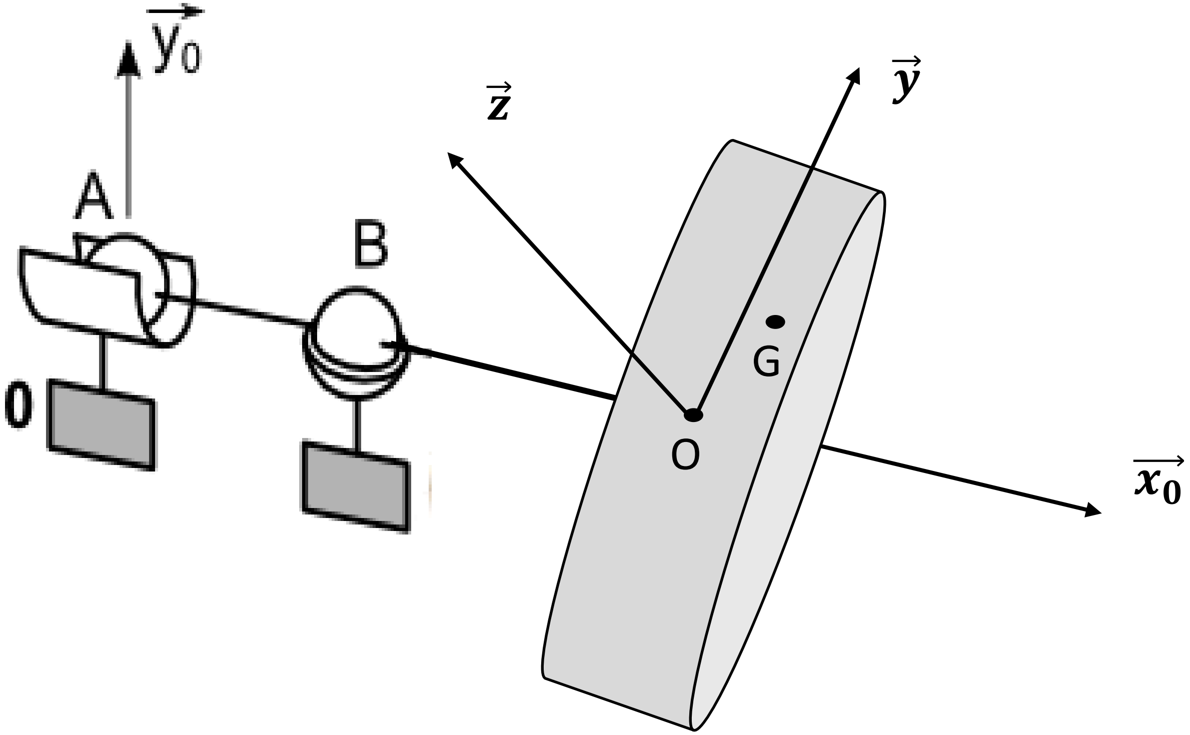
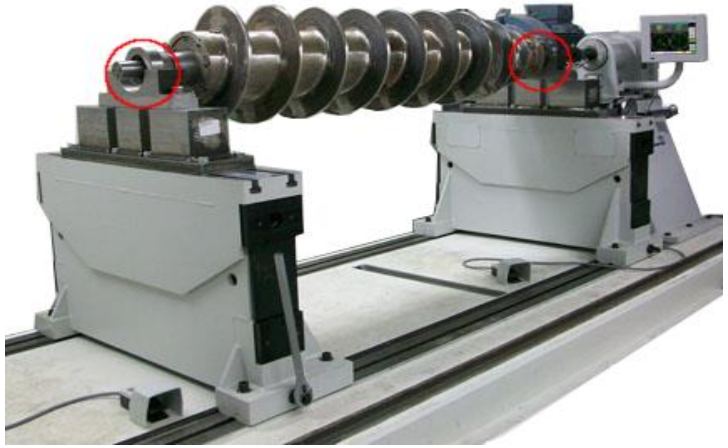
Equilibrage



Problème général

L'<u>équilibrage</u> des arbres tournant → Eliminer les vibrations et les sollicitations cycliques associées à une mauvaise répartition des masses autour de l'axe de rotation.

