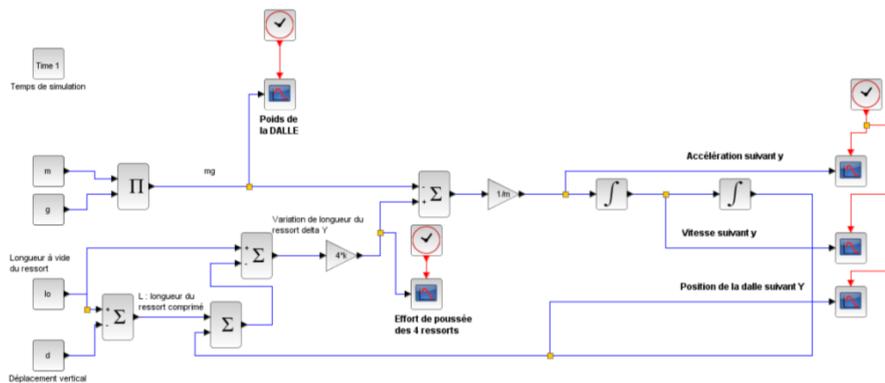
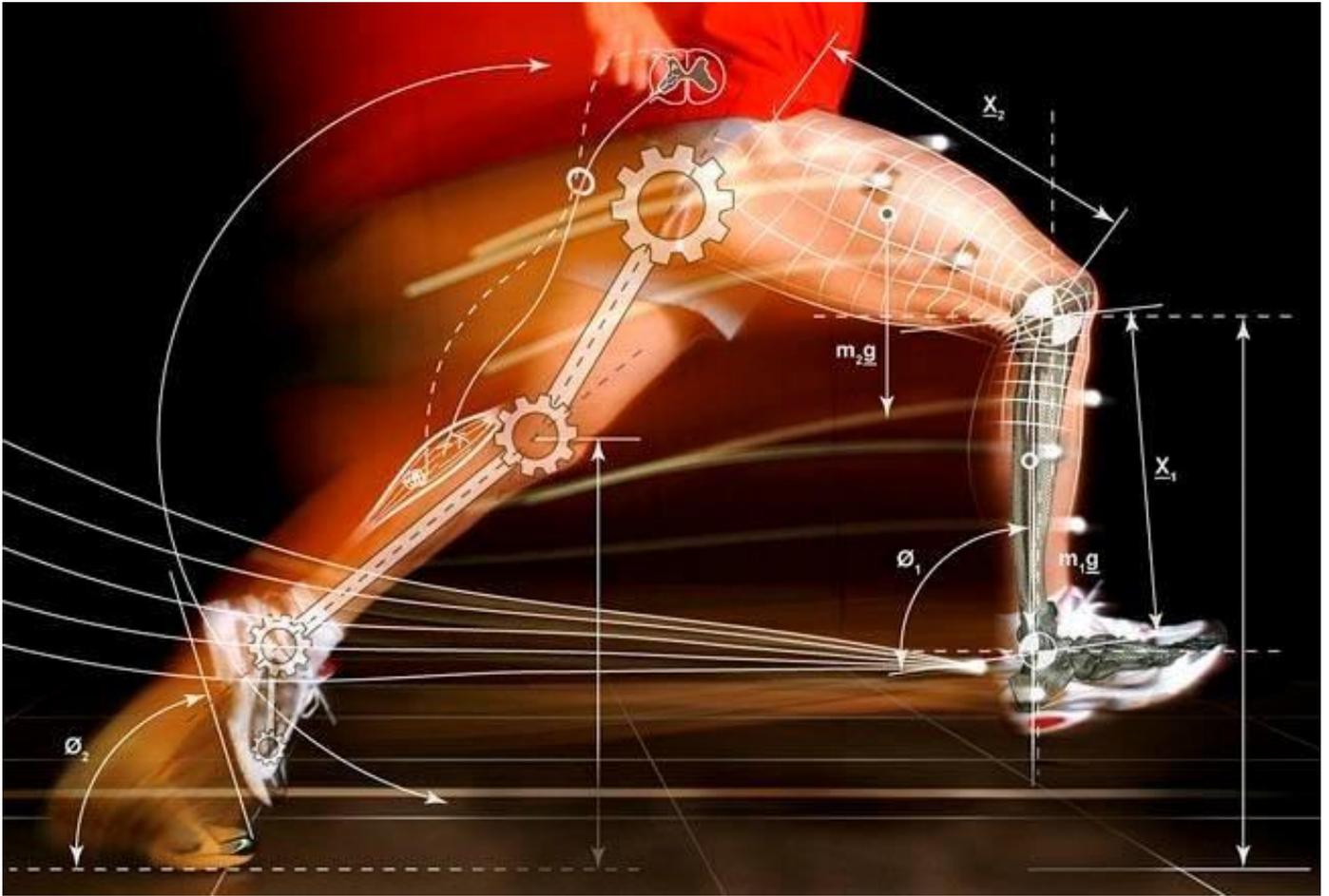


Dynamique du solide



Objectif :

- **Définir** les frontières de l'étude et les données d'entrée,
- **Faire** les hypothèses simplificatrices nécessaires et **proposer** un modèle d'étude adapté,
- **Justifier** un modèle d'étude proposé pour une situation donnée,
- **Élaborer** un paramétrage dans des cas simples,
- **Choisir** une méthode d'étude ou un outil de calculs et **appliquer** un principe ou une loi pour déterminer les grandeurs physiques utiles.

Sommaire

Objectif	0
1 - Principe Fondamental de la dynamique.	2 - 3
1.1 - Cas d'un solide en translation	3 - 5
2.1 - Cas d'un solide en rotation	5
2.1.1 Moment d'inertie	6 - 7
2.1.2 Moteur pilote 5000	8 - 9
2.1.3 Déséquilibre : vibreur téléphone	10 - 11
Revue de presse (VTT Magazine)	12

La dynamique est la partie de la mécanique qui étudie les relations existantes entre les déplacements des solides et les actions mécaniques extérieures qui agissent sur ces solides.

PROBLEME TECHNIQUE POSE

Lors de la mise en mouvement des masses (ascenseur, tapis roulant, etc.), les accélérations dues au démarrage vont entraîner l'apparition de surcharges, ce qui, au niveau de l'actionneur électrique, va nécessiter un couple de démarrage important et donc une surconsommation d'intensité.

Il est donc important de pouvoir quantifier ces surcharges afin de permettre le dimensionnement de l'actionneur.

LES DIFFERENTS TYPES DE COMMANDE :

- CAS DES ACTIONNEURS COMMANDÉS EN TOR (TECHNOLOGIE 111 JANVIER-FÉVRIER 2001)

Tous ces actionneurs doivent majoritairement réaliser une course dans un temps imparti ; ce temps étant lui-même conditionné par le temps de cycle de la machine dans laquelle l'actionneur est intégré. Leur dimensionnement consiste essentiellement à calculer le couple (C_m) ou l'effort (F_m) moteur nécessaire en phase transitoire à partir d'une valeur d'accélération maximale choisie pour les exigences de ce temps d'action. En général, cette détermination se fait à partir d'une modélisation cinématique le plus souvent de **type trapézoïdale** en vitesse (voir détail de la figure 1). Globalement, cette démarche peut se représenter par l'organigramme de la figure 1.

