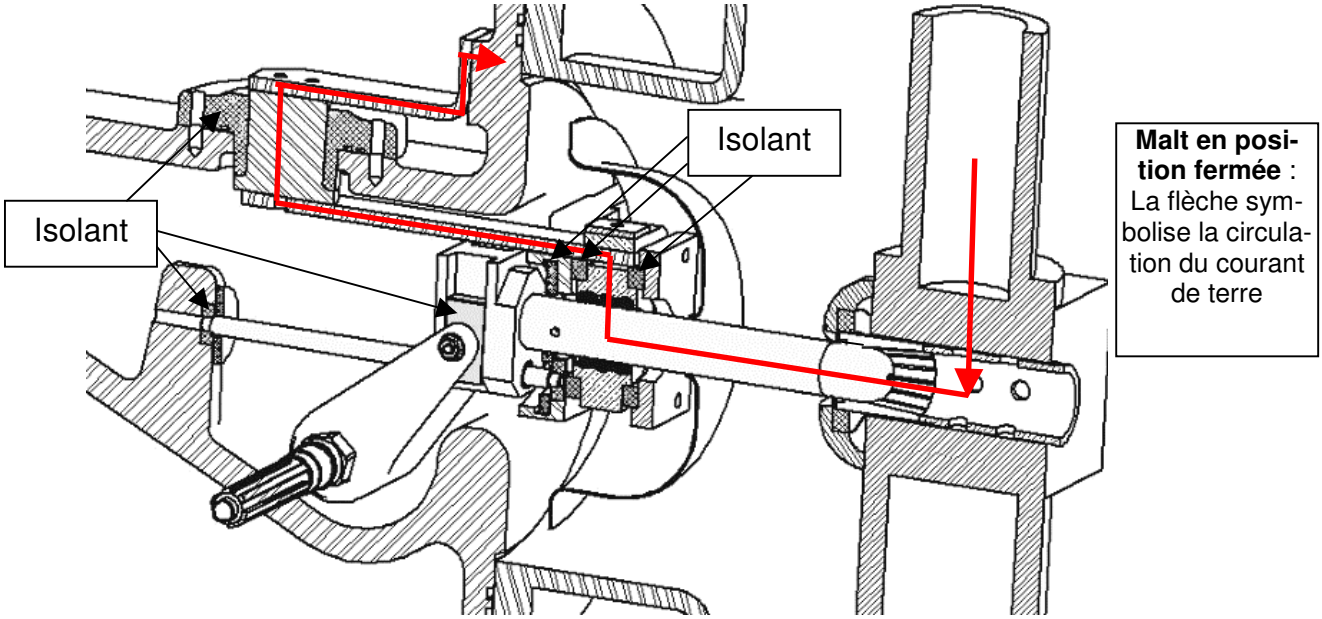
Question 1.1 - Rechercher dans le dossier technique la raison principale pour que cette mise à la terre soit rapide.

Question 1.2 - Trouver la contrainte qu'impose le fonctionnement en poste blindé.

Fonctionnement électrique de la mise à la terre

La contrainte FC2 du cahier des charges impose que la liaison électrique à la terre puisse être coupée de l'extérieur sans démontage du carter (gaz SF6 sous pression).

Question 1.3 - Comment supprimer la liaison électrique par le démontage simple d'une pièce, sans manœuvrer le mécanisme ni ouvrir le carter ?



Fonctionnement mécanique de la mise à la terre : étude des liaisons (répondre sur le document **DR 1** et copie).

Attention : repères et désignations de la nomenclature générale du document **DT 10**.

Question 1.4 – Dire s'il est possible que la classe d'équivalence liée à la broche 22 et l'ensemble manivelle 3 soient simplement une liaison pivot.

Question 1.5 – Donner la raison mécanique et la raison électrique d'utiliser les patins 12 en plastique.

Question 1.6 – Préciser les surfaces de contact entre la classe d'équivalence de la broche 22 et celle d'un patin 12. Colorier ces surfaces en rouge sur la coupe AA (document **DR 1**).

