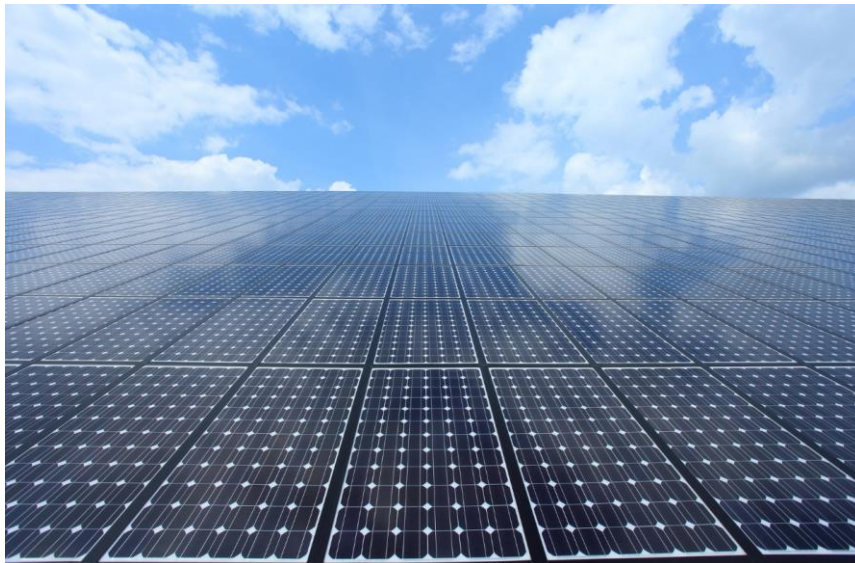


Solaire photovoltaïque : Principe et applications



Etudiants :

Charlotte LEBOURG

Agathe CAZADE

Salim TALOUT

Timothé BERNARD

Maxime CHENON

Enseignant-responsable du projet :

Monsieur Jamil Abdul Aziz

Date de remise du rapport : **13/06/2016**

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – #42**

Intitulé du projet : **Solaire photovoltaïque : principe et applications**

Type de projet : **expérimental, bibliographique**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

- **Gérer un projet : répartition des tâches, travail en groupe**
- **Comprendre comment fonctionne l'énergie photovoltaïque et un panneau solaire**
- **Vérifier expérimentalement les données théoriques obtenues lors de nos recherches**

Mots-clefs du projet :

- **Photovoltaïque**
- **Energie renouvelable**
- **Environnement**

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	5
2.	Méthodologie / Organisation du travail	5
3.	Aspect theorique	6
3.1.	Généralités sur le photovoltaïque	6
3.1.1.	Historique du photovoltaïque	6
3.1.2.	Energie photovoltaïque et effet photoélectrique	7
3.1.3.	Les différents types de panneaux	8
3.2.	Fabrication des panneaux solaires et leur fonctionnement	10
3.3.	Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque.....	16
3.3.1.	Généralités	16
3.3.2.	Rayonnement, angle et orientation	18
4.	Aspect expérimental.....	20
4.1.	Présentation du matériel	20
4.2.	Expériences proposées et analyse des résultats.....	20
5.	Conclusions et perspectives.....	22
6.	Annexes.....	23
6.1.	Schémas de montages.....	23
6.2.	Propositions de sujets de projets.....	24
6.3.	Applications du photovoltaïque.....	24
6.4.	Aspects socio-économiques.....	25
6.5.	Aspects environnementaux	26
6.6.	Innovations, nouveautés et recherches	28
7.	Bibliographie	33

1. INTRODUCTION

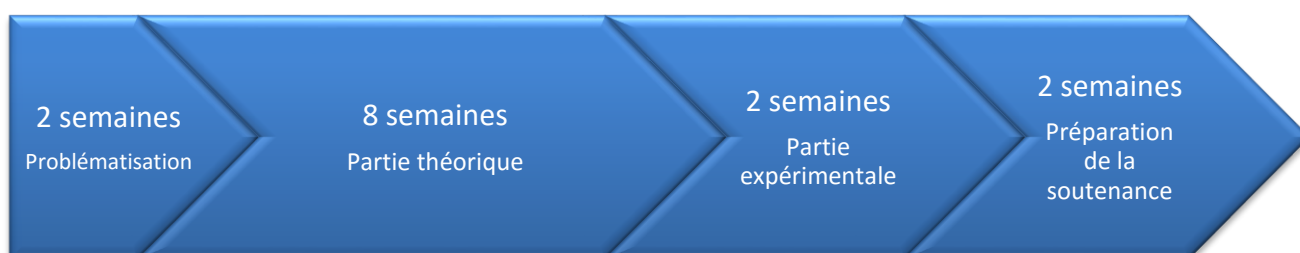
Dans le cadre de notre deuxième année à l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Rouen, nous avons réalisé un projet de physique (P6) dont le thème est, « Le solaire photovoltaïque : Principe et applications » qui a été choisi parmi d'autres. Le but de ce travail est d'appréhender la gestion et le travail de groupe que requiert ce type de projet. Il est également question d'introduire une notion nouvelle : Acquérir des connaissances théoriques sur un sujet donné, et mettre en place des expériences pratiques pour vérifier ces dernières, de manière autonome.

Durant la totalité du projet, nous avons été cinq étudiants (Agathe, Charlotte, Maxime, Salim et Timothé) à nous intéresser à l'énergie photovoltaïque. Aujourd'hui, bien qu'elle ne représente que 4% de la production totale d'électricité en Europe, cette énergie renouvelable est en plein développement et devrait concurrencer les autres formes de production dans l'avenir. En effet, on observe un essor dans la production de cellules photovoltaïques, et dans le rendement de ces panneaux. De plus, la baisse des coûts de production encourage fortement cet élan.

Dans le cadre de la réalisation de ce projet, il a été mis à disposition par l'INSA et les élèves ayant déjà travaillé sur l'énergie photovoltaïque, un panneau photovoltaïque ainsi qu'un support inclinable et du matériel électrique (convertisseur, régulateur...). Cela nous a permis de réaliser les expériences que nous voulions mettre en place afin de vérifier les informations théoriques que nous avons trouvées. En effet, acquérir des connaissances sur un domaine nouveau et prometteur, ainsi qu'expérimenter le fonctionnement d'un panneau faisait partie des objectifs de ce projet.

Une grande partie du projet fût dédiée à la recherche d'informations afin de maîtriser le sujet et pouvoir mettre en place, au mieux, des expériences. Nous avons pu apprendre énormément sur la manière de gérer un projet, et construire et mettre en place une expérience en autonomie.

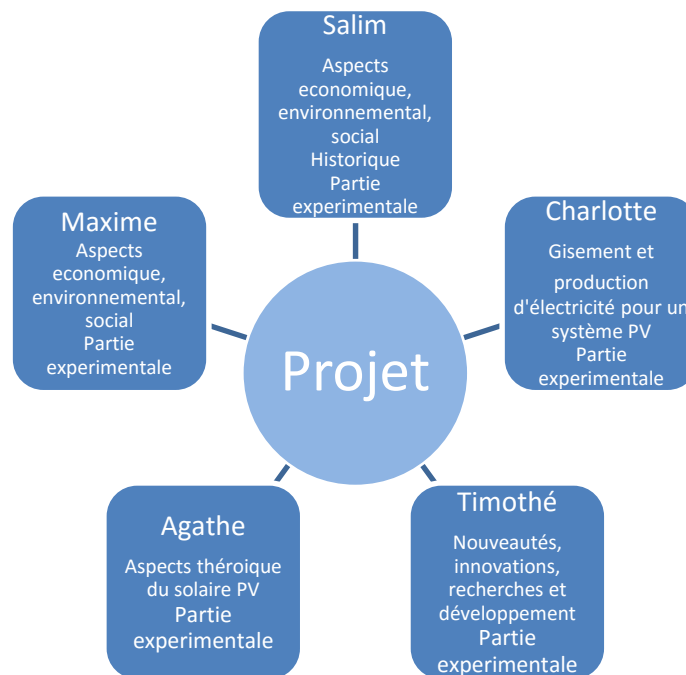
2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL



Lors des premières séances, nous avons effectué des recherches individuelles, afin d'avoir une idée générale du photovoltaïque. Le sujet étant étendu, il fallait répartir les tâches de manière efficace. Nous avons ainsi traité individuellement, un ou plusieurs thèmes de la partie théorique. Nous partageons l'avancement de notre travail avec le reste du groupe à l'aide d'un Gdoc (document en ligne).

Nous nous sommes ensuite attardés sur la partie expérimentale, qui est primordiale à notre projet. Malheureusement, nous n'avons pas pu rassembler tous les membres du groupe pour effectuer notre expérience. Nous avons donc fait un compte rendu de notre travail aux élèves manquants.

Enfin, les dernières séances étaient consacrées à la rédaction des parties manquantes du rapport, ainsi qu'à la préparation de la soutenance. En effet, nous avons décidé quels thèmes seraient abordés à l'oral, puis nous avons réalisé notre support, qui permet à l'auditoire de mieux suivre nos propos.



3. ASPECT THEORIQUE

3.1. Généralités sur le photovoltaïque

3.1.1. *Historique du photovoltaïque*

En 1839, Antoine Becquerel constate que certains matériaux peuvent produire de petites quantités d'électricité quand ils sont exposés à la lumière.

En 1883, Charles Fritts crée la première cellule solaire au monde, un dispositif qui convertit la lumière du soleil en électricité, à l'aide de sélénium et d'or. Le rendement de la cellule est alors inférieur à 1 %.

En 1905, Albert Einstein se penche aussi sur ce travail. Il publie un papier sur le potentiel de production d'électricité à partir de la lumière du soleil. En 1921, Albert Einstein est récompensé par le prix Nobel de physique pour sa « découverte de la loi de l'effet photoélectrique ». Einstein est le premier à formuler l'hypothèse de l'existence de photons, et établit ainsi les bases théoriques de la technologie photovoltaïque.

En 1954, Les cellules solaires en silicium font leur entrée sur le marché grand public. Grâce à la course à l'espace entre les États-Unis et l'Union soviétique, des investissements importants sont fait dans la technologie solaire. Les premiers panneaux photovoltaïques sont installés sur des satellites spatiaux dès le début des années 60. Puis, à partir du début des années 70, les premières installations terrestres concerne l'électrification des sites isolés.

En 2000, La production cumulée des systèmes photovoltaïques installés dans le monde dépasse les 1 GW et marque ainsi un cap pour le développement mondial du secteur de l'énergie solaire.

