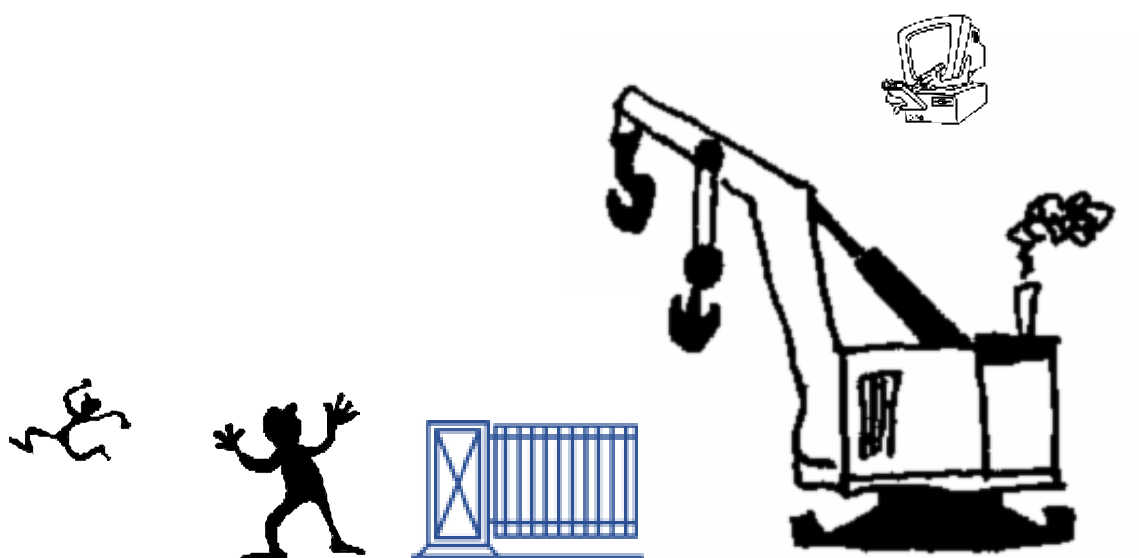


## Dynamique d'un lève-barrière



# Configuration du TP



TP de formation



réalisable en 3 heures



programmable en début d'année de T<sup>ale</sup> S-SI



après avoir acquis les notions caractérisant les liaisons mécaniques entre solides ( voir chapitres B21, C111 et C113 )  
ayant à son actif quelques séances d'utilisation des progiciels "solidworks" et "motionworks"

matériel nécessaire :



- lève-barrière automatisé opérationnel et / ou lève-barrière manuel
- poste informatique équipé des progiciels "solidworks" et "motionworks"
- fichiers "arbre-barrière.sldasm", "arbre-réducteur.sldasm", "base.sldasm", "biellette réglée.sldasm" et les fichiers des sous-assemblages et composants correspondants dont la liste est fournie en annexe

documentation :



- documentation technique du lève-barrière ( pour la mise en œuvre de la version automatique éventuellement )
- documentation solidworks
- documentation motionworks



document de synthèse : page 8

TP traitant des chapitres suivants du référentiel ( de taxinomie niveau 3 ) :



- B21 ( mobilité des mécanismes )
- C111 ( liaisons mécaniques normalisées )
- C113 ( transmission des mouvements, cinématique des mécanismes )
- C114 ( frottement entre solides )
- C121 ( travail et puissance d'une force et d'un couple )
- D2 ( représentation géométrique du réel )



mise en situation :

ce TP propose l'assemblage des différentes classes d'équivalence du lève-barrière, en visant l'isostatisme de la chaîne cinématique ( par construction des liaisons ), il aborde également le point de vue dynamique du comportement ( gravité, frottement ) et ses conséquences sur le dimensionnement des composants de la partie opérative

# Travail demandé

## I – Assemblage du mécanisme lève-barrière

Différentes méthodes permettent de générer le modèle cinématique d'un mécanisme, à savoir ( et la liste n'est pas exhaustive ... ) :

- par interprétation du modèle volumique de l'assemblage ( motionworks traduit les contraintes d'assemblage solidworks en liaisons cinématiques correspondantes ), méthode rapide et efficace si le modèle volumique de l'assemblage est fait "dans les règles de l'art" ( avec précision, en procédant par sous-assemblages – un sous-assemblage est alors interprété par motionworks comme une classe d'équivalence – et avec pour objectif l'isostatisme du mécanisme ... ! )
- par construction des liaisons souhaitées entre sous-assemblages solidworks, "en place" ou "hors place" ( autrement dit, et pour cette dernière option envisagée, en réalisant l'assemblage des différentes classes d'équivalence du mécanisme à partir d'un éclaté, à l'aide de motionworks cette fois-ci, et à partir d'un schéma cinématique de la configuration envisagée – c'est probablement la méthode la plus efficace )