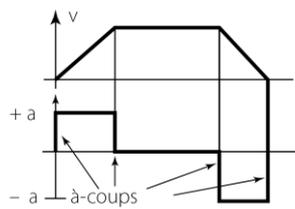
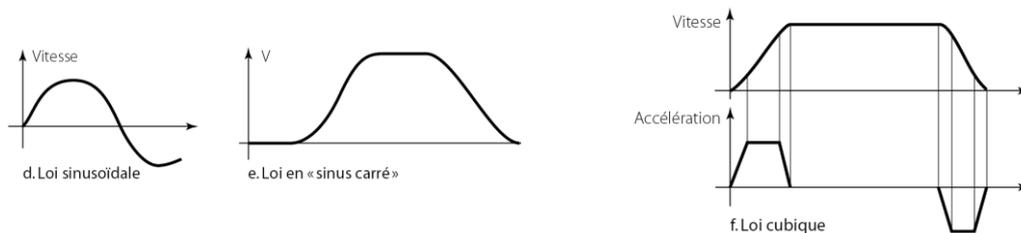


Figure 2. Modélisation trapézoïdale

Cette loi provoque des à-coups sur la mécanique lors du démarrage et de l'arrêt en raison de la variation brutale de l'accélération de 0 à +a ou de -a à 0 (figure 2).

- CAS DES ACTIONNEURS CONTRÔLÉS OU ASSERVIS (TECHNOLOGIE 111 JANVIER-FÉVRIER 2001)

Pour palier à ces défauts d'autres types de cycles peuvent être envisagés. Cette optimisation, en améliorant la fiabilité de la mécanique et des actionneurs, permet de réduire le coût global et d'améliorer la sécurité (figures 3).



Figures 3. Exemples de lois de conduite

Les lois de conduite **sinusoïdales** répondent à cet objectif, au détriment cependant de la rapidité. Elles sont particulièrement développées pour des machines d'essais d'usure, pour des applications dans le domaine des transports afin d'améliorer le confort physiologique des passagers. D'autres lois peuvent encore être rencontrées comme la loi en **sinus carré** de l'accélération, proche de la loi la plus optimale (rapidité et tenue), ou la loi dite **cubique** en position, qui assure un bon compromis fiabilité-rapidité par une montée en vitesse progressive.

Formulaire

1) Principe Fondamental de la dynamique ou PFD.

Vers la fin du XVII^{ème} siècle, et après des siècles d'études et de réflexion, NEWTON élabore le **principe fondamental de la dynamique** qui sera la clef de voûte de la mécanique classique.

Ce principe permet d'expliquer et de prévoir les relations qui existent entre les efforts appliqués à un système et ses mouvements.

Cet outil permet donc de mettre en relation des notions telles que accélération, inertie, efforts et pourquoi pas la notion de vibrations.

Dans un référentiel galiléen R_g , le torseur de l'action mécanique appliquée sur le solide S est égal au torseur dynamique de ce solide dans son mouvement par rapport à R_g .
 Exprimons ces torseurs en un point G :

$$\sum \{F_{ext} \rightarrow S\} = \left\{ \mathcal{D}_{S/R_g} \right\}_G$$

Le Principe Fondamental de la Dynamique permet donc d'écrire les 2 relations vectorielles suivantes :

Théorème de la résultante $\sum \vec{F}_{ext/s} = m \cdot \vec{a}_{G1/0}$

Théo. du Moment Dynamique $\sum M_G \vec{F}_{ext/s} = I_{GZ} \cdot \alpha$

Avec G le centre de gravité du solide et z l'axe de rotation.

- α : Accélération angulaire en rad/s^2
- $a_{G1/0}$: Accélération linéaire en m/s^2
- I_{GZ} : Moment d'inertie autour de l'axe $G\vec{z}$ en $kg.m^2$
- m : masse en kg

Personnalisé au mouvement de :

TRANSLATION donne:

$$\sum \vec{F}_{ext/s} = m \cdot \vec{a} \quad (1)$$

$$\sum M_G \vec{F}_{ext/s} = \vec{0} \quad (2)$$

- Car l'accélération angulaire ω' ou α nulle.

ROTATION :

$$\sum \vec{F}_{ext/s} = \vec{0} \quad (1)$$

$$\sum M_G \vec{F}_{ext/s} = I_{GZ} \cdot \alpha \quad (2)$$

- Car l'accélération a est nulle.

Domaine de la Dynamique

Résultat déjà connu puisqu'il traduit le **P.F.S** :

- le système est au repos donc les accélérations a et ω' ou α sont nulles.
- le système se déplace à vitesse constante donc ses dérivées sont nulles.

$$\sum \vec{F}_{ext/s} = \vec{0}$$

$$\sum M_G \vec{F}_{ext/s} = \vec{0}$$

Domaine de la Statique

1.1) EXPERIMENTATION : Cas du solide en translation.

Un homme de 80 kg se tient debout sur une balance dans une cabine d'ascenseur. Lorsque la cabine est mise en mouvement, les commandes du moteur intègrent les éléments suivants :

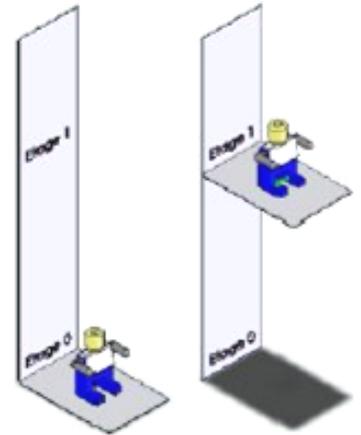
- la vitesse maximum est de 1 m/s
- les phases d'accélération et décélération ne peuvent pas excéder 1 m/s².

Une simulation informatique est réalisée pour un déplacement de 3 mètres de la cabine (passage de l'étage 0 à l'étage 1).

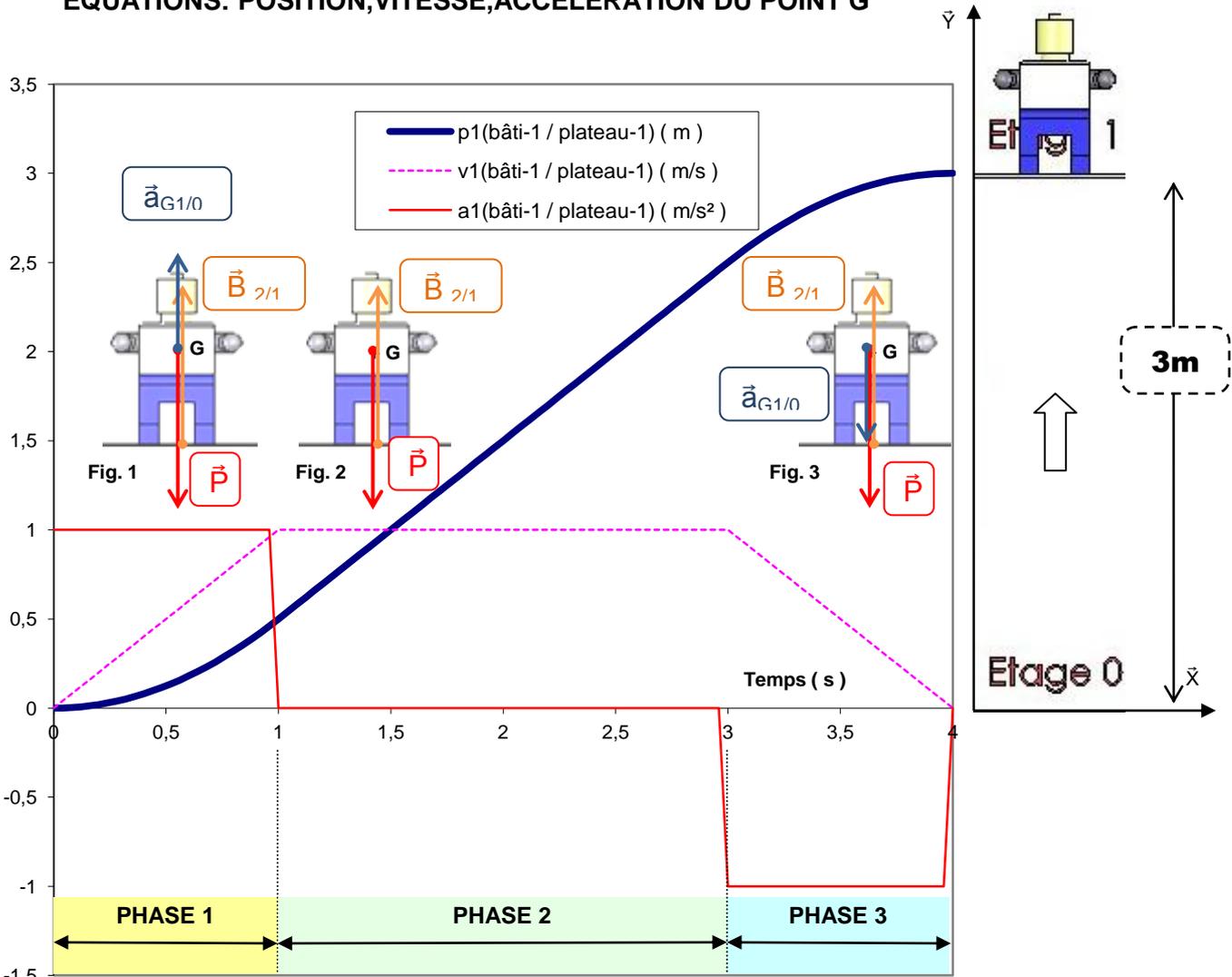
Accélération de la pesanteur : $g = 10 \text{ m/s}^2$

