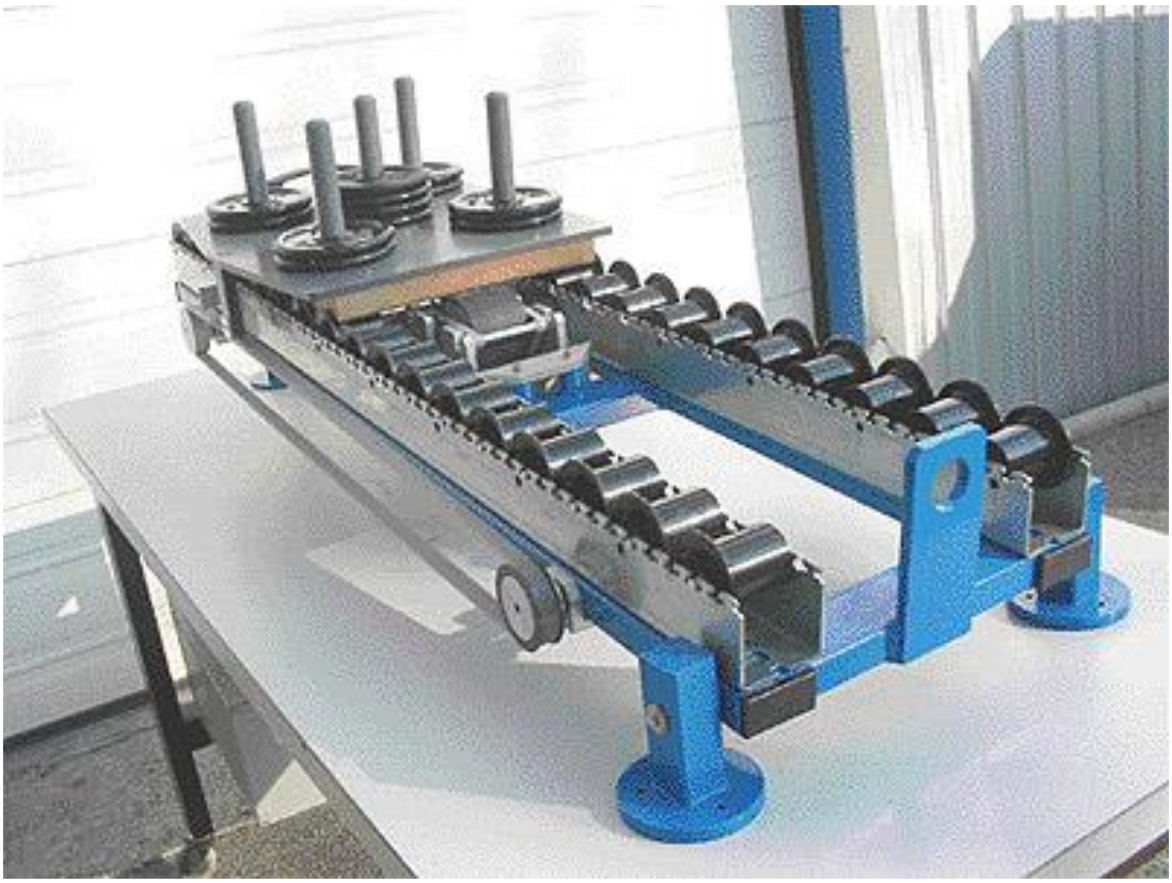
Travaux Pratiques – ENERGETIQUE
GALET FREINEUR



Objectifs du TP

L'activité principale de ce TP consiste à mesurer, identifier et vérifier les caractéristiques dynamiques du galet freineur afin de caractériser la capacité de freinage du système.

1 – Présentation et problématique

Les galets freineurs s'intègrent dans des installations de stockage. Ils permettent de contrôler la vitesse de déplacement gravitaire de palettes et d'éviter que la palette dévale la pente jusqu'à la butée.

Ce TP propose l'étude du mécanisme de régulation de vitesse gravitaire de déplacement des charges transportées sur des couloirs de stockage dynamique à rouleaux inclinés.