<u>Sollicitations périodiques</u> → <u>Rupture d'une pièce</u> (arbre, pallier de guidage …) après un <u>certain nombre de cycles</u> → <u>Phénomène de fatigue.</u>



Définition de l'équilibrage

Equilibrage Statique

En l'absence d'actionneur, le solide abandonné au repos dans une position quelconque reste dans cette position :

$\Rightarrow$ **Le solide reste en équilibre quelle que soit sa position angulaire.**

Définition de l'équilibrage

Equilibrage Dynamique

En régime permanent (vitesse de rotation constante), les actions de liaison associées au guidage en rotation du solide sont indépendantes du temps :

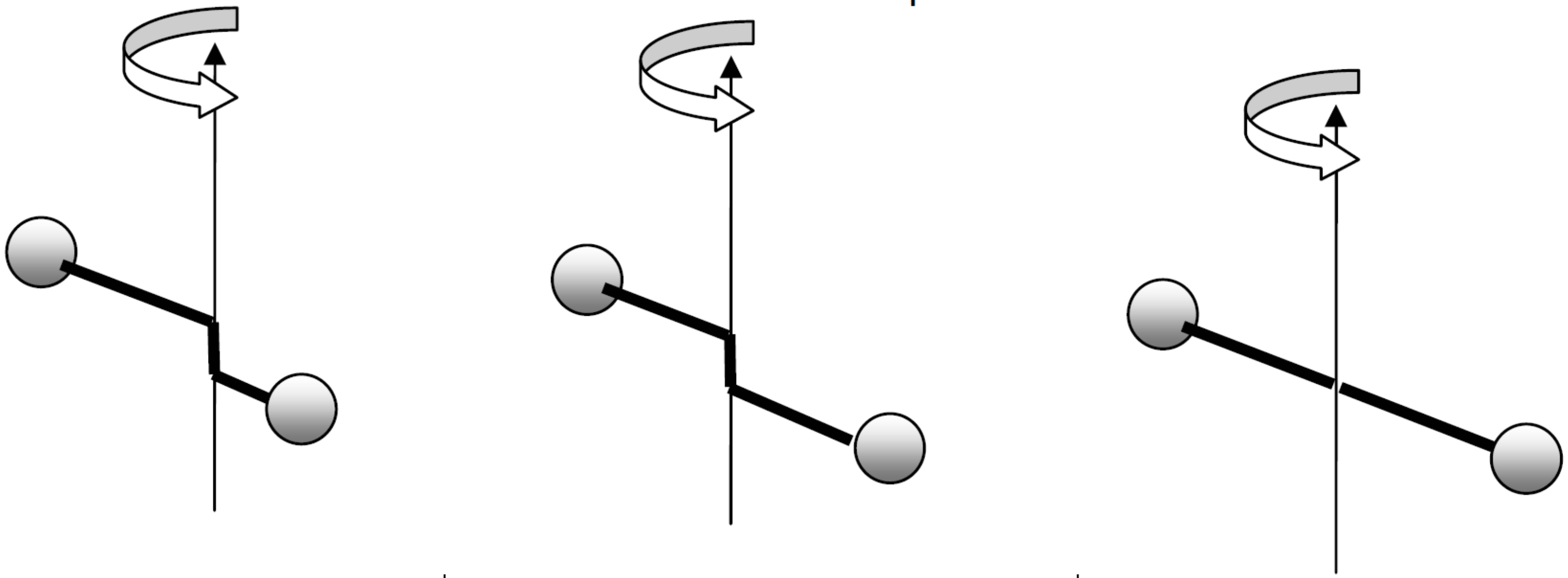
$\Rightarrow$ **Les composantes du torseur de liaison sont indépendantes de la position angulaire du solide.**

<u>Remarque :</u> On se place en <u>régime permanent</u> pour faciliter les calculs, mais les <u>conditions</u> obtenues en <u>régime transitoires</u> sont <u>identiques.</u>