3.1.2. *Energie photovoltaïque et effet photoélectrique*

Energie photovoltaïque

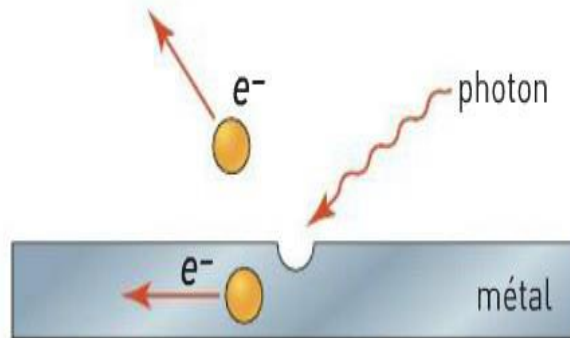
L'énergie photovoltaïque provient de la transformation d'une source d'énergie lumineuse en électricité. Les cellules solaires et modules photovoltaïques sont des composants qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. On parle le plus souvent d'énergie solaire photovoltaïque puisque le soleil est la source la plus intense existante sur Terre. Cependant, on utilise aussi le terme d'énergie lumière car toute source lumineuse, naturelle comme artificielle, peut générer une énergie électrique à travers une cellule solaire.

Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique correspond à l'ensemble des phénomènes électriques d'un matériau, le plus souvent métallique, provoqué par l'action de la lumière. On peut distinguer deux principaux effets : d'une part des électrons sont délogés du matériau, c'est ce qu'on appelle une émission photoélectrique. D'autre part, il apparaît une modification de la conductivité du matériau en question.

Un faisceau lumineux est un déplacement de petits corps porteurs d'énergie appelés «photons». Lorsqu'un matériau est soumis à un rayon lumineux, toute l'énergie des photons incidents est transmise aux électrons. En effet, extraire un électron de l'atome nécessite une quantité d'énergie minimale.

Il existe deux applications de l'effet photoélectrique : externe et interne. Nous allons nous intéresser à cette dernière. L'effet photoélectrique s'effectue dans un semi-conducteur, dans lequel les électrons ne peuvent se déplacer que si on leur apporte une certaine énergie pour les libérer de leurs atomes, appelée énergie de gap, mesurée en eV. Lorsque la lumière pénètre le semi-conducteur, les photons apportent cette énergie, leur permettant de se libérer et de se déplacer dans la matière. Il y a alors génération d'un courant électrique. Dans le cas des cellules photovoltaïques, celui-ci est récolté à l'aide de fil métallique conducteur.



Effet photoélectrique appliqué à un métal

3.1.3. Les différents types de panneaux

Il existe aujourd'hui en France, trois principaux types de panneaux photovoltaïques. Chacun des types de panneaux est adapté à un type de toiture, un ensoleillement spécifique. La seule chose qui les différencie, puisqu'ils sont pour la plupart composés de cellules à base de Silicium, est le mode de fabrication des cellules.

En fonction du nombre de cellules mises en série, on parle de panneaux 12V pour 36 cellules en séries et de panneaux 24 V pour 72 cellules en séries.

Les panneaux monocristallins comme celui que possède l'INSA, sont composés de cellules de Silicium pures car obtenues à partir d'un seul bloc de Silicium fondu puis cristallisé. Ce sont des cellules rondes ou carrées qui sont de couleur uniforme grise ou bleu foncée. C'est un des types de panneaux les plus chers puisque la production de cristaux de silicium purs est complexe et donc plus coûteuse. Un panneau monocristallin étant composé d'un seul cristal de silicium, il va mieux réagir avec une lumière directe comme celle envoyée par le Soleil, c'est pourquoi les cellules monocristallines permettent d'obtenir des panneaux avec un rendement plus élevé, de 14 à 19%.

D'après Photon International publié en 2012, la production de cellules formées de silicium monocristallin représentait plus de 13% de la production de cellules en 2011.

Le deuxième type de panneaux correspond aux panneaux polycristallins, qui sont également composés de cellules de silicium, mais dans ce cas, plusieurs cristaux se forment lors du refroidissement du bloc de silicium. Les cellules polycristallines sont souvent rectangulaires et pour la plupart bleus mais non uniformes, c'est à dire qu'on peut y trouver des reflets ou des motifs à leur surface. On les trouve sous diverses formes qui sont dues au nombre plus ou moins élevé de cristaux formant une cellule, qui ne sont pas tous orientés de la même façon et donc en contact d'une lumière directe ils ne vont pas tous réagir de la même façon.

C'est cette différence d'orientation des cristaux qui va diminuer le rendement des panneaux polycristallins par rapport au panneau monocristallin. Ainsi les cellules polycristallines sont produites plus aisément mais ont un rendement plus faible, entre 11 et 15%, ce qui permet de produire des panneaux photovoltaïques avec un bon rapport qualité/prix, le meilleur aujourd'hui, ce qui leur apporte un avantage sur le marché de la production de cellules photovoltaïques. Cependant les systèmes polycristallins présentent un inconvénient majeur : ils ont un rendement très bas lorsque le ciel est couvert contrairement à leurs homologues monocristallins qui auront une efficacité, certes un peu plus faible mais assez peu éloignée de leur rendement maximal.

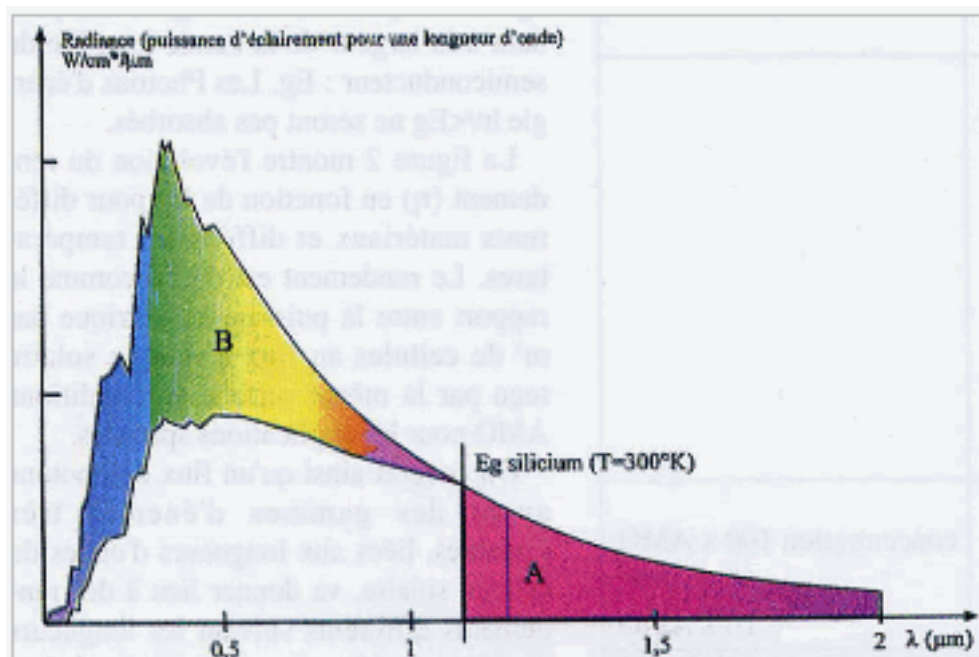
D'après Photon International 2012, les cellules polycristallines représentaient en 2011, 57% de la production mondiale.

La dernière forme de systèmes photovoltaïques correspond au type couche-mince et au silicium amorphe. Lors de sa transformation le silicium produit un gaz qui est ensuite projeté sur différents matériaux comme du verre, plastique, ou métal, par vaporisation sous vide afin de créer des cellules photovoltaïques de type couche-mince. La souplesse de ce silicium, dit amorphe c'est-à-dire qu'il n'est pas cristallisé, permet d'utiliser ce type de cellules pour fabriquer des systèmes flexibles ou enroulables. Ces cellules parfois marrons ou très foncées, fonctionnent très bien quel que soit l'éclairage, qu'il soit diffus, faible ou artificiel. De plus ces dernières supportent très bien les hautes températures. Cependant, à l'inverse des cellules cristallines, elles ont un rendement faible lorsque l'éclairement est important. Plus généralement, leur rendement est faible : entre 5 et 9% mais le coût de production vraiment bas leur donne un avantage sur les autres types de cellule. Ce type de cellules et de panneaux est aujourd'hui utilisé pour les appareils portables qui ont besoin d'une faible puissance comme les montres ou calculatrices solaires.

Grâce à son faible coût de production, le système en couche-mince intéresse le domaine de la recherche dans le photovoltaïque, afin de pouvoir en augmenter son rendement.

C'est ainsi que de nouvelles cellules ont vu le jour: les cellules CIS (cuivre, indium et sélénium) qui ont un rendement légèrement plus important que celui de celles à base de silicium (de 9 à 11%).

Spectre solaire



Puissance d'éclairement en fonction de la longueur d'onde

Ce schéma montre l'exploitation du spectre solaire hors atmosphère par une photopile au silicium. La zone A correspond à l'énergie perdue par les photons non absorbés (environ 23,5 %). La zone B correspond à l'excès d'énergie, non utilisée, par les photons d'énergie supérieur à E_g , l'énergie de gap (environ 33 %). A ces pertes s'ajoutent celle du facteur de forme (coefficient qui exprime la part du flux quittant le soleil et atteignant le panneau), de la réflexion, de la surface des collecteurs... pour au final descendre à 10-15% de spectre solaire exploitable, ce qui explique le bas rendement des panneaux photovoltaïques.

3.2. Fabrication des panneaux solaires et leur fonctionnement

Matière première

La matière première d'un panneau photovoltaïque est la silice dont la formule chimique est SiO_2 . Ce minéral dur est le 2ème élément le plus abondant dans la croûte terrestre, qu'on trouve sous différentes formes: roches sédimentaires détritiques (sable et grès), roches métamorphiques, roches magmatiques. L'extraction s'effectue sur les roches sédimentaires détritiques (plus facile d'accès et d'exploitation), dans des carrières de grès ou de sable de silice. Ces gisements de silice sont plus ou moins purs, mais les gisements de sable silicieux peuvent atteindre une pureté entre 97 et 99%.

Les semi-conducteurs

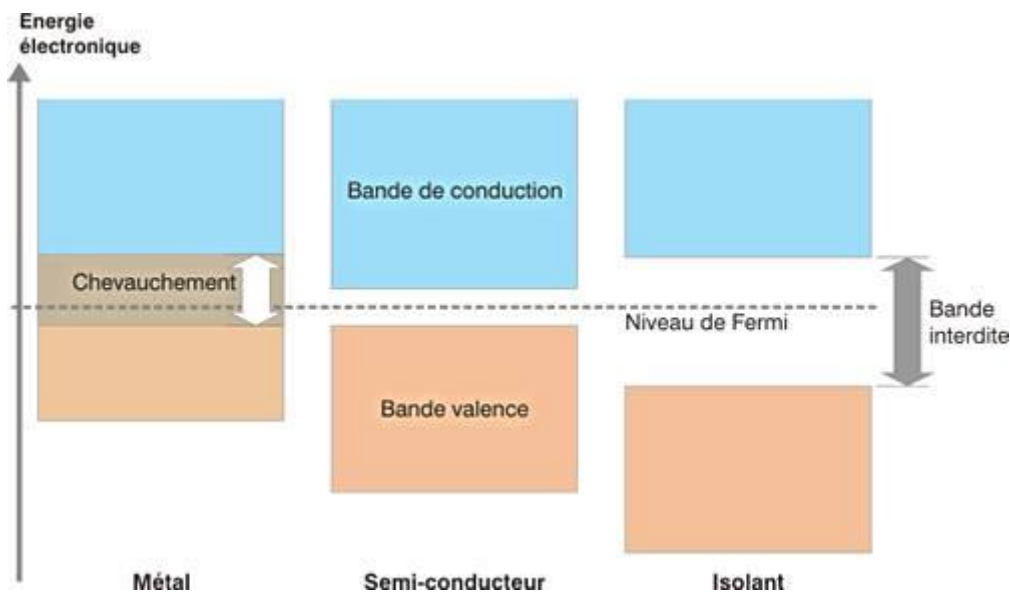
Cependant, la silice brut n'est pas utilisable pour la fabrication des panneaux solaires.