Question 1.7 – En déduire la nature de la liaison patin 12 / broche 22.

Question 1.8 – Préciser les surfaces de contact entre la classe d'équivalence d'un patin 12 et de la manivelle 3. Colorier ces surfaces en vert sur la coupe BB (document **DR 1**).

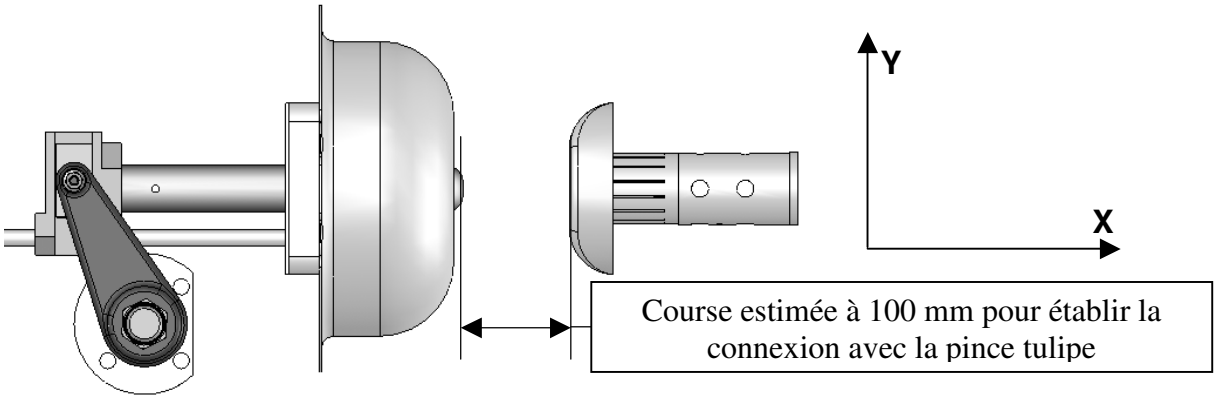
Question 1.9 – En déduire la nature de la liaison patin 12 / manivelle 3.

Fonctionnement mécanique de la mise à la terre : schéma cinématique (répondre sur le document **DR 1**)

Question 1.10 - compléter la zone manquante du schéma cinématique par les deux liaisons étudiées à la question précédente (voir **DT 5 à DT 8**).

Partie 2 : détermination de l'effort à appliquer sur la broche pour répondre au cahier des charges
(vitesse de la phase de fermeture rapide)

Cette étude va permettre de vérifier que la broche atteint la vitesse de 6 m.s^{-1} en fin de phase de fermeture garantissant l'absence d'arc électrique destructeur entre la broche et la pince tulipe.



Recherche de l'accélération de la broche (répondre sur feuille de copie)

Question 2.1 - Quel est le type de mouvement de la broche par rapport au bâti ?

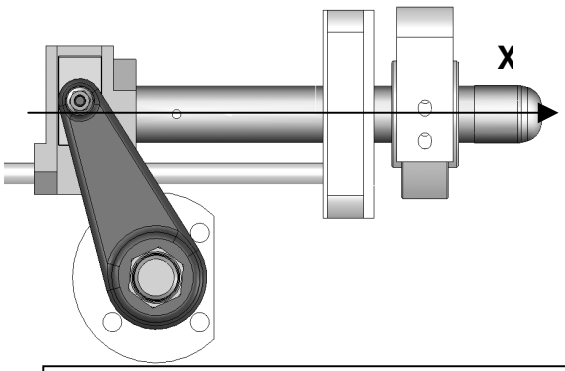
On peut résumer les caractéristiques connues de ce mouvement par un tableau comme ci-contre. N.B. : t_1 doit être calculé et non pas relevé dans le c. d. c. f.	à $t_0 = 0$	à t_1 = ?
	$x_0 = 0$	x_1 = 100 mm
	$v_0 = 0$	v_1 = 6 m.s^{-1}

Question 2.2 - En admettant que le mouvement de la broche par rapport au bâti soit assimilable à un mouvement de translation rectiligne uniformément varié (MRUV) sur x, rechercher l'accélération nécessaire de la broche par rapport au bâti répondant aux données du tableau ci-dessus.