Notation :

Homme = 1 , Balance = 2 , **G** pour le point d'application du poids et **B** le point de contact avec la balance



EQUATIONS: POSITION, VITESSE, ACCELERATION DU POINT G



MRUA :
Le vecteur accélération est orienté dans le sens du mouvement

MRU :
Le vecteur accélération n'existe pas, il est nul.

MRUD :
Le vecteur décélération est orienté dans le sens opposé au mouvement

a) Bilan :

Partie identique pour les 3 cas de figures.

$$\left\{ \begin{matrix} \tau_{2 \rightarrow 1} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\} \quad \left\{ \begin{matrix} \tau_{\text{pes} \rightarrow 1} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ -mg & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\}$$

Sur les phases, les valeurs de l'accélération diffèrent :

Phase 1	Phase 2	Phase 3
$\vec{a}_{G1/0} = \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{matrix}$	$\vec{a}_{G1/0} = \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}$	$\vec{a}_{G1/0} = \begin{matrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{matrix}$

Seule l'équation en \vec{y} de la résultante dynamique sera étudiée ici car elle nous permet de répondre à la problématique posée, cela ne sera pas toujours le cas.

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}/s} = m \cdot \vec{a} \quad (1)$$

$$\sum \vec{M}_G \vec{F}_{\text{ext}/s} = \vec{0} \quad (2)$$

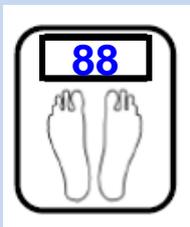
$$\vec{P} + \vec{B}_{2/1} = m \cdot \vec{a}_{G1/0}$$

$$\begin{matrix} 0 & +0 & = 80 \cdot 0 \\ -10 \cdot 80 + Y_B & = 80 \cdot 1 & (1) \\ 0 & +0 & = 80 \cdot 0 \end{matrix}$$

$Y_B = 880 \text{ N}$

Soit

$$m_1 = 880 / 10 = 88 \text{ kg}$$



$$\vec{P} + \vec{B}_{2/1} = m \cdot \vec{a}_{G1/0}$$

$$\begin{matrix} 0 & +0 & = 80 \cdot 0 \\ -10 \cdot 80 + Y_B & = 80 \cdot 0 & (1) \\ 0 & +0 & = 80 \cdot 0 \end{matrix}$$

$Y_B = 800 \text{ N}$

Soit

$$m_2 = 800 / 10 = 80 \text{ kg}$$



$$\vec{P} + \vec{B}_{2/1} = m \cdot \vec{a}_{G1/0}$$

$$\begin{matrix} 0 & +0 & = 80 \cdot 0 \\ -10 \cdot 80 + Y_B & = 80 \cdot -1 & (1) \\ 0 & +0 & = 80 \cdot 0 \end{matrix}$$

$Y_B = 720 \text{ N}$

Soit

$$m_3 = 720 / 10 = 72 \text{ kg}$$



2.1) EXPERIMENTATION : Cas du solide en Rotation.

En soit le cas d'un problème d'un solide en rotation ne pose pas plus de problème, par contre il apparaît au niveau des formules une notion nouvelle :

- Le moment d'inertie.

2.1.1) – Moment d'inertie.

La matière dont est fait un solide s'oppose à la modification du mouvement de celui-ci.

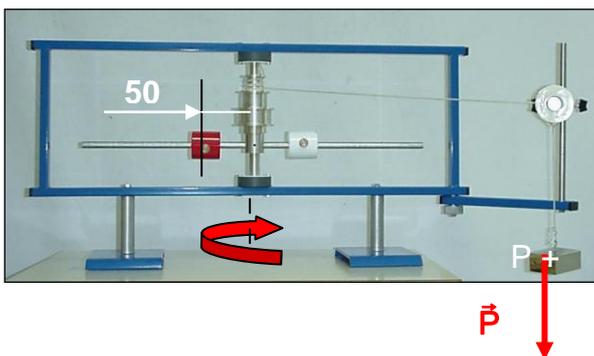
Dans le cas d'un solide en **Translation**, c'est la **masse** seule du solide qui intervient (utilisée dans le théorème de la résultante dynamique).

Dans le cas d'un solide en **Rotation**, la **masse** mais aussi la **forme** et les **dimensions** du solide interviennent. Cet ensemble de paramètres est pris en compte grâce à la définition du moment d'inertie du solide par rapport à **l'axe de rotation** (utilisé dans le théorème du moment dynamique).

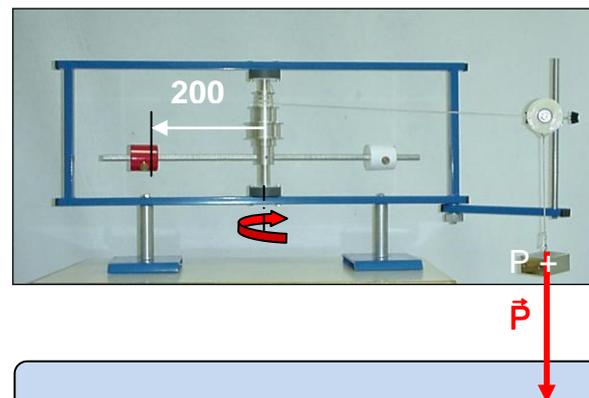
Pour calculer cette inertie, il faut donc prendre en compte deux phénomènes :

- La répartition de la masse de l'objet
- La position et l'orientation de l'axe de rotation par rapport à l'objet

Les deux objets suivants sont identiques, hormis la position des masselottes qui est plus éloigné du centre de rotation pour le cas de la figure de droite. La Force motrice \vec{P} reste la même pour les deux expériences :



Dans ce premier cas l'accélération angulaire est rapide, il est facile de mettre en mouvement une masse qui est très proche de l'axe de rotation.

