

ÉNERGIE ET MÉCANIQUE

MÉCANIQUE DU SOLIDE

1 - Forces.....	2
Représentation d'une force.....	2
Exemples.....	2
2 - Étude des mouvements.....	3
2.1 - Translation.....	3
2.2 - Rotation.....	3
2.3 - Principe fondamental de la dynamique.....	5
3 - Transformation du mouvement.....	5
3.1 - Translation/rotation.....	5
3.2 - Réducteurs.....	5
4 - Capteurs (principe de la mesure).....	6
5 - Association moteur / charge.....	7
5.1 - Généralités.....	7
5.2 - Caractéristique mécanique.....	7
5.3 - Fonctionnement en régime permanent.....	8
5.4 - Accélération.....	9
5.5 - Décélération.....	9
5.6 - Critères de choix d'un moteur – et de son alimentation.....	10

1 - FORCES

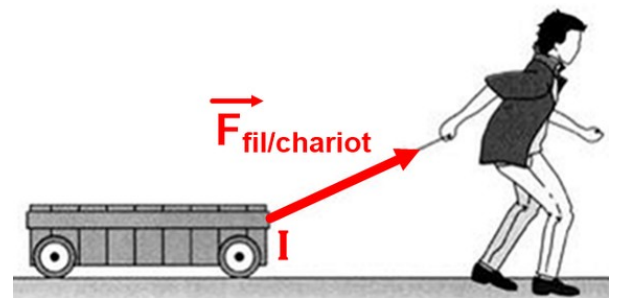
REPRÉSENTATION D'UNE FORCE

On appelle force, toute action mécanique capable :

- de modifier l'état de repos ou l'état de mouvement d'un corps.
- de déformer un corps.
- de compenser d'autres actions mécaniques.

L'action mécanique est modélisée par un VECTEUR-FORCE qui a pour caractéristiques :

- point d'application (I point où s'exerce la force du fil sur le charriot)
- direction (fil entre la main et le charriot)
- sens (action du fil sur le charriot est dirigée vers l'opérateur)
- intensité (newton, N), norme, valeur. (dépend du charriot)



EXEMPLES

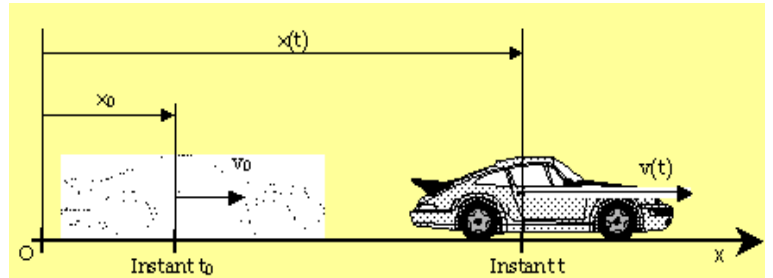
Gravité La force s'applique au centre de gravité du système. (toujours verticale vers le bas) Balle en chute. Solide posé sur un support. Sol	Poussée d'Archimède (toujours verticale vers le haut) $\vec{F}_{\text{eau/solide}}$ (Poussée d'Archimède) Solide Eau
Forces de frottements (toujours en sens opposé au déplacement)	Bilan des forces T : traction Mg : R : réaction du support F :

2 - ÉTUDE DES MOUVEMENTS.

2.1 - TRANSLATION

Lorsqu'un solide a un mouvement de translation, chaque ligne de celui-ci se déplace au cours du temps parallèlement à sa position initiale.

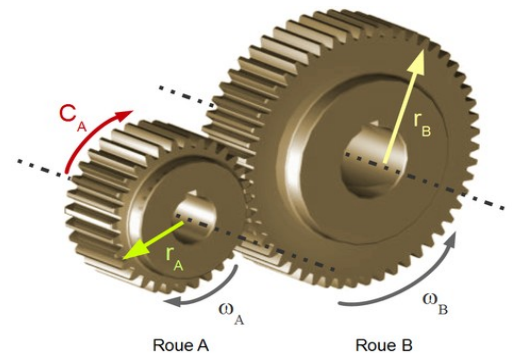
ci-contre : différentes positions d'un solide en translation.