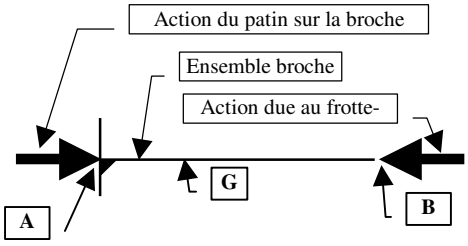
Recherche de l'effort à appliquer sur la broche pour répondre au cahier des charges

Hypothèses :

- Le problème sera traité comme un problème de dynamique plane.
- On admet que l'action du patin sur l'ensemble broche est modélisable par une force d'intensité inconnue portée par l'axe x.
- On donne l'action due au frottement entre le collecteur et la broche modélisable par une force d'intensité 100 N portée par l'axe x.(les autres liaisons seront considérées comme parfaites).
- Masse de la broche : m = 3 kg.
- Dans le but de prédéterminer l'action de poussée du patin sur la broche, on utilise le schéma d'étude simplifié ci-contre.
- Quelle que soit la réponse à la **question 2.2**, prendre l'accélération de la broche égale à : a = 180 m.s^{-2}.



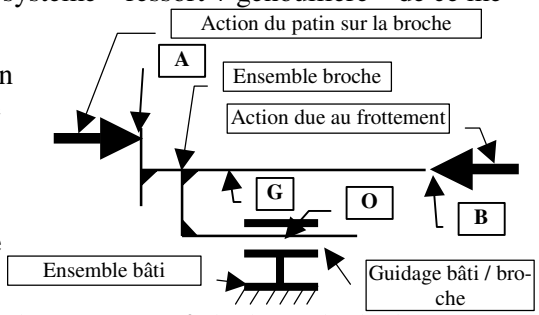
Le modèle de cette étude se résume donc au schéma suivant :



Question 2.3 - On isole la broche, écrire le théorème de la résultante dynamique en projection sur x appliqué à l'ensemble broche et en déduire l'intensité de la force exercée par le patin sur l'ensemble broche.

Pour produire un tel effort et une telle accélération et pour assurer la stabilité des positions ouverte / fermée, le constructeur a choisi d'utiliser un système « ressort + genouillère ».

De ce fait, le modèle utilisé (MRUV de la broche) ne s'applique pas au système « ressort + genouillère » de ce mécanisme.



Une étude dynamique avec un logiciel de simulation et une modélisation comme le schéma ci-contre ont donné les courbes du document réponse **DR 2** :

- les inerties et les frottements peuvent être pris en compte,
- **le déplacement réellement nécessaire à grande vitesse est de <u>96 mm</u> précisément (établissement du contact).**

Question 2.4 - Déterminer par un tracé sur les graphes de la figure 1 du document **DR 2**, la durée du déplacement de la broche à grande vitesse correspondant à une course de 96 mm et la vitesse correspondante.

Question 2.5 - Le cahier des charges concernant la vitesse à atteindre est-il respecté ? Justifier.

Question 2.6 - Déterminer par un tracé sur le graphe de la figure 2 du document **DR 2**, l'effort maximum sur la broche durant la fermeture rapide de la Malt, donner sa valeur en Newton, comparez avec la valeur trouvée en **2.3**.