L'élément utilisé est le silicium qui a la caractéristique indispensable d'être un semi-conducteur, c'est-à-dire un élément n'étant ni un isolant ni un conducteur, mais plutôt un intermédiaire entre ces deux propriétés.

En effet, dans un matériau conducteur, la bande de valence et la bande de conduction se confondent, ce qui fait que les électrons peuvent circuler facilement à travers le matériau conducteur.

Dans un matériau isolant, au contraire, la bande de valence et la bande de conduction sont séparées par ce qu'on appelle la bande interdite. Cette bande nécessite beaucoup d'énergie aux électrons pour qu'ils puissent passer dans la bande de conduction, de l'ordre d'une dizaine d'électronvolt (ou eV).

Dans un matériau semi-conducteur, la largeur de la bande interdite est plus faible, de l'ordre de 0,5 à 2 eV (pour le silicium, 1,12 eV), cette énergie de transition d'une bande à l'autre est l'énergie de gap notée E_g . L'intérêt d'un matériau semi-conducteur est de pouvoir utiliser l'énergie des photons de la lumière du soleil pour faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction.



Energie nécessaire pour le passage d'un électron d'une bande à une autre en fonction du matériau

Obtention et purification du silicium

Pour obtenir du silicium, il faut extraire l'oxygène de la silice (SiO_2). Pour cela, on utilise un four à arc qui va fournir, par les arcs électriques créés par les électrodes, la chaleur nécessaire à la réaction. En réalité, la réaction de réduction de la silice en silicium résulte d'un grand nombre de réactions chimiques intermédiaires et complexes mais nous généraliserons le processus par la réaction chimique simplifiée suivante: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + \text{CO}$. A la sortie du four, le silicium est sous forme liquide et métallurgique, sa pureté est de 98%.

A partir du silicium métallurgique, on utilise le procédé Siemens grâce auquel du silicium ultra-pur peut être obtenu après un grand nombre de distillations à base de chlore. On obtient à l'issue de ces distillations du trichlorosilane très pur, de formule chimique SiHCl_3 qui est ensuite réduit, pour redonner du silicium: $\text{SiHCl}_3(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = \text{Si}(\text{s}) + \text{HCl}$. On obtient donc du silicium extrêmement pur à 99,999999 %.

Cristallisation du silicium liquide

On s'intéresse seulement au silicium monocristallin car le panneau photovoltaïque que nous utiliserons lors des expériences est composé de cellules monocristallines.

Une des méthodes pour fabriquer du silicium monocristallin est la méthode dite de Czochralski.

Le silicium est maintenu liquide à l'aide d'éléments chauffants. Lorsque la surface est à la température limite de solidification, on y plonge un germe monocristallin. Le silicium se solidifie sur ce germe selon la même orientation cristallographique. On tire lentement le germe vers le haut, avec un mouvement de rotation, tout en contrôlant minutieusement la température et la vitesse. On obtient ensuite un lingot de silicium monocristallin ultra pur, de forme cylindrique.

Obtention des wafer photovoltaïque

Les lingots cylindriques sont découpés en fines plaques grâce à une scie à fil. L'épaisseur des plaques est comprise entre 200 micromètres et 300 micromètres.

Création du courant électrique.

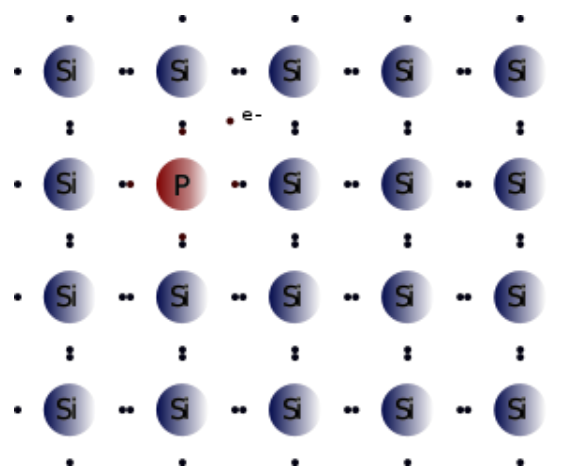
Dans le domaine des semi-conducteurs, le dopage est l'action d'ajouter des impuretés en petites quantités à une substance pure afin de modifier ses propriétés de conductivité.

Il existe 3 méthodes pour le dopage, mais seulement une est utilisée pour le photovoltaïque: le dopage par diffusion. Cette méthode consiste à mettre les plaques de silicium dans un four chauffé entre 850°C et 1200°C et d'introduire le dopant sous forme solide, liquide ou gazeuse. Grâce à des gaz vecteurs inerte et à la chaleur du four, le dopant réussit à s'introduire dans la structure de la plaque de silicium.

Le semi-conducteur dopé est appelé «semi-conducteur extrinsèque». Il y a deux types de dopage: le type P (positif) et le type N (négatif).

Dopage N

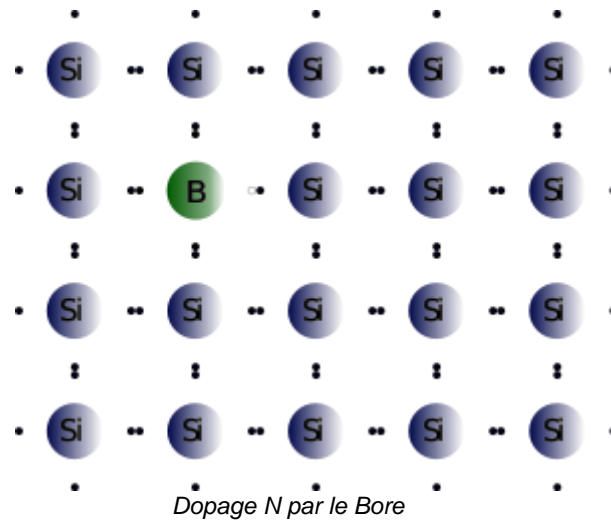
On ajoute un atome de phosphore au sein de la structure du wafer de silicium. Les atomes de phosphore ont 5 électrons de valence tandis que les atomes de silicium en ont 4, le phosphore va s'associer avec 4 électrons de silicium et posséder un électron libre. Il y a donc un excès d'électrons dans la plaque, une charge globale négative.



Dopage P par le phosphore

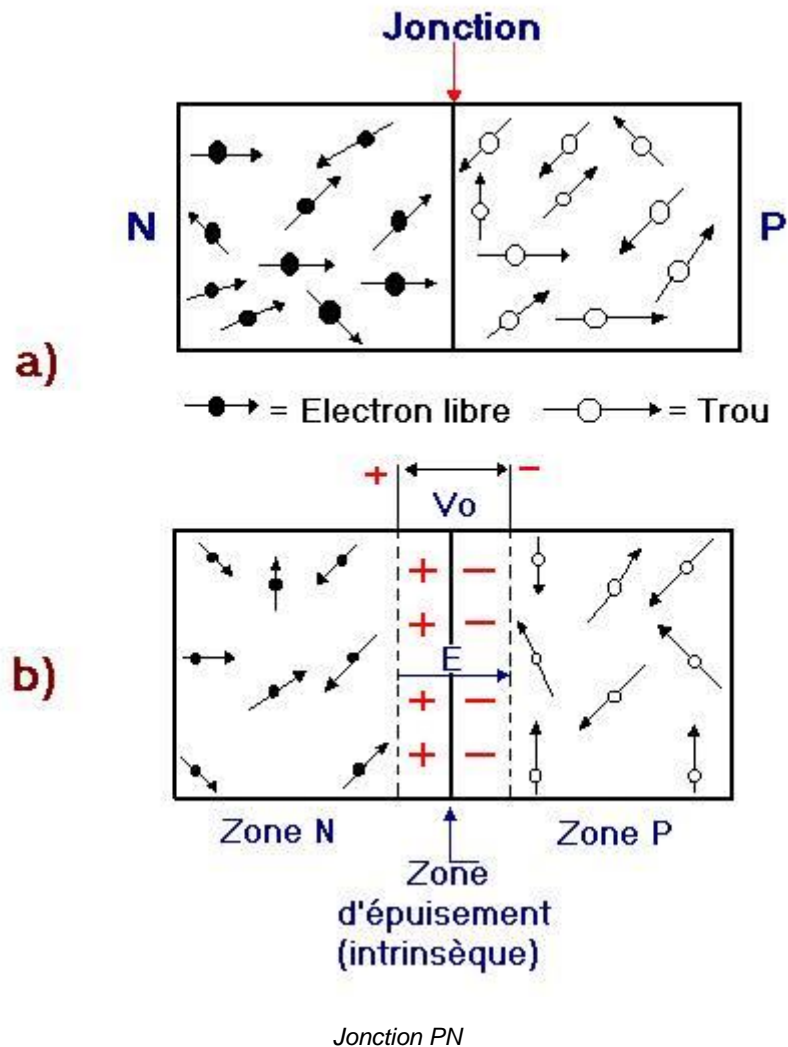
Dopage P

On ajoute cette fois-ci un atome de bore à la structure cristalline du silicium. Les atomes de bore, ayant 3 électrons sur la couche électronique externe, vont s'associer avec 4 électrons de silicium et laisser un «trou». Il y a un défaut d'électrons, une charge globale positive.



