

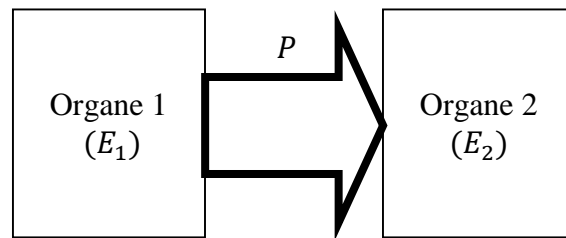
Modélisation multiphysique

L'objectif de ce cours est de présenter comment aborder l'étude (modélisation, analyse et simulation) des systèmes complexes et pluritechnologiques, c'est-à-dire s'appuyant sur différents domaines physiques. Quelle approche commune existe-t-il entre les différents domaines physiques ?

En répondant à cette question, nous mettrons en place les outils de modélisation, d'analyse et de simulation de ce type de problèmes.

1/ Interaction physique = échange de puissance

Deux grandeurs sont communes à tous les domaines de la physique : l'énergie (J) et le flux d'énergie ou puissance (W). Deux organes en interaction échangent de l'énergie.

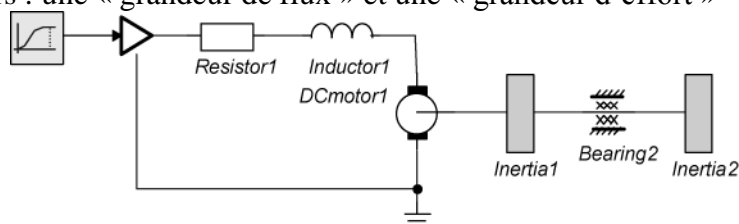


Exemple : interaction entre un condensateur et une résistance

Ce point commun à tous les domaines de la physique permet des analogies entre les domaines selon la table d'analogie suivante :

Domaine du réel	Mécanique en translation rectiligne	Mécanique en rotation autour d'un axe fixe	Electrique	Hydraulique	Chimique	Etc.
Variable de flux $f(t)$	Vitesse : $V(t)$ [m/s]	Vitesse angulaire : $\omega(t)$ [rad/s]	Courant : $i(t)$ [A]	Débit volumique : $Q(t)$ [m ³ /s]	Flux molaire \dot{n} [mol/s]	
Variable d'effort $e(t)$	Force : $F(t)$ [N]	Couple : $C(t)$ [N·m]	Tension : $v(t)$ [V]	Pression : $p(t)$ [N/m ²]	Potentiel chimique μ [J/mol]	
Expression de la puissance [W]	$F \cdot V$	$C \cdot \omega$	$v \cdot i$	$p \cdot Q$	$\mu \cdot \dot{n}$	

Dans cette approche de modélisation, on modélise directement les composants (et implicitement leur comportement physique) et les interactions entre composants par un lien de puissance, qui contient en fait deux grandeurs : une « grandeur de flux » et une « grandeur d'effort »



2/ Comportement global – régime transitoire ou stationnaire

Le système est donc modélisé par différents organes ayant chacun un comportement propre, souvent décrit par des équations différentielles.

Si le système est formé de n composants, le comportement global est un système de n équations différentielles. Ces équations étant difficiles à résoudre formellement, elles seront étudiées :

- soit par simulation, pour les phases transitoires ;
- soit dans le cas particulier du régime stationnaire.

Dans ce deuxième cas, les dérivées temporelles sont nulles et toutes les grandeurs sont constantes. La (les) solutions est (sont) appelée(s) *point(s) de fonctionnement*.