Partie 3 : détermination de l'effort à exercer par la commande pour comprimer le ressort

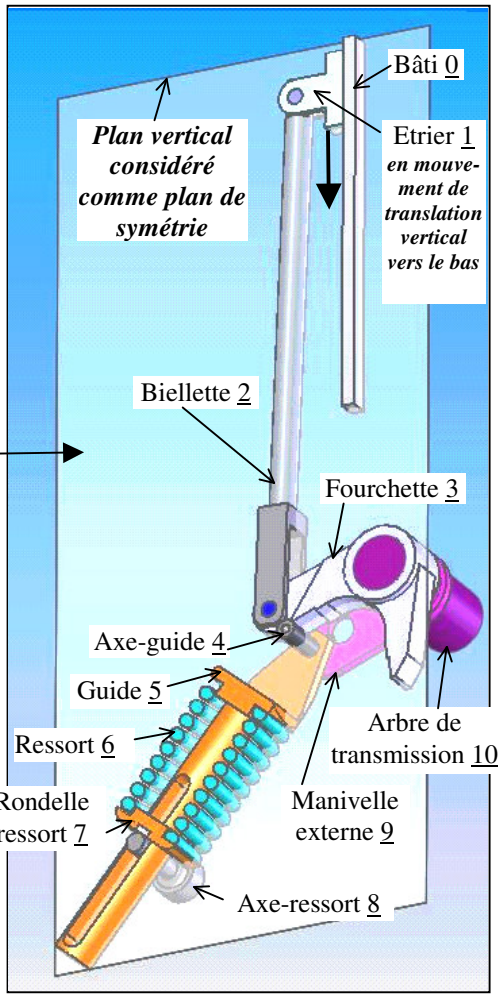
Objectif : validation de la commande lors de l'armement du ressort

Le ressort fournit la puissance nécessaire pendant la phase rapide de la fermeture mais il faut au préalable emmagasiner de l'énergie en comprimant le ressort ce qui a lieu lors de la phase d'ouverture du sectionneur. Le mouvement d'ouverture se faisant à vitesse faible et à variation lente, l'étude peut se faire en statique.
Le but de l'étude est donc de trouver l'effort à exercer sur la biellette pour provoquer l'ouverture de la broche tout en comprimant le ressort.

Le mécanisme d'armement simplifié est représenté sur la figure ci-contre, partiellement coupé et sur le schéma ci-après.
La position représentée est relativement quelconque.

> **Seules les pièces principales sont représentées et numérotées de <u>0</u> à <u>10</u> indépendamment de leurs repères dans la nomenclature générale.**

L'axe ressort <u>8</u> est fixe dans le carter donc solidaire du bâti <u>0</u>.



Hypothèses :

- Le mécanisme admet un plan de symétrie géométrique et de chargement, les problèmes seront considérés comme plans (suivant ce plan).
- Le poids des pièces est négligé.
- Les liaisons sont parfaites (sans frottement…).
- La fourchette <u>3</u> est en liaison ***pivot*** avec l'arbre de transmission <u>10</u> qui sera considéré comme fixe par rapport au bâti <u>0</u>.

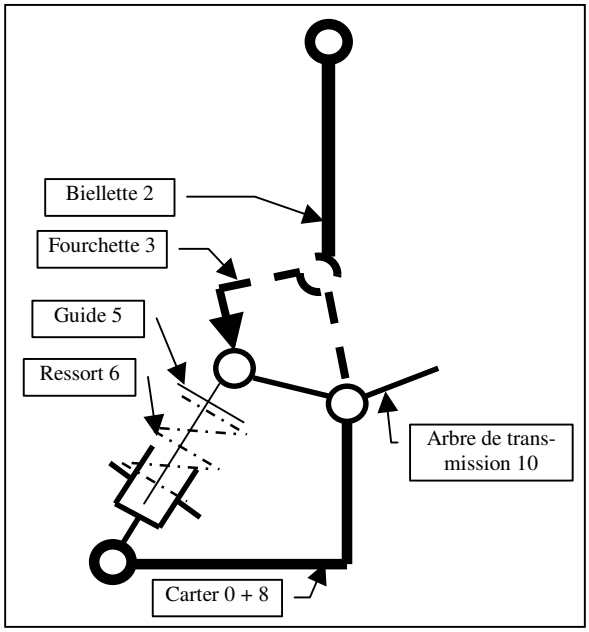
Donnée :

- L'effort du ressort <u>6</u> sur le guide <u>5</u> vaut 3 450 N dans la position représentée.