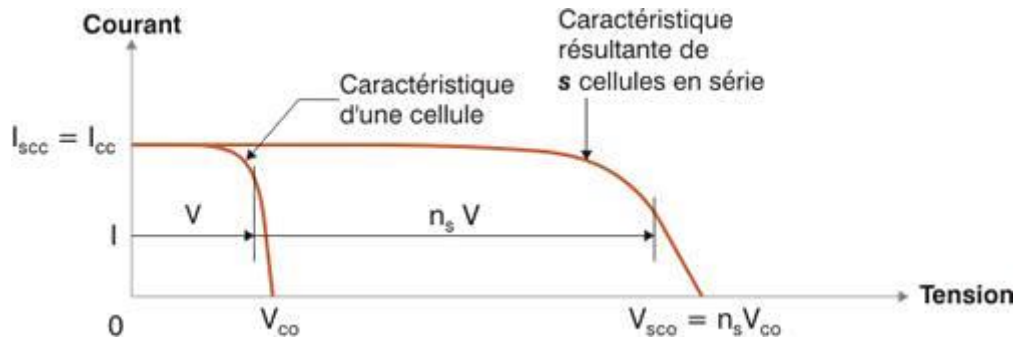
Un wafer dopé N et un wafer dopé P sont associés. Les électrons en excès de la zone N ont tendance à diffuser vers la zone P, tandis que les trous se dirigent vers la zone N, en quête d'électrons (diffusion des charges). Les électrons de la zone N se combinent avec les trous dans la zone P tandis que les trous de la zone P se combinent avec les électrons de la zone N au niveau de la jonction des deux plaques. La recombinaison locale des charges produit une zone non neutre d'atomes de phosphore chargés positivement électriquement dans la zone N et une zone non neutre d'atomes de bore chargés négativement dans la zone P. On crée donc un champ électrique au niveau de l'interface, on appelle cela la jonction PN. Ce champ empêche les autres électrons libres de la plaque dopé N de se combiner aux trous de la plaque dopé P et agit comme un isolant (zone de déplétion).

Cependant, ceci laisse un déséquilibre électrique. La zone N subit un déficit d'électrons et une acquisition de trous, la charge globale de la plaque dopé N devient donc positive tandis qu'à l'extrémité de la plaque de silicium dopée P, nous trouvons une accumulation de charge négative, due à la perte de trous et à l'acquisition d'électrons. Il y a donc une différence de potentiel électrique entre la zone N et la zone P.



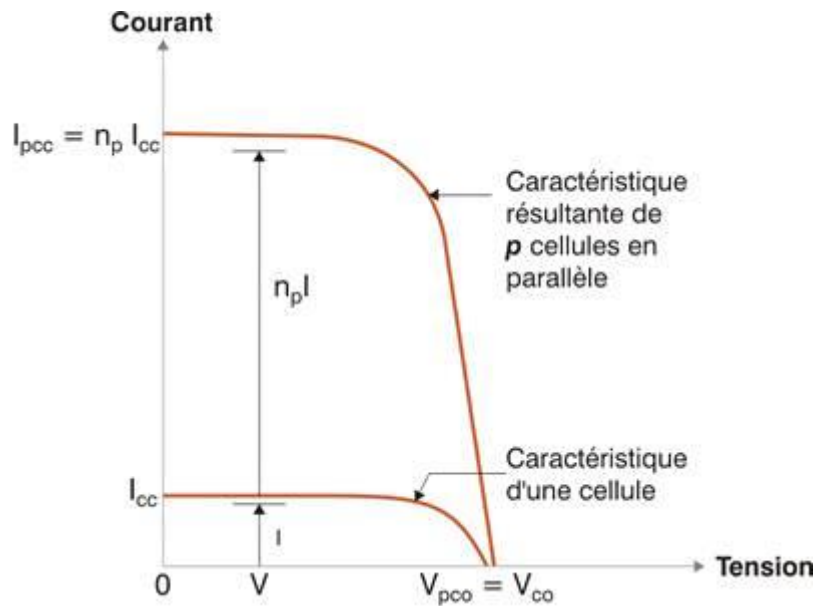
Les cellules photovoltaïques sont des jonctions PN. La couche supérieure de ces cellules, celle exposée à la lumière, est de type N. Les photons du soleil transfèrent leur énergie aux électrons et «arrachent» un électron (effet photoélectrique), laissant un trou à cet endroit. Les électrons et les trous vont avoir tendance à se recombiner, mais lorsque cette recombinaison a lieu près de la jonction PN, le champ électrique généré par celle-ci va séparer les électrons et les trous. Les électrons sont repoussés vers la couche N et les trous vers la couche P. Il suffit de relier par des bornes électriques la couche dopée N et la couche dopée P pour observer un courant électrique (les électrons de la zone N essaient de combler à trou dans la zone P). Le courant électrique continu qui se crée est alors recueilli par des fils métalliques très fins connectés les uns aux autres et acheminé à la cellule suivante.

Les cellules sont mises en série et en parallèle. L'addition des cellules en série permet à la tension de s'additionner. En effet, les cellules sont traversées par le même courant et la tension résultante correspond à la somme des tensions générées par chacune des cellules.



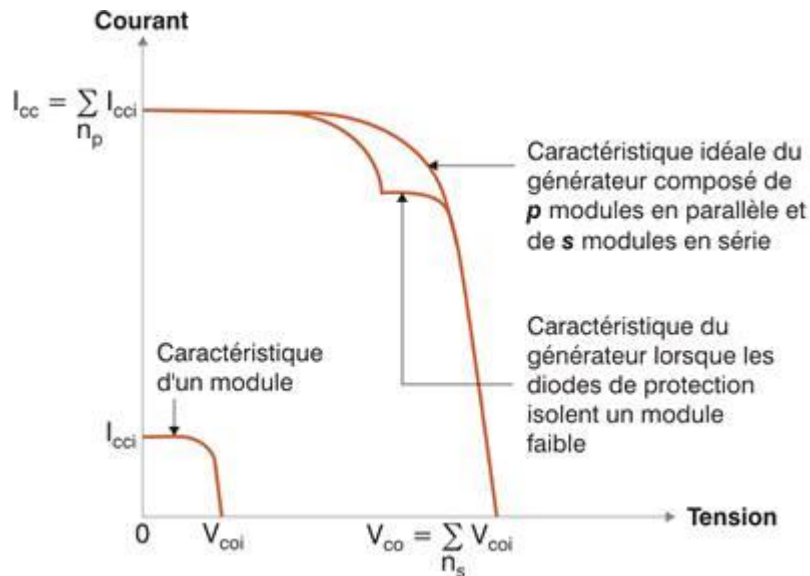
Courant en fonction de la tension pour des cellules mises en série

De plus, l'installation en parallèle des cellules additionne le courant électrique.



Courant en fonction de la tension pour des cellules mises en parallèle

Les caractéristiques globales d'une installation se déduisent donc d'une combinaison des caractéristiques des constituants des $n_s \cdot n_p$.



Courant en fonction de la tension pour des cellules mises en série et en parallèle

Le courant peut aussi s'additionner avec celui des autres panneaux (module photovoltaïque).

Production de l'électricité utilisable

Le courant continu (de 12V par le panneau de l'INSA) fourni passe à travers un régulateur permettant la charge totale des batteries, qui stockera l'électricité produite par le panneau. Cette électricité peut être transformée en courant alternatif de 220/230 V grâce à un onduleur pour pouvoir être utilisable par les consommateurs ou réinjecté dans le réseau électrique.

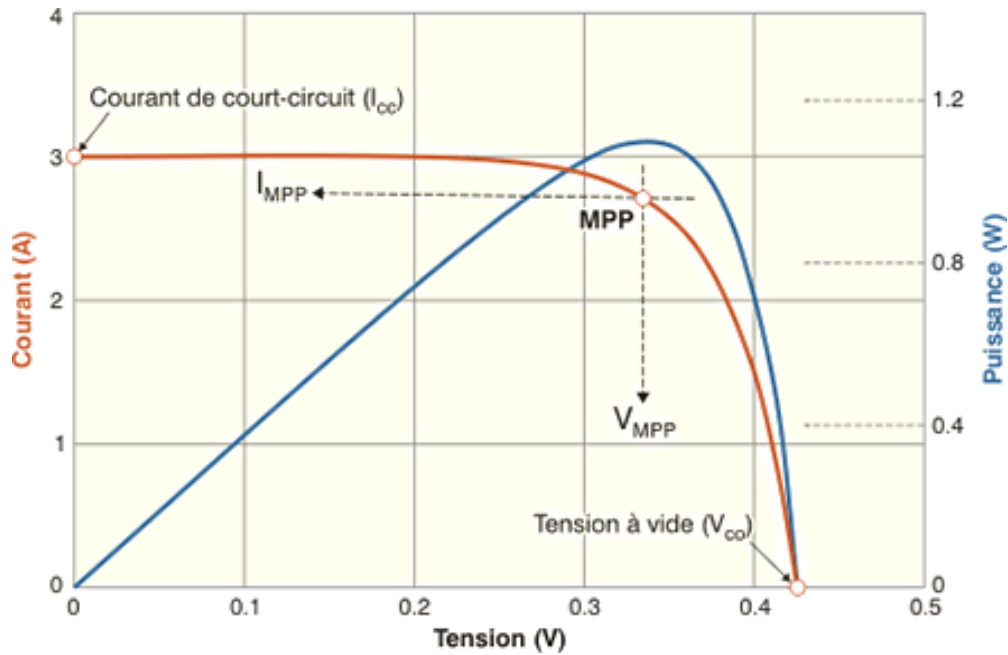
Le courant peut être directement consommé ou stocké dans des batteries (pour les particuliers).

3.3. Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque

3.3.1. Généralités

En présence de soleil, chacune des cellules du panneau produit un courant I (en ampère, A) et une tension U (en volts, V). On peut ainsi tracer une courbe caractéristique courant-tension pour chaque panneau afin de déterminer la puissance produite avec la relation $P = U \times I$.

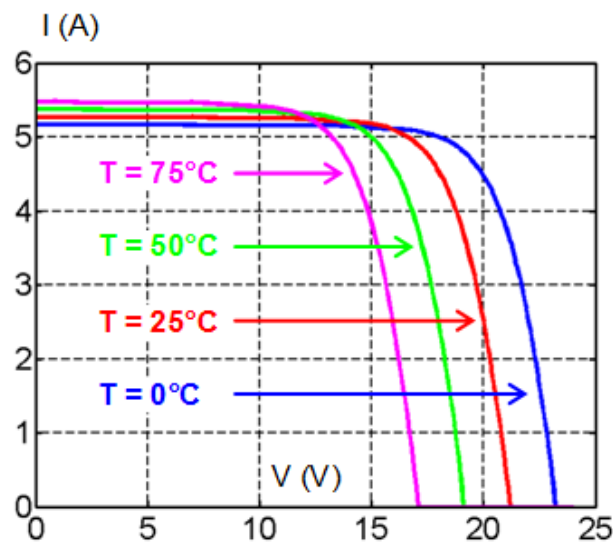
On a, sur ce graphique, l'apparence générale de l'intensité en fonction de la tension délivrée pour un panneau quelconque. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe: l' I_{cc} (intensité courant court-circuit) représentant le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même, le V_{co} (courant court-circuit) représentant la tension générée par une cellule éclairée non raccordée et également le point de puissance maximal MPP (en anglais : *maximal power point*) obtenu pour une tension et un courant optimaux: V_{opt} , I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mpp} , I_{mpp}).



