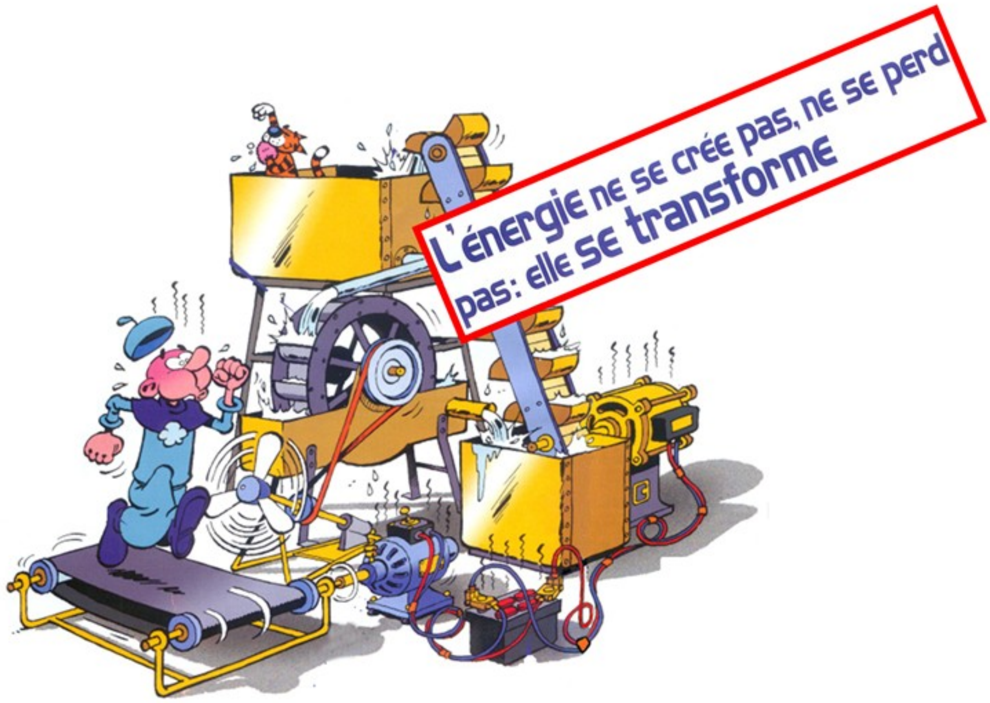
Document élève

Cours :
Cararactériser les transferts d'énergie
Energies d'état et de transfert

Le disciple courant sur le tapis de course à rouleaux **consomme** de l'énergie (nourriture transformée en énergie mécanique) qui est convertie successivement par la chaine de puissance constituée de différents systèmes (machine électrique, moteur, roue à aubes, etc).



1. Définition de l'énergie

En physique, l'énergie est une mesure de la capacité d'un système :

- à modifier un état ;
- à produire un travail entraînant un mouvement ;
- à produire un rayonnement électromagnétique ;
- à produire de la chaleur.

L'énergie correspond à une **quantité** exprimée en Joules (J)