2.2 - ROTATION

Un solide est en rotation si la trajectoire de tous ses points sont des cercles dont le centre est une même droite ; cette droite est appelée « axe de rotation »

ci-contre : 2 axes de rotation



	Translation	Rotation
Position	x En m	θ En rad
Vitesse	$v = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$ En m/s vitesse linéaire	$\Omega = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta}$ En rad/s vitesse angulaire
Accélération	$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$ En m/s ²	$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} = \ddot{\theta}$ En rad/s ²
inertie	l' inertie d'un corps est sa résistance à une variation de vitesse. L'inertie est fonction de la masse et de la géométrie du corps : plus celle-ci est grande, plus la force requise pour modifier son mouvement sera importante	
	Masse M en kg	Moment d'inertie J en kg/m ²
	moment d'inertie d'un cylindre $J_{cyl} = \frac{1}{2} \times M R^2$ R rayon du cylindre	
	moment d'inertie d'une masse en translation ramené sur l'axe de rotation : $J_{Trans - Rot} = M R^2$ R rayon de la roue	



Action extérieure	permet de modifier l'état de repos ou la vitesse d'un objet.	
	Force en Newton	Moment d'une force par rapport à l'axe de rotation $M = F \times r$ en N.m ; r : bras de levier couple de forces : pour 2 forces de même intensité, de même direction ; de sens opposé et de points d'application opposé par rapport au centre de rotation $C = F \times d$ en N.m
Travail d'une force	énergie fournie par cette force pour permettre le déplacement du solide.	
	$W_F = F \times d_{plct}$ En Joule si force et déplacement sont dans le même sens	$W_F = C \cdot \Theta$
Énergie cinétique	$Ec = 1/2 m v^2$	$Ec = 1/2 J \Omega^2$
Conservation de l'énergie cinétique	$\Delta Ec = \sum W_F$ Tout travail d'une force sur un objet se traduit par une variation de son énergie cinétique : $\Delta Ec = \sum W_F$ • $\Delta Ec > 0$: la vitesse augmente, l'objet accélère, les forces exercent un travail moteur • $\Delta Ec < 0$: la vitesse diminue, l'objet décélère, les forces exercent un travail résistant.	
Puissance	Quantité d'énergie par unité de temps échangée par un système. Deux systèmes de puissances différentes pourront fournir le même travail (la même énergie), mais le système le plus puissant sera le plus rapide.	
	$P = dW / dt$ En Watt	
	$P = F \times v$	$P = C \times \Omega$



2.3 - PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE.

PFD	Translation $M a = \sum F$	Rotation $J \frac{d\Omega}{dt} = \sum C$
-----	-------------------------------	---

Conventions d'orientation : dans quel cas compter un couple / une vitesse >0 ?	
Re-écrire le PFD en rotation en distinguant l'influence du couple moteur des autres éléments du système	

3 - TRANSFORMATION DU MOUVEMENT.

3.1 - TRANSLATION/ROTATION.

Donner des exemples de transformation de translation / rotation préciser si ces éléments sont réversibles ou pas.	
--	--

On suppose qu'il n'y a pas de glissement : les vitesses de déplacement au point de contact entre les 2 éléments sont égales.

Dans le cas d'une transmission idéale, l'énergie et la puissance se conservent.

Sinon il faut tenir compte du rendement pour la conservation de l'énergie et de la puissance.

À partir de la conservation de la puissance (translation en rotation), retrouver la relation entre la vitesse linéaire et la vitesse angulaire.	
--	--

3.2 - RÉDUCTEURS.

Le réducteur permet de diminuer l'effort que doit fournir un moteur pour entraîner un système.

