

TP	TP CT-0	TS11 (Période 1)
	Représentation fonctionnelle et structurelle	3h
	Cycle 1 : Communication technique	4 semaines



Moyens : Solidworks + Matlab
Prérequis : Aucun
Groupes : Individuel
Durée : 3h

Problème technique :

Déterminer le matériau le plus adapté pour la barrière dans le cadre d'un développement durable.
 Évaluer l'impact de la masse de la barrière sur la consommation électrique.

Analyser	Modéliser	Résoudre	Expérimenter	Concevoir	Réaliser	Communiquer
Définir les domaines d'application et les critères technico-économiques et environnementaux. Évaluer l'impact environnemental et sociétal. Identifier l'architecture structurelle d'un système. Identifier la nature des flux échangés entre les différents constituants.						

Analyser	Modéliser		Expérimenter	Concevoir	Réaliser	Communiquer
Paramétrer un modèle dans un logiciel de simulation par éléments finis.						

Analyser	Modéliser	Résoudre	Expérimenter	Concevoir	Réaliser	Communiquer
Mener une simulation numérique						

Analyser	Modéliser	Résoudre	Expérimenter	Concevoir	Réaliser	Communiquer
Écoconcevoir une pièce en optimisant le triptyque produit-procédés-matériaux.						

1 Présentation de la barrière Sympact

La barrière Sympact est une barrière automatisée utilisée pour le contrôle automatisé des accès aux véhicules. On peut rencontrer la barrière dans différentes situations : parking ou péage.

Composants de la barrière:

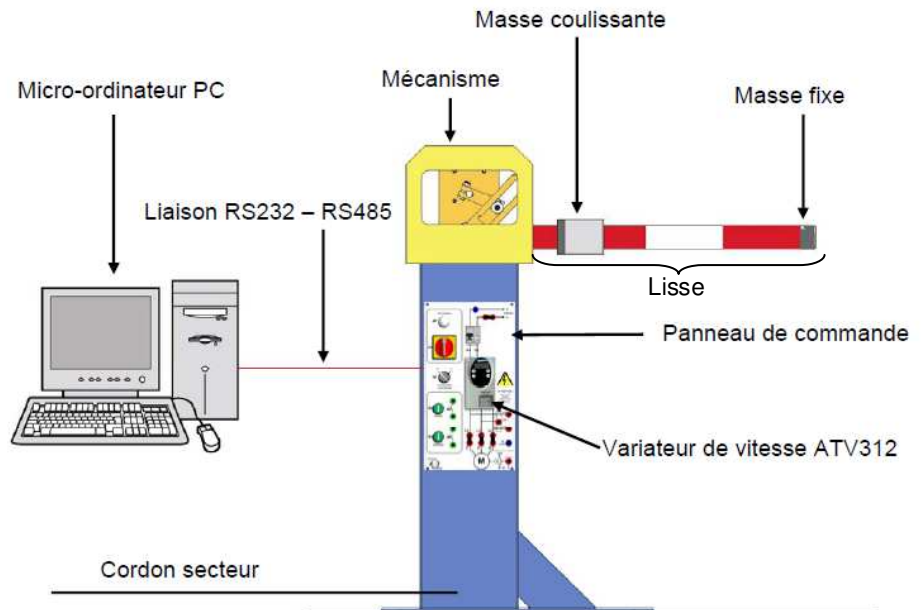
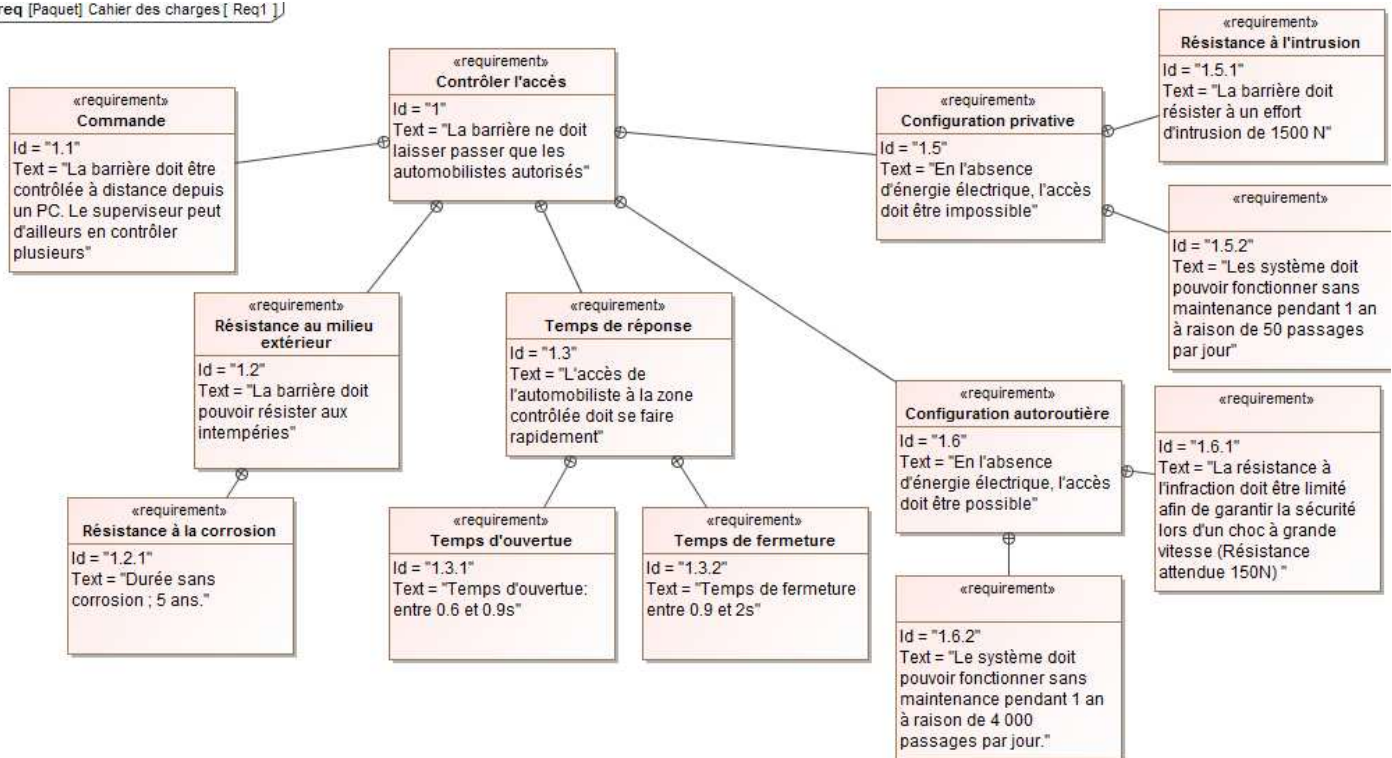


