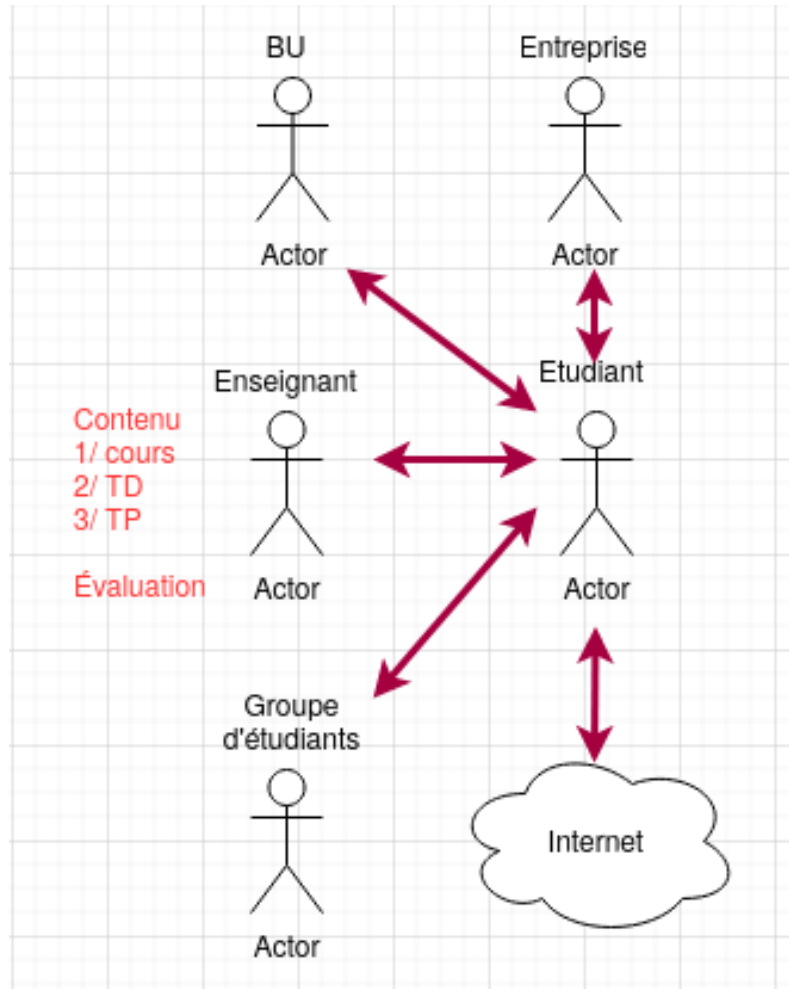


Gestion d'énergie et Autonomie des systèmes embarqués

Gestion d'énergie et Autonomie des systèmes embarqués

- 8 heures de cours
- 8 heures de TD
- 8h de TP
- 2 ECTS (*European Credit Transfer and Accumulation System*)/60
- Contrôle continu 100 % écrit (1^{ère} session)
- Contrôle continu 100 % écrit (2^{nde} session)

Le socio-constructivisme



Modélisation d'une source d'énergie

Une énergie peut être une énergie mécanique :

L'énergie mécanique E_m d'un système est la somme de l'énergie potentielle E_p et de son énergie cinétique E_c : $E_m = E_p + E_c$

L'énergie potentielle d'une masse m située à une altitude h est donnée par la relation $E_p = mgh$ avec $g = 9,81 \text{ m / s}^2$

L'énergie cinétique d'une masse m se déplaçant à la vitesse v s'exprime comme

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

En l'absence de frottements, l'énergie mécanique se conserve : lors d'un déplacement, l'énergie potentielle est alors transformée en énergie cinétique, et vice-versa.

L'énergie

L'énergie se manifeste sous différentes formes dans le monde.

On peut parler sur les énergies primaires mais ce n'est pas l'objet de ce cours....

L'énergie calorifique est la 1ère énergie « domestiquée » : le feu... puis, l'énergie mécanique.

Recensement des énergies

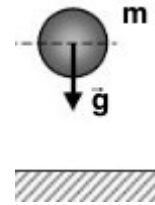
L'énergie mécanique

- Énergie cinétique de translation

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

- Énergie potentielle

$$E = mgh$$



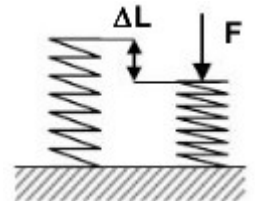
- Énergie cinétique de rotation

$$E = \frac{1}{2} J \Omega^2$$

Avec J , le moment d'inertie du solide par rapport à l'axe de rotation $J = m \cdot r^2$
 J est en $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ et Ω en rad/s

- Énergie dans une structure élastique (ressort)

$$E = F \cdot \Delta L$$



Recensement des énergies

L'énergie électrique

- Énergie électrique de type continu

Cette forme d'énergie est le plus souvent de faible valeur de tension (pile, batterie) et faible valeur d'intensité. On la trouve dans les appareils électroniques, le transport (train) et l'énergie photovoltaïque

- Énergie électrique de type alternative

Il s'agit de l'énergie la plus couramment rencontrée, avec de fortes valeurs de tension, de fortes valeurs d'intensité possible (EDF , 400kV,...)
- à notre domicile, on retrouve le réseau monophasé 230V – 50Hz – 6kVA (26A) par exemple
- dans l'industrie, on retrouve le réseau triphasé 380V - 50Hz

Recensement des énergies

Le champ et l'énergie magnétique



Applications :

Transmission d'énergie : Plaque à induction / transformateurs électriques / stimulateur cardiaque / chargement par induction (bus, voiture électrique, smartphone,...) / moteurs

Transmission d'information : WiFi / télévision / antennes diverses et variées / micro

Recensement des énergies

Le champ et l'énergie magnétique

Le champ électromagnétique est une onde constituée d'un champ électrique et d'un champ magnétique **perpendiculaires** l'un à l'autre, oscillants et qui se propagent en ligne droite dans le vide ou dans un milieu transparent.

On définit sa fréquence, communément désignée par la lettre grecque ν (nu), comme son nombre d'oscillations par seconde et sa longueur d'onde, désignée par la lettre grecque λ (lambda), comme la distance qu'il parcourt pendant une période d'oscillation.

La vitesse de propagation de ce champ dans le vide, c , appelée vitesse de la lumière, est d'environ 300 000 km par seconde. On a entre ces quantités la relation $\lambda = c/\nu$.

Recensement des énergies

L'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire est une énergie liée cette fois au noyau de certains atomes et à la façon dont les particules élémentaires qui le constituent sont maintenues dans ce noyau. Certains noyaux sont très stables, d'autres moins et ce d'autant plus que leur masse (le nombre de particules les constituant) est élevée.

On distingue de ce fait deux formes essentielles de l'énergie nucléaire :

- la fission nucléaire qui consiste à casser un atome lourd et instable en plusieurs morceaux, généralement sous impact neutronique ; dans ces réactions de fission, il apparaît un défaut de masse. À ce défaut de masse correspond une énergie libérée, sous forme calorifique dans le milieu ;
- la fusion nucléaire, qui utilise à l'opposé des atomes légers, qui par confinement et impact peuvent produire des atomes plus lourds. Le projet ITER relève de cette filière.

Recensement des énergies

L'énergie chimique

L'énergie chimique est une énergie liée à la conformation des cortèges électroniques autour des noyaux des atomes et molécules. Les cortèges tendent vers des configurations de stabilité croissante, correspondants à des minima énergétiques de l'ensemble ayant réagi.

L'exemple le plus simple de réaction chimique est la combustion. Cette réaction met en jeu un combustible et un comburant (très souvent de l'air) ; la réaction peut être violente (comme dans un moteur thermique) ou lente (oxydation d'un métal à l'air libre).

Selon le mode de réaction, une certaine énergie calorifique est mise en évidence de façon concomitante :

- réaction exothermique (avec libération de chaleur) ;
- réaction endothermique (nécessitant un apport de chaleur pour se développer).

Recensement des énergies

L'énergie calorifique

On peut noter que la première énergie utilisée par l'humanité apparaît aussi couplée à d'autres formes d'énergies telles que les énergies chimique et nucléaire. Il en existe plusieurs formes :

➤ Énergies calorifique-frigorifique

Cette forme d'énergie revêt aujourd'hui une importance toute particulière dans ses applications directes :

- chauffage → énergie calorifique ;
- réfrigération → énergie frigorifique.