Définition de l'équilibrage

Résumé équilibrage Statique et Dynamique

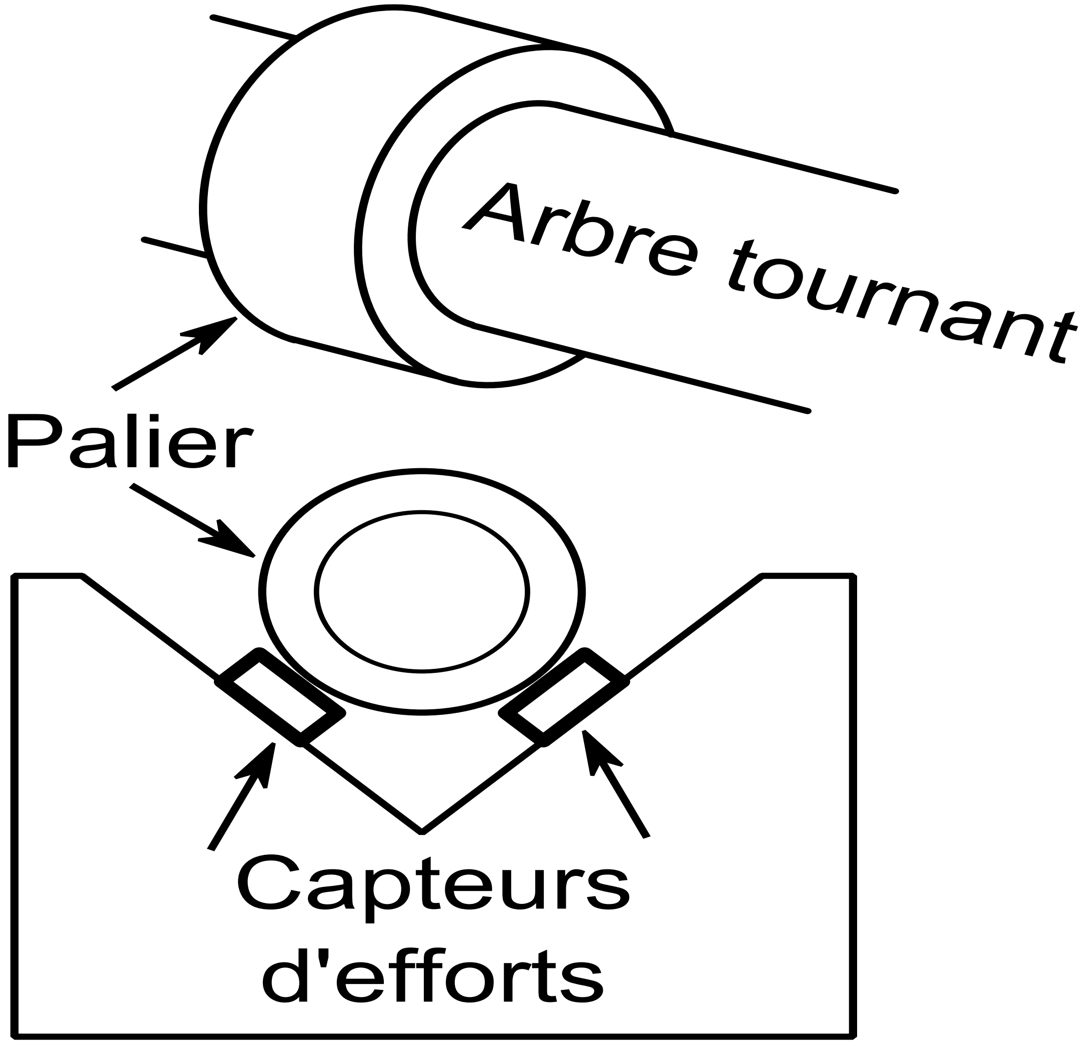
Illustration avec 2 masses ponctuelles



Les 2 masses ne sont pas à la même distance de l'axe de rotation : on n'a ni l'équilibrage statique, ni l'équilibrage dynamique	Les 2 masses sont à la même distance de l'axe : on a réalisé l'équilibrage statique	Les 2 masses sont en face l'une de l'autre : on a réalisé l'équilibrage dynamique

Principe de mesure sur une équilibreuse

Une des méthodes les plus simples consiste à monter l’arbre à équilibrer sur deux paliers courts qui le guident en rotation sans frottement (roulements par exemple).



