Travaux Pratiques – DYNAMIQUE DU SOLIDE
Portail automatique

Objectifs du TP

L'activité principale de ce TP consiste à identifier l'influence de la géométrie et de la masse d'un vantail, ainsi que celle des efforts résistants sur la durée de ses manœuvres d'ouverture et de fermeture.

1 – Présentation et problématique

L'équipement d'automatisation de l'ouverture de portail ne comporte aucun capteur de fin de course des vantaux. En fin de mouvement d'ouverture ou de fermeture, les ordres de coupure de l'alimentation des moteurs qui assurent l'entraînement des vantaux sont générés à partir d'opérateurs à retard (temporisateurs) dont les délais de déclenchement sont réglables.

Il est par conséquent légitime de se poser les questions suivantes :

- Un effort résistant à la manœuvre du vantail (vent soutenu, présence de neige fraîche) modifie-t-il de manière sensible la durée de cette manœuvre ?
- Un changement de vantail (masse, forme) se traduisant par une variation sensible de son inertie induit-t-elle une modification de la durée d'ouverture / de fermeture ?
- Peut-on envisager un réglage initial qui tienne compte des variations du contexte d'utilisation ?

Les études à conduire permettent de :

- Comparer les durées de manœuvre de vantaux présentant de fortes différences d'inerties.
- Mesurer l'impact d'un fort vent de face sur la durée d'une manœuvre d'ouverture.
- Définir les grandeurs caractéristiques de la « charge mécanique » du moteur.
- Juger de la pertinence de la solution adoptée.

La chaîne de puissance de l'ouvre-portail comporte outre le moteur et le vantail, un limiteur de couple, une transformation de mouvement et un réducteur. Le réducteur est composé de 4 trains épicycloïdaux, de rapport 1/6 chacun, montés en série.

On se placera dans la configuration pour laquelle le rapport de réduction de la transformation de mouvement vaut 1 entre la sortie du réducteur et le vantail, c'est-à-dire b = 15 cm et d = 37,5 cm (voir schéma dans le **DOSSIER TECHNIQUE**).

2 – Modélisation du vantail

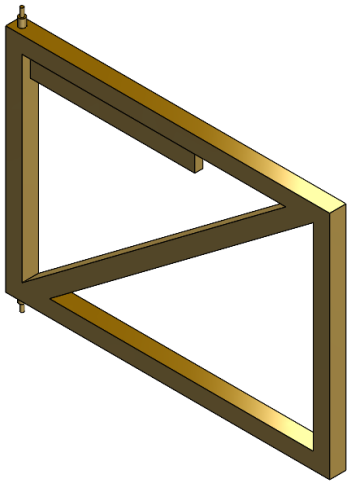
Afin de dimensionner (ou valider) la motorisation du système, il est nécessaire de connaître la répartition des masses en mouvement. On propose donc ici de déterminer les caractéristiques de l'opérateur d'inertie du vantail.

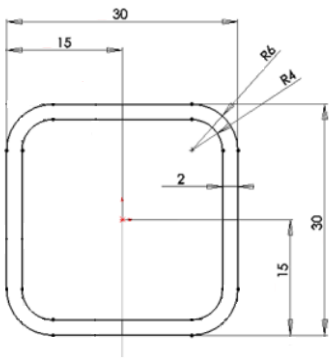
Ouvrir la maquette SolidWorks « Vantail » dans le dossier « PORTAIL VANTAIL SEUL » (penser à dé-zipper le dossier CAO avant de l'utiliser : « clic droit » sur le dossier zippé puis « Extraire le dossier »).

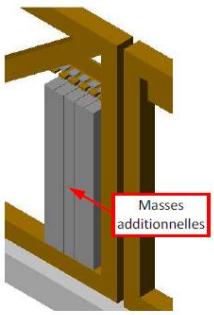
Vérifier que les dimensions de l'esquisse sont conformes aux dimensions réelles du vantail. Par un croquis du bras dessiné à main levée, indiquer les dimensions des principaux volumes ainsi que leur position relative.

On propose une modélisation du vantail selon une décomposition en solides élémentaires :

- 5 parallélépipèdes rectangles creux de section carrée
- 4 masses additionnelles parallélipédiques (facultatives)







En utilisant la modélisation simplifiée précédente, calculer le moment d'inertie du vantail autour de l'axe de rotation.