➤ Chaleur sensible – chaleur latente

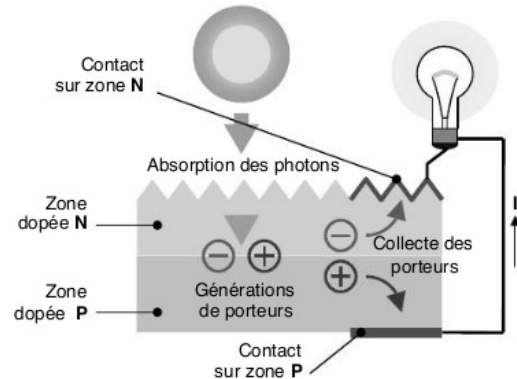
D'un point de vue thermodynamique, il convient de distinguer par ailleurs deux formes d'énergie calorifique :

- la chaleur sensible qui est liée à l'évolution de la température de milieu matériel recevant ou cédant de la chaleur ;
- la chaleur latente qui a pour originalité d'être échangée dans des conditions de température constante pour les changements de phase d'un corps pur. Généralement, les quantités de chaleur échangées sont plus grandes que pour les échanges de chaleur sensible, d'où leur importance pratique.

Recensement des énergies

L'énergie photovoltaïque

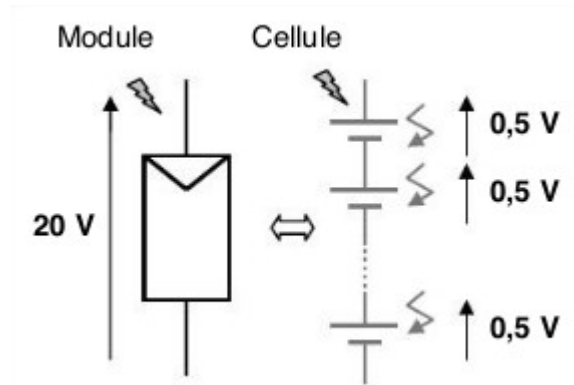
La conversion photovoltaïque découverte par Antoine BECQUEREL (1839) est le seul moyen connu de convertir directement la lumière en énergie électrique. L'éclairement par le soleil du matériau semi-conducteur (Silicium) engendre la création de plusieurs paires électrons – trous (porteurs). Ces charges sont ensuite séparées par le champ électrique au niveau de la jonction PN puis se dirigent vers les contacts électriques correspondants. Il apparaît une différence de potentiel entre les deux contacts (de l'ordre de 0,5 V). Si on connecte aux bornes de cette cellule une charge, un courant électrique I circule.



Recensement des énergies

L'énergie photovoltaïque

La différence de potentiel aux bornes de la cellule ($\approx 0,5$ V) dépend peu de l'éclairement contrairement au courant et donc de la puissance



Exemple :

Si on souhaite fabriquer un module photovoltaïque permettant une alimentation de 20 V, il faut placer 40 cellules en série ($40 = 20/0,5$). Ces 40 cellules forment une « string » (ficelle, chaîne en anglais). Il faut associer plusieurs « strings » en parallèle pour augmenter la puissance du module.

Recensement des énergies

L'énergie photovoltaïque

Les générateurs photovoltaïques sont réalisés par association série - parallèle d'un grand nombre de cellules élémentaires assemblées en groupements élémentaires appelés modules et panneaux pour obtenir une puissance suffisante (32, 36, 72, 216, cellules, quelques dizaines à centaines de W). Ces panneaux peuvent eux mêmes être assemblés pour constituer un "champ photovoltaïque".

L'éclairement E en W/m^2 est la puissance thermique du rayonnement solaire reçu sur la terre sur une surface de $1 m^2$.

Pour pouvoir comparer les technologies des modules entre eux, les constructeurs spécifient la puissance crête en Watt-crête W_c . C'est la puissance délivrée au point optimal dans les conditions standard (appelées STC « Standard Test Conditions ») de qualification suivante :

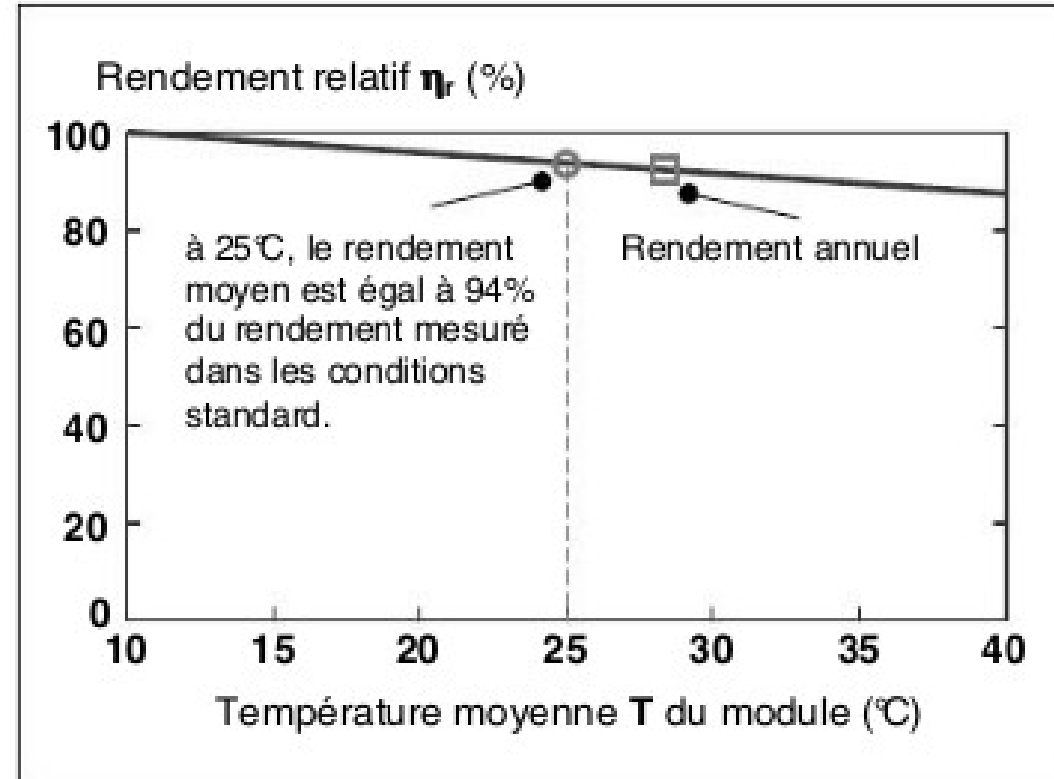
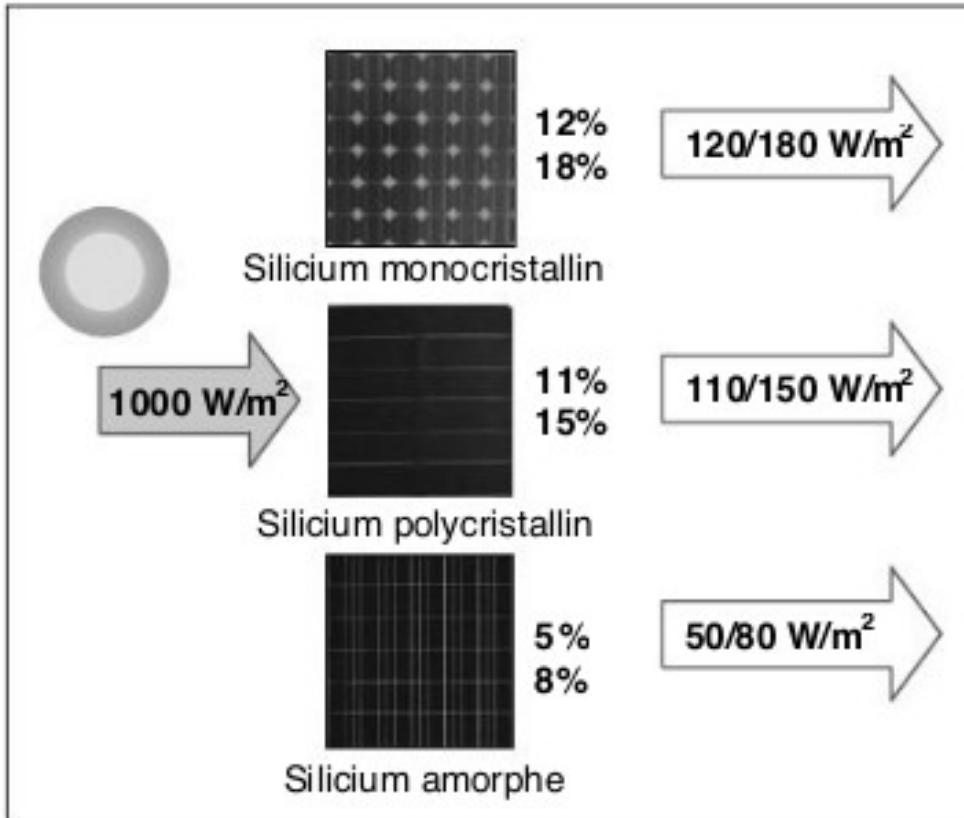
$E = 1000W/m^2$ pour une inclinaison de 45° avec $T = 25^\circ C$ (STC)