Ordonnancement des isolements :

- Guide <u>5</u> + ressort <u>6</u> + rondelle ressort <u>7</u> } *étude non demandée*
- Axe guide <u>4</u>
- **Biellette <u>2</u>**
- **Fourchette <u>3</u>** } ***l'étude porte sur ces 2 pièces.***
- Étrier <u>1</u> } *étude non demandée*

1ère étape : détermination de la direction des résultantes en A et B en isolant la biellette 2 (*voir figure 1 sur document réponse **DR 3**).*



Question 3.1 - Isoler la biellette 2 et faire le bilan des actions mécaniques extérieures.

Question 3.2 - Montrer que les actions en A et B sont modélisables par des glisseurs.

Question 3.3 - Appliquer le théorème relatif aux systèmes matériels soumis à 2 actions mécaniques de type glisseur (citer ce théorème).

Question 3.4 - En déduire la direction des résultantes en A et B. Les normes restent, pour l'instant, inconnues.

Question 3.5 - Tracer sur la figure 1 les deux vecteurs sans échelle après avoir déterminé leurs sens. Indiquer leurs noms.

2e étape : détermination de l'action de la biellette 2 au point B en isolant la fourchette (*voir figure 2 sur document réponse **DR 3**).*

Donnée :

- **Poussée de l'axe-guide 4 sur la fourchette 3 égale à 1 615 N** (valeur obtenue par l'étude de l'équilibre de l'axe-guide 4 non étudiée ici).

Question 3.6 - Isoler la fourchette 3 et faire le bilan des actions mécaniques extérieures qui sont toutes modélisables par des glisseurs.

Question 3.7 - Appliquer le théorème applicable aux systèmes matériels soumis à 3 actions mécaniques de type glisseur (citer ce théorème).

Question 3.8 - Faire les tracés qui en résultent pour trouver la direction de la résultante en D et les normes des actions en B et D.

Question 3.9 - En déduire la norme de la résultante de l'action sur la biellette 2 en B puis en A.

3ème étape : détermination de la valeur maximum de l'action de la biellette 2 au point B en utilisant les résultats d'un logiciel multi positions *sur document réponse **DR 4**.*

La valeur déterminée à l'étape précédente ne correspond qu'à une position donnée de la fourchette 3 au cours de l'ouverture. Or, il faut connaître le maximum de l'action de la biellette 2 pour vérifier si la commande utilisée convient. L'emploi d'un logiciel de calcul multi positions permet de trouver ce maximum, en outre il prend en compte le poids propre des pièces et les frottements dans les liaisons.

Question 3.10 - Relever sur la courbe, document **DR 4**, la valeur maximum en N de la norme de la résultante en B et la position correspondante de l'étrier 1 en mm.

Question 3.11 - La valeur trouvée dans la 2ème étape correspond-elle à ce maximum ? Sinon de quelle caractéristique de la courbe se rapproche-t-elle ?

La valeur maximum trouvée de l'effort dans la biellette servira dans la **partie 5** pour valider les performances énergétiques de la commande.

Partie 4 : vérification du temps de fermeture et de la course de la commande

Étude de la fermeture

La fermeture se décompose, de façon simplifiée, en 2 phases :

- la phase d'approche, la fourchette 3 pousse le guide ressort 5 et la manivelle 9 jusqu'au point de basculement (en alignement), la broche avance à petite vitesse,

- la phase rapide, le ressort 6 se détend violemment et "propulse" la broche vers la pince tulipe à grande vitesse.

Le cahier des charges impose que la durée totale de déplacement de la broche ne dépasse pas 5 s lors de la fermeture.