Courbes caractéristique de la tension en fonction de l'intensité et de la puissance

Ces courbes caractéristiques changent en fonction de la température. Plus la température de surface du panneau est basse, plus la puissance produite sera importante. Cela est en partie dû à l'effet Joule, qui dissipe une partie de l'énergie transmise en chaleur : plus le panneau est froid, moins cet effet sera important et plus la puissance produite sera grande. Le watt-crête (W_c ou W_p , de l'anglais *Watt-peak*) est la puissance maximale d'un dispositif. Son unité est le watt dans le Système International. Dans une installation photovoltaïque, c'est la puissance électrique maximale pouvant être fournie dans des conditions standards, c'est-à-dire sous un éclairage perpendiculaire de 1 kW/m^2 avec une température de cellules de 25°C .

Ainsi, on peut en déduire que la production d'un panneau photovoltaïque sera plus importante au printemps qu'en été.



Courbes caractéristique de la tension en fonction de l'intensité et de la température

L'énergie produite par un panneau photovoltaïque est directement influencée par l'ensoleillement auquel il est exposé. Ainsi si l'ensoleillement diminue, le nombre de photons

incident est également amoindri, et donc le déplacement des électrons dans les cellules est moins important. C'est pourquoi on peut dire que l'intensité de sortie est directement impacté par l'ensoleillement, contrairement à la tension de sortie que ne varie quasiment pas.

On peut donc en conclure qu'un bon éclairage engendrera une meilleure puissance de sortie, c'est pourquoi il existe dans le commerce des systèmes de suivi du soleil permettant d'avoir tout au long de la journée le meilleur éclairage possible.

3.3.2. Rayonnement, angle et orientation

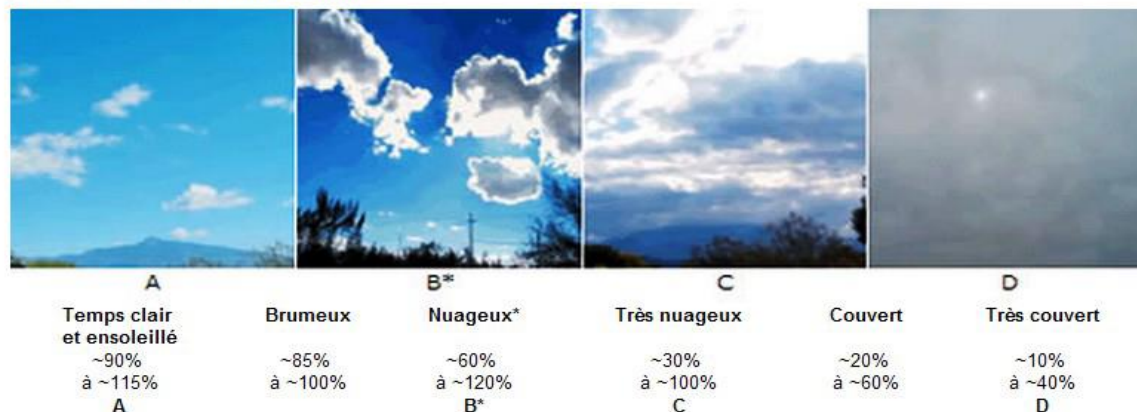
Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il les émet de manière isotrope, c'est-à-dire identique dans toutes les directions.

Rayonnement direct et diffus

Le rayonnement global correspond à la somme d'un rayonnement direct, associé aux rayons solaires et d'un rayonnement diffus. Le rayonnement direct, associé aux rayons solaires est associé à une puissance beaucoup plus élevée que le rayonnement diffus. Ce dernier se manifeste lorsque le rayonnement solaire direct se disperse dans les nuages et les particules atmosphériques, résulte donc de la diffraction de la lumière par les nuages et les différentes molécules en suspension dans l'atmosphère, et de sa réfraction par le sol. Le rayonnement solaire est entièrement diffus lorsqu'on ne peut plus voir le soleil. Par conséquent, une partie du rayonnement solaire existe même en présence de nuages, lorsqu'il fait jour.

Tableau % de rayonnement disponible



*En réfléchissant la lumière, les nuages proches peuvent augmenter le rayonnement disponible.

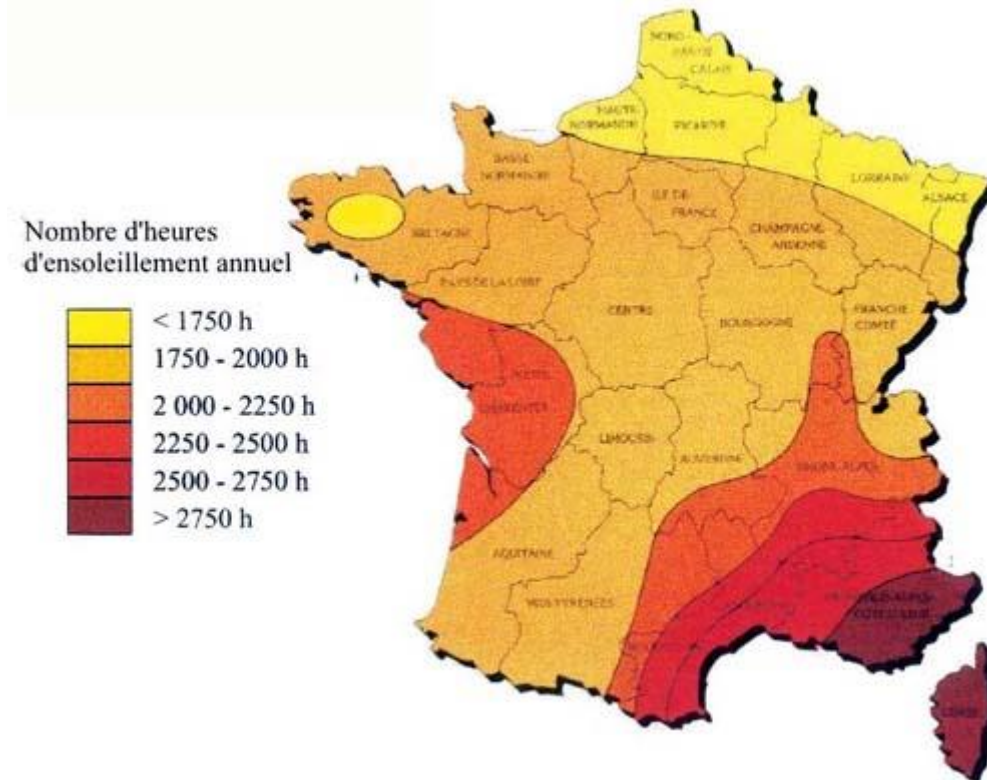
Pourcentage de rayonnement en fonction de l'ensoleillement

Traversée de l'atmosphère

La distance du Soleil à la Terre est d'environ 150 millions de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300 000 km/s. Les rayons mettent donc environ 8 min à nous parvenir.

On appelle constante solaire la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au Soleil. Même si sa valeur varie selon la période de l'année à cause des variations de distance Terre/Soleil, on la prend en général égale à 1367 W/m². Lorsque ce rayonnement traverse l'atmosphère, il subit des déperditions, à cause de l'absorption partielle par les gaz atmosphériques. Par conséquent, le flux reçu sur la Terre est inférieur au flux initialement émis par le Soleil. Celui-ci dépend de l'épaisseur de la

couche atmosphérique traversée et donc de l'angle d'incidence. Ce flux est à peu près égal à 1000W/m² mais varie selon beaucoup de paramètres: période de l'année, de la journée, conditions climatiques...



Nombre d'heures d'ensoleillement annuel sur le territoire français

Orientation et angles

Les panneaux solaires doivent être idéalement orientés perpendiculairement aux rayons du soleil. Le meilleur compromis pour une installation solaire sous nos latitudes est une orientation au sud et avec une inclinaison de 30°. Malheureusement cette configuration n'est pas toujours possible. L'ombrage sur la zone d'implantation des modules solaires a également son importance.

© www.ef4.be

		inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
orientation	est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	sud-est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	sud	88%	96%	99%	max 100%	98%	87%	68%
	sud-ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

Facteurs de correction en fonction de l'orientation et de l'inclinaison.

4. ASPECT EXPERIMENTAL

4.1. Présentation du matériel

Liste de matériel

- Panneau photovoltaïque
- Batterie 12V
- Convertisseur 12V
- Réglettes à LED
- Tournevis
- Pincés crocodiles
- Fils électriques
- Ampoule 220V
- Régulateur
- Boussole
- Niveau à bulle permettant de mesurer l'inclinaison
- Support
- Multimètre
- Solarimètre

4.2. Expériences proposées et analyse des résultats

Démarche effectuée

Nous sommes montés sur le toit du bâtiment Dumont D'Urville. Grâce à une boussole, nous avons trouvé le sud, correspondant à l'orientation optimale pour obtenir des résultats avec le meilleur ensoleillement possible. Nous avons ensuite monté le support et nous avons mesuré l'ensoleillement pour une inclinaison de 30° à différents endroits du panneau. Nous avons ensuite choisi de faire les mesures au milieu du panneau toujours dans l'optique d'avoir un meilleur ensoleillement.

Nous avons ensuite effectué les expériences suivantes.

Expérience 1

Nous allons nous intéresser à la variation de l'ensoleillement en fonction de l'inclinaison.

Pour notre expérience, on a fait varier l'angle entre 15 et 90°, et grâce au solarimètre, nous avons obtenu une valeur de l'ensoleillement.

Les valeurs d'ensoleillement sont donc les suivantes:

Angle (°)	15	30	45	60	75	90
Ensoleillement (W/m ²)	557	650	590	525	445	320

Nous savons que pour avoir le meilleur ensoleillement possible, il faut orienter le panneau au sud et avec une inclinaison de 30°.

Nous en déduisons que nos résultats sont cohérents avec la théorie puisque notre maximum d'ensoleillement est observé pour un angle de 30°, où les rayons sont le plus perpendiculaires à la surface du panneau.

De plus, en théorie la valeur maximale d'ensoleillement devrait être de 1000W/m², cependant nous n'atteignons pas cette valeur puisque nous avons eu une alternance entre soleil et nuages.

Nous avons par la suite conservé l'inclinaison de 30° pour les expériences.

Expérience 2

Nous allons déterminer les caractéristiques de notre panneau photovoltaïque, à savoir le courant court-circuit I_{cc} (aucune tension) et la tension à vide V_{oc} (aucune courant ne circule).

Nous avons effectué les mesures sous un ciel nuageux, et à une température de 14°C.

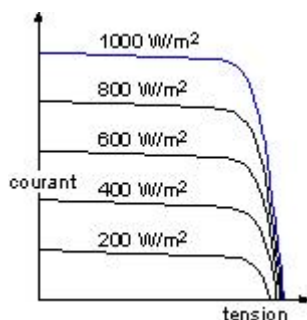
Nous commencerons par la tension en circuit ouvert, le schéma se trouve en annexe à la page 23.