Le rendement absolu est obtenu par : $\eta = \frac{P}{E}$ avec P , la puissance électrique produite (W/m^2) et E , l'éclairement mesuré (W/m^2). Le rendement varie de 5 à 20 %

Le rendement relatif permet de connaître l'efficacité énergétique réelle. C'est le rapport entre la puissance mesurée ($P=U.I$) et la puissance crête donnée par le constructeur

Recensement des énergies

L'énergie photovoltaïque

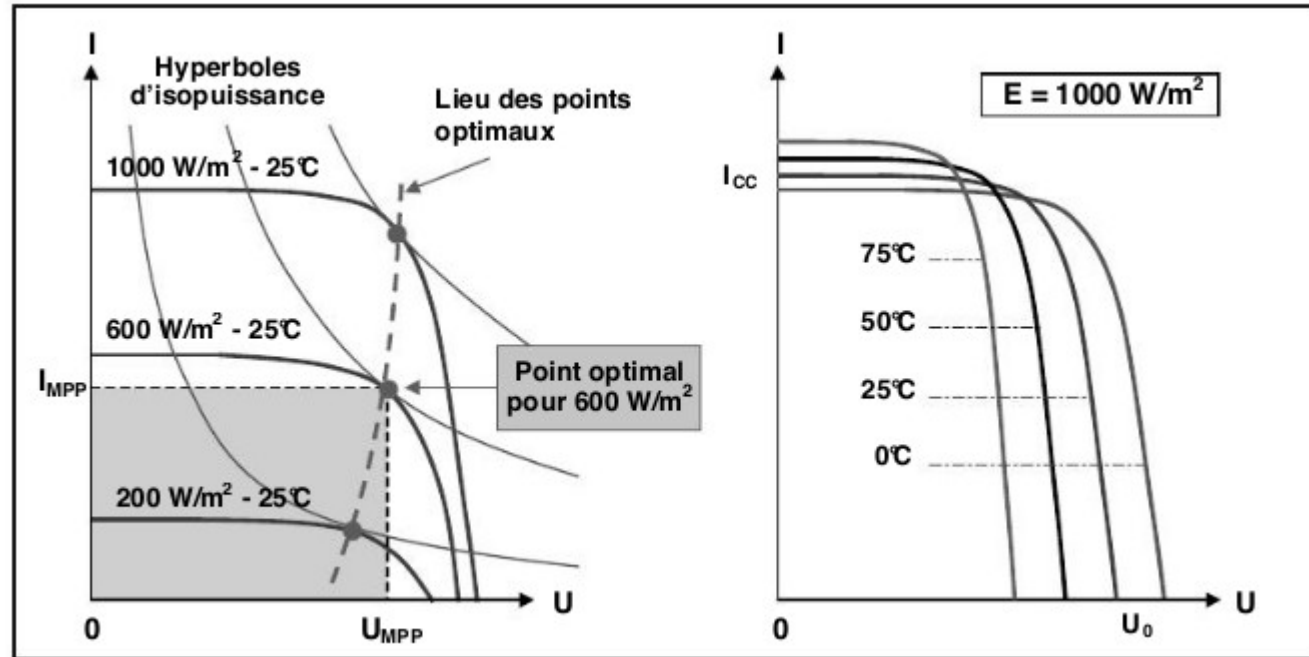


Recensement des énergies

L'énergie photovoltaïque

La caractéristique électrique $I(U)$ d'une cellule photovoltaïque est fortement non-linéaire et dépend de la température et de l'éclairement ainsi que le montrent les figures suivantes. Les associations de ces cellules (générateur) présentent une caractéristique $I(U)$ globale de même allure.

Caractéristique $I(U)$
d'un générateur
photovoltaïque

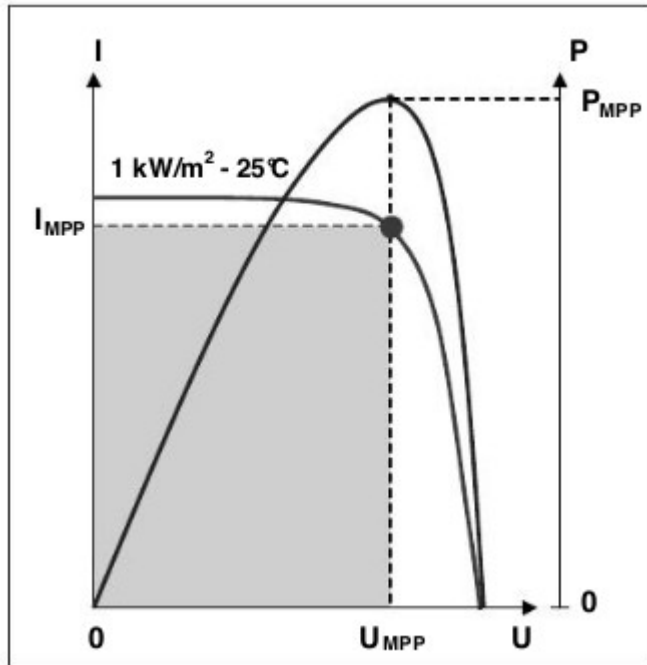


Recensement des énergies

L'énergie photovoltaïque

Courant de court-circuit et tension à vide

Le courant de court-circuit I_{cc} ($V = 0$) varie proportionnellement à l'éclairement reçu contrairement à la tension à vide U_0 ($I = 0$) qui varie peu. Lorsque la température croît, I_{cc} croît et U_0 décroît.



Puissance maximale produite

Un point . représente un point de puissance maximale que peut fournir le générateur (en faisant $P = U \cdot I$).

L'action de la température peut être néfaste pour le rendement : La puissance diminue d'environ 0,5% par degré Celsius.

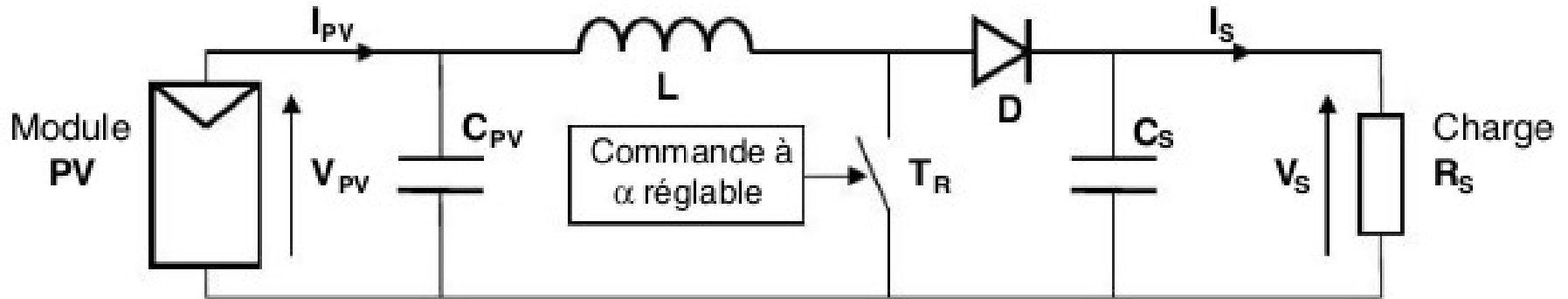
On voit bien que pour un éclairement et une température donnés, il existe un point optimal (I_{MPP}, U_{MPP}) qui maximise la puissance produite par le générateur photovoltaïque.