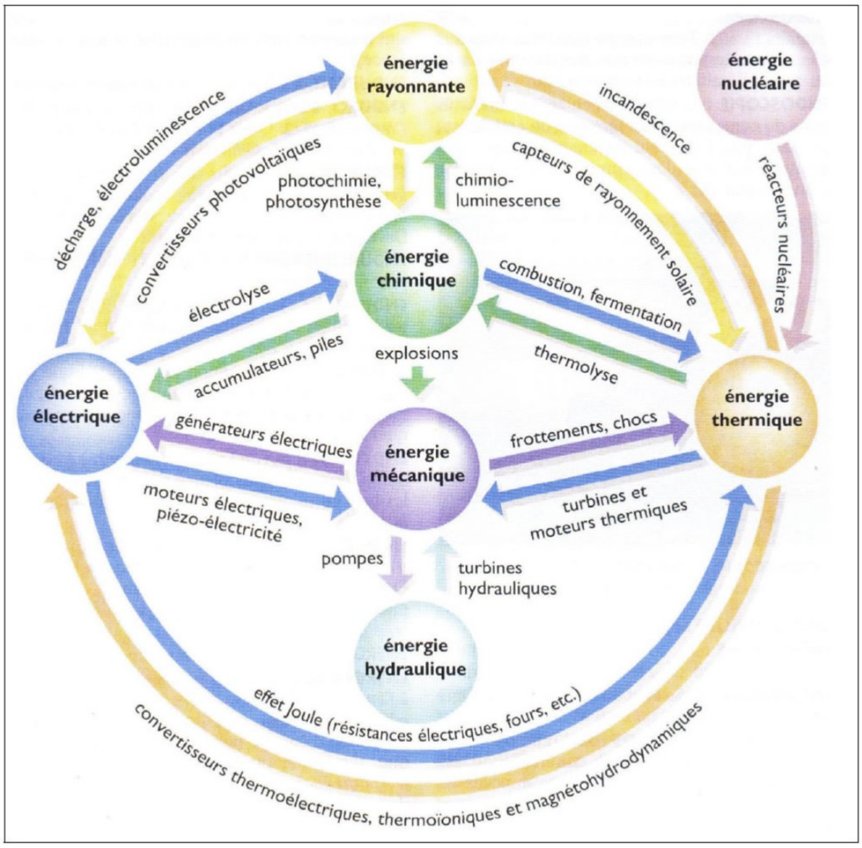
On comprend bien que lorsque le disciple n'aura plus d'énergie il s'arrêtera. Il en est de même pour les systèmes pluritechnolgiques.

2. Unités de l'énergie (par ordre croissant)

Energie ↑

- La Tonne équivalent pétrole (Tep) → 1Tep = 42GJ
- La Tonne équivalent charbon (Tec) → 1Tec = 0,7 Tep
- **Le Wattheure (Wh) → 1Wh = 3600J**
- **Le Joule (J)**
- La calorie (cal) → 1 cal = 4,18J
- L'électron-volt (eV) → 1eV = 1,9 10-19J

3. Les formes d'énergie



Source : http://alainrobichon.free.fr/cours/Physique/Energie_puissance.pdf

4. Energies d'état (ou stockables) et de transferts

Trois lettres utilisées pour désigner l'énergie (E, W et Q) !!

" E " pour les Energies **stockables** ou de **forme d'état** (lié à leur état : altitude, vitesse,…)

La phrase suivante a du sens : « Le système possède une énergie de 5kJ »

$$\boxed{\Delta E = E_{finale} - E_{initiale}}$$

" W " pour le **travail** (la quantité de travail transmis)et **" Q "** pour les **échanges** de chaleur (quantité de chaleur transmise) sont des Énergies de **transfert**.

La phrase suivante n'a aucun sens : « Le système possède 5kJ de travail ! »

La phrase suivante a du sens : « Le système 1 a échangé 5kJ avec le système 2 »

$$\cancel{\begin{array}{l} \Delta W = W_{finale} - W_{initiale} \\ \Delta Q = Q_{finale} - Q_{initiale} \end{array}}$$

W et Q >0 : le système absorbe de l'énergie.
W et Q <0 : le système cède de l'énergie

5. Calculer les énergies d'état (ou stockables)

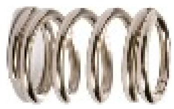
Energies potentielles (ça ne bouge pas!)

Toutes les énergies sont exprimées en Joule [J] sauf indication contraire

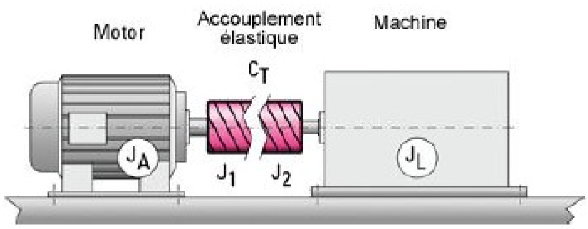
De pesanteur

$E = m \cdot g \cdot z$ m : masse [kg] g : accélération de pesanteur $g = 9{,}81\, m/s^2$ z : altitude [m]	
Calculer l'énergie potentielle E_{eau} d'une masse m_{eau} de 10 tonnes d'eau à une altitude z_{eau} de 40m.	