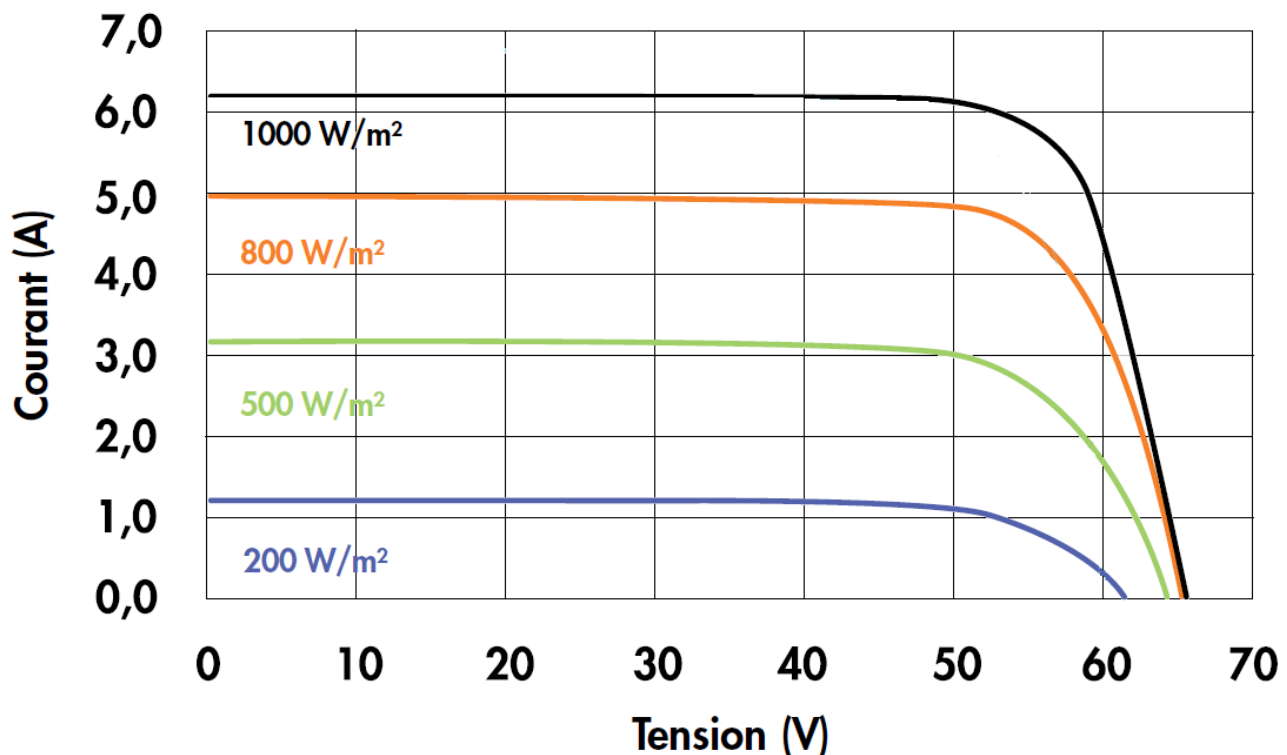
3/ Point de fonctionnement

On appelle *point de fonctionnement* une configuration particulière :

- qui correspond à un régime stationnaire ;
- où les grandeurs d'interaction sont cohérentes avec les comportements de chacun des composants.

Application :

Un panneau solaire est utilisé, un jour d'ensoleillement moyen (800W/m^2), pour alimenter un ventilateur (résistance équivalente de $5\ \Omega$). En déduire la tension et le courant de fonctionnement.



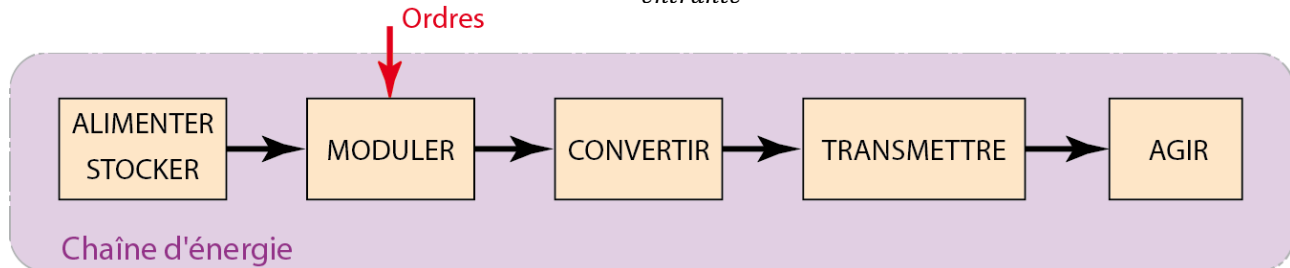
Caractéristique $I = f(U)$ d'un panneau photovoltaïque Sunpower E19 / 318.