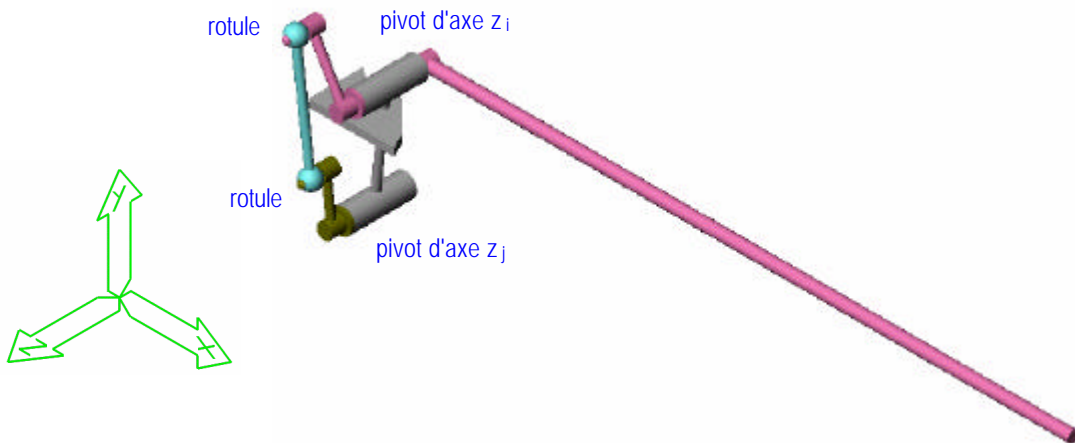
### Manipulation 1 – Assemblage par construction de liaisons

Lancer solidworks et demander la création d'un nouveau document de type "assemblage".

Insérer d'abord le sous-assemblage "base.sldasm", en le "fixant" sur l'origine apparente à l'écran.

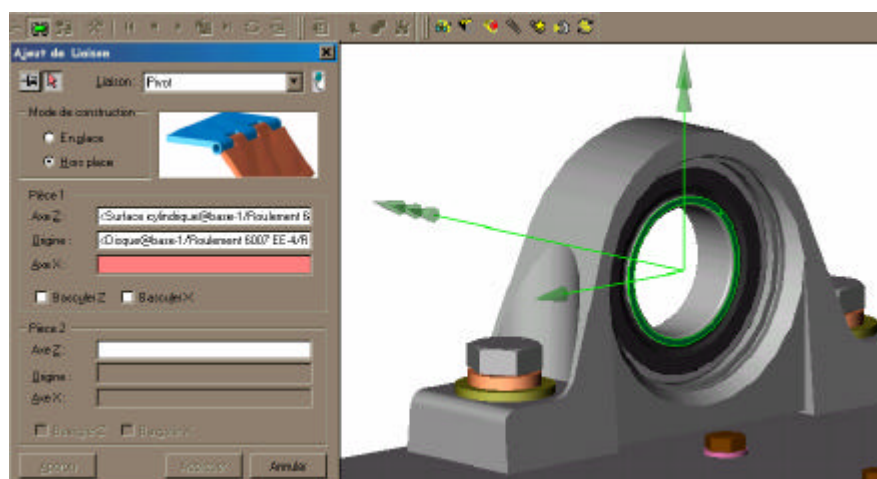
Insérer tour à tour les sous-assemblages "arbre-barrière", "arbre-réducteur" et "bielle réglée" dans une zone quelconque à l'écran ( pour obtenir un éclaté du mécanisme sous forme de 4 classes d'équivalence ).

Le mécanisme peut être modélisé d'un point de vue cinématique de la manière suivante :

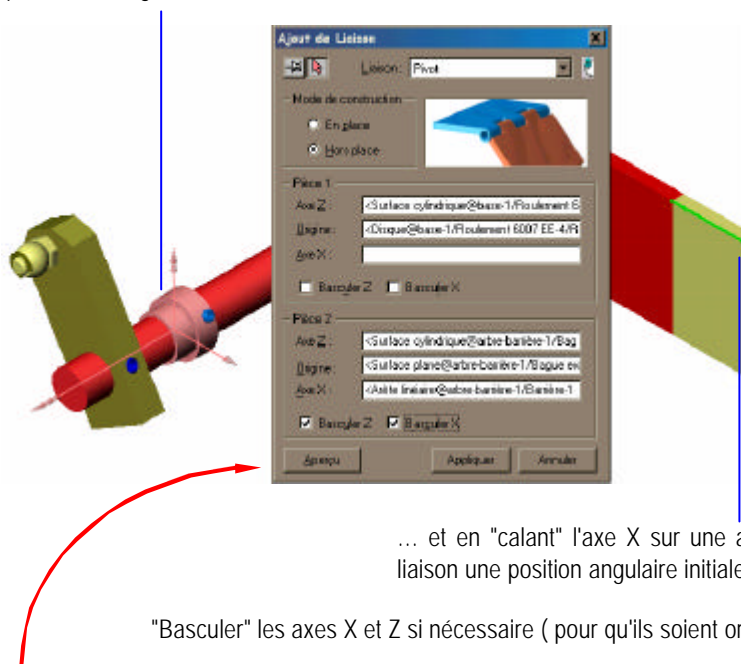


Construire alors la liaison pivot "base – arbre-barrière" en procédant de la manière suivante :