Élastiques

En translation	
$$E=\frac{1}{2}k\cdot X^2$$ X : allongement/raccourcissement [m] $X=l_{tot}-l_0$ k : constante de raideur [N/m]	
En rotation	
$$E=\frac{1}{2}k\cdot\theta^2$$ $\theta : variation\, d'angle[rad]$ $\theta=\theta_{tot}-\theta_0$ k : constante de torsion [N.m / rad]	 

Calculer l'énergie potentielle E_{res} d'un ressort comprimé d'une longueur X_{res} 10 cm dont la constante k vaut 500 N.m^{-1}.



Calculer l'énergie potentielle E_{acc} accumulée lorsque l'accouplement en rouge présente un angle de torsion α de 20° pour une constante k de 500N.m.rad^{-1}

De pression

$$E=p\cdot V$$ p : pression [Pa] V : volume [m^3]	

Calculer l'énergie stockée E_{cu} dans une cuve de compresseur de contenance L de 100 litres à la pression p_{cu} de 8 bars.

Électrique

$$E=\frac{1}{2}\cdot C\ \cdot U^2$$

C : capacité du condensateur [F]
U : tension aux bornes [V]

Condensateur

Calculer l'énergie stockée E_{co} dans le condensateur ci-dessus polarisé sous une tension U_{co} de230V dont la capacité C_{co} est de 16µF.

Cas particulier des batteries électriques, piles et accumulateurs :

$$E=C\ \cdot U_{nominal}$$

Le produit C.U : énergie stockabe [Wh]
C : capacité de la batterie [A.h]
$U_{nominale}$: tension nominale [V]

Batterie / Pile / Accumulateur

C'est un cas particulier :

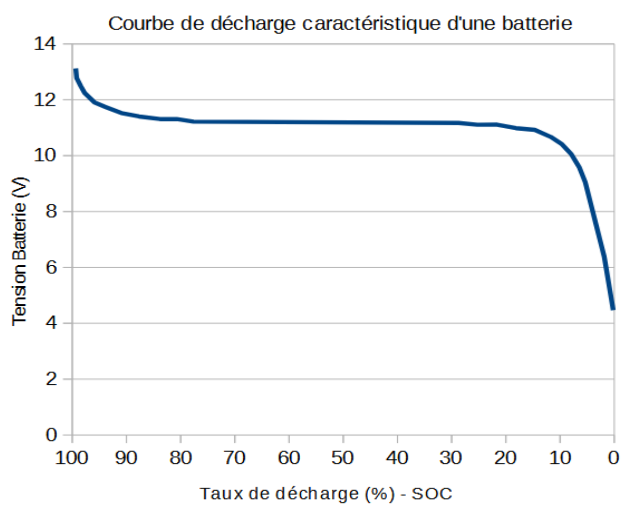
- <u>Cette formule permet de déterminer l'énergie stockable mais en aucun cas l'énergie stockée.</u>(en d'autre termes, la simple mesure de U ne permet pas de déterminer l'état de charge de la batterie)
- La tension nominale est la valeur inscrite sur le produit

Vérifier l'indication de l'énergie stockée E_{batt} dans la batterie ci-dessus (BTY-L74)

On mesure sur cette batterie une tension de 10,5 V. Peut-on calculer l'énergie contenue à cet instant dans la batterie ?

<u>Profils de « décharge type » d'un accumulateur :</u>

Cette courbe de décharge montrent que la mesure de la tension électrique aux bornes de l'accumulateur n'est absolument pas représentative de l'énergie emmagasinée



Energies cinétiques (ça bouge!)