Le galet de type 7302 étudié est un système mécanique dont le but est de maîtriser la vitesse.
Il est utilisable pour freiner des charges variant de 35 kg à 1000 kg.

Un galet freineur est installé sur son support fixé à l'établi.

Repérer le sens de rotation privilégié indiqué par une flèche puis faire tourner le galet à la main dans le sens indiqué par la flèche.

Que constate-t-on, si l'on fait tourner le galet dans l'autre sens ? Conclusions.

Expliquer le principe de fonctionnement du galet freineur, justifier la présence du multiplicateur.

Quel(s) phénomène(s) physique(s) permet(tent) au tambour (2) d'être freiné ?

2 – Etude expérimentale de l'influence de l'inclinaison, des masses embarquées et de la vitesse d'accostage

Expérimentation en situation

Les essais seront réalisés sur le banc du galet freineur. Le **DOSSIER RESSOURCES** et le **DOSSIER TECHNIQUE** précisent l'organisation structurelle du système, l'interface logicielle et le protocole des mesures. Des masses sont disponibles afin de charger le plateau.

Réaliser le protocole d'essais proposé (deux essais à chaque fois) permettant de mettre en évidence l'influence d'un paramètre sur l'évolution transitoire et permanente de la vitesse du galet freineur :

- Essais 1 et 2 : *Influence de l'angle d'inclinaison*
  - Incliner le banc d'un angle de 2° et charger le plateau de quatre masses de 10 kg.
  - Faire un essai sans pousser le plateau au départ.
  - Refaire le même essai avec cette fois-ci un angle d'inclinaison de 6°.

- Essais 3 et 4 : *Influence de la masse embarquée*
  - Incliner le banc d'un angle de 6° et charger le plateau de deux masses de 10 kg.
  - Faire un essai sans pousser le plateau au départ.
  - Refaire le même essai avec cette fois-ci un plateau chargé de quatre masses de 10 kg.

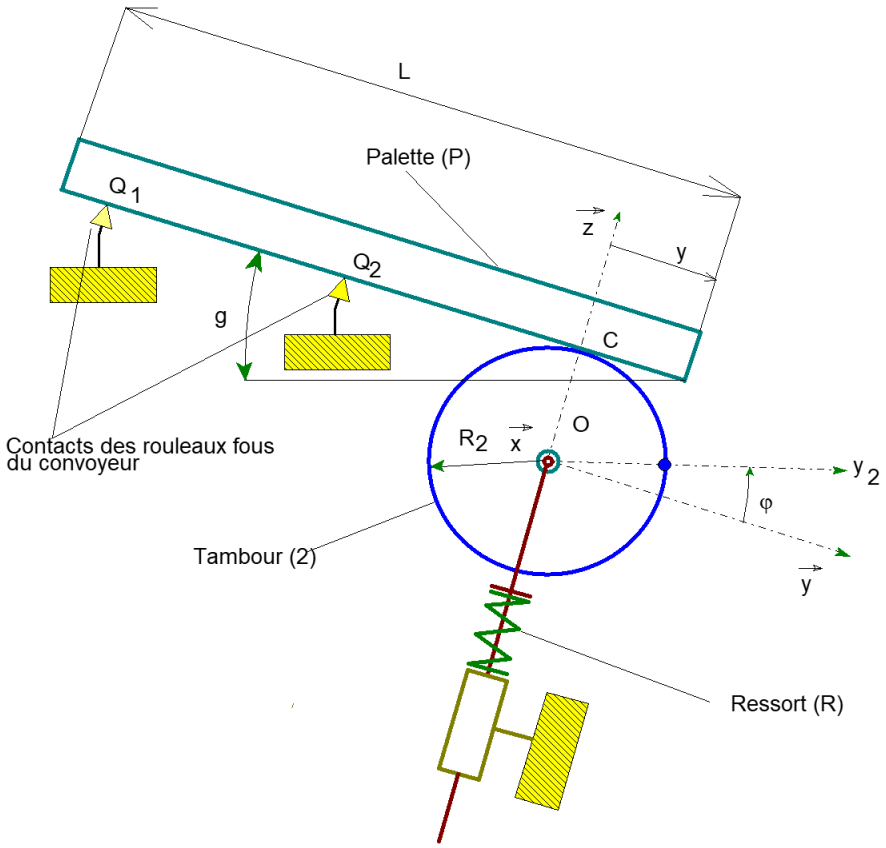
- Essais 5 et 6 : *Influence de la vitesse d'accostage*
  - Incliner le banc d'un angle de 6° et charger le plateau de quatre masses de 10 kg.
  - Faire un essai en chute libre puis en poussant le plateau à la main.