Figure 1 : Nom des principaux éléments de la barrière

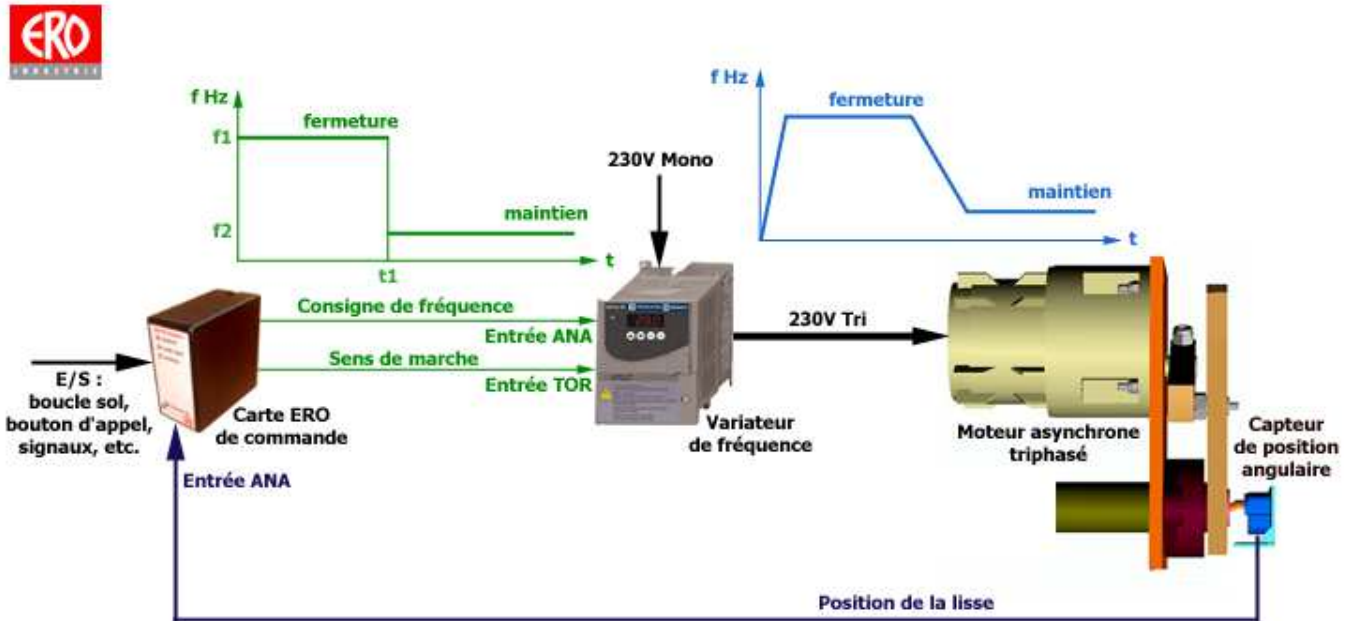
Données techniques de la barrière

Les exigences techniques utiles à notre étude sont regroupées dans le diagramme d'exigence suivant :