Recensement des énergies

L'énergie photovoltaïque

Puissance maximale produite

Pour assurer un fonctionnement à puissance maximale P_{MPP} quelles que soient la charge et les conditions d'éclairement, on insère un convertisseur de puissance continu / continu entre le générateur et sa charge. Ce convertisseur peut être un hacheur commandé en MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion ou PWM) ou à pilotage MPPT (Maximum Power Point Tracking) qui est asservi



Modélisation d'une source d'énergie

Frottements

Il existe plusieurs types de frottements.

En électrotechnique, les frottements qui nous intéresseront sont ceux auxquels seront confrontés un moteur.

On peut citer :

- la résistance de l'air ou de l'eau dans le cas d'un système immergé. Ces frottements sont généralement considérés comme proportionnels au carré de la vitesse v^2 . Dans certaines conditions, et en particulier pour des vitesses relativement faibles et des flux laminaires, on peut supposer en première approximation qu'ils sont proportionnels à la vitesse v ;
- les frottements correspondants à la réaction du sol, dans le cas d'un véhicule. Ceux-ci peuvent être considérés comme dépendants du poids mais pas de la vitesse.

Modélisation d'une source d'énergie

Unités de l'énergie

L'unité du système international quantifiant l'énergie est le joule (J).

Le joule est une petite unité, c'est-à-dire que de petites énergies correspondent à des nombres assez grands.

Aussi, d'autres unités sont utilisées :

- la calorie (cal) et la kilo-calorie (kcal), utilisée dans le domaine des échanges thermiques et en diététique.
 $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$.
- le watt-heure (Wh) et le kilowatt-heure (kWh) très utilisé en électricité.
 $1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$.

Modélisation d'une source d'énergie

Capacité d'un accumulateur

Dans le domaine des accumulateurs (*que l'on appelle couramment les batteries*), la tension de fonctionnement U est fixée alors que le courant fourni dépend du courant consommé par la ou les charges. Afin de donner une idée de la durée durant laquelle l'accumulateur peut fonctionner en fonction du courant qu'il débite, les constructeurs communiquent une autre grandeur que l'énergie : la capacité. Cette grandeur est en réalité la charge de l'accumulateur.

Usuellement, elle est donnée en ampères-heures (Ah), avec **1 Ah = 3 600 C**.

En effet, si à l'instant t un accumulateur fournit un courant $i(t)$ pendant le temps dt , la charge électrique qu'il débite est égale à **$dq = i(t).dt$** .

Si l'on note τ le temps nécessaire pour que l'accumulateur se décharge, la capacité Q se calcule en sommant la totalité de la charge débitée, c'est-à-dire en utilisant l'intégrale :

$$Q = \int_0^{\tau} dq = \int_0^{\tau} i(t).dt$$

Modélisation d'une source d'énergie

Capacité d'un accumulateur (suite)

Lorsque le courant débité $i(t) = I$ est constant, la capacité s'exprime plus simplement au travers de la relation :

$$Q = I \cdot \tau$$

Enfin, la capacité d'un accumulateur Q est liée à l'énergie E contenue dans ce dernier et à la tension U à ses bornes par l'expression :

$$Q = E/U$$

Attention, la capacité Q d'un accumulateur ne doit pas être confondue avec la capacité C d'un condensateur. Elles ne représentent pas la même chose et n'ont pas la même dimension.

Exercice 1

L'énergie nécessaire à la propulsion d'une automobile électrique est fournie par 20 accumulateurs Nickel-Cadmium 6V ayant une capacité de 100Ah branchées en série. Cet ensemble est appelé la batterie de traction. Ces accumulateurs offrent une densité massique d'énergie d'environ 50 Wh/kg et une densité volumique d'énergie d'environ 100 Wh/dm³.

En régime nominal, c'est-à-dire à 90 km/h sur terrain plat et en l'absence de vent de face, le courant consommé par le moteur de l'automobile est de 110 A sous une tension de 120 V.

- 1) Expliquer ce qu'est une capacité de 100 Ah ?
- 2) Comment doit-on connecter les accumulateurs pour avoir une batterie capable de faire fonctionner le moteur ?
- 3) Quelle est l'autonomie de l'automobile en conditions nominales (en temps et en distance) ?
- 4) Quelle énergie est contenue dans la batterie de traction ?
- 5) Quels sont le poids et le volume approximatifs de la batterie de traction.
- 6) Le système intégré de recharge, puisant son énergie sur une prise 230 V/16 A du réseau domestique, recharge la batterie de traction avec un courant de charge de 20A. Combien de temps faut-il à l'automobiliste pour recharger totalement sa batterie ?
- 7) Combien coûte une charge totale sachant que 1 kWh est facturé 15 centimes ?

Exercice 1

L'énergie nécessaire à la propulsion d'une automobile électrique est fournie par

20 accumulateurs
série. Cet ensemble
densité massique
d'environ 100 Wh

En régime nomin
de face, le couran
tension de 120 V.

- 1) Expliquer ce qu
- 2) Comment doit-
faire fonctionne
- 3) Quelle est l'aut
distance) ?
- 4) Quelle énergie
- 5) Quels sont le p
- 6) Le système intè
réseau domest
20A. Combien
batterie ?
- 7) Combien coûte



h branchées en
ateurs offrent une
mique d'énergie

sence de vent
110 A sous une

atterie capable de

en temps et en

action.

e 230 V/16 A du
ant de charge de
talement sa

15 centimes ?

Exercice 1

Question 1 : Expliquer ce qu'est une capacité de 100 Ah ?

Une batterie est capable de fournir sous sa tension nominale un courant I constant pendant une durée τ . Plus le courant fourni est grand, plus la durée d'utilisation sera courte, et inversement.

Si la batterie a une capacité de 100 Ah, cela veut dire qu'elle peut fournir un courant de 100 A pendant 1 heure, ou bien un courant de 200 A pendant 30 minutes, ou bien 50 A pendant 2 heures, et ainsi de suite.

On peut exprimer la capacité de façon plus générale, étant donné que la batterie ne fournit pas à chaque instant la même intensité de courant. Ainsi, si la batterie fournit à l'instant t le courant $i(t)$, et si sa capacité est de 100 Ah, alors elle pourra fonctionner pendant la durée τ , donnée en heure, telle que

$$Q = \int_0^{\tau} dq = \int_0^{\tau} i(t) \cdot dt = 100 \text{ Ah}$$

Exercice 1

Question 2 : Comment doit-on connecter les accumulateurs pour avoir une batterie capable de faire fonctionner le moteur ?

Pour faire fonctionner le moteur du véhicule, la batterie d'accumulateurs doit fournir 120 V. La seule solution est de brancher les 20 accumulateurs en série : leurs tensions s'additionneront alors pour donner $20 \times 6 \text{ V} = 120 \text{ V}$.

Exercice 1

Question 3 : Quelle est l'autonomie de l'automobile en conditions nominales (en temps et en distance) ?

En conditions nominales, le moteur de la voiture consomme 110 A.

Il nous faut alors déterminer la capacité totale de la batterie.

Les accumulateurs étant connectés en série, ils sont tous traversés par le même courant.

Ainsi, si chaque accumulateur a une capacité de $q = 100 \text{ Ah}$, la capacité totale vaut elle aussi $Q_{\text{total}} = q = 100 \text{ Ah}$.

Remarquons que pour augmenter la capacité de la batterie, il faudrait connecter les accumulateurs en parallèle, ce qui ne permettrait pas de profiter d'une tension de 120 V : les 20 accumulateurs en parallèle présenteraient une capacité augmentée de 2 000 Ah mais sous 6 V seulement. En somme, soit on augmente la tension (série) soit on augmente le courant (parallèle).

En supposant que le moteur de la voiture fonctionne en régime nominal durant le temps d'utilisation, c'est-à-dire qu'il consomme durant tout le trajet le courant nominal $I_n = 110 \text{ A}$, l'autonomie se calcule comme

$$\tau = \frac{Q_{\text{totale}}}{I_n} = \frac{100 \text{ Ah}}{110 \text{ A}} = 0,91 \text{ h} \simeq 55 \text{ minutes}$$

Exercice 1

Question 3 : Quelle est l'autonomie de l'automobile en conditions nominales (en temps et en distance) ? (suite)

La voiture roulant à 90 km/h, elle parcourra $90 \times 0,91 = 82$ km.