Conclure quant au fonctionnement de ce galet : le nom choisi (freineur) est-il approprié ?

Pour la même configuration que celle étudiée par l'équipe **MODELISATEUR**, estimer la valeur de la vitesse limite d'arrivée de la palette.

3 – Détermination analytique de la vitesse limite d'arrivée de la palette

Dans la partie qui suit, on se propose d'analyser de quels paramètres dépend la décélération de la palette (P) ralentie par le galet freineur. Il s'agit donc de comparer la vitesse de la palette lorsque celle-ci entre en contact avec le galet et cette même vitesse lorsque celle-ci quitte le contact avec le galet freineur, c'est à dire lorsque $y(t) = L$.



Modélisation du contact palette/convoyeur

<u>Remarque :</u> Dans toute la suite de cette partie, le système étudié est considéré comme un système plan. La figure ci-dessus modélise les contacts entre palette et convoyeur.

Les contacts ponctuels Q_1 et Q_2 modélisent les contacts entre rouleaux fous du convoyeur et palette. Ces contacts avec glissement sont supposés sans frottement, ils sont toujours maintenus.

L'association d'une glissière et d'une action mécanique délivrée par le ressort (R) définit un modèle d'étude pour la suspension du galet. La déformation du ressort et donc l'effort exercé est caractérisé par un contact permanent en C, tel que les points Q_1, Q_2 et C sont constamment alignés. Dans la deuxième partie de cette étude, on montrera comment on peut évaluer cet effort.

Le contact ponctuel en C modélise le contact entre tambour du galet freineur et palette.

Le torseur d'action mécanique du tambour (2) sur la palette (P) est noté : $\{T_{2\to P}\} = \begin{Bmatrix} -T_c.\vec{y} + N_c.\vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_C$

Compte tenu de ce qui précède, l'effort N_c est supposé connu.

Les conditions initiales à t = 0 sont :

- pour la palette (P) : $y(0) = 0$ et $\dot{y}(0) = V$ (V est connue)
- pour le tambour (2) du galet : $\phi(0) = 0$ et $\dot{\phi}(0) = 0$