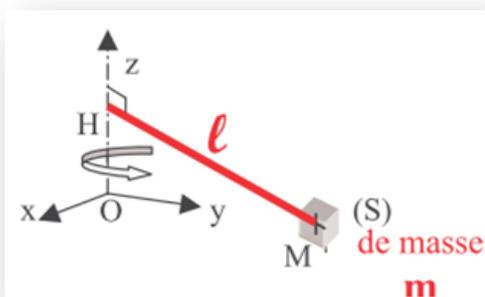


Dans ce deuxième cas l'accélération angulaire est plus lente, il est plus difficile de mettre en mouvement une masse qui est très éloignée de l'axe de rotation qu'une masse qui est plus proche de celui-ci.

Les deux masselottes (**Rouge** et blanche) ont pourtant la même masse mais sont réparties différemment par rapport à l'axe de rotation (50 mm dans le 1^{er} cas, 200mm dans le 2nd).

Ce qui engendre un **Moment d'Inertie** différent.

Le **moment d'inertie** caractérise donc la répartition de la **masse** par rapport à une référence, ici **l'axe de rotation** (zz') du cylindre.



Son calcul s'effectue à partir de la formule suivante :

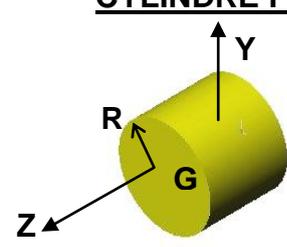
$$I_{Oz} = \iiint l^2 \cdot dm \quad \text{en kg.m}^2$$

-Si le solide est 2 fois plus lourd, il sera 2 fois plus difficile à entrainer en rotation.

-Si le solide est 2 fois plus éloigné de l'axe, il sera 4 fois plus difficile à entrainer en rotation

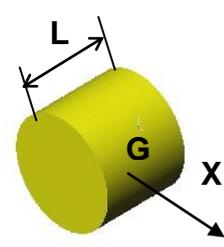
Les résultats suivants sont le résultat de ce calcul intégral : [Animation Flash](#)

CYLINDRE PLEIN



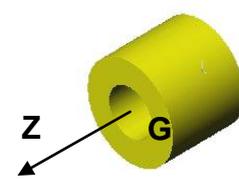
$IG_z = \frac{M R^2}{2}$

Mais

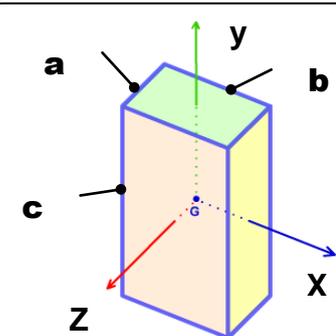


$IG_x = IG_y = \frac{M R^2}{4} + \frac{M L^2}{12}$

CYLINDRE CREUX



$IG_z = \frac{M (R^2 + r^2)}{2}$



$IG_x = \frac{M (a^2 + c^2)}{12}$

$IG_y = \frac{M (a^2 + b^2)}{12}$

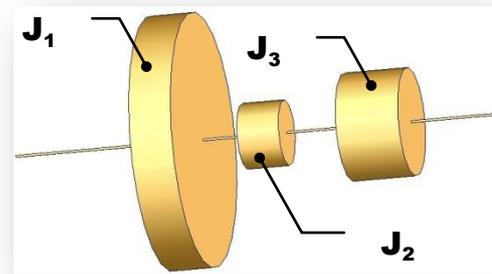
$IG_z = \frac{M (b^2 + c^2)}{12}$

Inertie d'un ensemble de solides possédant le même axe de symétrie

Soit un ensemble de solides tournants autour du même axe de rotation, cet axe étant axe de symétrie pour chacun d'entre eux.

Le moment d'inertie total de l'ensemble est la somme des moments d'inertie de chacun des solides par rapport à cet axe :

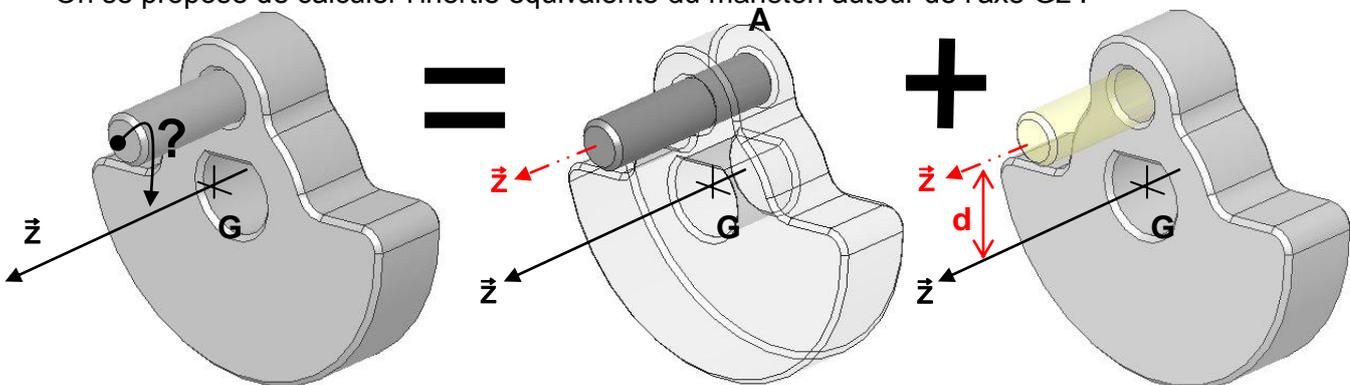
$$J_E = J_1 + J_2 + J_3$$



Théorème de HUYGENS

Si on connaît le moment d'inertie du maneton de masse m par rapport à l'axe (A \vec{Z}), on peut trouver le moment d'inertie par rapport à l'axe (G \vec{Z}) distant de d de l'axe (G \vec{Z}) :

On se propose de calculer l'inertie équivalente du maneton autour de l'axe G \vec{Z} .



IG_z
 On recherche le Moment d'inertie du maneton par rapport à l'axe G \vec{Z} .