Principe de mesure sur une équilibreuse

En équilibrant → Vérifie l'écart entre l'axe d'inertie et l'axe de rotation.

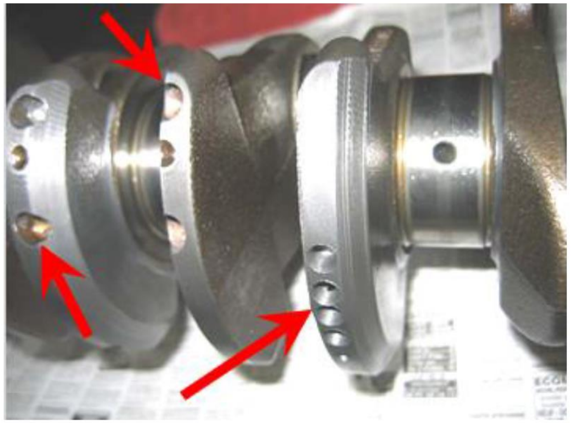
Equilibrage par ajout ou enlèvement de matière

Masselottes d’équilibrage de roue

Embiellage de cyclomoteur.

Deux trous obturés par des bouchons en plastiques (masse volumique moins importante que l’acier) « compensent » la masse de l’axe de la tête de bielle.

Roue équilibrée par masselotte ajoutée



Enlèvement de matière par perçage sur un vilebrequin de moteur automobile

Encoches usinées permettant de réaliser l’équilibrage statique et dynamique du rotor

Modélisation du problème
Etude de l'équilibrage d'une turbine Pelton

L'objectif de cette partie est d'étudier dynamiquement l'équilibrage de la turbine.

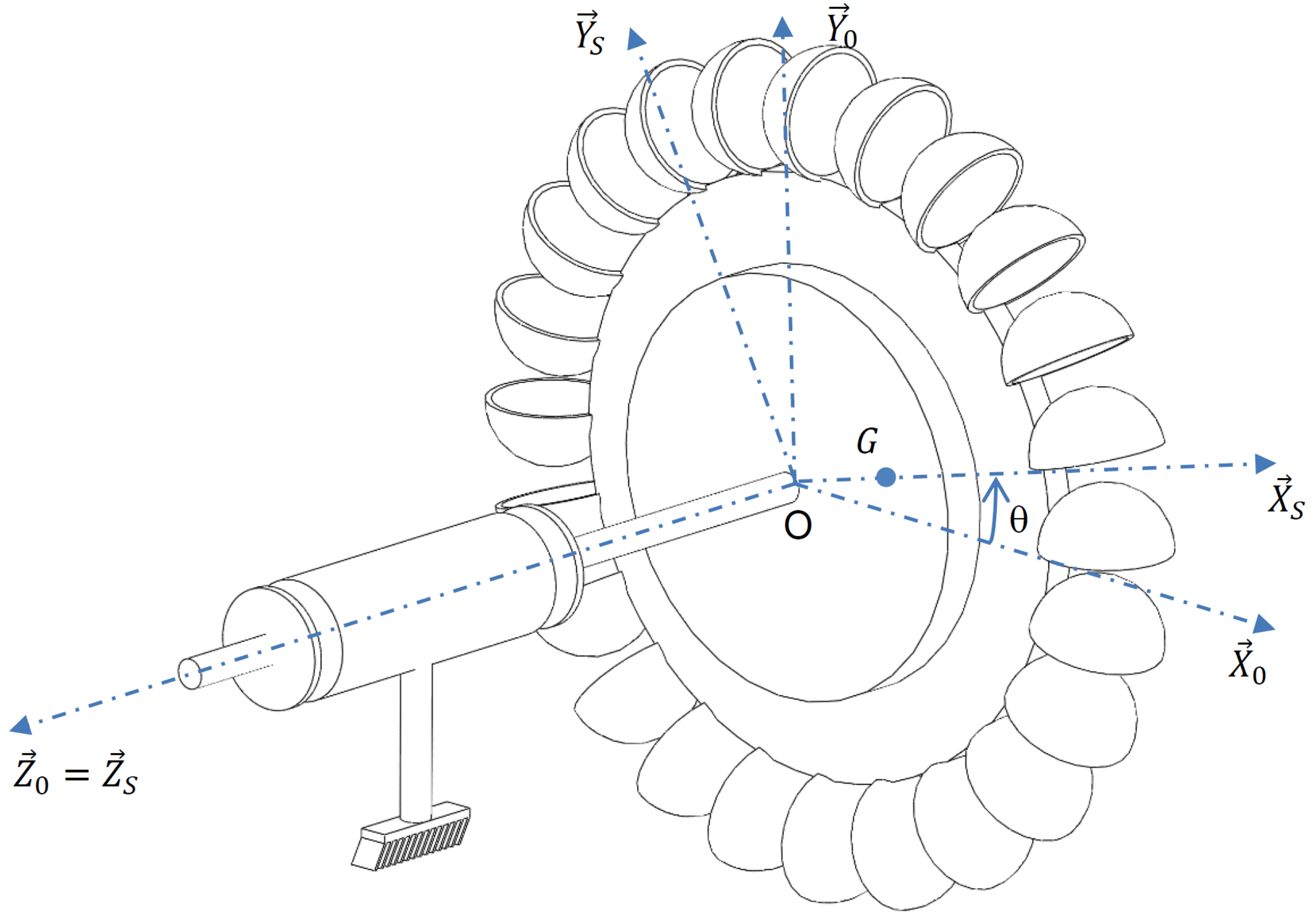
Il est nécessaire d'équilibrer statiquement puis dynamiquement la roue Pelton ainsi que son arbre.