Mécaniques

En translation

$$E=\frac{1}{2}\cdot m\cdot v^2$$

m : masse en translation [kg]
v : vitesse de translation [m/s]

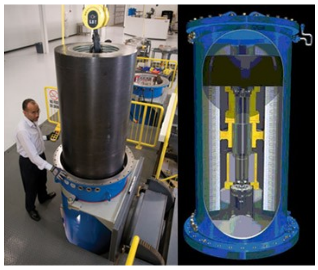
En rotation

$$E=\frac{1}{2}\cdot J\cdot \omega^2$$

J : moment d'inergie [kg.m²]
ω : vitesse de rotation anglulaire [rad/s]

Calculer l'énergie cinétique E_{ca} d'un camion de masse m_{ca} de 10 tonnes roulant à une vitesse v_{ca} de $100 km.h^{-1}$

Calculer l'énergie cinétique (kWh) du volant d'inertie du métro Rennais dont les caractéristiques sont les suivantes : J_{vol} = 2500kg.m², vitesse rotation N_{vol} de $1500 tr.min^{-1}$



Électriques

$$E=\frac{1}{2}\cdot L\cdot i^2$$

L : inductance [H]
i : intensité du courant [A]

6. Concept général

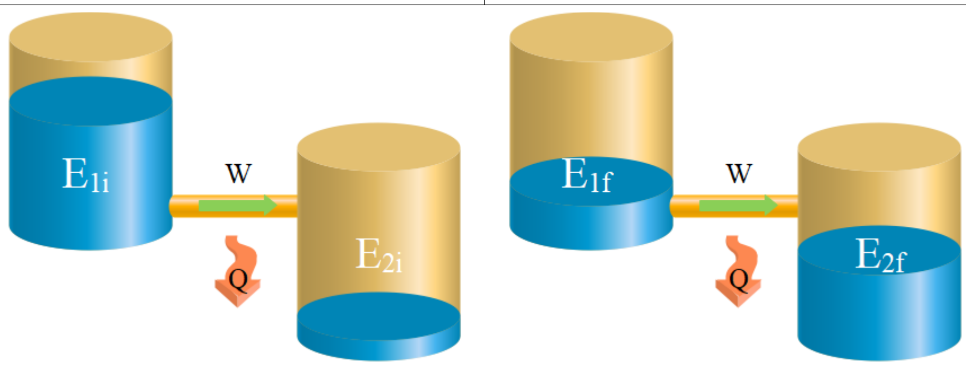
L’énergie ne se crée pas, ne perd pas : elle se transforme

En première approximation, on peut écrire que la variation d’énergie d’état est égale aux énergies de transfert W (travail des forces extérieurs) et énergie thermique (quantité dechaleur) Q, décrit par l’équation suivante :

$$\boxed{\Delta E = E_{finale} - E_{initiale} = W + Q}$$

Attention :
Dans cette relation W et Q sont algébrisés, c-à-d comptés positivement ou négativement selon que le système isolé reçoit ou perd de l’énergie (convention du porte-monnaie).
Illustration avec des réservoirs d’eau (il s’agit ici d’une analogie hydraulique destinée à conceptualiser).

Etats initiaux	Etats finaux



<u>Bilan réservoir 1 :</u> $\Delta E_1 = E_1 finale - E_1 initiale = W + Q$

$\Delta E_1 < 0$: le réservoir 1 a perdu de l'énegie

<u>Bilan réservoir 2 :</u> $\Delta E_2 = E_2 finale - E_1 initiale = W$

$\Delta E_1 > 0$ :: le réservoir 2 a gagné de l'énegie

7. Déterminer les variations d'énergie d'état

Détermination par variation d'énergie d'état

Pour rappel, $\Delta E = E_{finale} - E_{initiale} = W + Q$ et négligerons dans la plupart des situations les pertes en chaleur Q.

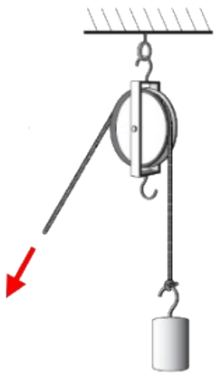
Exemple 1 :

Hypothèses : on négligera les forces de frottement (qui engendre Q) dues à la pénétration dans l'air.