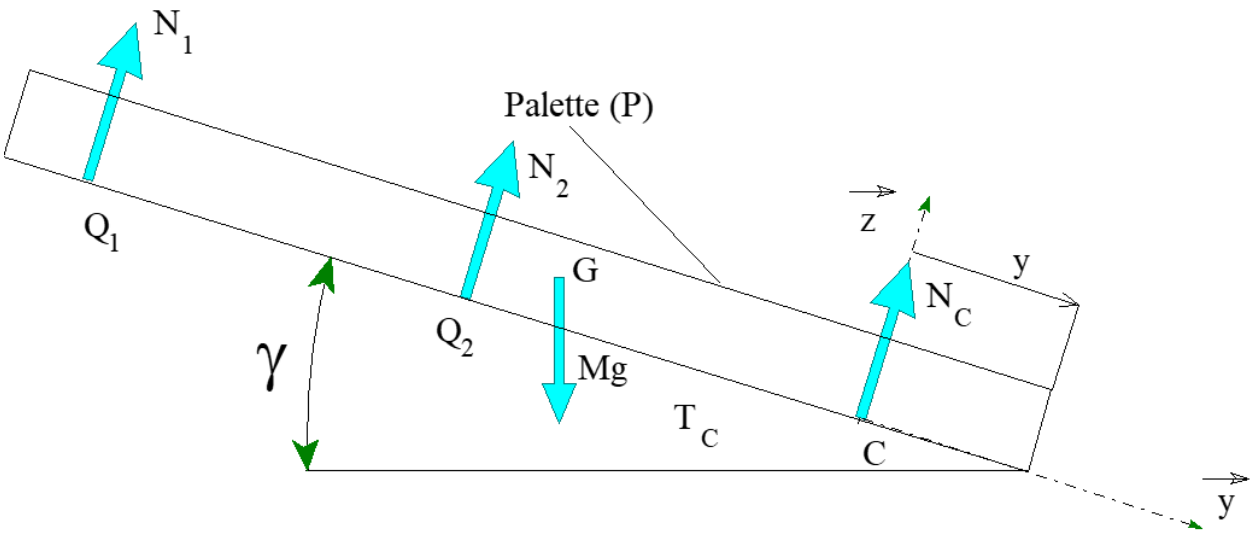
Dans la suite de l'étude on supposera que dès $t = 0$ le contact est établi entre la mâchoire du frein et le tambour (2). Ce contact est supposé ponctuel.

Les valeurs numériques des différents paramètres à prendre en compte dans la suite sont :

- $\gamma = 6°$: angle d'inclinaison
- $f = 0{,}2$: coefficient de frottement de glissement entre masselotte et tambour
- $M = 50\ kg$ (plateau de 10 kg + 4*10 kg)**:** masse totale embarquée
- $L = 0{,}5\ m$: longueur du plateau

Déterminer numériquement en secondes le temps t_f mis par la palette pour se translater de la longueur L si cette celle-ci n'était pas freinée par le galet.

Aide : En utilisant le schéma ci-dessous, on peut isoler la palette (P) et appliquer le théorème de la résultante dynamique en projection sur l'axe $\vec{y}$. On pourra ensuite intégrer l'équation et utiliser le fait qu'il s'agit d'un mouvement uniformément accéléré.



Palette isolée

Quelle serait sa vitesse finale notée V_f ?

Dans tout ce qui suit, la palette est freinée par le galet, et l'on suppose qu'il y roulement sans glissement au contact galet/palette.

Déterminer la vitesse limite atteinte par la palette et montrer qu'en régime permanent, la palette tend vers $\dot{y} = \frac{1}{k}.\sqrt{\frac{R.g.M.\sin(\gamma)}{2.f.m.\frac{R_1}{R_2}.(1-k)}}$

Aide : Pour cela, on isole la palette (P), on lui applique le théorème de la résultante statique (puisqu'il n'y a pas d'accélération suivant $\vec{y}$) en projection sur l'axe $\vec{y}$.

Remarque : Il est possible d'utiliser l'expression de T déterminée à la partie **6 – Détermination analytique de la relation entre l'effort tangentiel et la vitesse de rotation du tambour.**

Faire l'application numérique. Commenter la valeur par rapport à la vitesse d'arrivée de la palette.

4 – Détermination expérimentale de la relation entre l'effort tangentiel et la vitesse de rotation du tambour

Analyser, pour l'essai « 4 masses de 10 kg + angle de 6° + sans poussée initiale » (assez révélateur de l'influence des divers paramètres), l'évolution des efforts normaux et tangentiels au niveau du galet (après avoir précisé de quels efforts il s'agissait). Il est demandé de particulièrement analyser et justifier les points suivants :

- Fluctuations régulières lentes observées sur les courbes.
- Fluctuations régulières rapides observées sur les courbes.
- Stabilité d'un des efforts.
- Augmentation puis diminution de l'autre effort (en valeur absolue).

A-t-on une phase de glissement entre le galet et le plateau ? Indiquer comment est-il possible de vérifier ce point.

Après avoir expliqué votre raisonnement, évaluer la valeur minimale du coefficient d'adhérence plateau / galet.