Cette étape est indispensable afin d'éviter toute vibration au cours du fonctionnement.

Les vibrations → nuisances sonores + usure prématurée des roulements.

La technologie d'équilibrage → Enlèvement de la matière par usinage.

Modélisation du problème
Etude de l'équilibrage d'une turbine Pelton



Modélisation du problème
Etude de l'équilibrage d'une turbine Pelton

Notations :

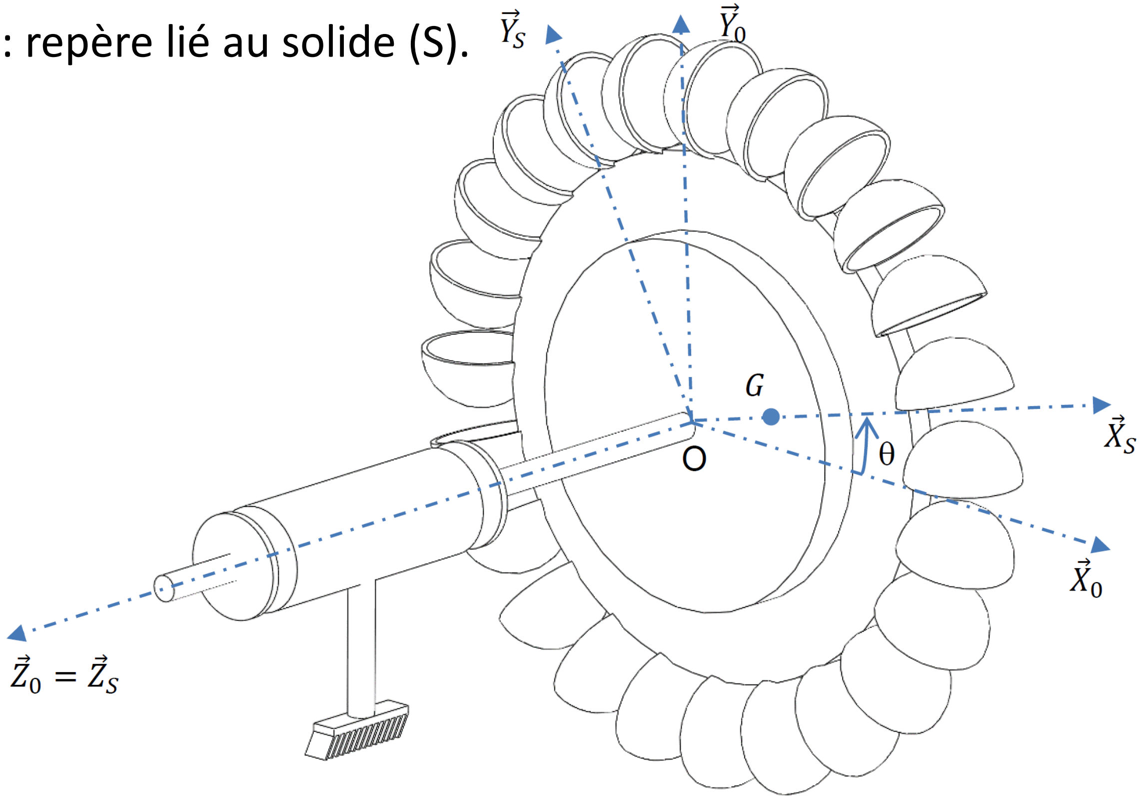
$R_0\left(O,\overrightarrow{X_0},\overrightarrow{Y_0},\overrightarrow{Z_0}\right)$: repère galiléen lié au bâti. $R_S\left(O,\overrightarrow{X_S},\overrightarrow{Y_S},\overrightarrow{Z_S}\right)$: repère lié au solide (S).