Le document réponse **DR 5** montre le mécanisme de fermeture en position initiale de la phase d'approche en fermeture. On a alors :

- la broche en contact avec la butée arrière,
- la fourchette 3 en contact sous l'axe-guide 4 au point H.

Remarque importante : les manivelles externes et internes sont en liaisons encastrement, avec l'arbre de transmission 10 et forment ainsi un seul solide (classe d'équivalence) appelé : **"manivelle 9"** correspondant à la classe d'équivalence **arbre de transmission**.

Hypothèses :

- On néglige tous les frottements dans les liaisons y compris entre la broche et le collecteur.
- La fin de la phase d'approche est alors atteinte lorsque l'axe ED de la manivelle 9 est aligné avec l'axe EF du guide ressort 5 (points D, E et F alignés).

Données :

- L'étrier 1 est animé d'un mouvement de translation rectiligne vertical vers le haut par rapport au bâti 0 (fixe). Sa vitesse est de **7,5 mm/s** (supposée constante).
- **La course de l'étrier 1 de la commande, donnée par le constructeur, est de 138 mm.**

Détermination de la course de l'étrier 1 pendant la phase d'approche :

Question 4.1 - Indiquer quel est le mouvement de l'étrier par rapport au bâti 0. En déduire et tracer (sur **DR 5**) la trajectoire du point A appartenant à l'étrier 1 par rapport au bâti 0 : T(A ∈ 1/0).

Question 4.2 - Indiquer quel est le mouvement de la fourchette 3 par rapport au bâti 0. En déduire et tracer la trajectoire du point B appartenant à la fourchette 3 par rapport au bâti 0 : T(B∈ 3/0).

Question 4.3 - Indiquer quel est le mouvement de la manivelle 9 par rapport au bâti 0. En déduire et tracer (**DR 5**) la trajectoire du point E appartenant à la manivelle par rapport au bâti 0 : T(E ∈ 9/0).

Question 4.4 - Tracer (sur **DR 5**) l'axe de la manivelle 9 et celui du guide ressort 5 en fin de la phase d'approche (points D, E' et F alignés) et indiquer alors la position E' du point E.

Question 4.5 - Déterminer la position B' du point B de la fourchette 3 en fin de la phase d'approche.

Remarque : l'angle $\widehat{BDE}$ entre l'axe DB de la fourchette 3 et l'axe ED de la manivelle interne est constant.

Question 4.6 - Déterminer (sur **DR 5**) la position A' du point A de la biellette 2 en fin de la phase d'approche. En déduire alors, par mesure, la course de l'étrier 1 dans cette phase (tenir compte de l'échelle du dessin 1:3).

Détermination de la durée de la fermeture :

Question 4.7 - Calculer la durée de la phase d'approche en tenant compte de la vitesse de l'étrier 1/bâti 0 (voir données).

Question 4.8 - Calculer la durée totale de déplacement de la broche en admettant que la phase rapide se passe en 0,04 s. Conclure sur le respect du cahier des charges à ce propos.

Étude de l'ouverture

Le mouvement d'ouverture se décompose, de façon simplifiée, en 2 phases :

- la phase d'armement du ressort 6, la fourchette 3 pousse le guide ressort 5 et la manivelle 9 jusqu'au point de basculement (en alignement), la broche rentre à petite vitesse,
- la phase rapide, le ressort 6 se détend pour verrouiller la broche contre la butée arrière à grande vitesse.

Le document réponse **DR 6** montre le mécanisme de fermeture en position initiale de la phase d'armement à l'ouverture. On a alors :

- la broche en contact avec la butée avant,
- la fourchette 3 en contact sur l'axe-guide 4 au point C.

Hypothèses :

- On néglige tous les frottements dans les liaisons y compris entre la broche et le collecteur.
- La fin de la phase d'armement est alors atteinte lorsque l'axe de la manivelle extérieure est aligné avec celui du guide ressort 5 (points D, E et F alignés).