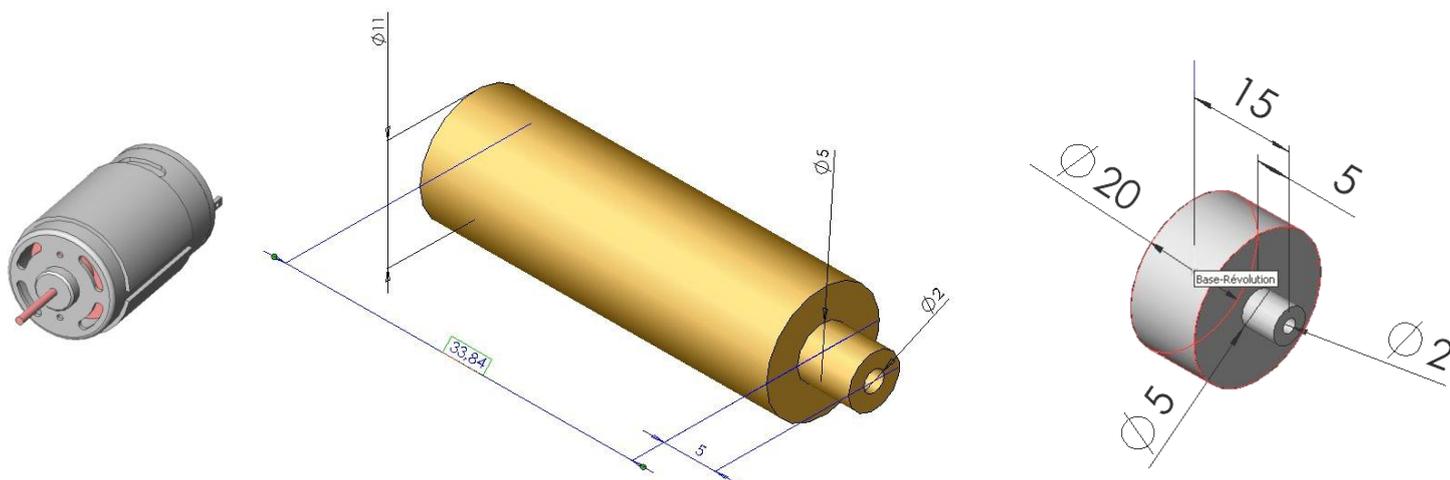
=

I_{Az} + $m \cdot d^2$

2.1.2) Ex : Moteur du PILOTE 5000

Soit un moteur à courant continu, il est possible de monter sur l'arbre de sortie de celui-ci deux types de poulies qui sont ici représentées sous une forme simplifiée, ceci afin de faciliter le calcul. La masse des poulies dans les deux cas est égale à 24,90 g. Sachant que le couple moteur est égal à $C_m = 1\text{N.m}$ et le couple résistant à $0,05\text{ N.m}$, calculer l'accélération angulaire dans les deux cas ? Quelle est la solution où la vitesse nominale de 2381 tr/min est atteinte le plus rapidement ?

(si vous souhaitez recalculer les moments d'inertie des deux poulies, la matière retenue est de l'acier, sa masse volumique est égale à $\rho = 0,0078\text{ g/mm}^3$ ou 7800kg/m^3).



Solide isolé : 1 = {poulie + Rotor}

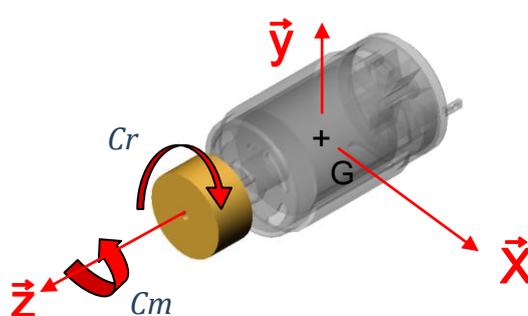
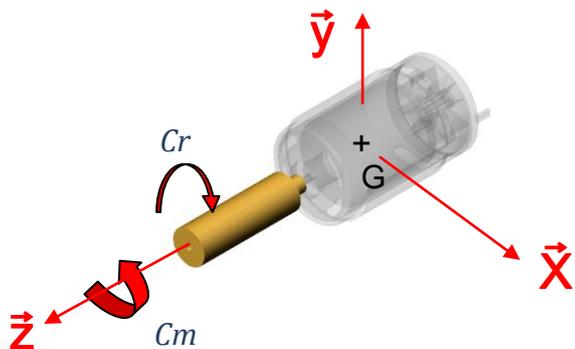
Stator = 2

- CAS N°1

- CAS N°2

$I_{Gz} = I_1 = 3,81 \cdot 10^{-3}\text{ kg. m}^2$

$I_{Gz} = I_2 = 12,2 \cdot 10^{-3}\text{ kg.m}^2$



Partie identique pour les 2 cas de figures.

Liaison PIVOT

$$\left\{ \begin{matrix} \tau_{2 \rightarrow 1} \\ \end{matrix} \right\}_G = \left\{ \begin{matrix} XG & LG \\ YG & MG \\ ZG & 0 \end{matrix} \right\}$$

Poids POULIE

$$\left\{ \tau_{pes \rightarrow 1} \right\}_G = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ -mg & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\}$$

Couple MOTEUR

Couple RESISTANT

Pour des raisons de clarté les composantes de la liaison PIVOT et de la PESANTEUR n'ont pas été représentées.

Seule l'équation en \vec{z} du Moment dynamique sera étudiée ici car elle nous permet de répondre à la problématique posée, cela ne sera pas toujours le cas.

$$\sum \vec{F}_{\text{ext/s}} = \vec{0} \quad (1)$$

$$\sum M_G \vec{F}_{\text{ext/s}} = I_{GZ} \cdot \alpha \quad (2)$$

- CAS N°1

$$C_m - C_r = I_1 \cdot \alpha_1$$

$$\alpha_1 = (C_m - C_r) / I_1$$

$$\alpha_1 = (1 - 0,05) / 3,81 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_1 = 249,34 \text{ rad / s}^2$$

- CAS N°2

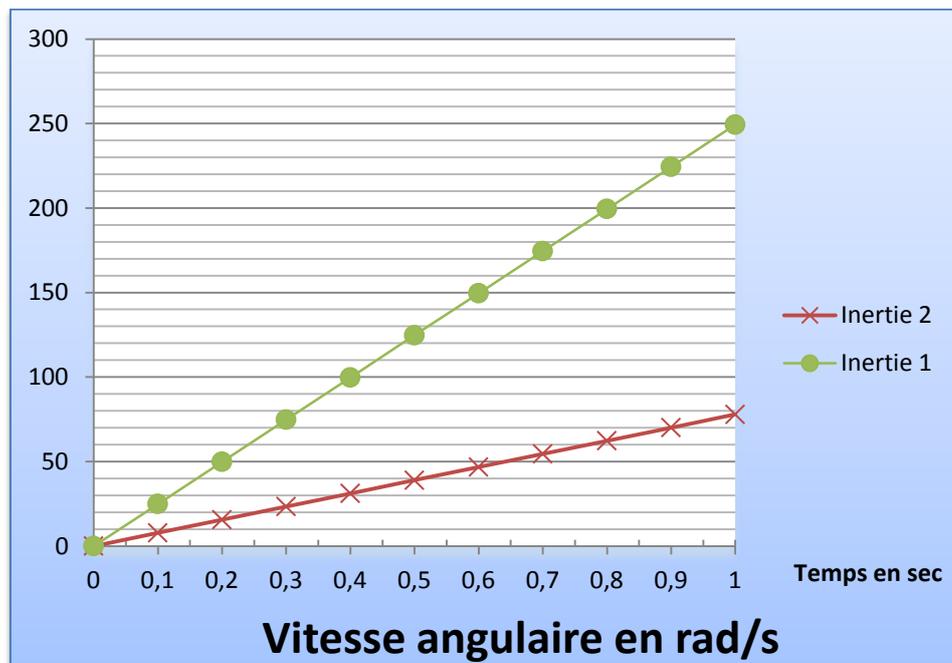
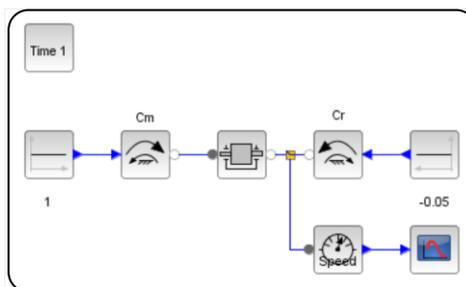
$$C_m - C_r = I_2 \cdot \alpha_2$$

$$\alpha_2 = (C_m - C_r) / I_2$$

$$\alpha_2 = (1 - 0,05) / 12,2 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_2 = 77,86 \text{ rad / s}^2$$

Modèle multiphysique .