- "ajouter une liaison", "pivot", "hors place"
- définition de l'axe z et de son origine en sélectionnant l'alésage et une face latérale de bague intérieure de roulement comme références de cette liaison sur la base



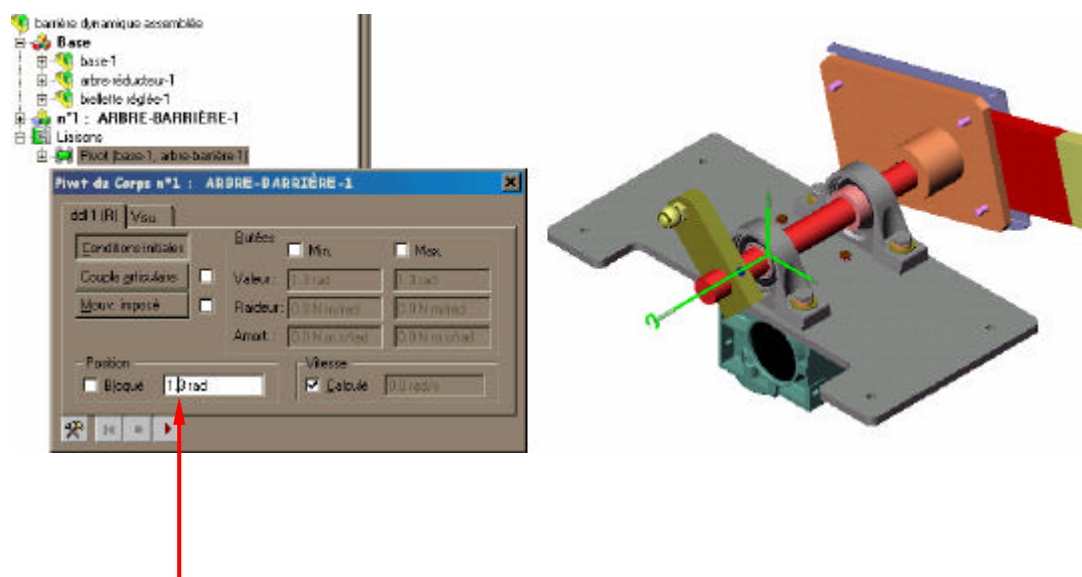
- définition de ces mêmes références sur l'"arbre-barrière" ( considéré comme "pièce 2" de la liaison ) en sélectionnant les surfaces adéquates sur "bague excentrée"



Un "aperçu" permet, avant validation, de se rendre compte de l'assemblage "programmé".

- "appliquer" la liaison si tout se passe bien ...

Il est également conseillé de tester le pilotage de la liaison avant d'assembler les autres classes d'équivalence ( onglet motionworks, ouverture de la boîte de propriétés de la liaison pivot, ... etc ) :



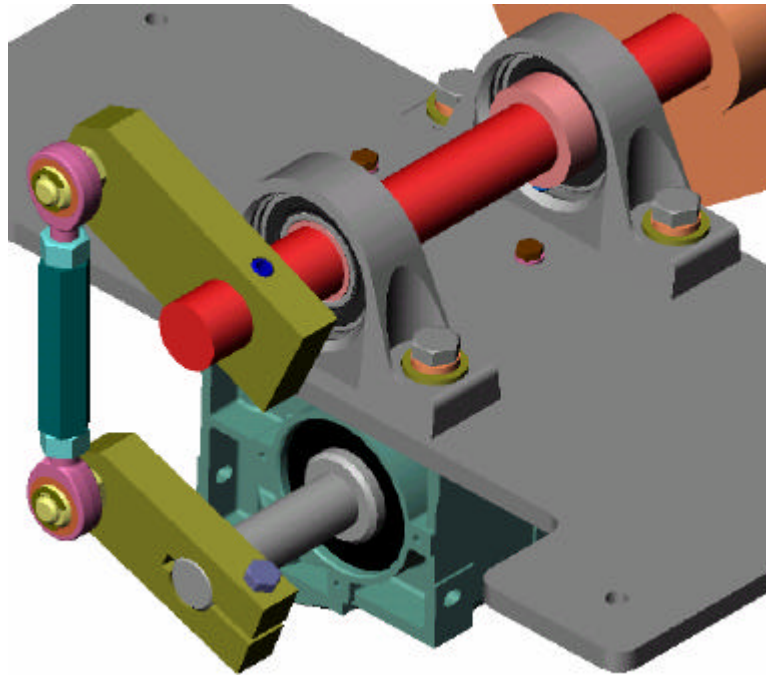
pilotage "manuel" à l'aide des flèches du clavier, ou de la molette de souris, pour contrôler le bon comportement de la liaison ainsi définie

Le cas échéant, l'annulation de la liaison ( ... après validation ), est toujours possible