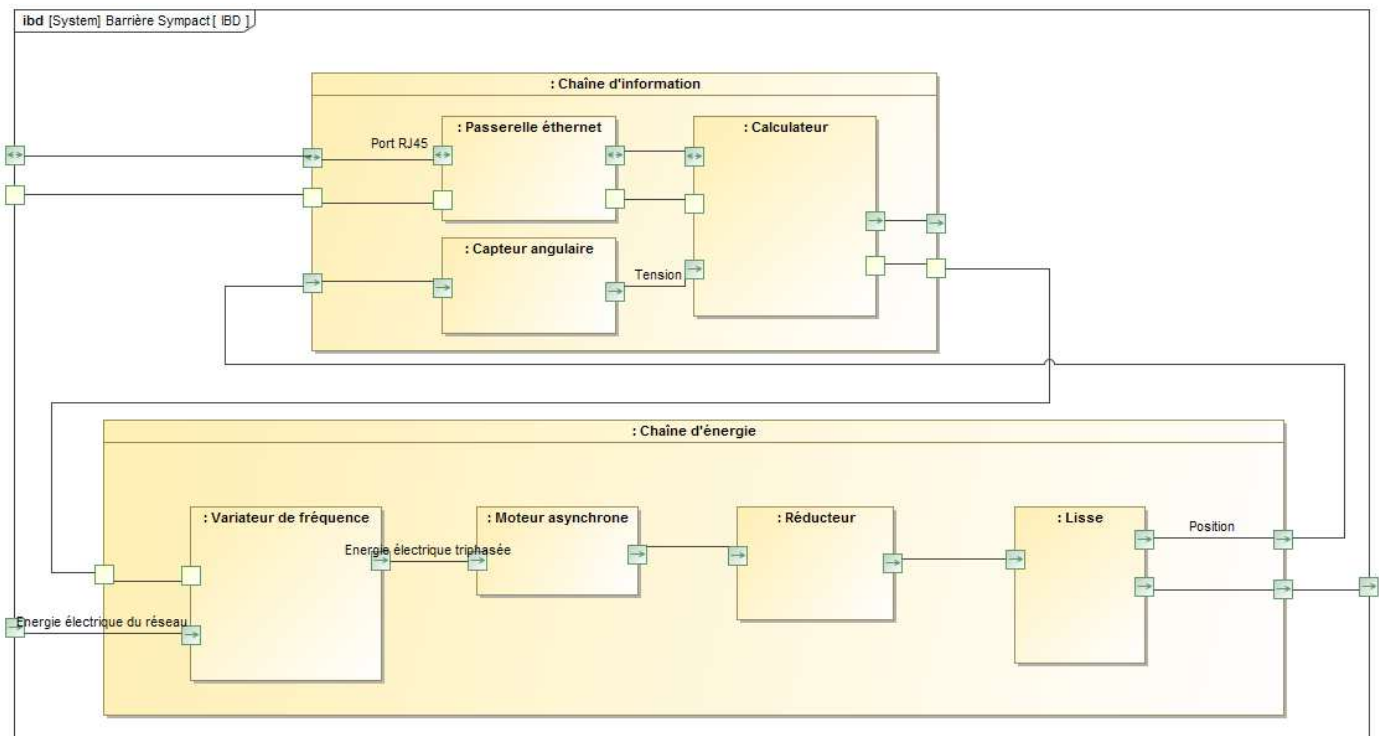
req [Paquet] Cahier des charges [Req1]



La chaîne de puissance est la suivante :



Synoptique partie commande barrière SYMPACT version autoroutière pour voies à télépéage



On s'intéresse dans ce TP au choix du matériau de la lisse afin de limiter l'impact sur l'environnement. La lisse disponible dans le laboratoire mesure 0,9 m afin de limiter l'encombrement. Une masse coulissante et une masse fixe (voir Figure 1) permettent de représenter le poids réel de la lisse lorsqu'elle mesure entre 2,5m et 3m dans la réalité.

A l'heure actuelle la lisse est constituée d'un tube en acier de diamètre extérieur **D = 60mm** et de diamètre intérieur **d = 55mm**. La lisse étant soumise à des mouvements fréquents et rapides de "montées/descentes", il convient de faire en sorte de minimiser sa masse afin de limiter la consommation d'énergie utile à son fonctionnement.

2 Impact de la masse de la lisse sur la consommation électrique

Afin d'évaluer la consommation de la masse de la lisse, nous proposons d'établir le modèle multiphysique de la barrière.



Hypothèses de la modélisation :


- La cinématique complexe de la transmission est réduite à un réducteur
- La motorisation est un moteur à courant continu,

Pour établir ce modèle nous allons utiliser Simulink qui est un module de modélisation graphique intégré au logiciel de calcul numérique Matlab.

Les composants utiles à la modélisation seront extraits de la bibliothèque Simscape.



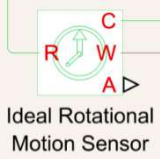

Lancement du logiciel



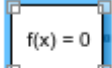

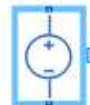
- 1) Lancer le logiciel **Matlab**  puis son interface graphique **Simulink**  et sélectionner **Blank Model**.

Dans la fenêtre **Simulink**, afficher l'explorateur de bibliothèques .