1. **Déterminer** la variation d'énergie d'état ΔE lorsque la voiture d'1,2 tonne passe de de 20km/h à 80 km/h
2. **Indiquer** l'origine du travail des forces nécessaire à faire varier l'énergie cinétique.

Exemple 2 :

Hypothèses : on négligera les forces de frottement dues à la pénétration dans l'air ainsi que les couples de frottement sur la poulie.



1. **Déterminer** la variation d'énergie d'état ΔE d'une masse que l'on déplace d'une altitude de 0 m à une altitude de 10 m.
2. **Indiquer** l'origine du travail des forces nécessaire à faire varier l'énergie potentielle.

Exemple 3 :

Hypothèses : en réalité, l'air comprimé subit une élévation de température dû à sa compression, ce qui a pour effet d'augmenter l'énergie interne U de l'air comprimé. Cette élévation de température (donc d'énergie interne U) sera négligée.

1. **Déterminer** la variation d'énergie d'état ΔE d'un réservoir d'air (cuve de 200 L) comprimé qui passe de 1 bar à 8 bar.
2. **Indiquer** l'origine du travail des forces nécessaire à faire varier l'énergie potentielle.

8. Calculer les énergies de transfert W sur des forces mécaniques

Les énergies de transfert sont dues aux forces en présence (on dit qu'une force travaille). Ces forces sont de natures multiples (mécanique, électrique, électrostatique, électromagnétique, etc)

Définition physique :

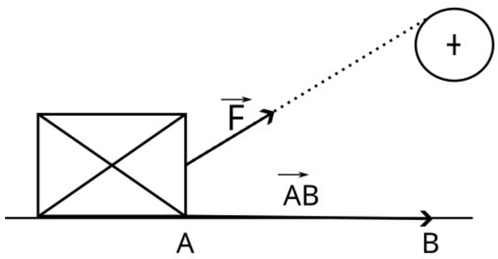
Le travail d'une force est défini par le **produit scalaire** de la force par la distance sur laquelle se déplace cette force.

$$W_{AB}(\vec{F})=\vec{F}\cdot\overrightarrow{AB}$$

se lit « Le travail de la force F de A à B est égale au produit scalaire du vecteur F par le vecteur AB

W : travail de la force F [J]
F : force qui travaille [N]
AB : chemin sur lequel la force se déplace [m]

On remarquera que le produit scalaire de deux vecteurs retourne un scalaire !



$$\vec{F}\begin{pmatrix}600\\800\\0\end{pmatrix} \qquad \overrightarrow{AB}\begin{pmatrix}100\\0\\0\end{pmatrix}$$

Rappel de mathématiques : le produit scalaire

Il existe trois définitions mathématiques mais seules deux nous sont utiles en Sciences de l'ingénieur :

Définition 1 : $\vec{u}\cdot\vec{v}=\|\vec{u}\|\cdot\|\vec{v}\|\cdot\cos(\vec{u},\vec{v})$

Définition 2 : $\vec{u}\cdot\vec{v}=u_x\cdot v_x+u_y\cdot v_y$

Particularité : le produit scalaire est nul si les deux vecteurs sont orthogonaux (Effectivement le $\cos(\vec{u},\vec{v})=0$ *)*

Application : déterminer le travail de la force F pour déplacer la pièce 1 du point A au point B par les deux définitions du produit scalaire. (F est exprimée en Newton, AB en mètre)

Détermination de l'énergie de transfert à partir de la puissance :

Attention : formule vraie seulement si la puissance P ou le flux ϕsont constant dans le temps

$$W=P\cdot\Delta t$$

W : énergie de transfert électrique ou mécanique [J]
P : puissance électrique ou mécanique [W].
Δt : temps de la mesure [s]

$$Q=\Phi\cdot\Delta t$$

W : énergie de transfert thermique [J]
ϕ : flux (puissance) thermique [W].
Δt : temps de la mesure [s]