$\left(\overrightarrow{X_0},\overrightarrow{X_s}\right)=\left(\overrightarrow{Y_0},\overrightarrow{Y_s}\right)=\theta$

Le centre d'inertie de (S) est situé au point G tel que $\overrightarrow{OG}=a.\overrightarrow{X_s}$

La matrice d'inertie du solide (S) au point O

dans le repère R_S est $[I_O(S)]=\begin{bmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{bmatrix}_{(\overrightarrow{X_S},\overrightarrow{Y_S},\overrightarrow{Z_S})}$



Modélisation du problème
Etude de l'équilibrage d'une turbine Pelton

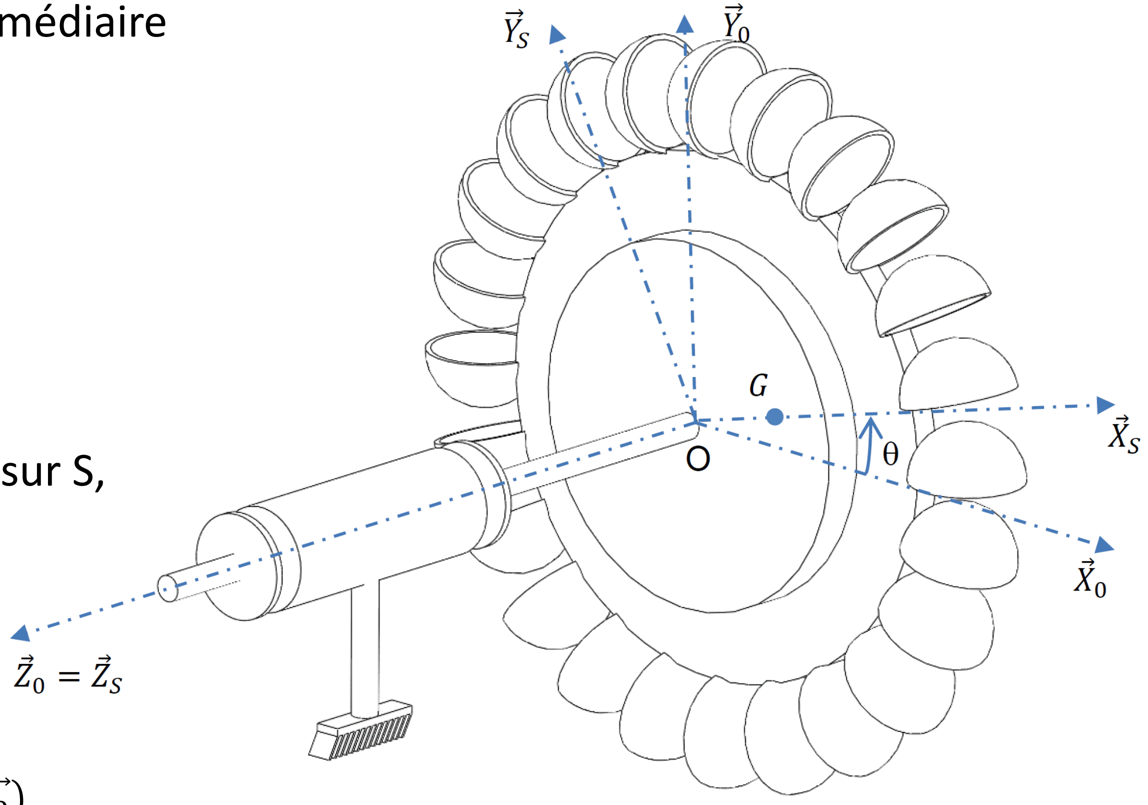
Notations :