4/ Rendement énergétique d'une chaîne d'énergie multiphysique

4.1/ Définition

Une chaîne d'énergie multi-physique décrit l'architecture physique comme une succession d'organes réalisant chacun une fonction. On définit le rendement énergétique d'un organe comme étant le rapport de sa puissance en sortie par sa puissance en entrée :

$$\eta = \left| \frac{\mathcal{P}_{sortante}}{\mathcal{P}_{entrante}} \right|$$



4.2/ Cas de conversion de puissance parfaite

Un actionneur convertit une puissance en une autre puissance de nature différente. La conversion d'un domaine physique à un autre est dite parfaite si $\eta = 1 = 100\%$. Les grandeurs physiques sont alors intimement liées.

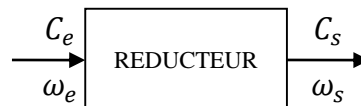
Cas d'un vérin

Cas d'une pompe

Cas d'un moteur à courant continu

4.3/ Cas des transmissions cinématiques imparfaites

L'approche macroscopique par la définition d'un rendement en régime stationnaire permet aussi de définir les lois de transmission entre les grandeurs « flux » et « effort ». Si l'on considère un réducteur défini par les grandeurs suivantes :



$P_e = C_e \cdot \omega_e$ (puissance entrante du réducteur)

$P_s = C_s \cdot \omega_s$ (puissance sortante du réducteur)

η : rendement du réducteur : $P_s = P_e \cdot \eta$

k : rapport de transmission du réducteur : $\omega_s = k \cdot \omega_e$

Alors :

4.4/ Quadrants de fonctionnement

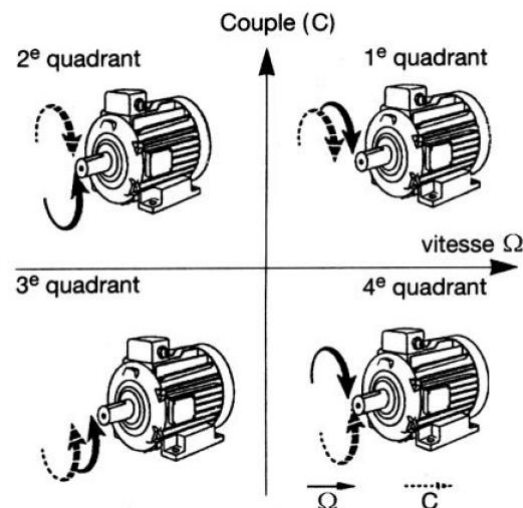
Selon les cheminements de puissance nécessaires au fonctionnement du système, le système peut être plus compliqué, et donc plus cher. Pour décrire ces cheminements, il est nécessaire d'analyser les quadrants de fonctionnement.

Par exemple, considérons un convertisseur électrique-mécanique où :

$C_m = C_{stator \rightarrow rotor}$: couple du stator sur le rotor ;

$\omega_m = \omega_{rotor/stator}$: vitesse du rotor par rapport au stator ;

$\mathcal{P} = C_m \cdot \omega_m$: la puissance fournie au rotor par le stator.



Les quadrants Q1 et Q3 correspondent à un **fonctionnement moteur** : la puissance sur le rotor est positive (la machine électrique est motrice).

Les quadrants Q2 et Q4 correspondent à un **fonctionnement en génératrice** : la puissance sur le rotor négative (la machine électrique est génératrice).