Données :

- L'étrier 1 est animé d'un mouvement de translation rectiligne vertical vers le bas par rapport au bâti 0 (fixe). Sa vitesse est de 7,5 mm/s (supposée constante).
- **La course de l'étrier 1 de la commande, donnée par le constructeur, est de 138 mm.**

Détermination de la course totale de l'étrier 1 :

Question 4.9 - Tracer (sur **DR 6**) la trajectoire du pt A appartenant à l'étrier 1 par rapport au bâti 0 : T(A ∈ 1/0).

Question 4.10 - Déterminer la position B'' du point B lorsque l'axe de la manivelle externe et celui du guide ressort 5 sont alignés en fin de la phase d'armement du ressort 6.

Remarque *: l'angle $\widehat{BDE}$ entre l'axe DB de la fourchette 3 et l'axe ED de la manivelle interne est constant.*

Question 4.11 - Déterminer la position A'' du point A de la biellette 2 en fin de la phase d'armement. Reporter le point A' trouvé à la **question 4.6** en utilisant le bas du boîtier comme référence. En déduire alors, par mesure de la distance A'-A'', la course totale de l'étrier 1 (tenir compte de l'échelle du dessin 1:3).
La valeur trouvée est-elle compatible avec la course de la commande donnée par le constructeur ?

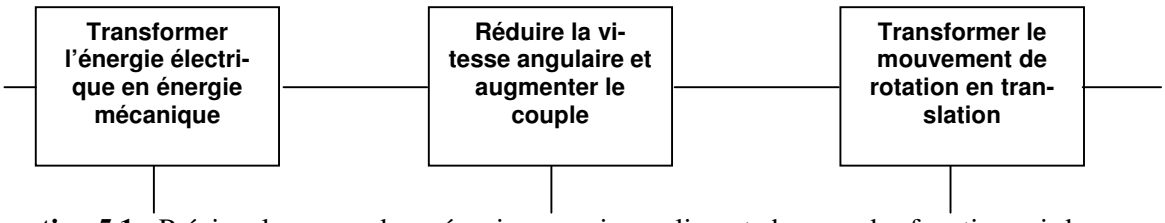
Partie 5 : détermination des caractéristiques à développer par la commande au niveau de la biellette pour armer le ressort

Quels que soient les résultats trouvés dans les questions précédentes, on prendra les valeurs relatives à la puissance nécessaire au niveau de la biellette pour armer le ressort :

- Effort de poussée : **F = 2000 N**
- Vitesse de déplacement : **V = 7,5 mm/s**

Les autres caractéristiques se trouvent dans la description de la commande (document **DT 8**) (les pertes de puissance dans les liaisons autres que celle signalées sur le **DT 8** : pivot, glissière seront négligées).

Cette transmission de puissance peut se résumer au schéma bloc ci-dessous :



Question 5.1 - Préciser les noms des mécanismes qui remplissent chacune des fonctions ci-dessus.

Question 5.2 - Calculer le rapport de réduction du réducteur.

Question 5.3 - Calculer le rendement du réducteur.

Question 5.4 - Calculer le rendement global de la transmission de la biellette jusqu'au moteur.

Question 5.5 - Calculer la puissance nécessaire au niveau du moteur.