Lors de la mesure de la tension à vide, nous avons un ensoleillement de 650W/m². Nous avons obtenu une tension de 21,4V. Cela correspond à la valeur théorique mesurée à 1000W/m², indiquée par le fabricant qui est de 22,1V.

Nous avons par la suite mesuré l'intensité en court-circuit (le schéma se trouve en annexe à la page 23) et avons pu observer l'intensité pour différents ensoleillements :

Ensoleillement (W/m ²)	450	480	580	620	630	660
Intensité (A)	0.07	0.09	0.11	0.14	0.47	0.61

Ici, les valeurs d'intensité sont très éloignées de celle fournies par le fabricant, qui est de 6,24 A pour un ensoleillement de 1000W/m².



En effet, une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron-trou. Il y a donc une baisse du courant solaire I_{cc} proportionnelle à la variation de l'ensoleillement.

On remarque que peu importe l'ensoleillement, la tension varie peu et elle ne semble pas dépendre de l'ensoleillement. A l'inverse, on observe une grande variété de valeurs d'intensité, et cela ne varie pas de façon linéaire. L'intensité dépend fortement de l'ensoleillement. Cependant, théoriquement, la tension varie fortement lorsque le panneau se

réchauffe, et dans ce cas l'intensité varie peu, mais nous n'avons pas pu vérifier cela au cours des expériences.

Nous pouvons aussi ajouter que les valeurs de l'intensité sont particulièrement basses et ne correspondent pas aux valeurs théoriques observées, il est donc possible que ces données soient erronées.

Expériences 3 et 4

Nous allons vérifier le fonctionnement du panneau photovoltaïque en courant continu et ensuite en courant alternatif.

Pour effectuer les mesures en courant continu, nous avons tout d'abord effectué un montage comprenant le panneau photovoltaïque, le régulateur et la batterie 12V et des réglottes à LED (remplaçant les trois ampoules du schéma, référencé à la page 24). Nous avons répété cette expérience deux fois, une première fois avec les réglottes en série et la seconde fois en parallèle. En ce qui concerne le courant continu en série, l'ensoleillement était compris entre 720 W/m^2 et 900 W/m^2 (l'ensoleillement n'était pas stable, à cause de l'alternance soleil-nuages). En ce qui concerne le courant continu en parallèle, l'ensoleillement était de 660 W/m^2 .

Nous avons dû attendre un laps de temps avant d'obtenir des résultats, le temps que le régulateur se charge et charge les batteries grâce à l'énergie solaire.

Pour les mesures en courant alternatif, nous avons effectué le même montage, en ajoutant le convertisseur et une ampoule au bout du montage. Nous avons obtenu un ensoleillement de 620 W/m^2 .

On a remarqué que notre panneau fonctionne, que ce soit en courant alternatif ou continu, il est même utilisable pour une utilisation domestique.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet a été positif pour nous, il a été très enrichissant autant sur le plan technique et scientifique que sur le plan humain. Mais il n'a pas toujours été facile de savoir où aller, que chercher. Les recherches que nous avons dues faire nous ont permis d'enrichir notre culture sur les énergies renouvelables, telle que l'énergie photovoltaïque. Au fil des séances, il y a eu l'installation d'un vrai travail d'équipe. Une organisation réelle et précise des séances s'est imposée d'elle-même dès le début. Grâce à cette structure dans le groupe et dans le travail, nous avons pu avancer efficacement. Les seuls obstacles que nous avons pu rencontrer ont été ressentis au début de nos séances. En effet la mise en place d'une exploitation précise du sujet traité n'a pas été immédiate. Mais grâce à notre organisation nous avons pallié rapidement à ce problème. C'est aussi au travers des interventions de M. Abdul Aziz que nous avons pu combler nos lacunes concernant les notions théoriques du photovoltaïque : en nous redirigeant vers les éléments essentiels à la compréhension du sujet afin de pouvoir les réutiliser lors de nos expérimentations. Nous avons aussi dû apprendre à gérer et respecter un cahier des charges, et faire un bilan hebdomadaire de l'état du projet, ce que nous serons sans doute amenés à faire dans notre vie professionnelle future. Même s'il nous reste quelques années d'études encore, nous savons dorénavant, qu'il ne nous est pas impossible de travailler sur un projet quasi-inconnu pour nous. En effet nous avons eu la possibilité d'étudier cette énergie en profondeur. Les expérimentations ont été mises en place par nous-même ce qui est aussi très valorisant. Un des aspects les plus marquants et nouveaux pour nous a été la possibilité d'avoir pu travailler avec du matériel (le panneau solaire mis à disposition par l'INSA). On ne s'est pas arrêté au travail de recherche théoriques et la constitution d'un banal dossier.

6. ANNEXES

6.1. Schémas de montages

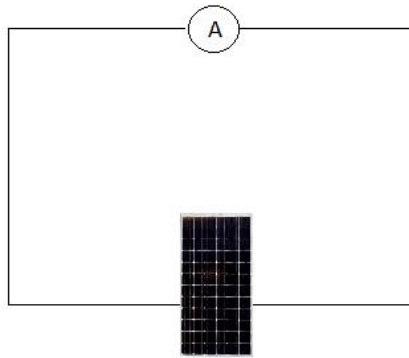


schéma du montage en circuit ouvert

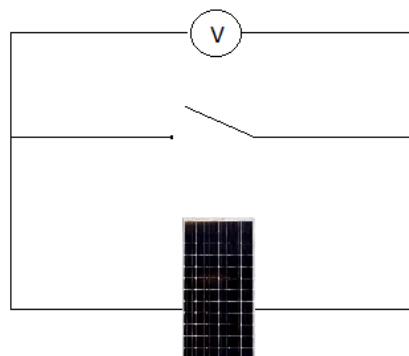


schéma du montage en court-circuit



schéma du montage de vérification du fonctionnement du panneau

6.2. Propositions de sujets de projets

A la suite de notre projet nous avons réfléchi à différents sujets se rapprochant du photovoltaïque :

- Comparaison de l'efficacité des différentes énergies renouvelables (solaire, hydraulique, éolien, etc...).
- Etude d'une maison autonome grâce à l'énergie solaire.

6.3. Applications du photovoltaïque

Il y a de nombreuses applications au photovoltaïque et celles-ci peuvent être séparées en deux catégories : les applications autonomes et celles qui sont rattachées au réseau public de distribution d'électricité.

Les applications autonomes sont apparues en premier, on peut encore les subdiviser en 4 types.

L'énergie photovoltaïque est d'abord utilisée pour fournir de l'électricité aux satellites artificiels. La plate-forme doit fabriquer, stocker et distribuer l'énergie à l'appareil grâce aux cellules photovoltaïques en arséniure de gallium qui le constituent. Ces dernières, utilisées pour l'espace car extrêmement coûteuses ont un rendement maximal de 29%.

De plus l'énergie photovoltaïque est également utilisée de façon autonome dans des appareils portables tels que les montres, calculatrices mais est aussi en développement dans le domaine de la randonnée avec des chargeurs fonctionnant à l'énergie solaire et peu à peu avec les téléphones portables.

Cette énergie permet également d'apporter de l'électricité dans certaines zones isolés qui ne peuvent pas, par faute de moyens, être reliées au réseau de distribution d'électricité. Par exemple pour un gîte de haute montagne, une école, ou encore un hôpital dans un pays en voie de développement. Dans certains cas, il est plus rentable d'installer des panneaux solaires que d'essayer de les raccorder au réseau. Pour les pays en voie de développement, les systèmes photovoltaïques permettent même de fournir un accès à l'eau potable

(purification et pompage de l'eau) aux populations ainsi que l'énergie nécessaire à l'éclairage et aux moyens de communication.

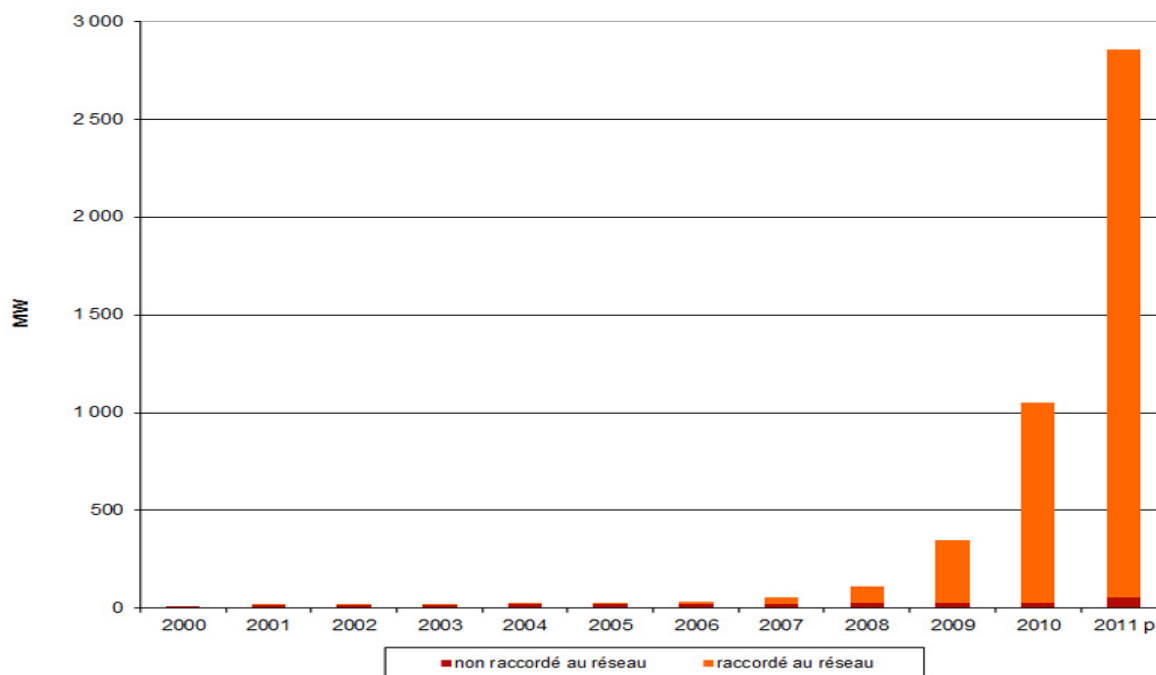
Enfin, des applications dites « professionnelles » existent. Il s'agit en fait de panneaux photovoltaïques présents sur des balises maritimes et aéroportuaires, ou pour des panneaux de signalisation routière ou encore pour les bornes de secours autoroutières.