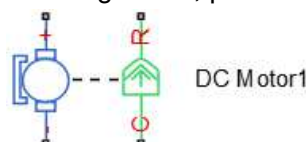
Création du modèle multi physique

Les composants utiles à la modélisation sont essentiellement regroupés dans la bibliothèque **Simscape / Foundation Library** :

	Composant	Symbole
Mechanical	Réducteur de vitesse	 Gear Box1
	Inertie en rotation	 Inertia
	Capteur angulaire - sortie "position" : A - sortie "vitesse" : W	 Ideal Rotational Motion Sensor
	Référence fixe en rotation	 Mechanical Rotational Reference2

	Composant	Symbole
Utilities	Interface du numérique S vers le domaine physique PS : S->PS	 Simulink-PS Converter
	Interface du domaine physique PS vers le physique S : PS->S	 PS-Simulink Converter
	Paramétrage du solveur pour la résolution numérique des équations du domaine physique	 f(x) = 0 Solver Configuration
Electrical Sources	Référence de tension électrique	 Electrical Ref
	Source de tension continue	 DC Voltage Source1

Le moteur est compliqué à trouver dans l'arborescence de **Simscape**, il est préférable de saisir son nom directement dans la zone graphique, un seul clic gauche, puis en écrivant le début du nom **DC motor**

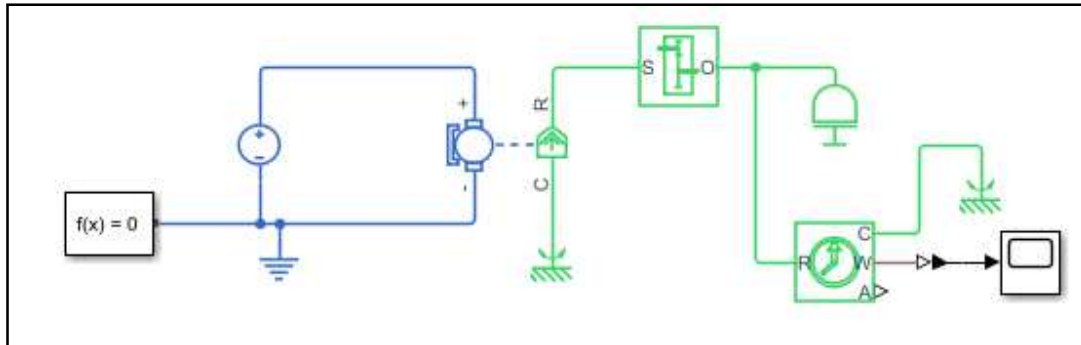


Le scope (qui affiche l'évolution temporelle d'une grandeur) se trouve dans la bibliothèque

"**Simulink / Commonly used blocks**" ou en saisissant son nom dans la zone graphique :




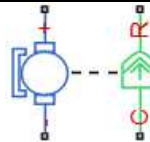


- 2) Faire glisser les différents composants de l'explorateur de bibliothèques vers la fenêtre **Simulink** afin d'obtenir le schéma multiphysique suivant (la partie électrique est en bleu, la partie mécanique est en vert). **Pour relier les blocs entre eux**, on clique sur le petit carré de connexion du bloc et en maintenant cliqué, on fait glisser la souris jusqu'à l'endroit de la connexion (en général un autre bloc) où l'on relâche la souris.




Les blocs noirs sont des éléments causaux (la liaison à gauche est une entrée et la liaison à droite est une sortie dont l'évolution ne dépend que de l'entrée). Les blocs noirs échangent des valeurs numériques qui dépendent du temps.

Tous les autres éléments sont acausaux. Ces blocs échangent de la puissance (obtenue par le produit de 2 grandeurs physiques : effort*vitesse pour les éléments verts (mécanique) et tension*courant pour les éléments bleus (électricité)). Le sens de circulation des flux de puissance dépend de l'ensemble du schéma.

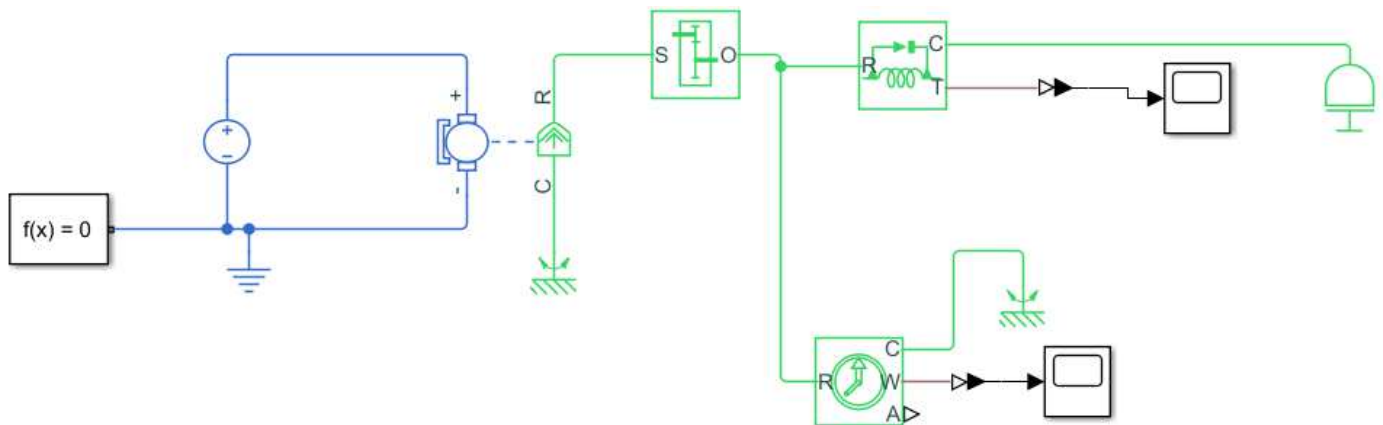
- 3) Il reste à paramétrer les blocs pour correspondre aux caractéristiques de la barrière. Il faut pour cela double-cliquer sur les blocs et renseigner les paramètres correspondants (voir le tableau suivant).