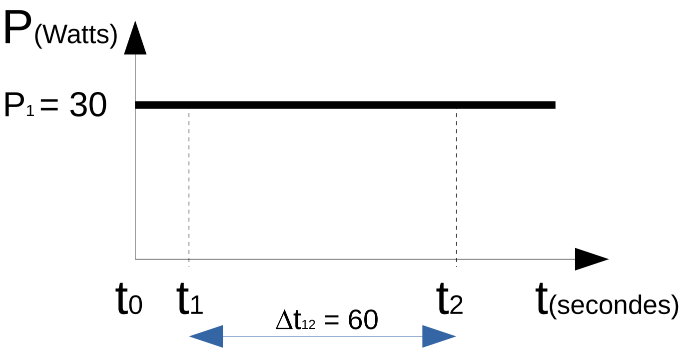
Cette définition sous-entend de connaître le puissance P, ce qui sera vue l'hors du cours sur les puissances.
De manière générale, la puissance comme nous le verrons dans un cours ultérieur, est le produit d'une grandeur effort et d'une grandeur flux.

Exemple :

Calculons l'énergie consommée par un récepteur absorbant 30 Watts pendant 60 secondes.

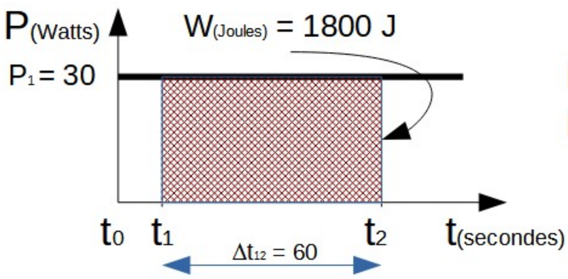
$$W = P_1 \cdot \Delta t_{12}$$

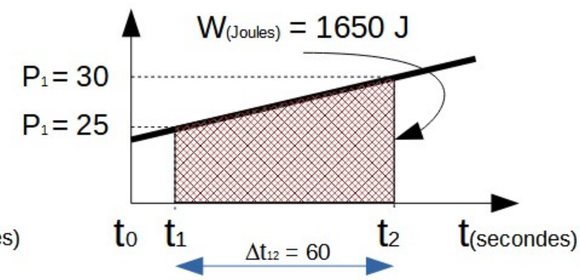
$$W = 30 \cdot 60 = 1800 \quad Joules$$

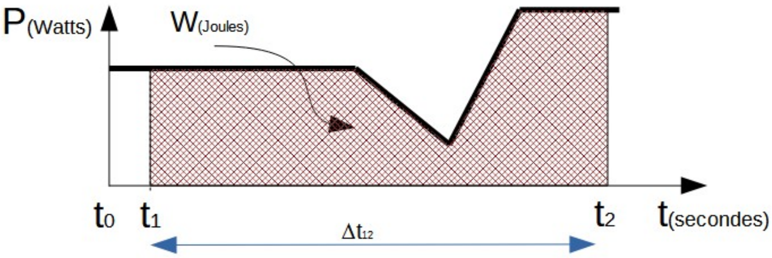


Dès que la puissance varie il faut utiliser la notion d'aire sous-tendue :

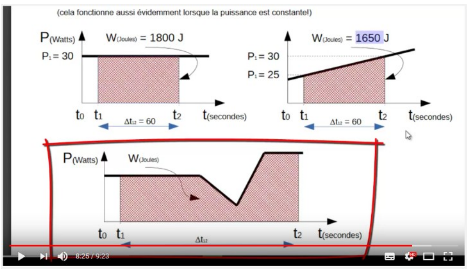
(cela fonctionne aussi évidemment lorsque la puissance est constante!)







Petit résumé en vidéo ….