En conditions nominales, l'autonomie de la voiture est de 55 minutes et de 82 km.

Exercice 1

Question 4 : Quelle énergie est contenue dans la batterie de traction ?

L'énergie E contenue dans la batterie d'accumulateurs est reliée à sa capacité C et la tension qu'elle fournit U par l'expression

$$E = CU$$

Attention, l'unité de E va dépendre de l'unité de C . Si nous choisissons d'avoir un résultat en Joule, il faut prendre soin de ramener la capacité en As (unités SI). On obtient alors

$$E = 100A \times 3\,600s \times 120V = 43,2 \times 10^6 J = 43,2 MJ$$

On remarque que le Joule étant petit, il n'est pas très adapté à ce genre d'applications. On lui préfère le kWh, que l'on utilise presque systématiquement en électrotechnique. On obtient alors

$$E(kWh) = E(J) \times \frac{1}{3600.1000} = 12 kWh$$

L'énergie contenue dans la batterie est de 12 kWh ou de 43,2 MJ.

Rappel : 1Wh (Watt-heure) = 3 600Ws (Watt-seconde) = 3600 J (Joule)

Exercice 1

Question 5 : Quels sont le poids et le volume approximatifs de la batterie de traction

Les accumulateurs offrent une densité massique d'énergie $D_m = 50 \text{ Wh / kg}$, c'est-à-dire que chaque kg d'accumulateur contient une énergie de 50 Wh. L'énergie contenue étant de 12 kWh, soit 12 000 Wh, alors la masse m de la batterie d'accumulateurs est

$$m = \frac{D_m}{E} = \frac{12000 \text{ Wh}}{50 \text{ Wh/kg}} = 240 \text{ kg}$$

Par ailleurs, les batteries ont une densité volumique d'énergie $D_v = 100 \text{ Wh / dm}^3$, c'est-à-dire que chaque litre d'accumulateur contient une énergie de 100 Wh. Le volume V de la batterie de traction se calcule alors comme

$$V = \frac{12000 \text{ Wh}}{100 \text{ Wh/dm}^3} = 120 \text{ litres}$$

La batterie d'accumulateurs pèse environ 240 kg pour un volume d'environ 120 L.

Exercice 1

Question 6 : Le système intégré de recharge, puisant son énergie sur une prise 230V/16 A du réseau domestique, recharge la batterie de traction avec un courant de charge de 20A. Combien de temps faut-il à l'automobiliste pour recharger totalement sa batterie ?

Le problème du temps de charge T est exactement le même que celui de l'autonomie, sauf que la batterie est chargée au lieu d'être vidée. Il se calcule avec le courant de charge I_c au travers de la relation

$$T = \frac{C}{I_c} = \frac{100 \text{ Ah}}{20 \text{ A}} = 5 \text{ h}$$

Le temps de charge de la batterie de traction sur le secteur est de 5 heures.

La puissance

Lien avec l'énergie

Un système qui consomme une énergie dE pendant un temps très court dt consomme une puissance P telle que

$$P = \frac{dE}{dt}$$

La puissance est donc une grandeur instantanée. Son unité, le watt (W), correspond donc à des J/s.

Si l'on renverse la dernière relation, on peut dire qu'un système consommant une puissance P à l'instant t consommera durant l'intervalle de temps T l'énergie :

$$E = \int_0^T p(t) \cdot dt$$

On définit alors la puissance moyenne P en divisant l'énergie consommée par le temps durant lequel elle a été consommée :

$$\langle p \rangle = P = \frac{E}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot dt$$

On retrouve ainsi la relation définissant la puissance active en électricité. La puissance correspond à une variation de l'énergie d'un système. Dès lors qu'elle est mise en jeu, il y a donc conversion énergétique. C'est pour cette raison qu'en électricité la puissance active est la seule à être réellement une puissance au sens strict.

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 2 : La pompe à eau

Dans un site isolé, on souhaite installer une pompe capable de puiser de l'eau à 12 m de profondeur avec un débit nominal de 20 L par minute.

On dispose pour cela d'une pompe ayant un rendement, en comptant les pertes par frottement dans les tuyaux, de 60 % et l'on a accès à une gamme de moteurs fonctionnant en continu, sous une tension de 24 V, et dont le rendement nominal est de 85%.

- 1) Quelle doit être la puissance minimale du moteur utilisé ?*
- 2) On envisage l'utilisation de panneaux solaires câblés en parallèle avec des accumulateurs. Sachant que l'on pourra raisonnablement espérer 150 Wh/jour d'un panneau mesurant 0,5 m² et délivrant une tension 12 V, combien de panneaux devra-t-on connecter ensemble que la pompe puisse fonctionner continûment ?*

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 2 : La pompe à eau

Question 1 : Quelle doit être la puissance minimale du moteur utilisé ?

Un litre d'eau pèse 1 kg. Puisque les pertes par frottements sont comptabilisées dans le rendement, nous ne prenons en compte que le travail du poids, qui ne dépend que du dénivelé. Le travail du poids pour déplacer 20 kg d'eau sur un dénivelé de 12 m est

$$W = m.g.\Delta h = 20 \times 9,81 \times (-12) = -2\,354 \text{ J}$$

Le travail du poids est négatif parce que l'eau se déplace contre lui. Il faut donc apporter cette énergie à l'eau par le biais de la pompe. Comme le débit doit être de 20 L/min, il faut que la pompe fournisse à l'eau 2 354 J/min, soit une puissance

$$P_p = \frac{2354 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 39,2 \text{ W}$$

Comme le rendement de la pompe est de $\eta = 0,6$, la puissance du moteur doit être égale à

$$P_m = \frac{P_p}{\eta} = \frac{39}{0,6} = 65,4 \text{ W}$$

La puissance du moteur doit être d'environ 66 W.

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 2 : La pompe à eau

Question 2 : combien de panneaux devra-t-on connecter ensemble que la pompe puisse fonctionner continûment ?

Pour déterminer le nombre de panneaux nécessaires, on calcule la puissance P_a absorbée par le moteur :

$$P_a = \frac{P_m}{\eta} = \frac{P_m}{0,85} = 76,9 \text{ W}$$

Le moteur doit pouvoir absorber 77 W pendant 24 h. En une journée, il consomme une énergie

$$E = 76,9 \times 3\,600 \times 24 = 6,65 \times 10^6 \text{ J}$$

soit $E = 1,85 \text{ kWh}$ (ou $E = 76,9 \times 24 = 1\,845 \text{ Wh}$).

Pour délivrer 24 V, comme les panneaux délivrent chacun 12 V, ils doivent être connectés par deux en série, puis les séries de 2 doivent être connectées en parallèle.

Nous savons que chaque panneau fournit 150 Wh par jour. Pour obtenir 1 845 Wh, Il faut $1845/150 = 12,48$ soit 13 ensembles de panneaux, soit 26 panneaux (ils sont en série).

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 3 : Modes de veille

On estime à environ 3,7 milliards, le nombre d'appareils ménagers possédant un mode de veille en Europe. Il est raisonnable de supposer que chaque appareil consomme 1 W pour son mode de veille. En effet, si les appareils ne se trouvent pas en veille tout au long de la journée, les consommations dans ce mode peuvent atteindre 50 W.

D'un autre côté, en France, 58 réacteurs nucléaires assurent la production d'une énergie électrique annuelle moyenne de 410 000 GWh.

- 1) Quelle est l'énergie annuelle consommée par le mode de veille des appareils européens ?*
- 2) Quelle est l'énergie annuelle moyenne produite par chacun des réacteurs nucléaires français ?*
- 3) Combien faut-il de réacteurs nucléaires pour produire la quantité d'énergie consommée par les modes de veille ?*

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 3 : Modes de veille

Question 1 : Quelle est l'énergie annuelle consommée par le mode de veille des appareils européens ?

Chaque appareil consomme 1 W pour son mode de veille. Or, 1 W = 1 J/s, de sorte qu'en 365 jours, chaque appareil a consommé une énergie

$E = 1 \text{ W} \times 3600 \times 24 \times 365 = 31,5 \times 10^6 \text{ J}$ soit 8,76 kWh (ou $E = 1 \times 24 \times 365 = 8760 \text{ Wh}$).