Composant	Paramètres
 DC Voltage Source1	24V
 DC Motor1	Résistance $0,5\Omega$ Inductance $0,03H$ Constante de vitesse (back-emf) $0,054 Vs$ Inertie du rotor $1,29e-4 kg.m^2$
 Gear Box1	Rapport de réduction : 120
 Inertia	Inertie de la lisse : $0,6 kg.m^2$

- 4) Lancer la simulation sur 1s et déterminer la vitesse de rotation (en rad/s) atteinte par la lisse. Pour cela, une fois le calcul terminé, il faut double cliquer sur le scope pour visualiser l'évolution de la vitesse. On peut afficher les valeurs en cliquant sur l'icône curseur .

Remarque la vitesse mesurée est une grandeur flux puisqu'elle quantifie le déplacement de la matière.

- 5) On peut mesurer la valeur du couple moteur (en N.m) qui est une grandeur effort. Pour la mesurer, il faut supprimer la liaison afin d'insérer le capteur d'effort (il peut être nécessaire de faire de la place en déplaçant des blocs). Réaliser cette modification afin d'obtenir le résultat suivant :



On constate que les échanges entre blocs mécaniques vert sont caractérisés :

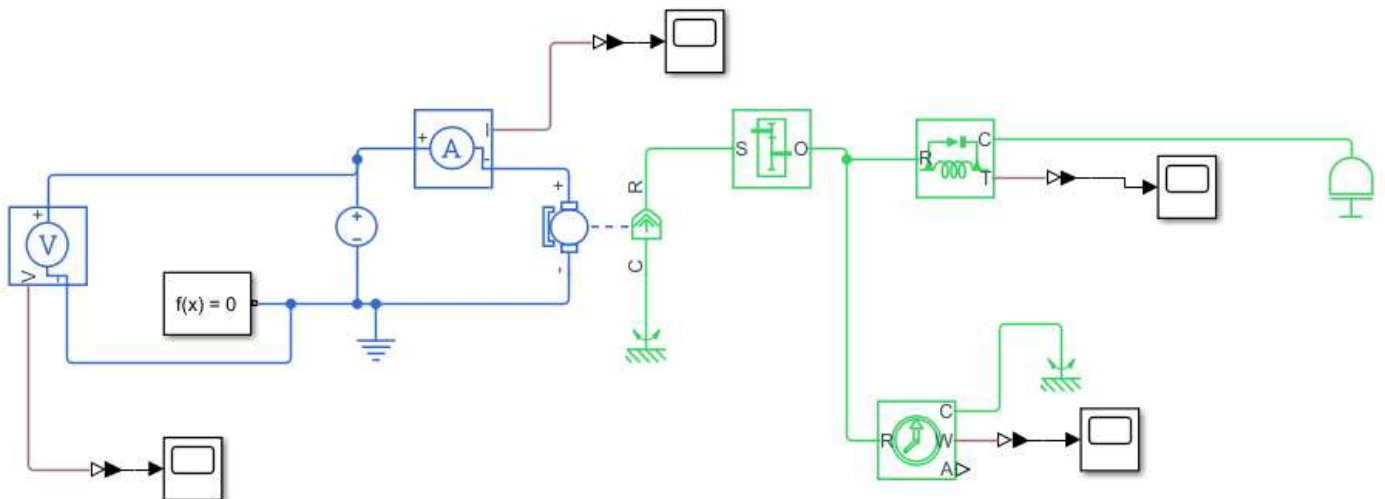
- par la vitesse qui est une grandeur flux
- par le couple moteur qui est une grandeur effort.

Le produit de ces 2 grandeurs donne la puissance transmise entre les blocs au niveau de cette connexion.

De la même façon, on constate que les échanges entre composants électriques (en bleu) sont également une puissance qui est le produit :

- d'une tension qui est une grandeur effort,
- d'un courant électrique qui est une grandeur flux.

- 6) Vérifier cette dernière proposition en mettant en place un ampèremètre (en série : dans le flux) et un voltmètre (en parallèle : mesure de la différence de potentiel entre 2 liaisons). On obtient alors le schéma suivant.



- 7) Vérifier que lorsque l'on multiplie l'inertie de la lisse par 10 le pic de courant au démarrage est multiplié ici par 1,5.