Que peut-on dire du coefficient de frottement ? Si c'est possible, évaluer sa valeur.

Définir une méthode pour montrer (en utilisant les relevés) que l'effort tangentiel est proportionnel au carré de la vitesse de rotation du tambour.

Mettre en place cette méthode.

Déterminer la valeur de la vitesse limite dans les conditions de l'essai. Commenter le résultat par rapport à la vitesse d'arrivée de la palette.

Déterminer la valeur de T dans les conditions de l'essai.

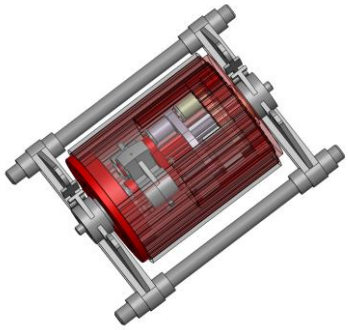
En déduire la relation entre l'effort tangentiel est proportionnel au carré de la vitesse de rotation du tambour. Analyser la relation obtenue.

5 – Détermination numérique de la relation entre l'effort tangentiel et la vitesse de rotation du tambour

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

Remarque : Pour l'étude, un seul satellite sur chaque train épicycloïdal sera utilisé afin d'obtenir un système isostatique.

Remarque : Seule la masse des masselottes (50 g) sera pris en compte dans cette étude.



Réaliser une simulation en prenant en entrée une vitesse de rotation (*Pivot 1*) identique à celle des essais expérimentaux.

Vérifier le rapport global de réduction du système.

Déterminer l'évolution temporelle du couple entre l'axe et le tambour (ou la flasque).

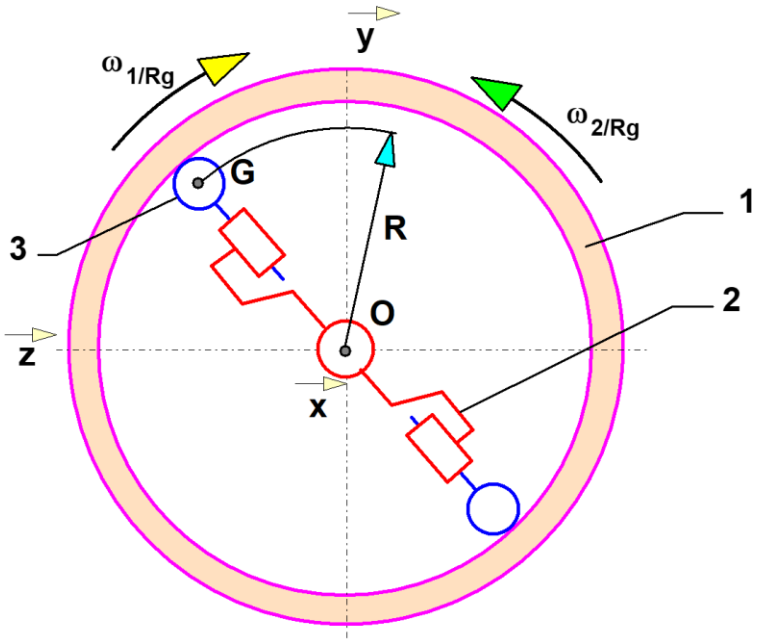
En déduire la courbe donnant l'effort tangentiel en fonction du temps. Analyser le résultat obtenu.

En modifiant la simulation numérique, définir et de mettre en place une méthode permettant de déterminer la relation entre l'effort tangentiel et la vitesse de rotation du tambour (voir « COMPLEMENTS SIMULATION SOLIDWORKS/MECA3D » à la fin du **DOSSIER RESSOURCES**).