Intéressons-nous maintenant aux applications rattachées au réseau public. Lorsqu'il y a des bâtiments consommateurs d'électricité, qu'il s'agisse de maisons, bureaux ou commerces, on trouve des installations photovoltaïques. Ces panneaux produisent de l'électricité récupérée ensuite par le réseau de distribution public, ils peuvent soit être posés sur la toiture ou y être intégrés. Certains panneaux photovoltaïques peuvent également servir d'ombrière de parking ou de mur antibruit. Enfin, il existe des centrales photovoltaïques produisant également de l'énergie pour le réseau national. Ces parcs de panneaux au sol sont soutenus par différentes structures porteuses. Certaines restent fixes tandis que d'autres plus coûteuses permettent de modifier l'inclinaison et l'orientation suivant ainsi le déplacement du soleil, permettant donc d'augmenter de 30% leur rendement.

6.4. Aspects socio-économiques

Etude de marché

Le marché du photovoltaïque s'est, tout d'abord créé afin de répondre aux besoins énergétiques des systèmes isolés, tels que les objets mobiles (bateaux, satellites etc...). Or, dès 1990, la baisse des coûts de production des cellules photovoltaïques permet d'alimenter une part non négligeable du réseau. D'ailleurs, cette baisse de prix s'accroît ces dernières années, puisque d'après planete-energies.com, le prix d'un module au silicium a diminué d'un facteur 5 ces cinq dernières années, il s'est ensuite stabilisé autour de 0.56€/W en 2014. Ainsi, le photovoltaïque prend de plus en plus d'importance dans la production d'énergie, comme le montre ce graphique.



Evolution de la puissance cumulée du photovoltaïque en France

De plus, afin de promouvoir l'énergie solaire, EDF rachète l'énergie produite par les particuliers à un prix fixe, sans pour autant forcer le producteur à vendre son énergie.

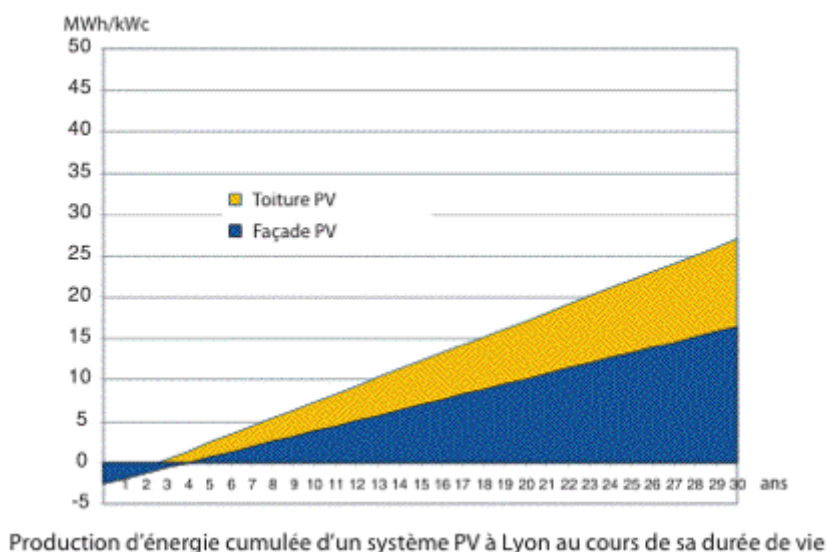
Temps de retour énergétique

Afin de qualifier une énergie de « renouvelable », il faut qu'elle produise beaucoup plus d'énergie qu'elle n'en consomme durant son cycle de vie. Il est donc pertinent d'étudier ici le temps de retour énergétique du photovoltaïque.

Cela fut d'ailleurs l'objet d'une recherche publiée en 2006, par le PVPS (Photovoltaic Power Systems Programme), montrant que les cellules les plus consommatrices d'énergies, car produites à de très hautes températures, ont un temps de retour très intéressant. En effet, les cellules en silicium poly et monocristallins possèdent un temps de retour variant entre 1.36 et 4.7 années d'après cette étude, dépendant du lieu, et du type de l'installation.

	Toiture PV	Façade PV
Production annuelle (kWh/kWc)	984	632
Temps de retour énergétique (années)	2.57	4.00

Détails des chiffres pour la ville de Lyon



6.5. Aspects environnementaux

Le photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable

D'après EDF, une énergie est dite renouvelable lorsqu'elle provient de sources que la nature renouvelle en permanence, par opposition à une énergie non renouvelable dont les stocks s'épuisent. Ainsi l'énergie photovoltaïque, qui découle de l'énergie solaire, est dite inépuisable à notre échelle.

Même s'il est considéré comme une énergie propre, le photovoltaïque est une énergie produite par des panneaux. Or les traitements chimiques effectués en fin de vie sur

ces panneaux, la fabrication en industrie de ceux-ci et leur fonctionnement ont un impact sur l'environnement ; notamment dû aux transformations de matières premières, la fabrication de modules de ces systèmes photovoltaïques nécessitant une certaine consommation d'énergie ainsi que l'utilisation de produits chimiques toxiques employés d'ordinaire dans l'industrie électronique.

Fabrication de systèmes photovoltaïques

Le silicium

En effet les panneaux solaires ont besoin de silicium métallurgique (de la silice dont on a extrait l'oxygène). Ce silicium est obtenu, par extraction à partir de la silice, par un procédé très énergivore qui utilise 14 kWh pour produire 1 kg de celui-ci. De plus une tonne de silicium produit, donne 3.2 tonnes de CO₂. Ce silicium est ensuite purifié. Avec le procédé Siemens, on a un rendement de 25% pour une consommation énergétique d'environ 150 kWh par kg de matériau initial. Avec le procédé Elkem, on a un rendement de 15% pour une consommation d'environ 25/30 kWh par kg de matériau initial.

Les produits chimiques

Afin de créer le silicium polycristallin et les cellules photovoltaïques, de nombreux produits chimiques toxiques et polluants sont utilisés : les acides et bases inorganiques tels HF, HNO₃, HCl, NaOH impactant l'eau et des gaz à effet de serre du type CF₄ polluant l'air ainsi qu'un fluide de coupe des plaques appelé slurry dont la création est très énergivore (autour de 10 MJ/kg) et dont le taux de réutilisation n'est pas complet même s'il est de 80%.

La consommation d'énergie

Malgré tous ces produits chimiques utilisés, la consommation d'énergie reste l'impact environnemental le plus important dans le cycle de fabrication et d'utilisation du système photovoltaïque. A l'origine de cette demande en énergie se trouve le procédé de production de silicium, très énergivore. En effet l'utilisation de cette énergie engendre des conséquences importantes sur l'environnement par exploitation des énergies fossiles. Les désordres qui en découlent sont :

- Épuisement des ressources fossiles
- Effet de serre
- Emission d'oxyde de soufre et d'azote, résidus de la combustion du charbon et du fioul, provoquant des pluies d'azote
- Dommages respiratoires dus aux émissions de particules et d'oxydes d'azote

Le temps de retour énergétique

En France

Le temps de retour énergétique est la durée nécessaire au système photovoltaïque pour produire autant d'énergie qu'il en a fallu pour le construire, il devient alors une énergie propre.

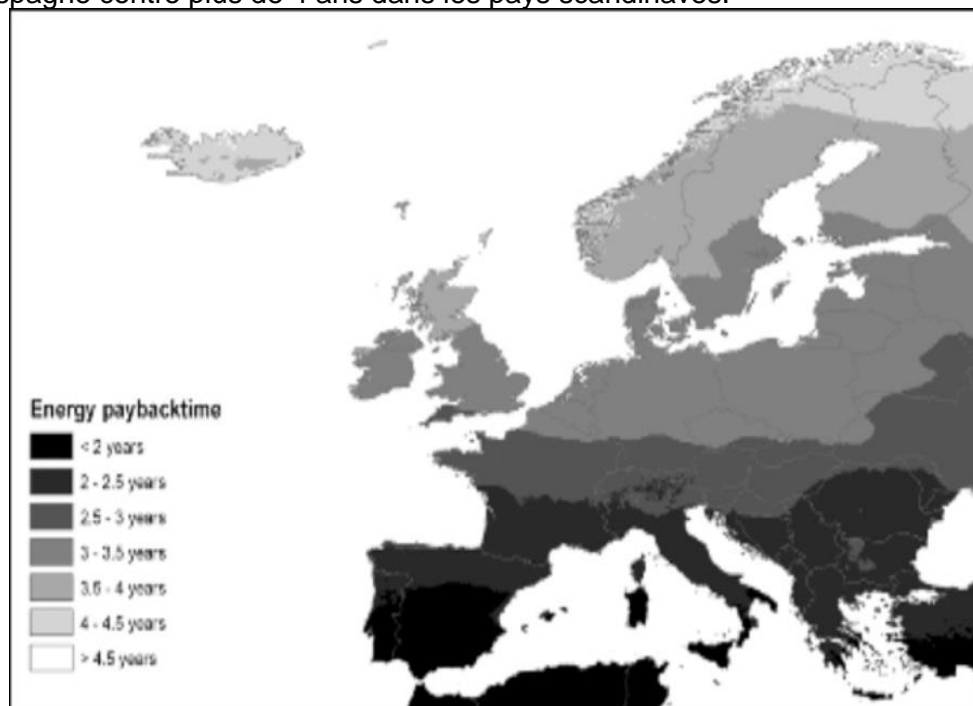
On estime en moyenne un temps de retour économique de 3 ans.

Cependant ce temps de retour varie en fonction des procédés de création des systèmes : avec le procédé Siemens, pour 1000 kWh/m²/an, on a un temps de retour de 3.3 ans contre 1.9 ans, pour 1000 kWh/m²/an, avec le procédé Elkem métallurgique. Mais ce temps de retour varie aussi en fonction d'autres facteurs comme le type d'installation (façade, toiture plate ou inclinée), le type de cellules ou le type de panneaux (avec ou sans cadre).

En Europe

En fonction des régions le photovoltaïque peut être plus ou moins écologique. L'évaluation du rendement écologique se fait par rapport au type de production principal d'électricité du pays ou de la région étudiée et évidemment au temps d'ensoleillement du système dans l'année.

Les régions du Sud sont favorables au photovoltaïque alors que les régions du Nord le sont beaucoup moins. Si on prend le cas de l'Europe on peut passer de moins de 2 ans en Grèce ou en Espagne contre plus de 4 ans dans les pays scandinaves.



Temps de retour énergétique de système PV à 90% de silicium cristallin en Europe

Pour ce qui est de pays du sud de l'Europe le photovoltaïque est un vrai atout du point de vue émission de CO₂ puisque que la production d'électricité se fait par le charbon ou le gaz en grande partie. Alors qu'en France le bilan est beaucoup plus positif par rapport aux rejets radioactifs puisque la production se fait par le nucléaire en majeure partie.

Bilan écologique

Pour conclure on peut donc dire que le photovoltaïque n'est pas si écologique qu'il le paraît. En effet son énergie de production et fabrication, et son temps de retour variable limite le caractère favorable du bilan environnemental auquel il faut ajouter les traitements de fin de vie des systèmes.

Mais elle n'en reste pas moins une énergie intéressante à observer sur le long terme qui réduit les rejets radioactifs ou les émissions de CO₂.