Construire de la même manière l'autre liaison pivot, à l'aide de la configuration envisagée ci-dessous ( en définissant **d'abord**, et ce pour chaque liaison, la pièce "père" – "pièce 1" – puis la pièce "fille" – "pièce 2" pour obtenir la liaison - et donc les mobilités – d'une pièce fille, par rapport à une pièce père ), puis la liaison rotule entre "arbre-barrière" et "biellette réglée", à l'aide des directives suivantes ( pour cette dernière ) :

- en commençant par "cacher le composant" "embout optimisé" de la "biellette réglée" ( sous solidworks ), pour plus de confort lors de la définition de cette liaison
- il faut alors sélectionner les formes sphériques mâle et femelle des composants considérés pour définir les "points" centres de la rotule
- on prendra la précaution de définir un axe Z pour cette liaison, en sélectionnant les formes cylindriques de l'"axe rotule" et du "palier" de "biellette réglée" ( pour faciliter le traitement futur de cette rotule )



Faire réapparaître l'embout.

Rapprocher manuellement biellette et arbre-réducteur de leur position finale ( voir schéma spatial de la page 3 ) en pilotant manuellement les liaisons adéquates ( pour éviter les configurations d'assemblage "tordues" ... ).

Construire enfin la deuxième rotule, en se limitant à la définition des "points" centres des 2 pièces en liaison ( sans axe Z particulier ), celle-ci sera alors considérée comme liaison de bouclage ( de paramétrage impossible pour motionworks dans sa version actuelle – il faut ainsi éviter de définir comme liaison de bouclage une liaison que l'on souhaite analyser et / ou paramétrer ).

La dernière liaison étant définie et appliquée, vérifier le bon comportement du mécanisme en pilotant manuellement la liaison pivot "base – arbre-réducteur".

De la même manière, et en observant le mécanisme de face ( opter pour la représentation en vue de face ... ), rechercher la position "baissée" de la barrière et conserver celle-ci comme position initiale ( par reconstruction du modèle solidworks ).

## ✍ Manipulation 2 – Evaluation du couple moteur

Tenant compte de la gravité des pièces en mouvement, on souhaite déterminer le couple nécessaire à l'entraînement en rotation de l'arbre de sortie du réducteur ( provoquant ainsi l'ouverture de la barrière ).

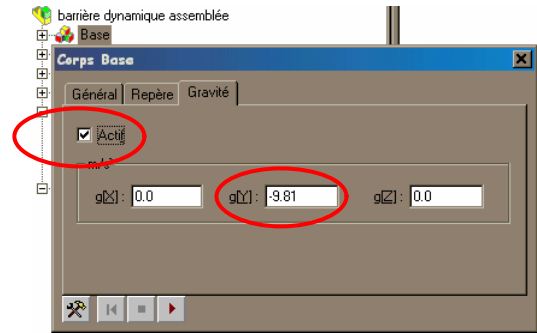
Il faut d'abord "activer" la gravité des pièces en mouvement ( autrement dit tenir compte du poids des composants du lève-barrière ).

**note importante : il est impératif de passer en mode "construction"**

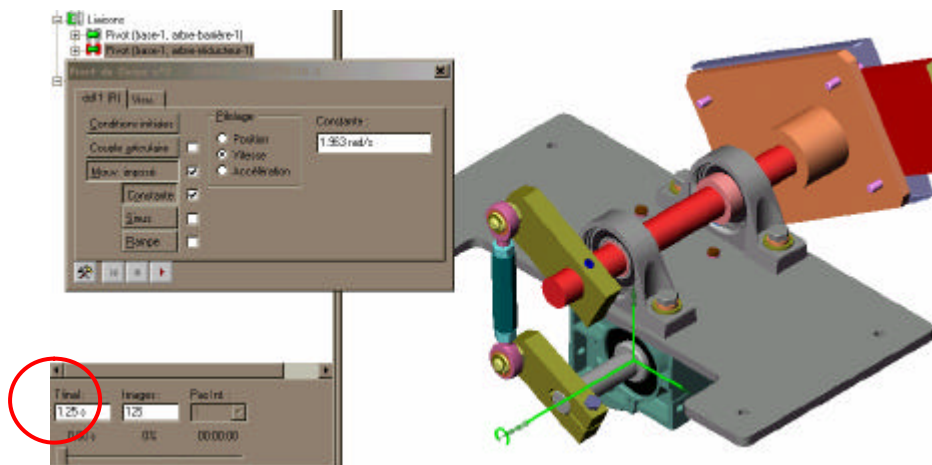


**pour modifier un paramètre sous motionworks**

Clic droit sur la "base" dans l'arbre motionworks, "propriétés", "gravité", ...