**N= 2381 tr/min
soit 249,34 rad/sec**

-Équations des vitesses :

$$\omega_1 (t) = 249,34.t$$

$$\omega_2 (t) = 77,86.t$$

-Temps :

$$249,34 = 249,34.t_1$$

$$t_1 = 1 \text{ sec}$$

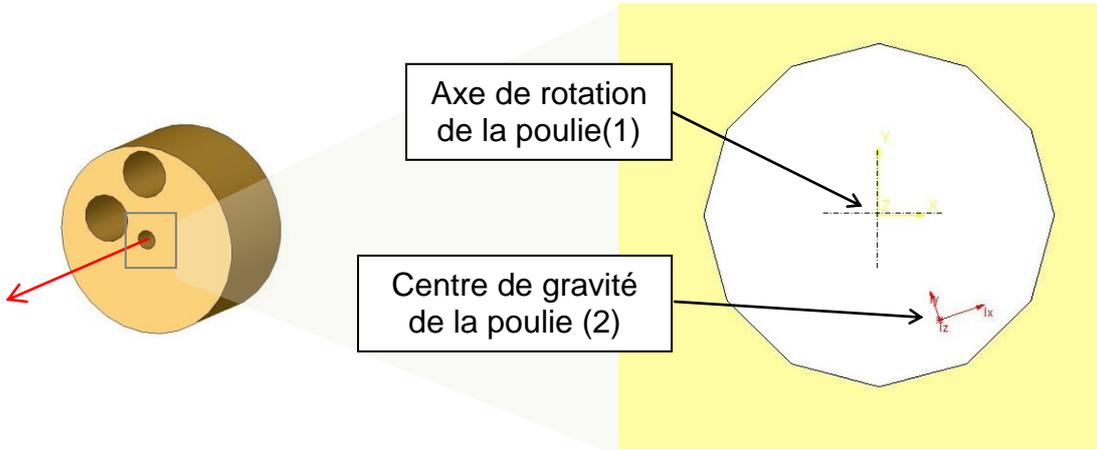
$$249,34 = 77,86 \cdot t_2$$

$$t_2 = 3,2 \text{ sec}$$

Que peut-on conclure ?

Nous pouvons observer que plus le moment d'inertie (I_2) est grand plus, il est plus difficile de mettre en mouvement ce solide, cela se traduit par un accélération angulaire (α_2) faible. Dans le cas n°1 la vitesse est atteinte au bout d'une seconde dans le cas n°2 il faudra 3,2 secondes.

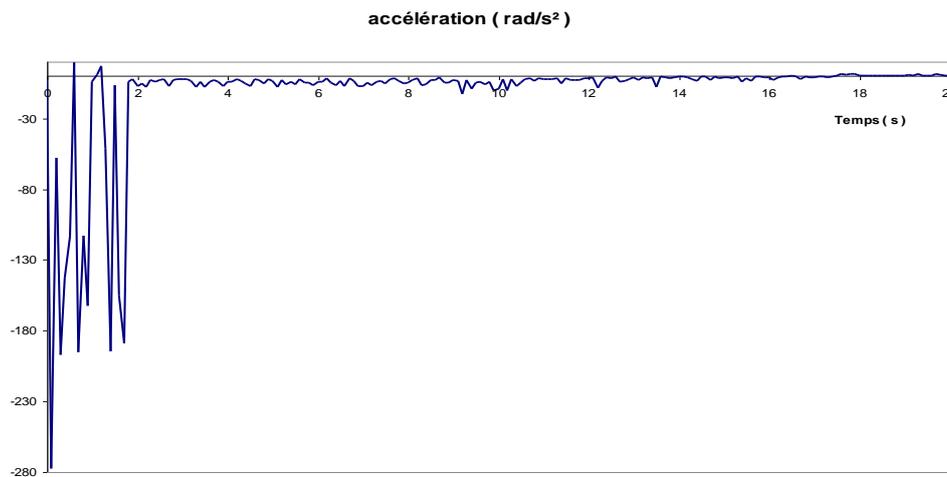
2.1.3) Ex : Déséquilibre



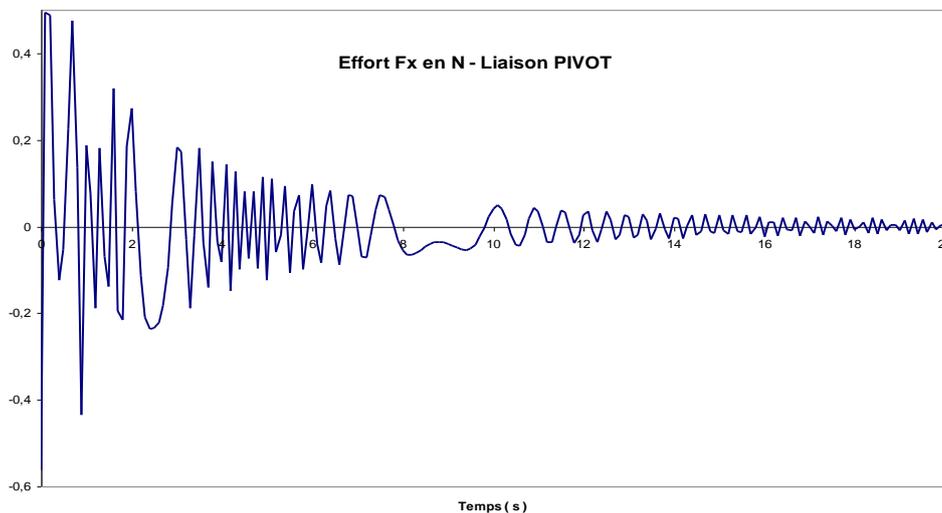
Si nous perçons la poulie précédente par deux trous (il en aurait été de même par un seul) :

- la répartition des masses autour de l'axe de rotation (1) n'est plus la même,
- son moment d'inertie s'en trouve modifié
- son centre de gravité ne se trouve plus lui sur l'axe de rotation(1) mais se trouve légèrement décalé(2). Ce décalage va occasionner la vibration.

En simulation, on observe que l'accélération n'est plus uniforme (phénomène oscillatoire).

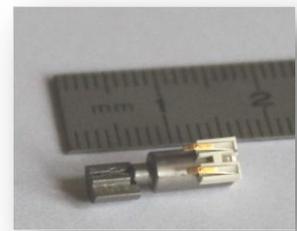
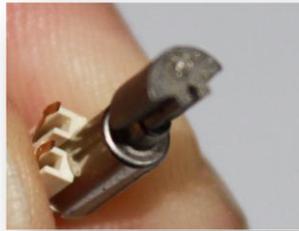


La même constatation peut se faire sur les actions mécaniques dans la liaison pivot.



Si le centre de gravité ne se trouve pas sur l'axe de rotation cela génère des vibrations qui conduisent à plus ou moins long terme à la détérioration du mécanisme.

Ce phénomène est volontairement utilisé pour créer le **mode Vibreur** de votre téléphone portable



par contre

l'objectif de votre garagiste lorsqu'il monte un nouveau pneu sur votre jante est tout autre, lui, recherche à ce que le centre de gravité de l'ensemble se trouve **bien** sur **l'axe de rotation de la roue** sinon vous ressentirez des vibrations dans votre volant !

Le moment d'inertie est un élément majeur dans le cas des solides en rotation, il est essentiel de bien connaître le phénomène afin d'en tirer le meilleur parti.