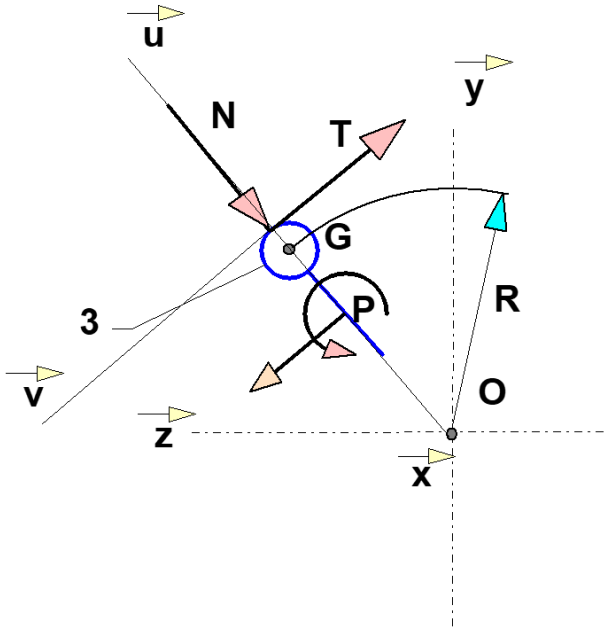
Conclure sur les résultats obtenus numériquement.

6 – Détermination analytique de la relation entre l'effort tangentiel et la vitesse de rotation du tambour

Pour justifier le comportement du galet freineur et sa capacité de freinage, il est nécessaire de faire une étude dynamique du fonctionnement du galet. Le modèle dynamique simple du galet freineur est donné ci-après.



Modèle dynamique simplifié



Modèle dynamique simplifié du contact entre les masselottes et le tambour

On connaît :

- ω_{1/R_g} (notée ω_1) : vitesse de rotation (supposée uniforme) du tambour par rapport au repère galiléen R_g.
- f : coefficient de frottement de glissement des masselottes sur le tambour ($f = 0{,}2$).
- R : rayon sur lequel évolue les masselottes.
- k : rapport du train épicycloïdal : $\omega_{2/R_g} = k.\omega_{1/R_g}$ (on rappelle que $k = -23{,}1$).

On fait l'hypothèse que toutes les liaisons sont parfaites hormis le contact masselottes/tambour.

À partir des éléments du galet freineur, justifier le choix de la modélisation de la figure précédente.

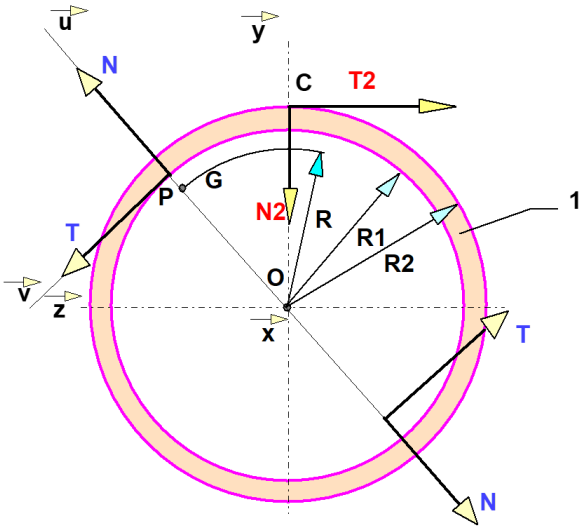
Isoler une masselotte (3) en contact avec le tambour et appliquer lui le théorème de la résultante dynamique en supposant que l'action de pesanteur est négligeable (attention on ne néglige pas la masse de la masselotte).

Montrer que la force tangentielle de frottement exercée par le tambour sur la masselotte est égale à :

$$T = m.f.R.k^2.\omega_{1/R_g}^2$$

Justifier l'indication du sens de rotation indiqué par le constructeur.

La figure suivante modélise l'ensemble E du galet freineur où T et N représentent l'action (glisseur) d'une masselotte sur le tambour et T_2 et N_2 représentent l'action (glisseur) d'une palette sur le tambour.



Modèle de l'ensemble E du galet freineur

Faire le graphe de structure du système étudié.

Isoler l'ensemble E du galet freineur et faire le bilan des actions extérieurs à l'ensemble E en supposant que l'action de pesanteur est négligeable.