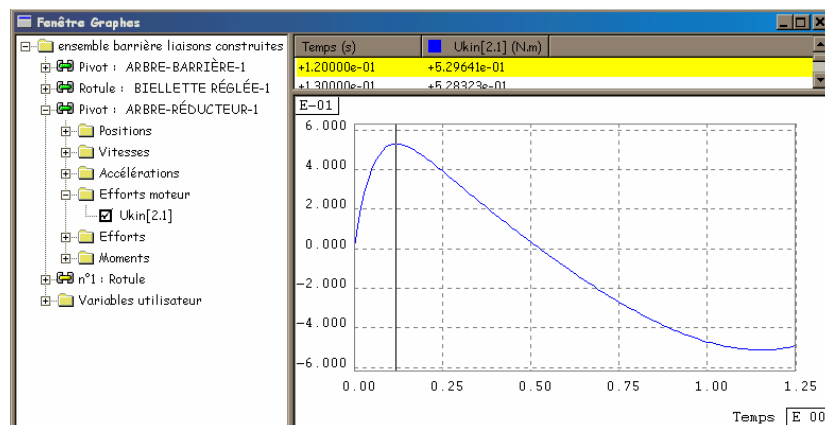


Paramétrer le mouvement imposé à l'"arbre-réducteur", arrêter le "temps final" de fonctionnement à la valeur 1,25 s :



... et lancer le calcul ...

Ouvrir alors le grapheur, sélectionner la liaison pivot "base – arbre-réducteur" ( double clic ) et visualiser la courbe donnant l'"effort moteur" en fonction du temps ( double clic sur la coche "Ukin" ) :



Relever la valeur maxi du couple ainsi déterminé ( double clic sur le sommet de la courbe ). On appellera cette valeur particulière  $C_{red-grav}$ .

Sauver la simulation ( "cred-grav.sda" ) pour pouvoir l'exploiter par la suite, ... et fermer le grapheur.

### Manipulation 3 – Evaluation des résistances dues au frottement

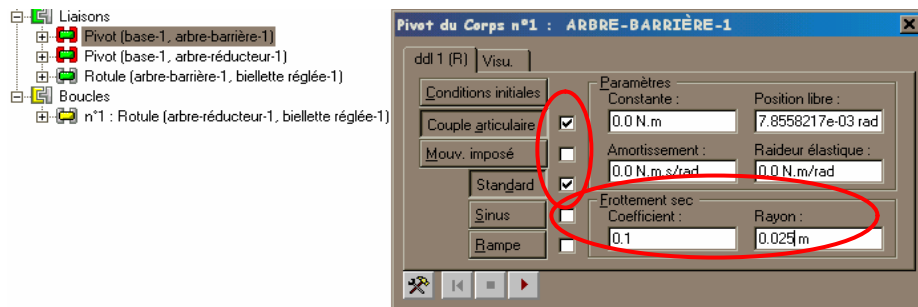
Tenant compte du frottement dans les liaisons, on souhaite d'une part évaluer l'importance des résistances passives dues à ce phénomène, et d'autre part déterminer la valeur corrigée du couple  $C_{red}$  en conséquence.

Il faut d'abord paramétrer ces résistances en ouvrant la boîte de propriétés de chaque liaison, en activant la définition d'un "couple articulaire" ( de modèle "standard" ) et en quantifiant coefficient de frottement et rayon des surfaces de contact considérées.

On retiendra un coefficient de frottement de valeur 0,1 pour les deux liaisons sollicitées ( "base – arbre-barrière" et " arbre-barrière – biellette réglée" ), un rayon de 25 mm relatif à la liaison pivot et un rayon de 10 mm pour la rotule.

Ramener d'abord la barrière en position initiale ( baissée ).

Saisir les paramètres de "frottement sec" ( voir ci-dessous ) pour les deux liaisons sollicitées ( seulement le "ddl 3" pour la rotule ), lancer le calcul et afficher la courbe donnant la valeur corrigée du couple  $C_{red-grav}$  ( que l'on nommera  $C_{red-frot}$  lors de sa sauvegarde ... ).



*nota : la liaison "base – arbre-réducteur" n'est pas retenue dans ces considérations, le rendement du réducteur ( utilisé par la suite ) tenant compte du frottement qui lui est propre, pas plus que l'autre liaison rotule, déclarée liaison de bouclage, et donc non paramétrable.*

Afficher les 2 courbes simultanément ( clic droit sur l'arbre du grapheur pour faire apparaître le menu contextuel, "importer simulation", "cred-grav.sda", ouvrir alors ce fichier dans l'arbre du grapheur, "pivot arbre-réducteur", "effort moteur", "Ukin" ... ) et imprimer.