Évaluer grossièrement l'inertie I_{zz} du vantail par rapport à son axe. Les dimensions utiles seront relevées sur le système réel ou dans le **DOSSIER TECHNIQUE**.

Relever la masse, la position du centre de gravité, ainsi que les coefficients de la matrice d'inertie du vantail (acier de densité 7,9 kg/dm^3), avec et sans masses additionnelles, issus du calcul effectué par SolidWorks.

Démarche pour obtenir les propriétés de masse d'une pièce (ou d'un assemblage)

- Dans l'arbre de construction de SolidWorks, sélectionner la pièce (ou l'assemblage) à considérer
- En cliquant dans l'onglet « ***Evaluer*** » puis « ***Propriétés de masse*** » les propriétés massiques sont affichées (masse, volume, centre de gravité, matrice d'inertie, etc…).

Remarque : Il est possible dans les *Options* de la fenêtre « **Propriétés de masse** » de modifier les unités de longueur et de masse ainsi que le nombre de décimales mais cela peut provoquer des gros arrondis pour les valeurs affichées. Il est donc conseillé de laisser les unités par défaut.

Une attention particulière sera apportée à la base dans laquelle est exprimée la matrice d'inertie.

Justifier rigoureusement la forme de la matrice d'inertie.

Quel(s) coefficient(s) de la matrice d'inertie interviendra(ont) pour dimensionner le moteur ?

Proposer et mettre en œuvre si possible une démarche permettant de déterminer expérimentalement le moment d'inertie du vantail par rapport à son axe de rotation, ou proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de maximiser cette valeur en déterminant expérimentalement l'inertie du système rapportée à l'axe moteur.

L'objectif pour le groupe est de comparer pour les inerties du vantail (avec et sans masses additionnelles), les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques et par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.

3 – Détermination expérimentale du couple de frottement au niveau de l'axe de rotation du vantail

Réaliser deux essais, l'un à vide et l'autre chargé des masses additionnelles (10 kg chacune). Relever l'allure et les principales valeurs des courbes du couple moteur ainsi que celles de vitesse.

Quelle hypothèse raisonnable peut-on faire sur la nature du mouvement ?

Sur le système pédagogique, un frein réglable par rotation d'un écrou à encoches, est interposé entre le vantail et la structure fixe. Il permet de reproduire une résistance à la rotation représentative de celle générée par le vent ou une accumulation de neige fraîche.

Réaliser un essai en serrant légèrement le frein du vantail (au niveau de la liaison pivot supérieure).

Relever l'allure des courbes ainsi que les principales valeurs des courbes du couple moteur ainsi que celles de vitesse. Commenter les résultats par rapport aux premières manipulations sans freinage.

Expliquer comment le frein peut être utilisé pour restituer des conditions de résistance dues au vent. Quelle approximation est-elle faite ?

A quoi correspond la valeur de couple que l'on observe en régime « permanent » dans la phase d'ouverture ? Est-il possible de déterminer analytiquement cette valeur ? Expliquer comment.

4 – Etude analytique et expérimentale du couple moteur et du couple de frottement

Le schéma du paramétrage du portail utile pour cette étude théorique est disponible dans le **DOSSIER TECHNIQUE (Paramétrage du système).**

Déterminer l'équation du mouvement : on considèrera que le couple moteur est celui fourni à la biellette 2 en sortie de réducteur (Bras moteur 2).

Remarque : Certaines hypothèses sur les actions extérieures devront certainement être faites.

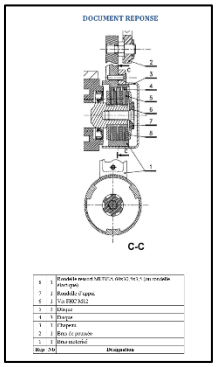
Compte tenu de ce qui a été supposé par l'équipe **EXPERIMENTATEUR** (hypothèse raisonnable sur la nature du mouvement), préciser les différentes phases du mouvement ainsi que l'allure de la courbe de couple moteur que l'on devrait normalement obtenir.