Une solution pour limiter ce pic de courant est de proposer une loi de commande du moteur plus progressive (rampe de tension) mais cela sera au détriment de la rapidité.

Référence : <https://e-grosvalet.developpez.com/tutoriels/simscap/modelisation-multi physique/>

3 Choix des dimensions et du matériau de la lisse

Afin d'étudier l'impact du matériau sur l'environnement et sur le coût de la matière première, on se propose de comparer l'impact entre 2 matériaux différents :

- un plastique résistant de densité modéré : le polyamide (**PA type6**),
- un métal résistant mais dense : de l'**acier allié**,




L'étude va être réalisée par simulation sur le modelleur volumique **Solidworks**.

3.1 Création de la lisse avec le modelleur 3D Solidworks

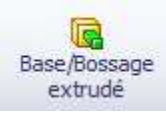

Création du fichier pièce

- Lancer **Solidworks**.
- Nouveau fichier pièce (enregistrer tout de suite votre pièce dans "**Mes documents**" afin de bénéficier de la sauvegarde automatique).

Création de la base du tube (esquisse)

- Choisir l'onglet "**Esquisse**" au niveau de la barre des principales fonctions (voir la présentation de la fenêtre graphique dans le tutoriel en pdf).
- Lire si nécessaire le paragraphe **2.3.1 Esquisse**, puis créer une esquisse  et choisir le plan de face comme plan pour tracer l'esquisse.
- Choisir l'outil **cercle** . Par défaut le premier point cliqué dans la zone graphique est le centre du cercle (à faire coïncider avec l'origine du repère), le deuxième est un point du cercle. Créer ainsi 2 cercles concentriques.
- Imposer les dimensions des 2 cercles en sélectionnant l'outil  puis en cliquant sur un cercle puis à l'endroit où vous souhaitez inscrire le diamètre, les valeurs à entrer sont celles des dimensions intérieure ou extérieure du tube. Coter ainsi les 2 cercles (les dimensions sont définies dans la présentation).

Création du tube (fonction "base extrudé")

- Choisir l'onglet "**Fonctions**" au niveau de la barre des principales fonctions.
- Cliquer sur la fonction , renseigner la longueur de l'extrusion borgne (2500 mm) et valider .

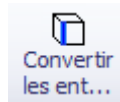
Résultat en perspective isométrique: ↓




Création de la zone d'accroche du tube

Afin de pouvoir fixer une partie seulement du tube lors de la simulation mécanique à venir, il est nécessaire de créer un petit cylindre intérieur au tube.

- Choisir l'onglet "**Esquisse**" au niveau de la barre des principales fonctions (voir la présentation de la fenêtre graphique dans le tutoriel en pdf).
- Choisir le disque extrémité du tube comme plan pour tracer l'esquisse (pour pouvoir sélectionner ce plan il faut zoomer en tournant la molette de la souris) puis cliquer sur l'icône de création d'esquisse




- Cliquer sur la fonction **Convertir les ent...** puis sur le cercle intérieur du tube, cela convertit cette limite de volume en cercle d'esquisse.
- Choisir l'outil cercle . Par défaut le premier point cliqué dans la zone graphique est le centre du cercle (à faire coïncider avec l'origine du repère), le deuxième est un point du cercle. Tracer ainsi un 2^{ème} cercle concentrique au premier obtenu par conversion d'entité.

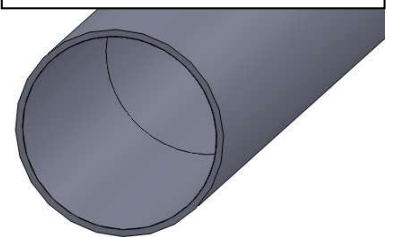


- Imposer les dimensions du 2^{ème} cercle en sélectionnant l'outil **Cotation intelligente** puis en cliquant sur le 2^e cercle à l'endroit où vous souhaitez inscrire le diamètre, la valeur à renseigner est 45 mm.
- Choisir l'onglet "Fonctions" au niveau de la barre des principales fonctions.



- Cliquer sur la fonction **Base/Bossage extrudé** :
 - o renseigner la longueur de l'extrusion borgne (90mm),
 - o inverser la direction de l'extrusion  pour qu'elle se fasse vers l'intérieur de la lisse,
 - o cocher "**Fusionner le résultat**" et valider

Résultat en perspective :



- 8) Cliquer droit sur **Matériau** dans l'arbre de construction, choisir **Editer le matériau** et sélectionner **acier allié** (dans la bibliothèque **Solidworks materials/Acier**), cliquer sur **Appliquer** puis **Fermer**

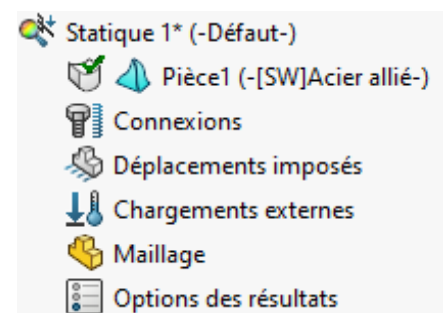
3.2 Dimensionnement de la lisse.