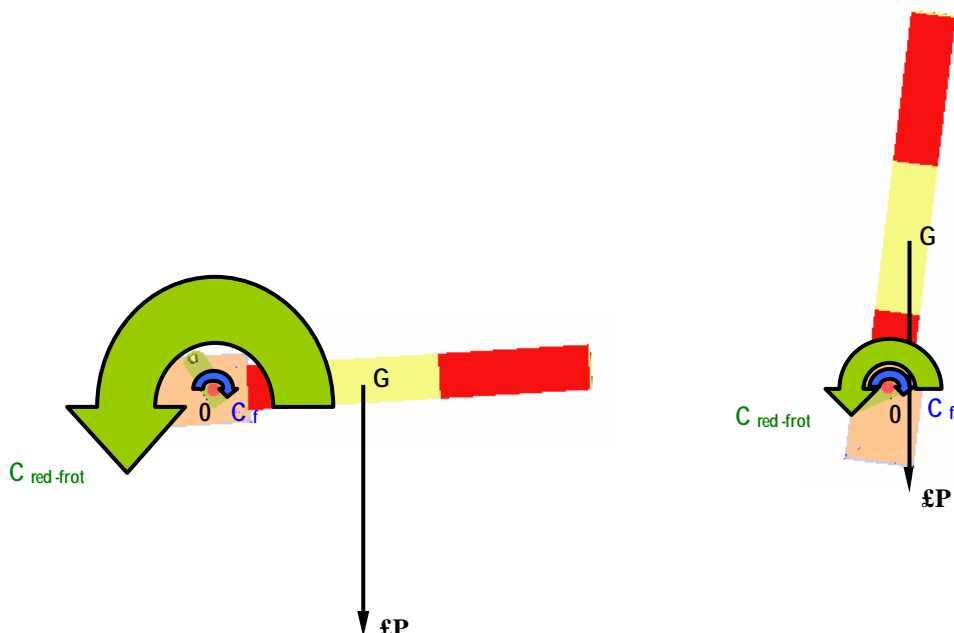
Relever la valeur maxi de  $C_{red-frot}$  et en déduire le rendement approximatif du mécanisme lève-barrière " ? bar " ( moteur et réducteur non considérés dans ce calcul ). On admettra que le rendement inhérent au frottement diffère peu du rapport  $C_{red-frot} / C_{red-grav}$ .

Fermer le grapheur et ramener la barrière en position initiale.

### Question 4 – Exploitation des résultats

Considérant l'équilibre de l'"arbre-barrière" dans un plan Oxy, à l'aide de deux configurations proposées ci-dessous, on peut traduire cet équilibre par une somme de moments des forces qui lui sont appliquées :

$$\sum C_{red-frot} - \sum C_f - \sum OG \times \sum P = \sum 0 \quad \text{où } \sum C_f \text{ représente le couple résistant dû au frottement, et } \sum P \text{ le poids de la barrière}$$



Justifier alors, sur document de synthèse ( page 10 ), le caractère décroissant de la courbe précédente ( illustrant l'évolution de  $C_{red-frot}$  de l'état "barrière baissée" à l'état "barrière levée" ) à partir des considérations évoquées ci-dessus.

## Question 5 – Dimensionnement du moteur

On souhaite déterminer le couple moteur ( disponible sur l'arbre moteur ) nécessaire à l'ouverture du lève-barrière ( la fermeture étant plus aisée, du fait de la gravité de la barrière ), comparer par la suite cette valeur à celle retenue par le constructeur et en tirer les conséquences.

Déduire de la valeur  $C_{red-frot}$  déterminée précédemment le couple moteur  $C_{mot}$  en exprimant le rendement du réducteur à l'aide des éléments fournis sur le document de synthèse page 8.

En déduire alors la puissance utile correspondante  $P_{mot}$  ( attention aux unités ... ).

Le moteur retenu par le constructeur pour actionner le lève-barrière développe une puissance mécanique de 0,18 kW.

Comparer et justifier l'écart constaté.

## Manipulation 6 – Optimisation

Un paramètre essentiel distingue le lève-barrière "didactisé" d'un modèle équivalent en situation de fonctionnement réel : la longueur de lisse ( barrière ), et donc le couple résistant dû à sa gravité, non négligeable alors ...

Ouvrir, sous solidworks, le fichier relatif au composant "barrière" ( du sous-assemblage "arbre-barrière" ).

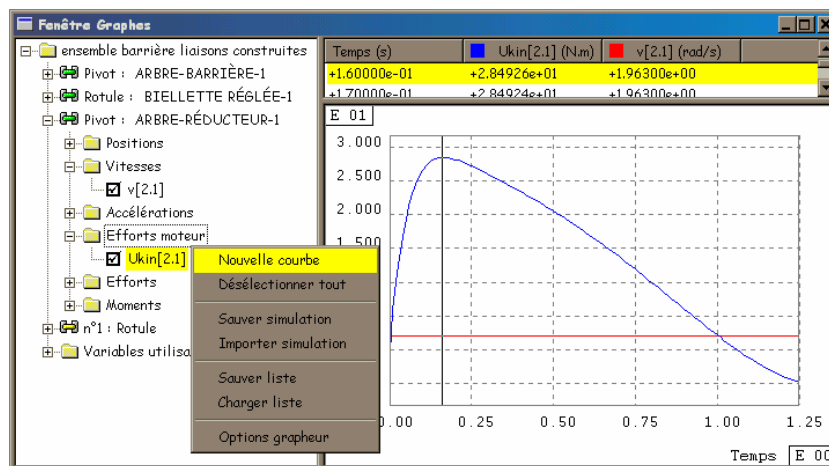
"Editer la définition" du segment extrême ( "boss.-extru.2" dans l'arbre solidworks ) et porter la longueur de ce segment à 2499 mm ( pour obtenir une lisse de 3 m depuis l'axe de rotation de l'"arbre-barrière" ).