Le torseur des actions mécaniques du bâti exercé sur (S) par l'intermédiaire de la liaison pivot est :

$$\{\tau(B\hat{a}ti \rightarrow S)\} = \begin{Bmatrix} X & L \\ Y & M \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{O,(\vec{X_S},\vec{Y_S},\vec{Z_S})}$$

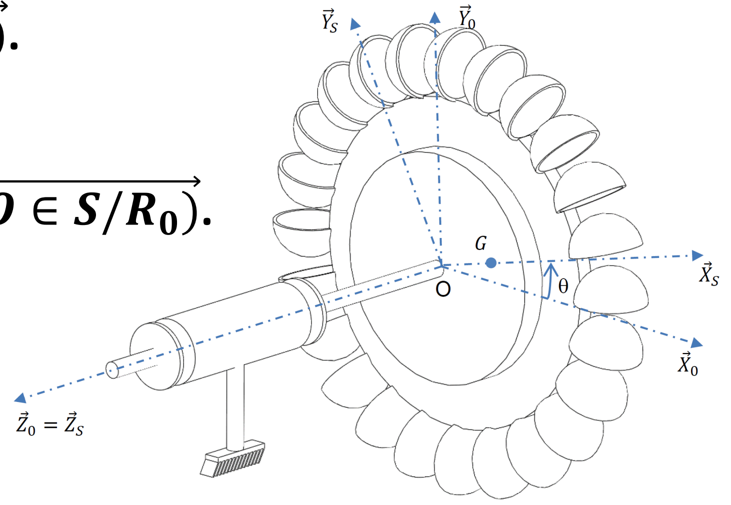
On regroupe le reste des actions mécaniques extérieures exercées sur S, supposées connues, sous la forme :

$$\{\tau(\bar{S} \rightarrow S)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -Mg & 0 \\ 0 & C_m \end{Bmatrix}_{G,(\vec{X_0},\vec{Y_0},\vec{Z_0})}$$



Modélisation du problème
Etude de l'équilibrage d'une turbine Pelton

Déterminer l'accélération du point G appartenant à S par rapport à R_0 : $\overrightarrow{\Gamma(G \in S/R_0)}$.



Déterminer le moment dynamique du point O appartenant à S par rapport à R_0 : $\overrightarrow{\delta(O \in S/R_0)}$.

Déterminer $\{\tau(B\hat{a}ti \rightarrow S)\} = \begin{Bmatrix} X & L \\ Y & M \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{O,(\overrightarrow{X_S},\overrightarrow{Y_S},\overrightarrow{Z_S})}$

La turbine est équilibrée si les composantes de $\{\tau(B\hat{a}ti \rightarrow S)\}$ sont indépendantes des effets dynamiques.

En déduire les conditions d'équilibrage, propres à la répartition des masses de la turbine, nécessaires à l'équilibrage.

Équilibrer la turbine consiste, par enlèvement de matière (soit une masselotte de masse négative), à réaliser les conditions précédentes.

Modélisation du problème
Etude de l'équilibrage d'une turbine Pelton

Equilibrage avec une masselotte

Nouveau système (S') = (S) U (S_1).