Donner des exemples de réducteurs préciser si ces éléments sont réversibles ou pas.	
---	--

On suppose qu'il n'y a pas de glissement : les vitesses linéaires au point de contact entre les 2 éléments sont égales.

Dans le cas d'une transmission idéale, l'énergie et la puissance se conservent.

Sinon il faut tenir compte du rendement pour la conservation de l'énergie et de la puissance.

Un réducteur est caractérisé par son rapport de réduction : $k > 1$:

Définir le rapport de réduction à partir des vitesses angulaires coté moteur et coté charge.	
À partir de la conservation de la puissance, donner la relation entre les couples	
Que devient cette relation si on tient compte du rendement ?	

4 -CAPTEURS (PRINCIPE DE LA MESURE)

Capteur de Position absolu	Capteur vitesse moteur brushless
Capteur de force en tension	Mesure du couple par torsion

5 - ASSOCIATION MOTEUR / CHARGE.

5.1 - GÉNÉRALITÉS.

Lorsqu'un moteur entraîne une charge, on dit que c'est la charge qui impose le couple et que le moteur impose la vitesse.

Le moteur et la charge sont liés par le PFD appliqué sur l'axe de rotation du moteur :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = \sum C \Leftrightarrow (J_{mot} + J_{eq-ch}) \frac{d\Omega}{dt} = C_{mot} + C_{ch} \text{ où :}$$

- J_{mot} est le moment d'inertie du moteur et de toutes les pièces en mouvement sur l'arbre moteur (codeur, DT, frein, volant d'inertie ...).
- J_{eq-ch} est le moment d'inertie de toutes les autres pièces ramenées sur l'arbre moteur (réducteurs, transmissions, poulies excentrées, bandes, charge ...).
- C_{mot} est le couple que doit produire le moteur au niveau de l'arbre moteur.
- C_{ch} est le couple que demande la charge à entraîner ramené sur l'arbre moteur.

Les grandeurs $\Omega C_{mot} C_{ch}$ sont algébriques : elles dépendent des conditions de fonctionnement.

5.2 - CARACTÉRISTIQUE MÉCANIQUE.

Les moteurs et les charges sont caractérisés par leur caractéristique mécanique $C(n)$.

Pour un moteur, cette caractéristique permet de déterminer l'évolution de la vitesse lorsque le couple demandé augmente.

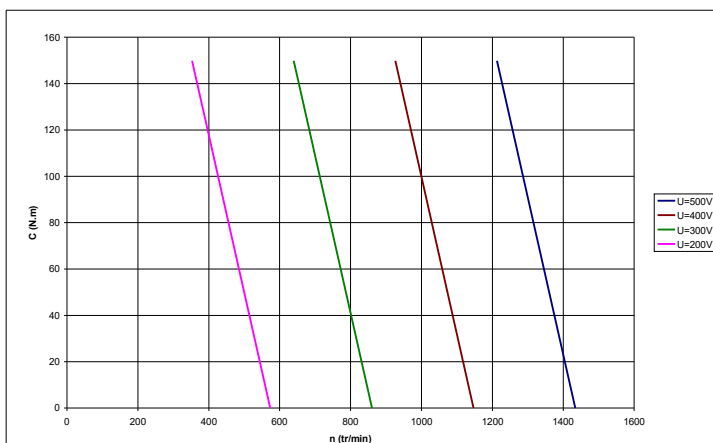


figure 1: Caractéristique mécanique M_{cc} à flux constant pour différentes tensions d'alimentation