Fermer ce fichier et reconstruire l'assemblage du lève-barrière.

Relancer le calcul ( dans les conditions précédentes, tenant compte de la gravité et du frottement ) et afficher la courbe donnant le couple disponible sur l'arbre de sortie du réducteur ( "Ukin" ) pour permettre la manœuvre de la barrière ( que l'on nommera  $C_{red-long}$  lors de sa sauvegarde ... ).

Il est alors possible d'afficher la puissance disponible sur l'arbre de sortie du réducteur ( pour provoquer l'ouverture de la barrière ... ) tenant compte des grandeurs couple et vitesse angulaire correspondantes ( en appliquant tout simplement la relation  $P = C \times \omega$  ? ).

Afficher pour se faire, conjointement la courbe précédente (  $C_{red-long}$  ... ) et la courbe représentant la vitesse angulaire de l'"arbre-réducteur" en fonction du temps ( en la sélectionnant dans l'arbre du grapheur ), et demander la création d'une "nouvelle courbe" dans le menu contextuel ( ... de l'arbre du grapheur ) :



Etablir alors la relation liant les grandeurs couple et vitesse affichées ( double clic sur "Ukin" et "v[2.1]", sans oublier le signe \* ) :

Nom :  Ok

Equation :  Ok

La courbe créée devient "variable utilisateur", accessible dans l'arbre du grapheur ...



Afficher alors cette dernière, seule, pour identifier sans ambiguïté l'axe des ordonnées, relever la valeur maxi " $P_{red-long}$ " de cette puissance et en déduire la valeur correspondante de la puissance " $P_{mot-long}$ " en sortie d'arbre moteur.

Comparer cette valeur avec la puissance moteur réellement disponible ( 0,18 kW ).

Le test d'une lisse de longueur 4 m donne une " $P_{mot}$ " de l'ordre de 230 W, que dire alors du moteur retenu par le constructeur ?

## document de synthèse

Relations de transmission de puissance :

$$P = C \times \omega \quad (\text{puissance mécanique de rotation} = \text{couple} \times \text{vitesse angulaire})$$

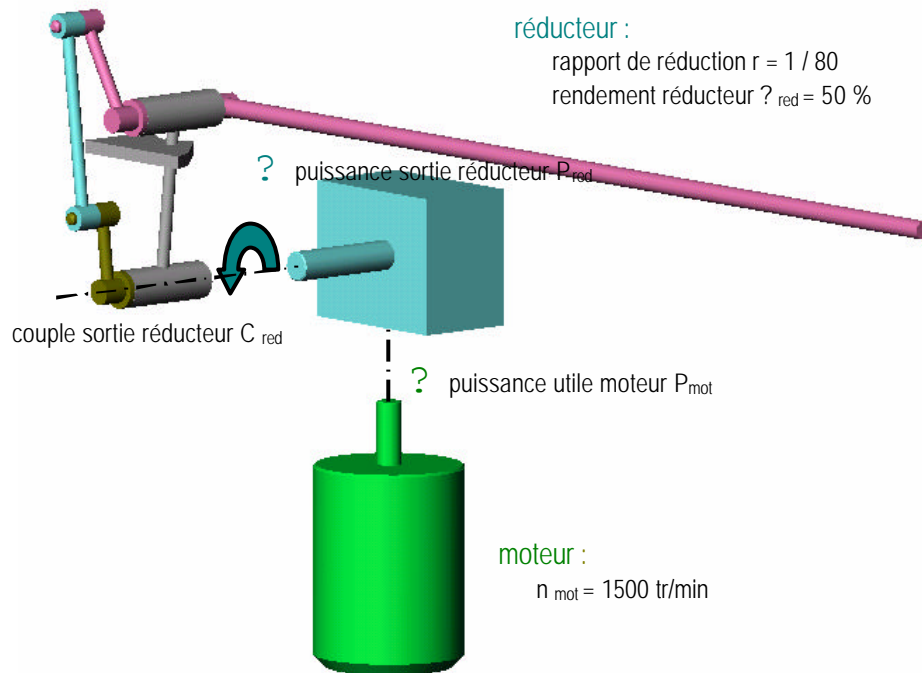
$W$  $N.m$  $rad/s$

$$r = n_{\text{sortie}} / n_{\text{entrée}} \quad (\text{rapport de réduction} = \text{fréquence de rotation sortie} / \text{fréquence de rotation entrée})$$

$$\eta = P_{\text{sortie}} / P_{\text{entrée}} \quad (\text{rendement} = \text{puissance utile ou puissance de sortie} / \text{puissance absorbée ou puissance d'entrée})$$