La lisse doit supporter un effort de 1500 N sans dépassement la contrainte admissible par le matériau avant qu'il subisse une déformation permanente.

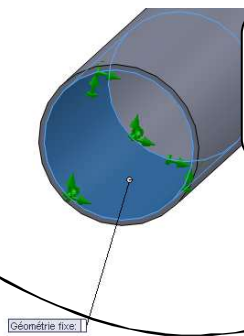
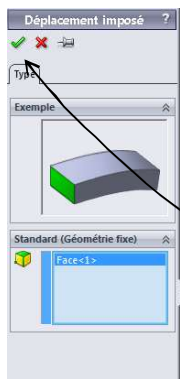
Simulation intégré à **Solidworks** va nous permettre de vérifier si la barrière supporte un tel effort sans dommage.

- 9) Lancement de l'étude pour de l'acier allié :

- cliquer sur l'onglet **Simulation** présent sur la barre d'outil (si **Simulation** est absent cliquer sur l'onglet **Compléments de Solidworks** puis sur **Solidworks Simulation** et patienter quelques secondes pour que l'onglet **Simulation** apparaisse).
- cliquer sur nouvelle étude puis choisir **Statique** et observer l'apparition de l'arbre de construction suivant où le matériau est celui choisi à la question précédente,

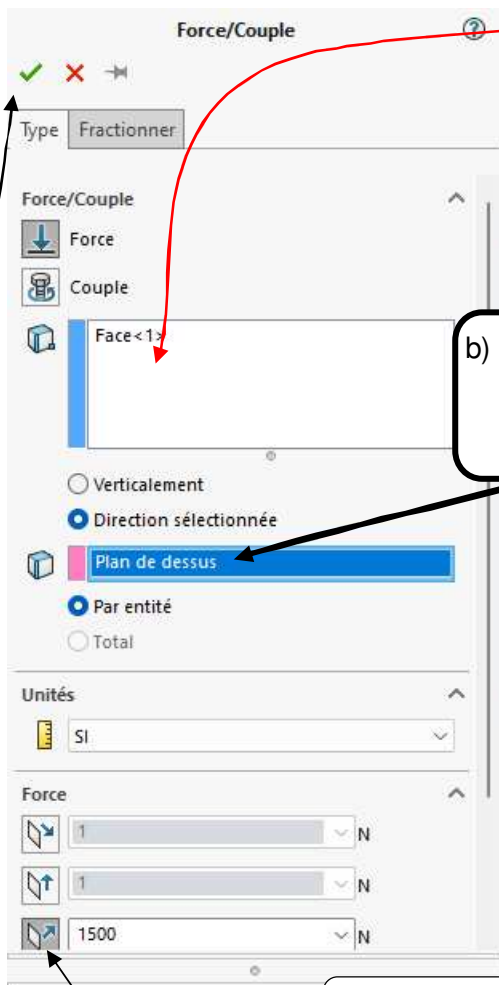


- cliquer droit sur **Déplacement imposés** et choisir  **Géométrie fixe...** puis sélectionner le petit cylindre intérieur pour assurer la mise en position de la lisse :

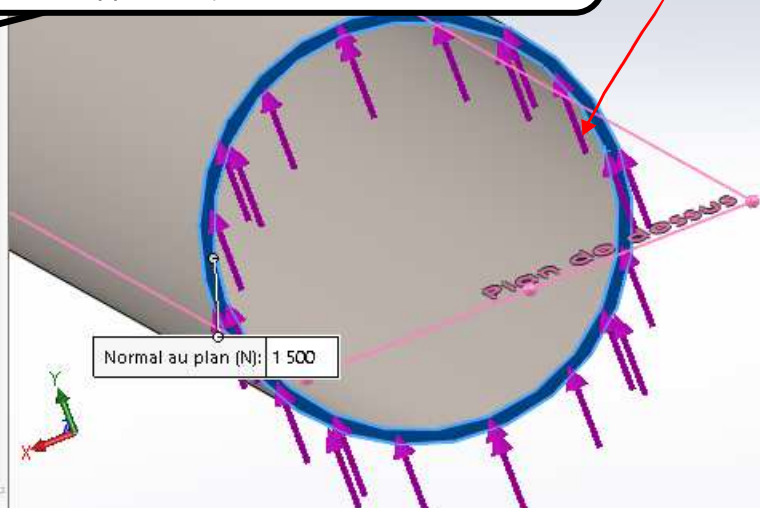


- Cliquer sur le cylindre intérieur du petit tube,
- Valider en cliquant sur la coche verte.

- Cliquer droit sur **Chargements externes** et choisir **Force...**



- Sélectionner la face en bout de lisse (il faut zoomer suffisamment pour pouvoir sélectionner le disque du côté opposé au petit tube dont on a imposé le déplacement).
- Sélectionner la direction de l'effort perpendiculaire au **plan de dessus** (cliquer sur le petit "+" en haut de l'arbre pour le faire apparaître)



- Valider en cliquant sur la coche verte

- Cliquer sur l'icône **Perpendiculaire au plan** et saisir la valeur **1500 N**



- Cliquer sur la fonction **Exécuter cette étude** (de l'onglet **Simulation**) puis valider lorsque le solveur demande de passer en grand déplacement.
- Compléter le tableau suivant en indiquant la valeur maximale de la contrainte dans le matériau qui doit être juste inférieure à la limite élastique de cet acier ($620 \text{ MPa} \equiv 6,2 \cdot 10^8 \text{ N.m}^{-2}$).