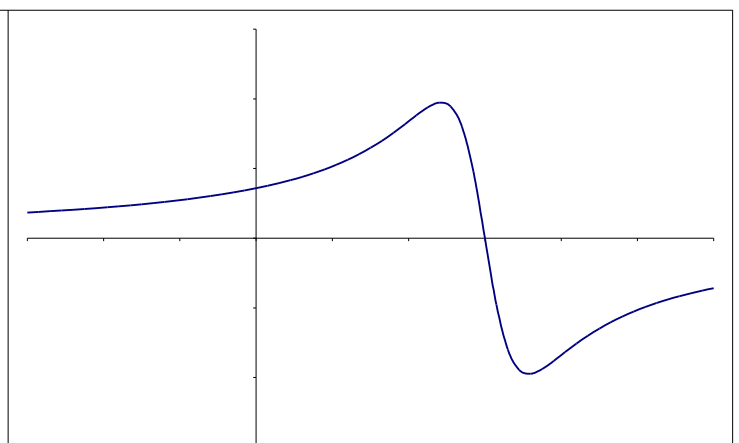
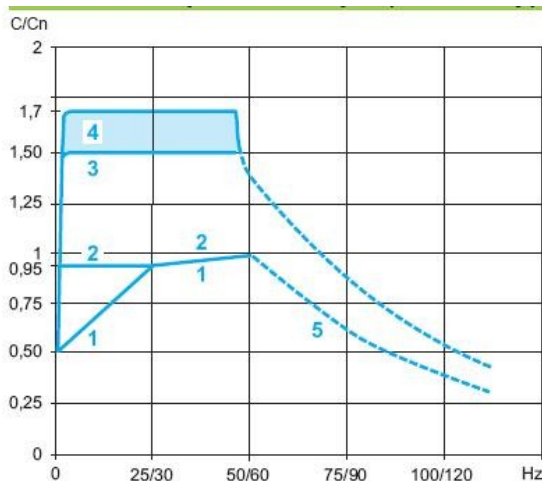


figure 2: caractéristique mécanique machine asynchrone alimenté à tension et fréquence constantes



Les courbes ci-contre définissent le couple permanent et le surcouple transitoire disponibles, soit sur un moteur autoventilé, soit sur un moteur motoventilé. La différence réside uniquement dans l'aptitude du moteur à fournir un couple permanent important en dessous de la moitié de la vitesse nominale.

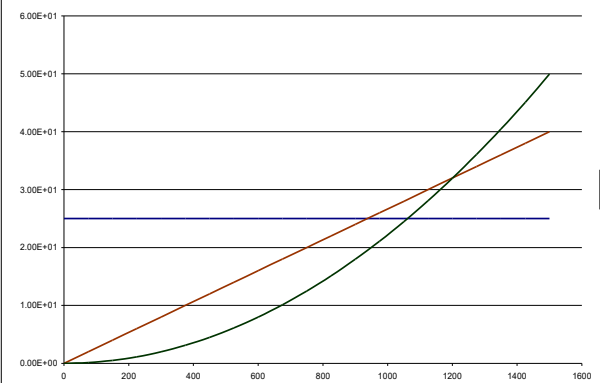
- 1 Moteur autoventilé : couple utile permanent (1)
- 2 Moteur motoventilé : couple utile permanent
- 3 Surcouple transitoire pendant 60 s
- 4 Surcouple transitoire pendant 2 s
- 5 Couple en survitesse à puissance constante (2)

(1) Pour les puissances ≤ 250 W, le déclassement à très basse fréquence est de 20 % au lieu de 50 %.
(2) La fréquence nominale du moteur et la fréquence maximale de sortie sont réglables de 0,5 à 400 Hz. Il faut s'assurer auprès du constructeur des possibilités mécaniques de survitesse du moteur choisi.

figure 3: couple obtenu lorsqu'un variateur ATV Schneider alimente un MAS

La charge impose en général un couple

- constant (levage – usinage)
- proportionnel à la vitesse (pompage - traction)
- proportionnel au carré de la vitesse (ventilation – pompage - traction)