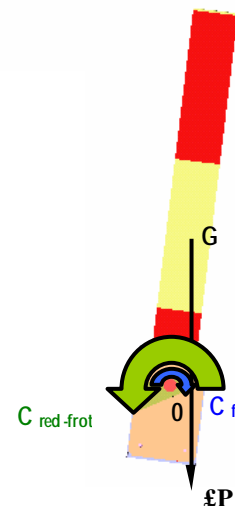
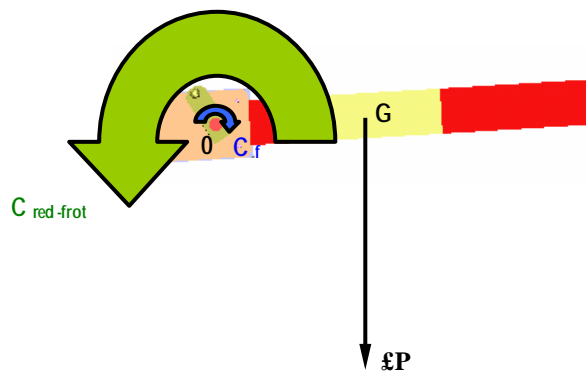
$$\eta = p \times n / 30 \quad (? \text{ en } rad/s \text{ et } n \text{ en } tr/min)$$

Chaîne de transmission de puissance du lève-barrière :



### Question 3 – Exploitation des résultats

$$\sum C_{red-frot} - \sum C_f - \sum OG \times \sum P = 0$$



## Annexe : liste des fichiers solidworks nécessaires au TP

### arbre-barrière

Sélectionnez un élément pour obtenir une description.

- arbre pivot barrière.SLDPRT
- arbre-barrière.SLDASM
- axe rotule.SLDPRT
- bague de blocage.SLDPRT
- bague excentrée.SLDPRT
- barrière.SLDPRT
- cache barrière.SLDPRT
- clavette parallèle forme A 8x7x30.SLDPRT
- écrou HM M12, grade A, type 2.SLDPRT
- goupille élastique 10 x 50 - NF E 27-489.SLDPRT
- manivelle barrière.SLDPRT
- moyeu barrière.SLDPRT
- rondelle plate - M10, NF E 25-513.SLDPRT
- rotule.SLDPRT
- segment d'arrêt à montage radial 12 x 1,2 - NF L 23-203.SLDPRT
- support barrière.SLDPRT
- vis FHC - M8x25 - 8,8.SLDPRT
- vis H M8x45 - 8,8.SLDPRT
- vis sans tête HC TR M8-10 - 33H, grade A.SLDPRT

### arbre-réducteur

Sélectionnez un élément pour obtenir une description.

- arbre sortie réducteur.SLDPRT
- arbre-réducteur.SLDASM
- axe rotule.SLDPRT
- clavette forme A 8x7x12.SLDPRT
- écrou HM M12, grade A, type 2.SLDPRT
- manivelle réducteur.SLDPRT
- rotule.SLDPRT
- segment d'arrêt à montage radial 12 x 1,2 - NF L 23-203.SLDPRT
- vis H M8x35 - 6,8.SLDPRT

### base

Sélectionnez un élément pour obtenir une description.

- base.SLDASM
- cache.SLDPRT
- cale.SLDPRT
- carter1.SLDPRT
- écrou hexagonal à embase ISO 4161 - M6 - 8.SLDPRT
- palier SKF ø30.SLDPRT
- réducteur1.SLDASM
- rep215 écrou H- M5 , grade A, type 2.SLDPRT
- rondelle M12, NF E 25-513.SLDPRT
- rondelle W12 - NF E 25-515.SLDPRT
- rondelle Z6, NF E 25-513.SLDPRT
- roulement 6007 EE.SLDASM
- roulement 6007 EE\_balls.SLDPRT
- roulement 6007 EE\_inn\_ring.SLDPRT
- roulement 6007 EE\_out\_ring.SLDPRT
- roulement 6007 EE\_seal.SLDPRT
- roulement 6007 EE\_seal2.SLDPRT
- tôle support.SLDPRT
- vis CS M5x12 - 4,8.SLDPRT
- vis H- M6x60-18 - 5,6.SLDPRT
- vis H-M12-40 grade A, type 2 .SLDPRT

### bielle réglable

Sélectionnez un élément pour obtenir une description.

- assemblage embout optimisé.SLDASM
- bielle réglable.SLDASM
- bielle réglée.SLDASM
- écrou H M12 - tendeur.SLDPRT
- embout bielle.SLDASM
- embout optimisé.SLDPRT
- embout.SLDPRT
- palier.SLDPRT
- tendeur.SLDPRT

### ensemble barrière dec-mw

Sélectionnez un élément pour obtenir une description.

- arbre-barrière.SLDASM
- arbre-réducteur.SLDASM
- barrière dec-mw.SLDASM
- base.SLDASM
- bielle réglable.SLDASM
- bielle réglée.SLDASM
- embout bielle.SLDASM