A partir de la valeur de l'inertie du ventail autour de son axe (calculée précédemment), de celles des masses additionnelles et de l'ensemble motoréducteur ($\approx 10^{-4}$ kg.m^2), déterminer l'inertie rapportée à l'axe de sortie du réducteur.

A partir des essais réalisés dans la partie précédente, est-il possible de déterminer cette inertie ? Si oui, expliquer comment et proposer une valeur.

Proposer une démarche pour déterminer le couple réellement fourni par le moteur.

Sur le mécanisme réel, faire pivoter chaque vantail et observer l'ensemble des pièces tournantes. Localiser les surfaces de glissement au niveau des disques de friction. Les représenter sur un schéma ainsi que sur le **DOCUMENT REPONSE**.

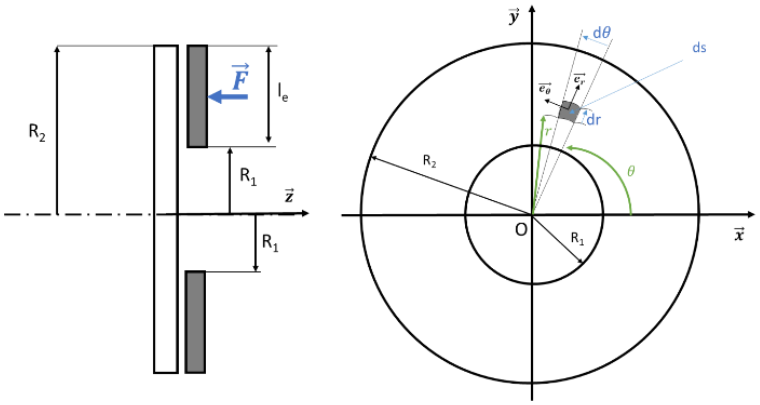


En utilisant la documentation technique sur le limiteur de couple (**DOSSIER TECHNIQUE**), déterminer la valeur à régler dans le limiteur de couple si on souhaite que l'effort de poussée en bout de vantail n'excède pas 15 daN (effort de pincement d'un point de vue sécurité).

Remarque : Lorsqu'on exerce un effort de compression F sur le système de freinage, la compression des disques de friction fait naître un couple résistant C_v dû au coefficient de frottement sec f.

Le calcul du couple résistant C_v s'opposant à la rotation du vantail en fonction de F, R_2, R_1, f, n (n : nombre de surfaces frottantes, R_2 : rayon extérieur et R_1 : rayon intérieur de la couronne de contact), est donné par la formule :

$$C_v = \frac{2.n.f.(R_2^3 - R_1^3)}{3.(R_2^2 - R_1^2)}.F$$

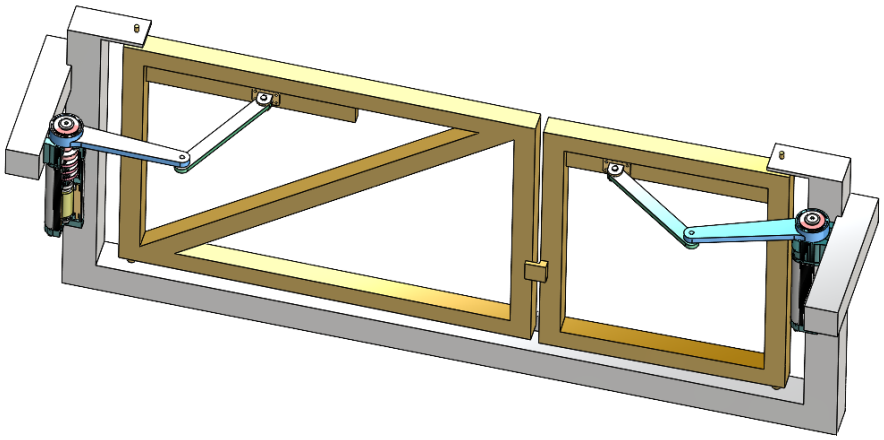


Expliquer et mettre en place un protocole pour déterminer l'effort de compression au niveau du limiteur de couple.

Remarque : Pour cela, on pourra mesurer l'écrasement de la rondelle Belleville (données fournies dans le **DOSSIER TECHNIQUE**). Pour connaitre sont écrasement, il est possible de déterminer le déplacement de la vis lors du serrage. Il est également possible d'utiliser le montage de remplacement constitué du ressort et de la vis de serrage dont les caractéristiques sont notées sur les pièces.