Revue de presse

Extrait d'un article du magazine N°196 S

LES MESURES

TENSIONS (DAN)	
Roue AV côté disque	75
Roue AV opposé disque	49
Roue AR côté roue libre	90
Roue AR opposé roue libre	55
INERTIE (G.M2)	
AV	37,2
AR	37,3
RIGIDITÉ LATÉRALE (N/MM)	
AV	51,5
AR	49,7
RIGIDITÉ FRONTALE (N/MM)	
Roue AV	1 960
Roue AR	1 465
COUPLE DE FROTTEMENTS (N. MM)	
AV à vide	8
AV serrée	13
AR à vide	16
AR serrée	16
Corps de roue libre	42

BONTRAGER RACE X LITE



1538 g

LES MESURES

TENSION (DAN)	
Roue AV disque	106
Roue AV opposé disque	57
Roue AR roue libre	122
Roue AR opposé roue libre	64
INERTIE (G.M2)	
AV	36,4
AR	36,7
RIGIDITÉ LATÉRALE (N/MM)	
AV	70,7
AR	62,9
RIGIDITÉ FRONTALE (N/MM)	
Roue AV	2 465
Roue AR	1 808
COUPLE DE FROTTEMENTS (N. MM)	
AV à vide	6
AV serrée	5
AR à vide	15
AR serrée	16
Corps de roue libre	24

SUN RINGLE BLACK FLAG



1685 g

LES COUPLES DE FROTTEMENT

Autre point déterminant dans le rendement d'une roue : les couples de frottement ou frictions sur les roulements des moyeux et le corps de roue libre. Moins il y a de frictions, moins il y a de perte d'énergie et meilleur est le rendement. Pour

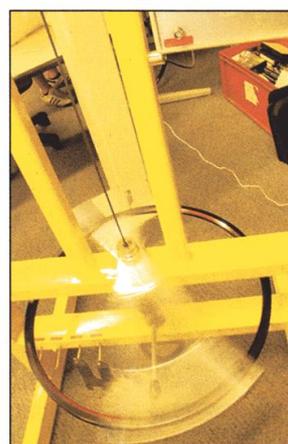


mesurer ce couple de frottement, nous avons utilisé un couple mètre. Nous avons mesuré les frictions, exprimées en N. mm, sur les moyeux "à vide" puis avec un blocage rapide serré, c'est-à-dire en charge, comme lorsque la roue est montée sur le vélo ou la fourche.

Nous avons aussi mesuré les frictions sur le corps de roue libre, car là aussi il y a des frictions au niveau des mécanismes, donc des pertes d'énergie.

L'INERTIE

L'inertie, exprimée en g/m² est la force ou l'énergie qu'il faut déployer pour modifier la vitesse



d'une roue. C'est un facteur très important en VTT car la vitesse n'est jamais stable. L'inertie déterminant en grande partie le rendement d'une roue, le but est d'obtenir la plus faible inertie possible pour avoir un vélo le plus efficace et le plus nerveux

possible sur les accélérations. L'inertie est en grande partie déterminée par la masse des composants placés le plus loin de l'axe de la roue (jante, écrou de rayon et rayons). Plus ils sont légers, et moins il y a d'inertie. Pour mesurer l'inertie, nous avons fixé la roue par son axe. A l'aide d'un système à ressorts, la machine mesure la période d'oscillation de la roue tandis que nous transformons, par un savant calcul, cette valeur en inertie, exprimée en g/m².

COUPLE DE FROTTEMENTS (total par paire)

- DE FRICTIONS	
Sun Ringle Black Flag	66
DT Swiss Cerit/X455	70
Easton XC One	74
DT Swiss 1540	78
Mavic Crossmax ST	80
Mavic Crosstrail	82
Sun Ringle Disc-0-Tek	85
Bontrager Race X Lite	95
Mavic Crossmax SLR	96
Spinergy Xyclone	119
DT Swiss 340/4.1D	122
Bontrager Race Lite	125
FSA XC 300	134
Shimano XT	140
Vuelta XRP	143
+ DE FRICTIONS	

Avec l'inertie, les mesures des couples de frottements sur les moyeux permettent de quantifier le rendement et de juger de la qualité des roulements. Moins il y a de frictions, moins il y a de pertes d'énergie et plus la roue offre du rendement. A titre d'exemple, un vététiste qui roule à 30 km/h avec une paire de roues dont le couple de frottements total est de 100 N. mm, consommera 2,62 watts de puissance pour compenser de frottement. La différence de consommation de puissance à 30 km/h entre la paire qui frotte le plus (3,75 watts pour les Vuelta) et celle qui frotte le moins (1,73 watt pour l'es Sun) est de 2,02 watts ce qui n'est pas négligeable sur une sortie de plusieurs heures. Avec leurs moyeux Ringle, les Sun Ringle Black Flag flirtent avec la perfection, puisque les frictions sont pratiquement nulles. Suivies des étonnantes DT Swiss dont les moyeux Cerit sont pourtant les modèles d'entrée de gamme de la marque suisse. Toujours dans le haut du peloton, on retrouve les Easton, les DT Swiss 1540. Les Mavic sont aussi bien placées, mais les SLR et ST auraient pu atteindre la perfection s'il n'y avait pas eu ce problème de frictions en charge sur le moyeu avant car les roues arrière ne présentaient pratiquement aucune friction.

INERTIE (moyenne par paire en g/m²)

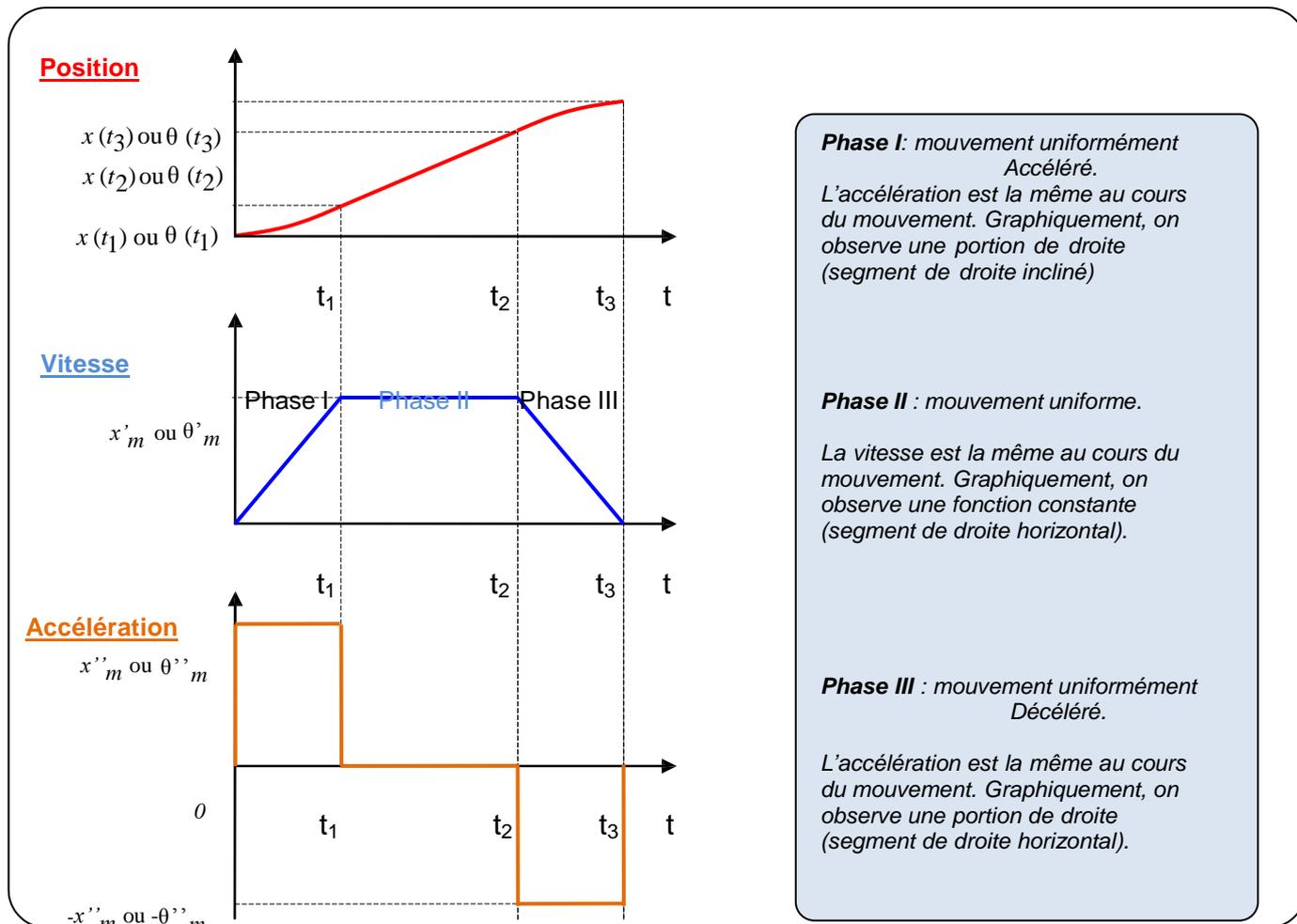
- D'INERTIE	
Mavic Crossmax SLR	34,7
Easton XC One	35,95
Sun Ringle Black Flag	36,55
Spinergy Cyclone	36,70
Bontrager Race X Lite	37,25
DT Swiss 1540	37,50
Bontrager Race Lite	37,80
Mavic Crossmax ST	38,3
Shimano XT	39,05
DT Swiss 340/4.1D	39,5
Mavic Crosstrail	39,60
DT Swiss Cerit/455	39,8
Sun Ringle Disc-0-Tek	42,10
FSA XC 300	45,10
Vuelta XRP	50,80
+ D'INERTIE	