G' centre d'inertie de (S')
D' et E' ses produits d'inertie

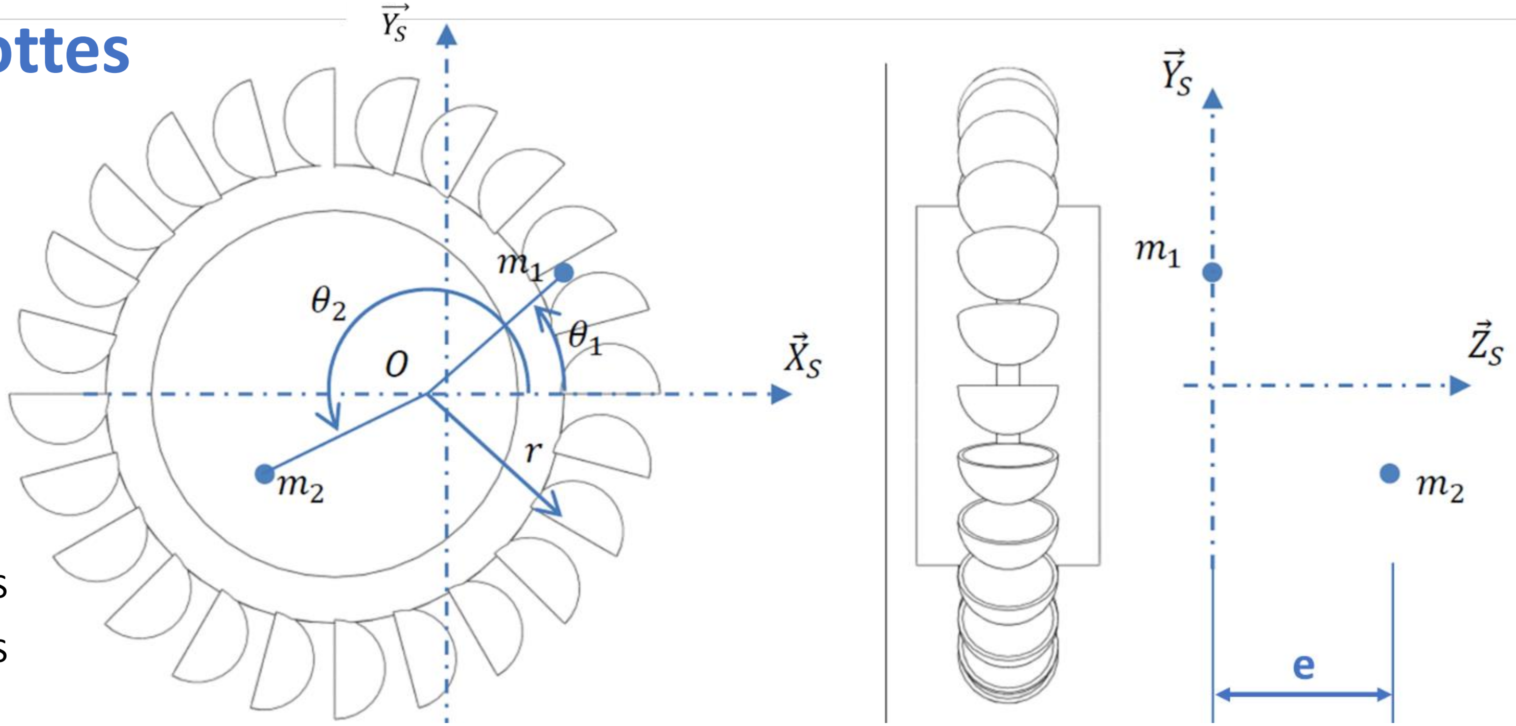
Masse de (S_1) : m_1
Coordonnées de (S1) : M_1 (x_1, y_1, z_1) dans R_S

Montrer que l'équilibrage à une masselotte n'est possible que si D = 0.

Cette solution n'étant pas satisfaisante, on se propose d'utiliser deux masselottes.

Modélisation du problème
Etude de l'équilibrage d'une turbine Pelton

Equilibrage avec deux masselottes



Nouveau système (S') = (S) U (S_1) U (S_2).

G' centre d'inertie de (S')
D' et E' ses produits d'inertie
Masse (S_1) : m_1
Masse (S_2) : m_2
Coordonnées de (S_1) : M_1 (x_1, y_1, z_1) dans R_S
Coordonnées de (S_2) : M_2 (x_2, y_2, z_2) dans R_S

Les paramètres r_1, r_2, z_1, z_2 sont imposés :
$r_1 = r_2 = r$ et $z_2 = e$ et $z_1 = 0$.

Déterminer m_1, m_2, θ_1 et θ_2 pour que l'ensemble {turbine + masselottes} soit équilibré dynamiquement.