Comme il y a 3,7 milliards d'appareils, alors l'énergie totale consommée est

$E_{\text{tot}} = 8760 \text{ Wh} \times 3,7 \times 10^9 = 3,24 \times 10^{13} \text{ Wh}$ soit 32 400 GWh.

L'énergie consommée en 2009 en Europe par les appareils en mode de veille est d'environ 32 400 GWh.

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 3 : Modes de veille

Question 2 : Quelle est l'énergie annuelle moyenne produite par chacun des réacteurs nucléaires français ?

L'énergie moyenne produite par un réacteur est $E_{RN} = 410\,000/58 = 7\,070$ GWh.

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 3 : Modes de veille

Question 3 : Combien faut-il de réacteurs nucléaires pour produire la quantité d'énergie consommée par les modes de veille ?

Les modes de veille consomment 32 400 GWh alors qu'un réacteur produit en moyenne environ 7 070 GWh, soit un rapport d'environ 4,6.

L'énergie annuelle utilisée pour faire fonctionner les modes de veille en Europe correspond à la production de 4 à 5 réacteurs nucléaires à plein temps.

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 4 : Déplacement d'un robot humanoïde

Une entreprise réalise un robot constitué uniquement de deux jambes et d'un début de tronc afin de valider les algorithmes de déplacement élaborés par des laboratoires de recherche spécialisés en microrobotique. On limite l'étude aux jambes humanoïdes du robot. Lorsque le robot effectue un pas, la puissance moyenne absorbée par les moteurs et l'électronique de commande se décompose comme suit :

ó 1ère étape du pas : 7,78W pendant 150ms

ó 2ème étape du pas : 36 W pendant 270ms

ó 3ème étape du pas : 2,81W pendant 600ms

ó Pendant la durée d'un pas, l'électronique de commande consomme 24 W.

On considérera la tension délivrée par la batterie constante et égale à 12 V.

1) Déterminer l'énergie E_{bat} fournie par la batterie durant un pas.

2) En déduire la puissance moyenne P_{bat} fournie ainsi que l'intensité moyenne I_{moy} débitée par la batterie quand le robot fait un pas.

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 4 : Déplacement d'un robot humanoïde

Question 1 : Déterminer l'énergie E_{bat} fournie par la batterie durant un pas.

$$E = \int_0^T p(t) \cdot dt$$

$$E = P1.t1 + P2.t2 + P3.t3 + P_{elec}$$

$$E = 7,78.0,15 + 36.0,27 + 2,81.0,6 + 24.(0,15+0,27+0,6)$$

$$E = 37J$$

La puissance

Lien avec l'énergie

Exercice 4 : Déplacement d'un robot humanoïde

Question 2 : En déduire la puissance moyenne P_{bat} fournie ainsi que l'intensité moyenne I_{moy} débitée par la batterie quand le robot fait un pas.

$$P_{bat} = \frac{E_{bat}}{(t_1 + t_2 + t_3)} = \frac{37}{(0,15 + 0,27 + 0,6)} = 36 \text{ W}$$

La batterie devra fournir 36W pour que le robot soit en mesure de faire un pas.

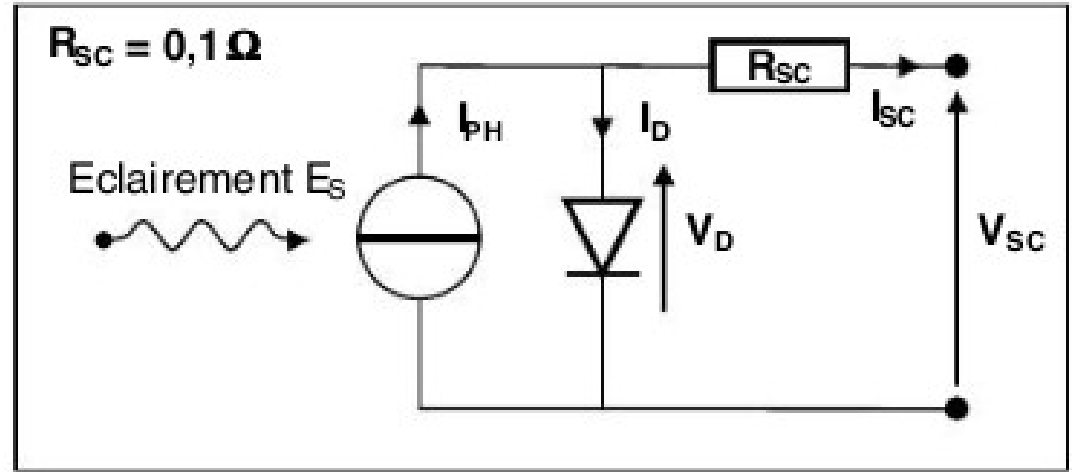
$$I_{moy} = \frac{P_{bat}}{U} = \frac{36}{12} = 3 \text{ A}$$

Modélisation d'un générateur solaire

Un système puise son énergie du soleil, grâce à un panneau solaire constitué de **36 cellules photovoltaïques**, dont le modèle équivalent est donné ci-contre.

Hypothèses :

- La diode est quasi parfaite. Seule sa tension de seuil, constante et notée $V_{D0} = 0,6 \text{ V}$, sera prise en compte.
- La source délivre un courant constant, dont la valeur I_{PH} dépend de l'ensoleillement :
$$I_{PH} = K_{PH} \cdot E_S$$



E_S représente l'éclairement, exprimé en W/m^2 .
 K_{PH} est une constante liée à la taille de la cellule :
$$K_{PH} = 0,58 \cdot 10^{-3} \text{ A/(W/m)}$$

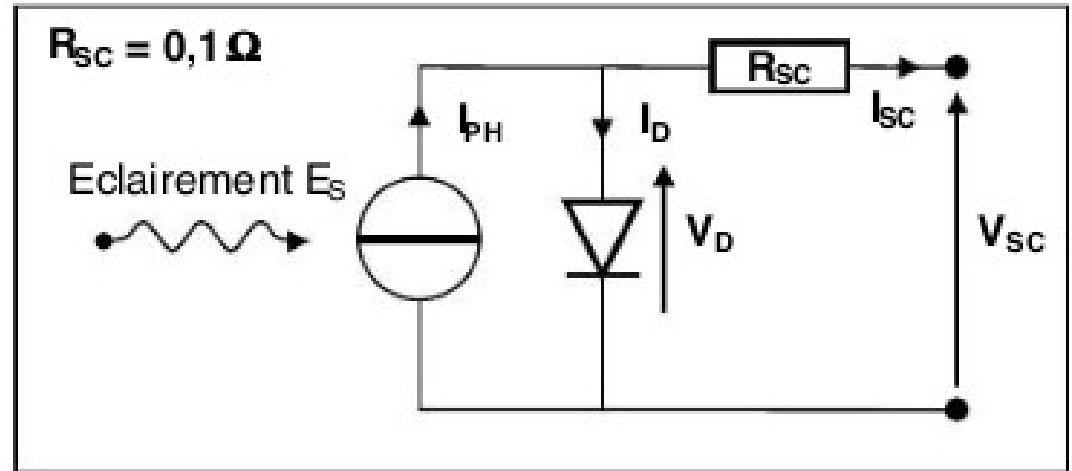
 I_{PH} est le courant photovoltaïque généré en A.