- 10)** Dans l'onglet **Evaluer** de la barre d'outils, choisir la fonction **Propriétés de masse** et en déduire la masse de la lisse en acier allié. Reporter cette valeur dans le tableau suivant et en déduire le coût de la matière nécessaire à sa fabrication.

Résultats :

	Acier allié	PA type 6
Contrainte maximale (en $\text{MPa} \equiv 10^6 \text{ N.m}^{-2}$)		
Masse (en kg)		
Ordre de grandeur du coût (en €/kg)	1	3
Coût de la matière (en €)		

- 11)** Afin de compléter le tableau pour le PA type 6 (PolyAmide), il est nécessaire de modifier différents paramètres :

- changer le diamètre extérieur du tube pour qu'il soit aussi résistant que l'acier :
 - cliquer droit sur le 1^{er} volume généré Boss.-Extru.1
 - sélectionner **Editer l'esquisse**
 - double cliquer sur la valeur du diamètre extérieur de 60mm et remplacer cette valeur par 78mm
 - cliquer sur **Reconstruire**
- changer le matériau dans **Solidworks** en cliquant droit sur **Matériau** dans l'arbre de construction et en choisissant le plastique **PA type 6** (dans la bibliothèque **Solidworks materials/Plastique**),
- en déduire la nouvelle masse de la lisse dans ces conditions ainsi que le coût de la matière à reporter dans le tableau précédent,
- dans la simulation statique, modifier le matériau en cliquant droit sur Pièce1 (-[SW]Acier allié-) puis en le remplaçant par le **PA type 6**. Relancer la simulation (qui peut être longue car il y a plus de volume) et vérifier que la contrainte apparente autour des zones les plus fléchies est proche de la limite élastique du **PA type 6** soit une contrainte d'environ ($1 \text{ MPa} \equiv 1 \cdot 10^8 \text{ N.m}^{-2}$)


- 12)** Conclure sur le meilleur choix économique de matériau. Est-ce le choix effectué sur le système réel ? Proposer des justifications qui peuvent expliquer le choix qui a été fait.

4 Etude environnementale des matériaux

L'impact environnemental d'un matériau doit prendre en compte l'ensemble du cycle de vie du produit (depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la destruction ou le recyclage du produit).

Le logiciel intégré à Solidworks (Sustainability) fait intervenir 4 critères :

- **empreinte carbone** exprimée en équivalent kg de CO₂, traduit l'impact du produit sur le réchauffement climatique,
- **quantité d'énergie** nécessaire au produit en mégajoule (MJ),
- **acidification de l'air** exprimé en équivalent kg de dioxyde de soufre, traduit la toxicité de l'air générée par le produit,
- **eutrophisation de l'eau** exprimé en kg équivalent d'azote, traduit l'impact sur la prolifération des algues qui entraînent la baisse de l'oxygénation des eaux, et par suite, la mort de la faune et de la flore.

13) Lancement de l'étude : cliquer sur l'onglet **Evaluer** de la barre d'accès aux fonctions usuelles (éventuellement sur l'icône ) et sélectionner **Sustainability**.

14) Renseigner les différents champs dans du tableau suivant.

Attention il convient de modifier les dimensions du tube en fonction du matériau choisi, pour cela cliquer droit sur la fonction "**Boss.-Extru.1**" de l'arbre de construction et choisir éditer l'esquisse. Modifier la dimension du diamètre extérieur puis valider.


Pour lire les valeurs dans **Sustainability**, placer la souris sur la barre horizontale du critère.

Classe	Acier	Plastique
Nom	Acier allié	PA type 6
Procédé	Extrusion	Moulage par injection
Lieu de fabrication	Europe	Europe
Construit pour durer (année)	5	5
Lieu d'utilisation	Europe	Europe
Empreinte carbone (kg de CO₂)		
Quantité d'énergie (MJ)		
Acidification de l'air (kg de SO₂-)		
Eutrophisation eau (kg de PO₄)		

15) Conclure quant au choix des matériaux dans le cadre d'un développement durable. Ce choix est-il en contradiction avec les critères économiques ?

5 Assemblage de la lisse

16) Afin d'obtenir l'assemblage complet de la lisse, ouvrir le modèle **assemblage Axe Lisse.EASM** (c'est un modèle **eDrawing** : visualisation des volume avec possibilité de mesurer les dimensions

par l'outil  **Mesurer**) et construire cette pièce à l'aide des fonctions volumiques de **Solidworks**.

17) Adapter les formes de votre lisse pour qu'elle puisse être assemblée avec la nouvelle pièce.

18) Réaliser l'assemblage entre ces 2 pièces.