L'inertie détermine l'efficacité de la roue sur les modifications de vitesse. Moins il y a d'inertie, et plus la roue est nerveuse, efficace au pédalage sur les accélérations et plus votre VTT vous semblera léger et vif. C'est le critère le plus important pour déterminer le rendement d'une roue et bien évidemment aussi en cas d'utilisation en compétition. Premier constat, l'inertie ne dépend pas uniquement du poids, mais plutôt de la répartition des masses. Ainsi, les Bontrager Race X Lite, qui sont les plus légères, ne sont pas celles qui offrent le moins d'inertie. Alors que les Sun Ringle Black Flag, 150 g plus lourdes que les Race X Lite, ont moins d'inertie. A noter les excellentes performances des nouvelles Mavic SLR, les plus nerveuses de ce comparatif.

ANNEXE



Dans de nombreux cas, un solide peut suivre un **mouvement (de rotation ou de translation) uniforme** ou un **mouvement (de rotation ou de translation) uniformément varié (accélééré ou décélééré)**.

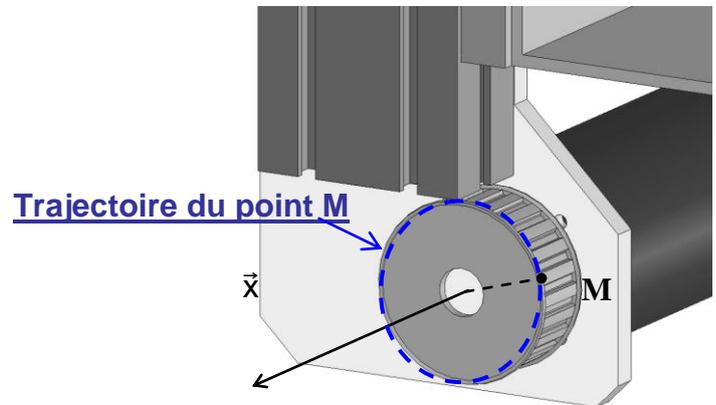
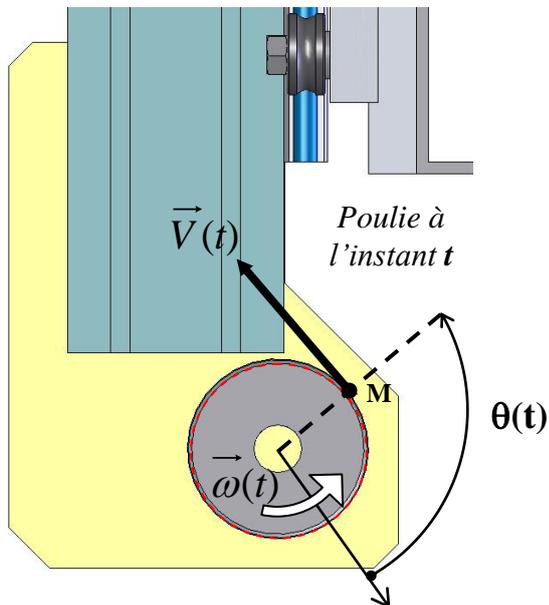


	Phase I	Phase II	Phase III
Équation position	$\theta(t) = \frac{1}{2} \cdot \theta_m \cdot t^2$	$\theta(t) = \theta_m \cdot (t - t_1) + \theta(t_1)$	$\theta(t) = -\frac{1}{2} \cdot \theta_m \cdot (t - t_2)^2 + \theta_m \cdot (t - t_2) + \theta_m(t_2)$
Équation vitesse	$\theta'(t) = \theta_m \cdot t$	$\theta'(t) = \theta_m$	$\theta'(t) = -\theta_m \cdot (t - t_2) + \theta_m$
Équation accélération	$\theta''(t) = \theta_m$	$\theta''(t) = 0$	$\theta''(t) = -\theta_m$

	Phase I	Phase II	Phase III
Équation position	$x(t) = \frac{1}{2} \cdot x_m \cdot t^2$	$x(t) = x_m(t - t_1) + x(t_1)$	$x(t) = -\frac{1}{2} \cdot x_m \cdot (t - t_2)^2 + x_m \cdot (t - t_2) + x_m(t_2)$
Équation vitesse	$x'(t) = x_m \cdot t$	$x'(t) = x_m$	$x'(t) = -x_m \cdot (t - t_2) + x_m$
Équation accélération	$x''(t) = x_m$	$x''(t) = 0$	$x''(t) = -x_m$

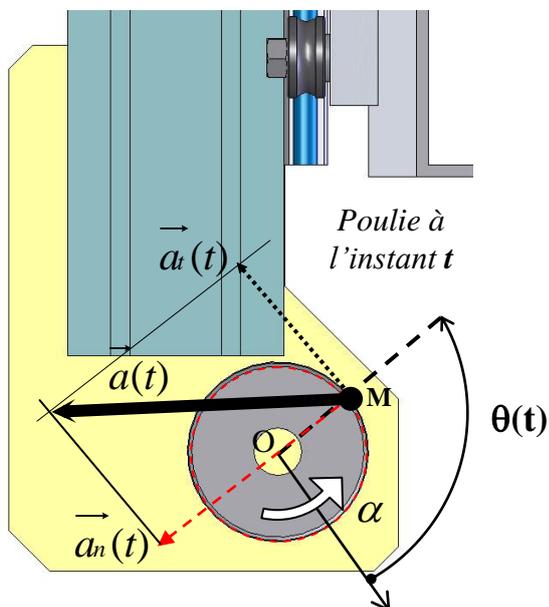
Accélération normale et tangentielle.

- Représentation de la vitesse d'un point



- Vitesse tangentielle ou linéaire :
 $V(t) = \omega(t) \cdot R$ en m/s
- Position sur la trajectoire :
 $x(t) = \theta(t) \cdot R$ en m

- Représentation de l'accélération d'un point



- Accélération tangentielle :
 $a_t(t) = \theta'(t) \cdot R = R \cdot \alpha$ en m/s²
- Accélération normale :
 $a_n(t) = \omega(t)^2 \cdot R$ en m/s²