Modélisation d'un générateur solaire

Questions :

1) Tracé la caractéristique $I_{sc} = f(V_{sc})$ en étudiant le cas de fonctionnement lorsque la diode est passante puis lorsqu'elle est bloquée

2) Trouvez les points de fonctionnement lorsque l'éclairement est de 1000W/m^2 puis 400W/m^2 et lorsque l'ensemble est connectée une batterie de 12V



Modélisation d'un générateur solaire

Questions :

$$V_D = V_{SC} + R_{SC} I_{SC}$$

D'après la loi des mailles :

La diode devient passante dès que

$$V_D = V_{D0} = 0,6 \text{ V.}$$

soit

$$I_{SC} = \frac{V_D - V_{SC}}{R_{SC}}$$

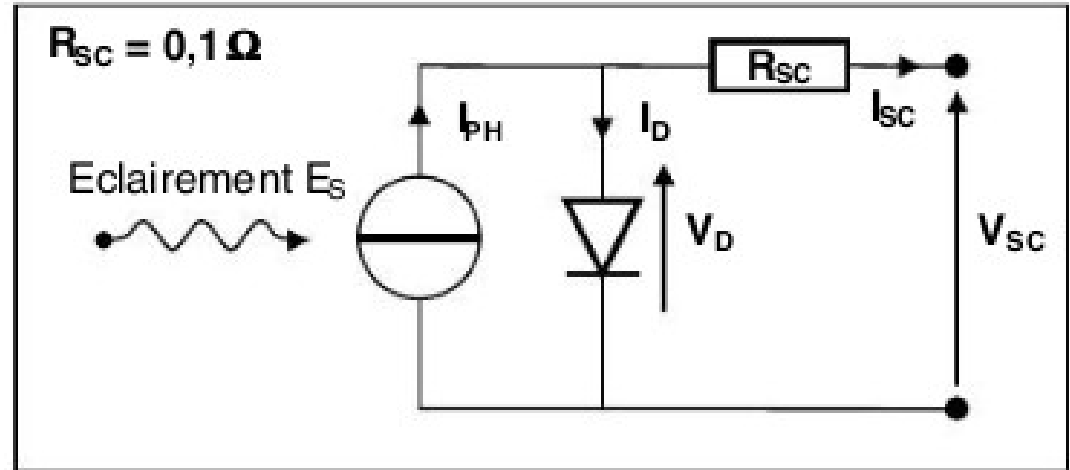
La diode se bloque dès que I_D s'annule : $I_D = 0 \text{ A}$.

Lorsque la diode est bloquée :

$$I_{SC} = I_{PH} = K_{PH} \cdot E_S$$

$$(I_{PH} = I_D + I_{SC} = I_{SC} \text{ car } I_D = 0 \text{ A})$$

La caractéristique $I_{SC} = f(V_{SC})$ d'une cellule est tracée diapositive suivante.



Modélisation d'un générateur solaire

Question 1 : Caractéristique $I_{SC} = f(V_{SC})$

$$V_D = V_{SC} + R_{SC} I_{SC}$$

D'après la loi des mailles :

La diode devient passante dès que $V_D =$

$$V_{D0} = 0,6 \text{ V.}$$

soit
$$I_{SC} = \frac{V_D - V_{SC}}{R_{SC}}$$

La diode se bloque dès que I_D s'annule :

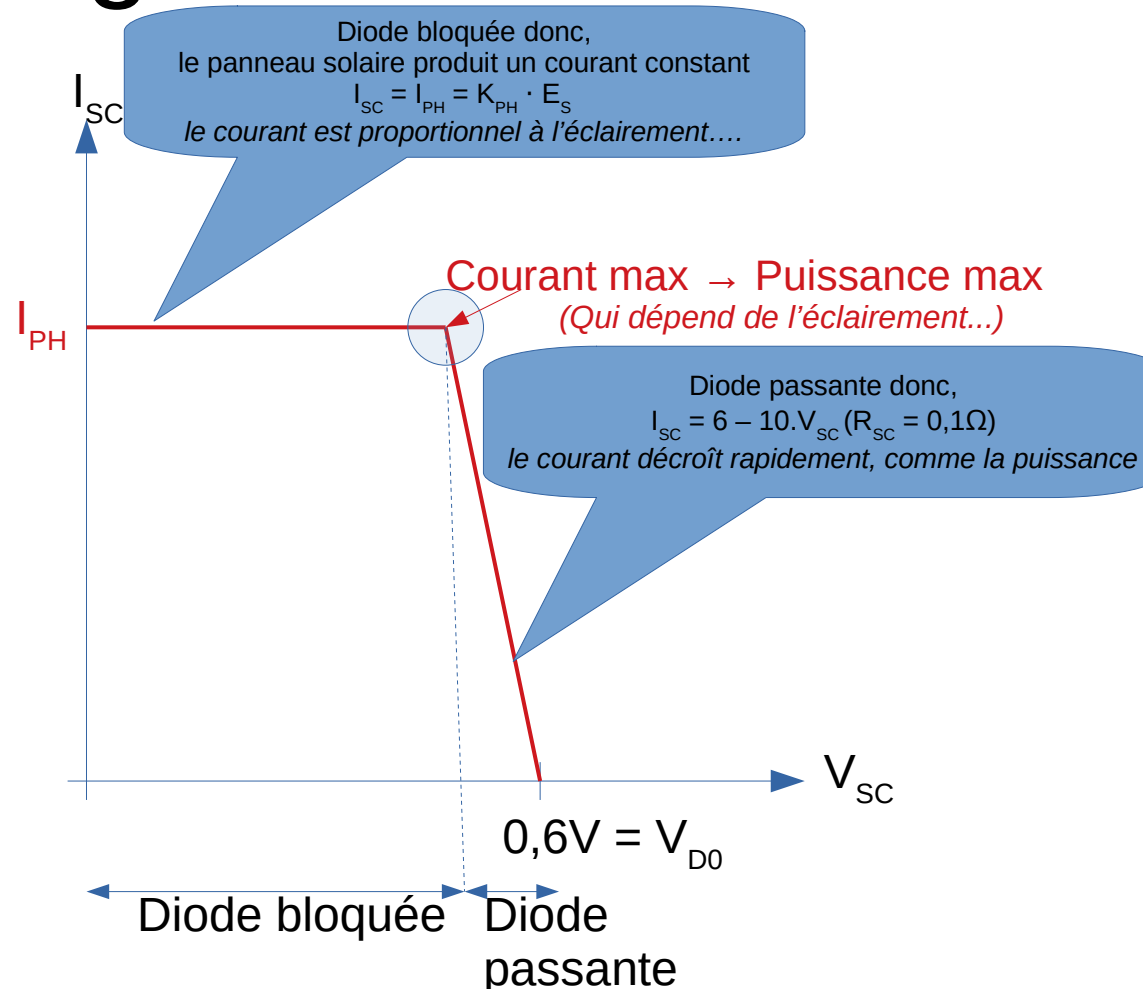
$$I_D = 0 \text{ A.}$$

Lorsque la diode est bloquée :

$$I_{SC} = I_{PH} = K_{PH} \cdot E_S$$

$$(I_{PH} = I_D + I_{SC} = I_{SC} \text{ car } I_D = 0 \text{ A})$$

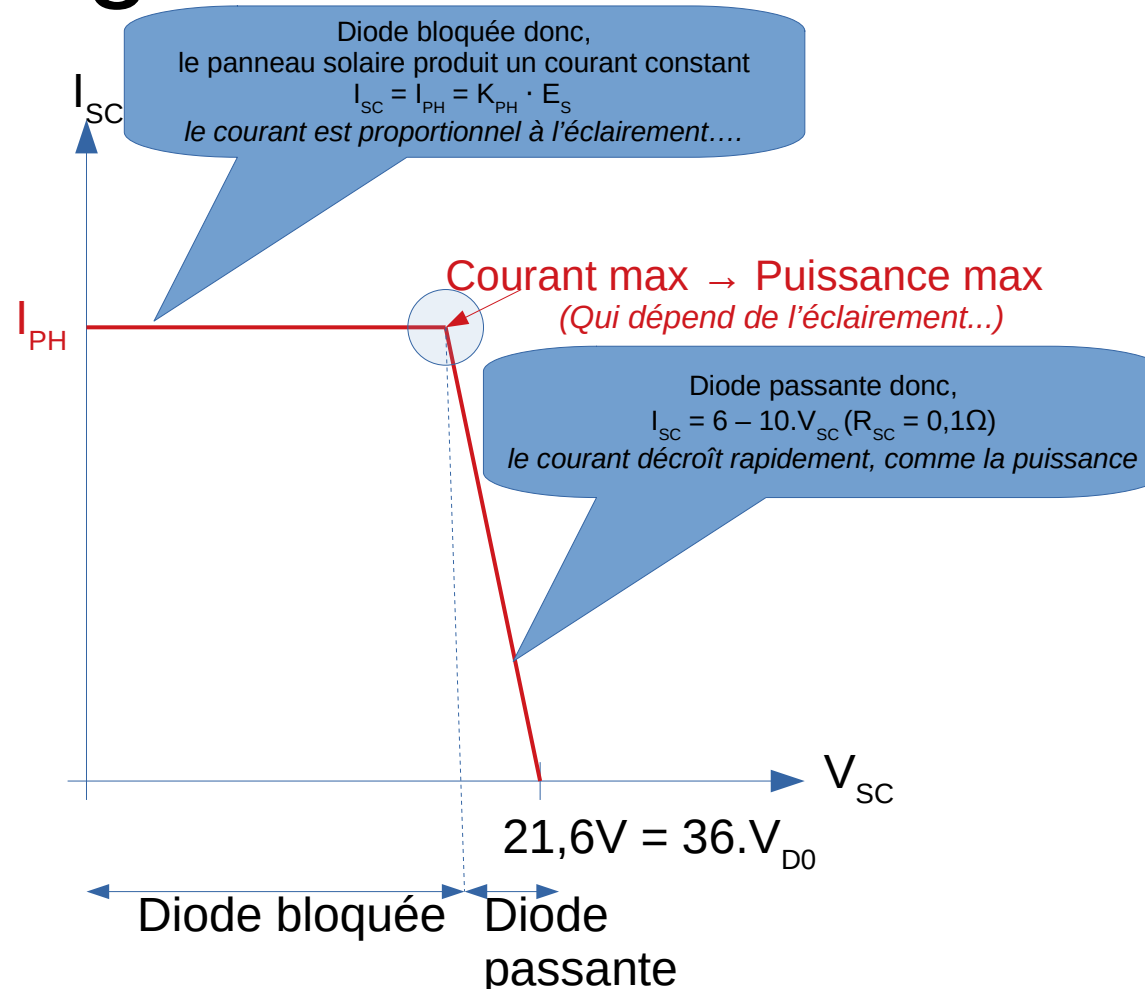
La caractéristique $I_{SC} = f(V_{SC})$ d'une cellule est tracée diapositive suivante.