5 – Détermination par simulation numérique du couple moteur et du couple de frottement

Ouvrir la maquette SolidWorks « PORTAIL_DYNAMIQUE » dans le dossier « PORTAIL CAO DYNAMIQUE » (penser à dé-zipper le dossier CAO avant de l'utiliser : « clic droit » sur le dossier zippé puis « Extraire le dossier »).



Proposer une loi d'entrée en trapèze de vitesse dont la phase d'accélération est compatible avec les essais réalisés par l'équipe **EXPERIMENTATEUR** (voir « COMPLEMENTS SIMULATION SOLIDWORKS/MECA3D » à la fin du **DOSSIER RESSOURCES**). Mettre cette loi en entrée du mouvement dans la simulation.

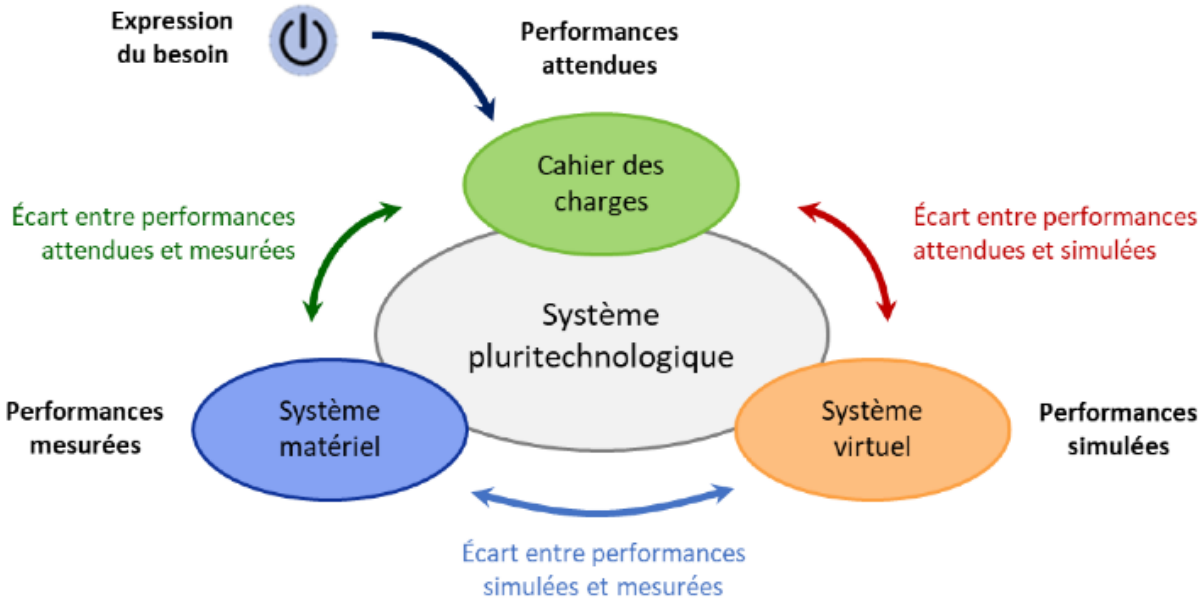
Déterminer le couple moteur durant la phase d'ouverture. Commenter l'allure obtenue.

Ajouter, sur le pivot du vantail, un couple de frottement (calculé précédemment) et déterminer les nouveaux couples moteurs. Commenter et analyser les résultats obtenus.

Remarque : Ce couple pourra correspondre au frottement dans les liaisons ou au frein qui simule l'action du vent sur le vantail.

Déterminer le couple moteur durant la phase d'ouverture avec des masses additionnelles ajoutées au vantail (voir « COMPLEMENTS SIMULATION SOLIDWORKS/MECA3D » à la fin du **DOSSIER RESSOURCES**). Commenter et analyser les résultats obtenus.

Remarque : Les masses additionnelles pourront être créées en 3D avec SolidWorks puis ajoutées à l'assemblage global.

3 – Validation

L'objectif pour le groupe est de comparer pour le couple du moteur et le couple de frottement, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques et par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.