En prenant l'hypothèse de liaisons parfaites (hormis au niveau du contact masselottes / tambour), en expliquant le (ou les) solide(s) à isoler, en utilisant le théorème de l'énergie cinétique (ou énergie/puissance) en régime permanent, montrer que l'effort tangentiel peut s'écrire :

$$\boldsymbol{T_2 = 2.T.\frac{R_1}{R_2}.(1-k)}$$

L'étude dynamique de la partie précédente nous donne : $\boldsymbol{T = m.f.R.k^2.\omega^2_{1/R_g}}$

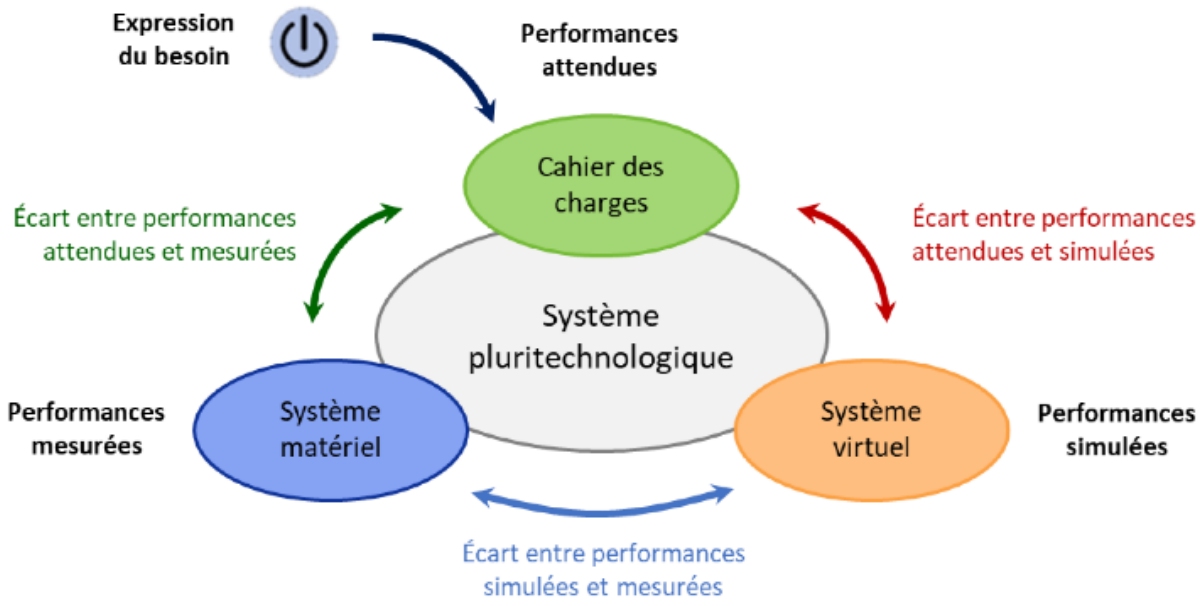
En déduire la valeur de T_2 en fonction de :

m : masse d'une masselotte m = 50 g.
f : coefficient de frottement de glissement entre masselotte et tambour (f = 0,2).
R : rayon sur lequel évolue une masselotte R = 22,5 mm.
R_1 : rayon interne du galet $R_1 \approx$ 34,5 mm.
R_2 : rayon externe du galet R_2 = 42,5 mm.
k : coefficient de multiplication du train épicycloïdal (k = - 23,1).
ω_1 : vitesse de rotation du tambour par rapport au bâti.

Montrer que l'effort résistant exercé par le patin sur le tambour est proportionnel au carré de la vitesse de rotation de ce tambour.

7 – Validation

Expliquer très précisément les différents transferts d'énergie au cours du mouvement.

L'objectif pour le groupe est de comparer pour la valeur de la vitesse limite, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.

L'objectif pour le groupe est de comparer pour la relation entre l'effort tangentiel et la vitesse de rotation du tambour, 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.