Modélisation d'un générateur solaire

Question 1 : Caractéristique $I_{SC} = f(V_{SC})$

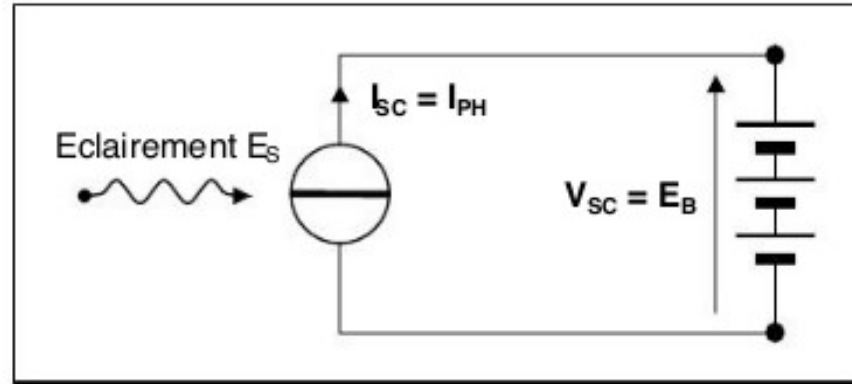
Le panneau étant constitué de 36 cellules montées en série, la caractéristique courant – tension du panneau s'obtient en multipliant V_{SC} par 36 et en ne changeant pas l'intensité.



Modélisation d'un générateur solaire

Question 2 : Trouvez les points de fonctionnement lorsque l'éclairement est de 1000W/m^2 puis 400W/m^2 et lorsque l'ensemble est connectée une batterie de 12V .

La diode étant bloquée ($I_D = 0$), le modèle équivalent se ramène au schéma donné ci-dessous :



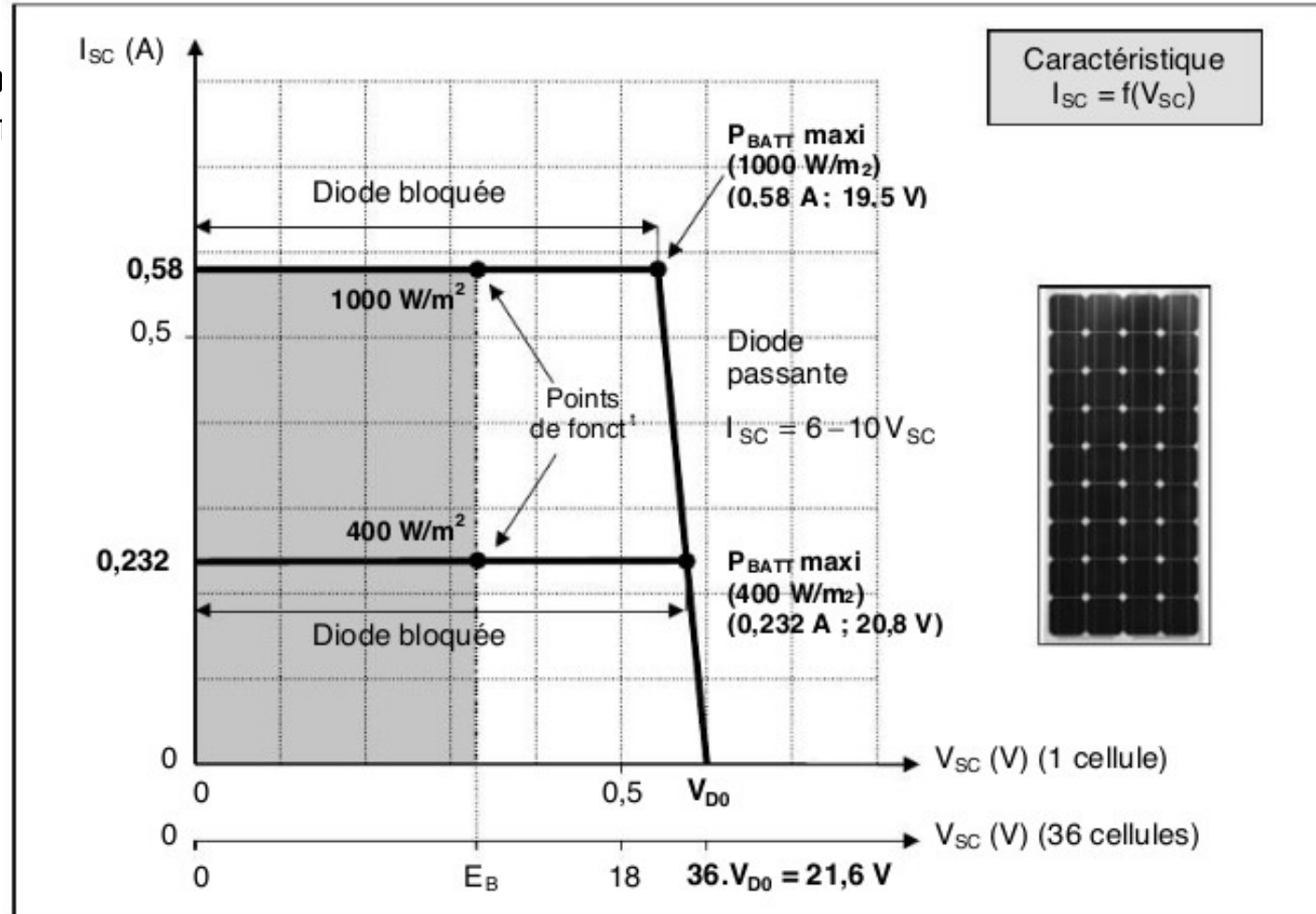
La puissance reçue par la batterie s'écrit donc : $P_{BATT} = E_B \cdot I_{PH} = E_B \cdot K_{PH} \cdot E_S$

→ pour $E_S = 1000 \text{ W / m}^2$: $P_{BATT} = 6,96 \text{ W}$

→ pour $E_S = 400 \text{ W / m}^2$: $P_{BATT} = 2,78 \text{ W}$

Modélisation d'un générateur solaire

Question 2 : Tro
puis 400W/m² e



100W/m²

Modélisation d'un générateur solaire

Question 2 : Trouvez les points de fonctionnement lorsque l'éclairement est de 1000 W/m^2 puis 400 W/m^2 et lorsque l'ensemble est connectée une batterie de 12 V .

Le panneau n'est pas exploité à sa puissance maximale.

Celle-ci serait obtenue pour une tension égale à $V_{SC} = 36 \cdot (6 - I_{PH}) / 10$.

On aurait :

$$P_{BATT} (1000 \text{ W/m}^2) = 11,3 \text{ W}$$

et

$$P_{BATT} (400 \text{ W/m}^2) = 4,8 \text{ W}$$