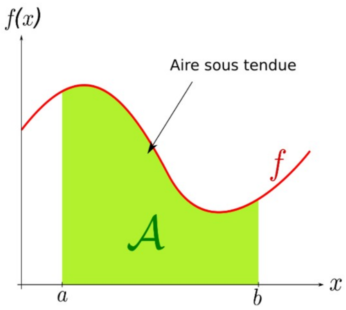


Super ! Mais comment faire lorsque l'évolution de puissance est variable ?

Lorsque la puissance varie constament et de façon non linéaire en fonction du temps ?

Pour cela nous avons recours à la notion d'intégrale mathématique ….

Rappel mathématiques :



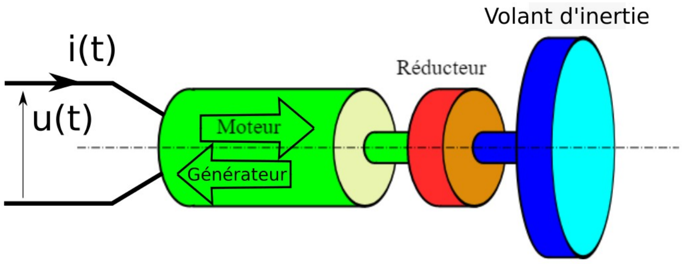
Soit une fonction f(x) représentée en rouge sur la figure ci-contre. En faisant l'intégrale mathématique de cette fonction entre la borne « a » et la borne « b », on obtient l'aire sous tendue.

L'unité d'aire dans ce cas est justement « l'unité d'aire » car les variables x et f(x) n'ont pas d'unité.
En sciences l'aire aura une unité réelle (ex : Joules, mètre, mètre par seconde ...)

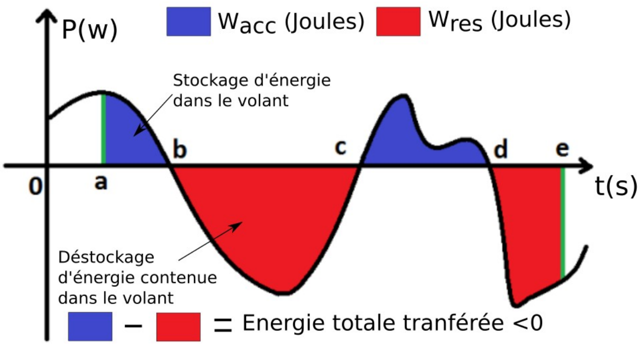
Application aux transferts d'énergie :

Soit le volant d'inertie suivant :

La machine électrique se comporte en **moteur** lors de la phase de **stockage** d'énergie dans le volant et en **générateur** lors de la phase de **déstockage**.



L'évolution de la puissance est relevée sur le graphe ci-après.



La puissance est mesurée à partir des grandeurs effort et flux de la partie électrique (soit la tension u(t) et le courant i(t)) pris dans les conventions du dessin.

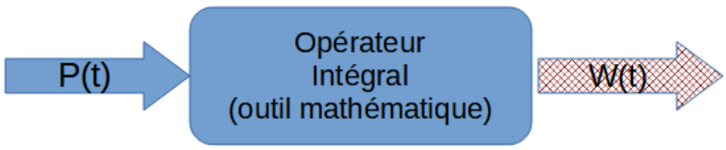
Attention :La conséquence est que si la puissance P est positive, le volant se charge, si la puissance P est négative, le volant se décharge.

Faire l'intégrale de la puissance P(W) revient à déterminer les aires sous-tendues bleues et rouges.

On constate que qu'entre l'instant « a » et l'instant « e » le volant à d'avantage fournit d'énergie qu'il en a accumulé.

Remarque : *l'unité de l'aire sous-tendue est le produit de l'unité des ordonnées en par l'unité des abscisses, repectivement ici (w) * (s) = (J)*

En modélisation multi-physique, nous nous servirons d'un outil mathématique : L'opérateur « Intégral »



Il nous suffira de faire entrer dans cet opérateur la puissance instantanée et la sortie nous fournira l'énergie consommée ou fournie selon le cas à chaque instant.

Illustration en vidéo ...