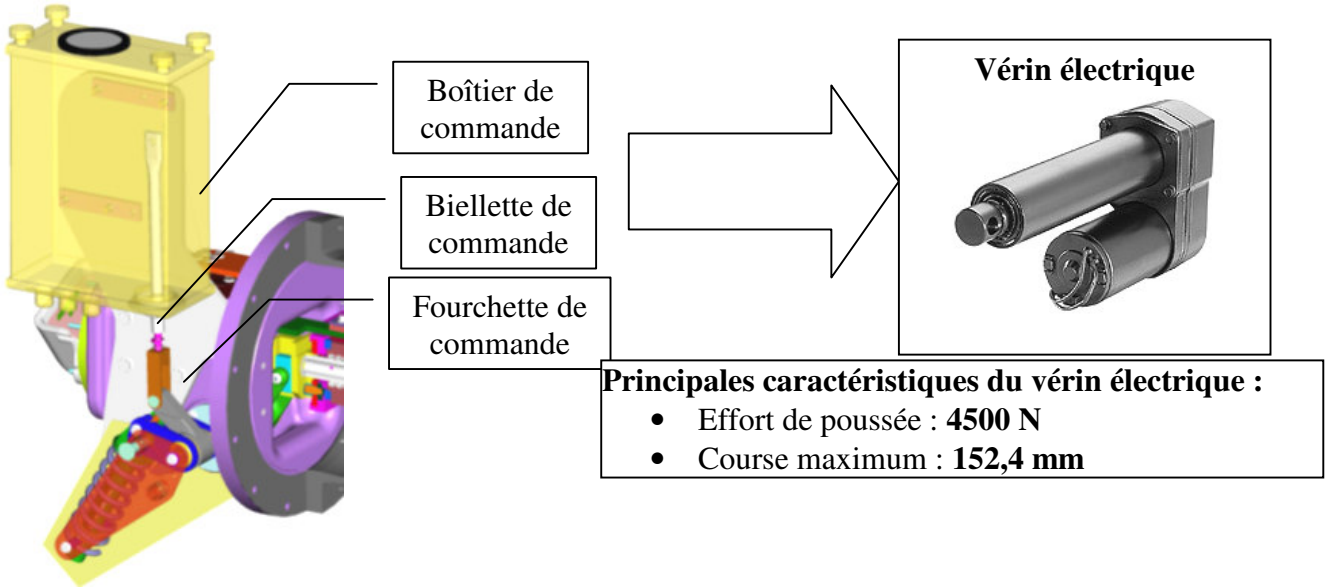
Question 5.6 - Préciser si le moteur est bien choisi.

Partie 6 : reconception : liaison à prévoir entre le nouvel actionneur type « vérin électrique » et la fourchette de commande.

Rappels : vérin électrique, ensemble compact comprenant un moteur électrique, un réducteur et un système vis écrou permettant donc de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de translation.

Pour réduire les risques de disfonctionnements de la commande étudiée au **D,** pour faciliter la maintenance et réduire les coûts**,** l'entreprise envisage d'équiper ses futures MALT rapide à l'aide d'un vérin électrique du commerce dont les caractéristiques se trouvent ci-dessous.

Ce vérin en liaison pivot avec le bâti et avec la fourchette de commande remplacera donc le boiter de commande ainsi que la biellette de commande.



Validation du choix du vérin électrique

Bien que la cinématique du mécanisme d'armement du ressort soit un peu changée, l'ordre de grandeur de la course trouvée à l'étude cinématique reste valable.

Prendre pour la suite de l'étude la valeur de 110 mm quel que soit le résultat trouvé dans les questions précédentes. De même prendre la poussée minimum nécessaire de la commande : 2000 N.

Question 6.1 - Préciser si la course du vérin présélectionné est suffisante.

Question 6.2 - Préciser si la poussée que fournit ce vérin est suffisante par rapport aux résultats de l'étude statique.

Conception de la liaison vérin / fourchette de commande

Cette liaison va en fait être réalisée par une pièce adaptation qui devra reprendre en partie les formes de la biellette de commande pour se lier avec la fourchette de commande et posséder des formes nouvelles pour se lier complètement à la tige de vérin.

C'est cette dernière liaison encastrement qu'il faut concevoir sur le document réponse **DR 7**.

- La liaison devra être démontable,
- Conserver au maximum les pièces déjà existantes du mécanisme de mise à la terre.

Question 6.3 - Réaliser la liaison encastrement tige de vérin / pièce de liaison sur le document réponse **DR 7** en coupe BB et en vue éclatée en perspective en :

- terminant les formes de la pièce de liaison,
- réalisant la liaison complète démontable pièce de liaison / tige de vérin.