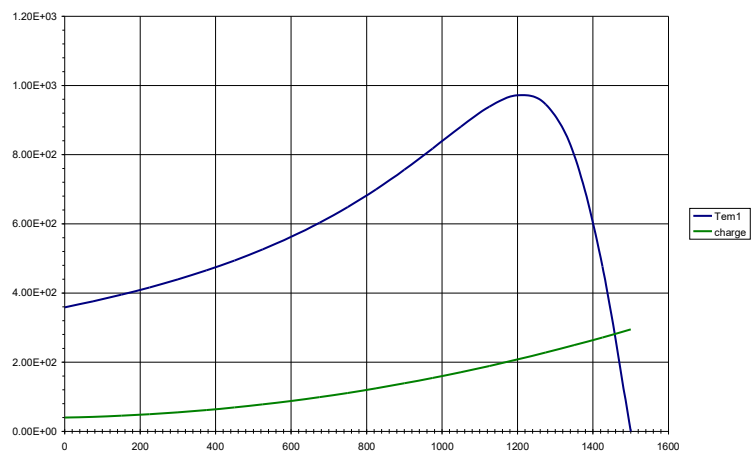
5.3 - FONCTIONNEMENT EN RÉGIME PERMANENT.

En régime permanent la vitesse est stabilisée : $\Omega = cte \Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} = 0$

on a alors $C_{mot} + C_{ch} = 0$

le moteur compense exactement le couple demandé par la charge.

Le point de fonctionnement en régime permanent est donc l'intersection des caractéristiques mécanique du moteur et de la charge.



5.4 - ACCÉLÉRATION.

$$|\Omega| \uparrow \Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} > 0 \quad \text{On a toujours} \quad C_{mot} + C_{ch} = J \frac{d\Omega}{dt}$$

« Pour accélérer, le moteur doit apporter plus que le couple demandé par la charge. »

Le terme $J \frac{d\Omega}{dt}$ est appelé « couple d'accélération ».

Le temps et le couple moteur d'accélération sont liés par la relation : $C_{mot-acc} + C_{ch} = J \frac{\Delta\Omega}{t_{acc}}$

5.5 - DÉCÉLÉRATION.

$$|\Omega| \downarrow \Rightarrow \frac{d\Omega}{dt} < 0 \quad \text{On a toujours} \quad C_{mot} + C_{ch} = J \frac{d\Omega}{dt}$$

« Pour ralentir le moteur doit fournir un couple moins fort que celui demandé par la charge. »

Le temps et le couple moteur de décélération sont liés par la relation : $C_{mot-déc} + C_{ch} = J \frac{\Delta\Omega}{t_{déc}}$.

On effectue un « freinage en roue libre » lorsqu'on coupe l'alimentation du moteur.

On effectue un « freinage en récupération » lorsque le moteur participe lui aussi au freinage (lorsqu'il exerce un couple résistant).

Ce mode de freinage est possible avec un moteur électrique (fonctionnement en génératrice) à condition que son alimentation supporte ce retour d'énergie.



Pour cela il faut que son alimentation comprenne une résistance de freinage ou qu'elle soit « réversible en courant ».

5.6 - CRITÈRES DE CHOIX D'UN MOTEUR – ET DE SON ALIMENTATION.

Il faut que le moteur puisse fournir les grandeurs mécaniques suivantes :

- la vitesse en fonctionnement « normal » régime permanent
- le couple en fonctionnement « normal »
- le couple maximal demandé en régime transitoire (accélération ou décélération).

Ces grandeurs sont déterminées à partir du profil $n(t)$ de vitesse imposé et de l'application du PFD à ce système.

Le choix du type de moteur, et de son alimentation se fait en considérant les éléments suivants :

- Le système doit il fonctionner à différentes vitesses ?
- Doit on pouvoir régler la vitesse de fonctionnement ?
- Doit on contrôler la phase de démarrage ?
- Doit on contrôler la phase d'arrêt ?
- Doit on en permanence contrôler le couple ?

Vous serez vous aussi capable de répondre à ces questions grâce au cours de physique appliquée.