Le photovoltaïque est une énergie qui peut encore s'améliorer notamment au niveau des procédés de production des systèmes ou du traitement des déchets que cette production engendre.

6.6. Innovations, nouveautés et recherches

Introduction

Le plan de développement des énergies renouvelables issu du Grenelle Environnement vise en effet un changement d'échelle majeur dans le photovoltaïque, avec une puissance installée atteignant 5400 MW à l'horizon 2020. Si la priorité est donnée à l'intégration des équipements photovoltaïques aux bâtiments, la réalisation d'installations solaires au sol est également nécessaire pour assurer un développement rapide de la filière. Ces installations devront être construites de façon organisée, notamment dans le cadre des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie prévus par la loi portant engagement national pour l'environnement. Du point de vue réglementaire, l'étude d'impact et l'enquête publique sont rendues obligatoires pour les installations photovoltaïques au sol d'une puissance crête supérieure à 250 kW par le décret du 19 novembre 2009.

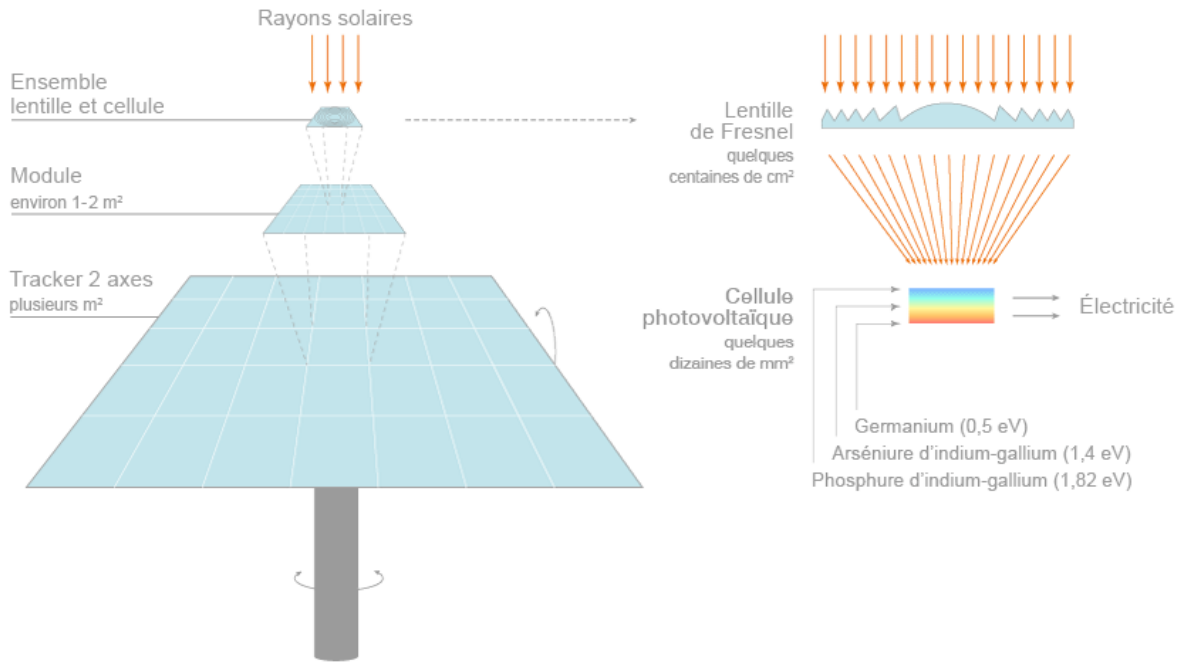
Citée comme l'énergie de l'avenir, l'exploitation du photovoltaïque réserve tout de même des défauts qui deviennent des axes de recherches. Afin d'accroître la compétitivité de celle-ci, les études se focalisent sur deux principaux problèmes :

- L'augmentation du rendement de la conversion énergie lumineuse donc de la puissance électrique des cellules photovoltaïques et des modules. Aujourd'hui on estime le rendement des modules en silicium à 16% seulement. Parmi les problèmes que pose l'utilisation du silicium aujourd'hui, on retrouve celui dû à son spectre d'absorption. En effet, ce dernier ne couvre pas entièrement le spectre du rayonnement reçu à la surface de la Terre, incluant une perte inévitable. Il faut alors trouver un moyen pour réduire ces pertes.
- Diminuer les coûts de fabrication des cellules photovoltaïques et des modules sans entacher l'espérance de vie d'un panneau (égale à 25 ans) et son impact environnemental. Cela passe par l'utilisation de matériaux moins onéreux, et/ou recyclables.

Nous allons vous présenter quelques projets aboutis de ces recherches.

Le solaire photovoltaïque concentré

Le système photovoltaïque à concentration se base sur l'utilisation de lentilles ou de miroirs paraboliques pour multiplier l'énergie incidente provenant du soleil sur un module photovoltaïque afin d'augmenter l'énergie produite par ce module.



Dispositif photovoltaïque à concentration avec lentille de Fresnel

Les rayons du soleil sont concentrés sur une petite cellule solaire photovoltaïque à haut rendement. Grâce à cette technologie, les matériaux semi-conducteurs peuvent être remplacés par des systèmes optiques moins coûteux. Il y a également un gain de place puisque ce système est beaucoup plus petit que l'installation traditionnelle, pour un rendement expérimental maximal d'environ 40,7% aujourd'hui, alors que les calculs estiment que le rendement théorique est de 80%. Cette innovation est utilisée dans une toute nouvelle structure construite à Ouarzazate, un parc solaire de 177km², qui a coûté 6 milliards de dollars, preuve que ces panneaux sont porteurs d'espoirs.

Cellule thermique

Le DualSun est un panneau solaire hybride qui produit de l'électricité (photovoltaïque) et de l'eau chaude (thermique). Son rendement permet de produire deux à quatre fois plus d'énergie que des panneaux photovoltaïques standards.



Comparaison des rendements d'un panneau Photovoltaïque standard et d'un panneau DualSun ©

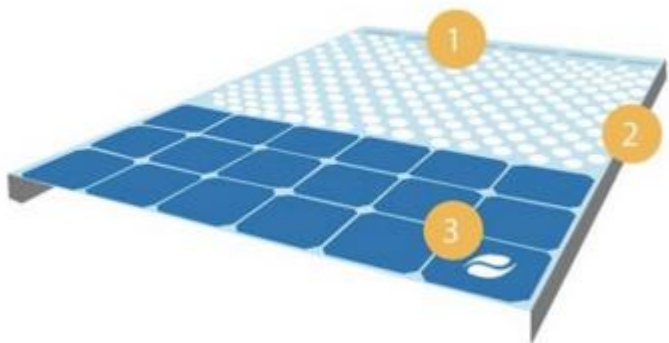
La technologie solaire hybride DualSun est issue d'un double constat sur les panneaux photovoltaïques :

1. Les panneaux photovoltaïques produisent beaucoup plus de chaleur (85%) que d'électricité (15%) quand ils sont exposés au soleil.
2. Le rendement des panneaux photovoltaïques diminue lorsque leur température augmente (notamment au dessus de 45°).

Ainsi, DualSun a l'idée de refroidir le panneau en utilisant la chaleur dégagée par les cellules photovoltaïques pour chauffer l'eau de l'habitation et améliorer le rendement des cellules (gain potentiel de 5% à 15% par un refroidissement adapté).

Par rapport à une installation photovoltaïque standard, une installation de panneaux DualSun produit jusqu'à deux fois plus d'énergie pour une maison individuelle et jusqu'à quatre fois plus d'énergie pour un bâtiment collectif.

Échangeur thermique : complètement intégré dans le panneau, l'échangeur thermique permet un excellent transfert de chaleur entre la face avant photovoltaïque et la circulation d'eau.



Faible épaisseur : le panneau DualSun possède les dimensions standards d'un panneau photovoltaïque classique (60 cellules de 6 pouces).

Cellules solaires photovoltaïques : monocristallines, haut rendement, les cellules solaires photovoltaïques sont refroidies par la circulation d'eau

Les économies réalisées sur 20 ans peuvent varier de 16k € (pour des régions comme la Seine Maritime ou Parisienne) à 23.5k € (pour la région PACA), sachant qu'une installation de panneaux DualSun coûte environ 15k €.

Le Japon a également eu l'idée de refroidir ses panneaux solaires en utilisant l'eau. En effet, sur le lac artificiel d'Okegawa au Nord-Ouest de Tokyo, une installation d'un genre nouveau a vu le jour. Son architecture, composée d'une multitude de modules flottants permet aux panneaux solaires de rester à la surface tout en suivant les ondulations naturelles du plan d'eau. Ainsi, les panneaux sont refroidis et leur rendement n'est pas réduit.

Projet Sunroof

En août 2014, Google a dévoilé le projet Sunroof, qui va d'abord être testé puis commercialisé aux États-Unis, avant d'être exporté dans le monde entier si les tests sont concluants. Le principe : permettre à des particuliers de connaître le potentiel d'énergie

solaire de leur toit et les économies à la clé, en n'ayant que quelques données à renseigner sur un site internet. Google emploie pour cela la même technologie d'imagerie que pour Google Earth, son outil de visualisation aérienne. "Sunroof n'utilise aucune technologie nouvelle, mais c'est un outil très intéressant car simplificateur : il permet aux particuliers d'accéder facilement aux informations", estime Marion Perrin, responsable du service Stockage et réseaux électriques à l'INES (Institut national de l'énergie solaire).

Les panneaux solaires imprimables

Des chercheurs australiens du Victorian Organic Solar Cell Consortium (Vicosc) ont mis au point une machine permettant d'imprimer des panneaux solaires (environ 10 mètres). (vidéo). Les panneaux sont imprimés avec une encre composée de polymères organiques ayant des propriétés semi-conductrices ; c'est-à-dire qu'elle récolte les rayonnements lumineux avec de les convertir en électricité. L'encre s'adapte à certaines surfaces, tels que le plastique ou le métal. Ainsi, en Australie, un projet sur la construction d'un bâtiment au revêtement en panneaux solaires imprimables est en cours de discussion.



Panneaux Solaires Imprimables

SprayLD (Layer deposition)

Le SprayLD est une invention mise au point à Toronto par des chercheurs canadiens («équipe de Kramer»). Elle permet de transformer toutes surfaces basiques en une surface de panneaux énergétique. Ce spray est composé de perovskite (Titanium de Calcium), beaucoup moins onéreux et compliqué à obtenir que le silicium. De plus, son application est simple et le liquide vaporisé peut être diffusé sur des surfaces fines. Le spectre d'absorption des nanoparticules est également supérieur à celui du silicium. Cependant, son rendement aujourd'hui est plafonné à 8%. De plus, le perovskite à une longévité très faible et n'est donc pas intéressant sur le long terme.

Les idées en termes d'innovations sur les panneaux photovoltaïques sont nombreuses mais aujourd'hui encore pas assez efficaces pour être une alternative sérieuse aux panneaux classiques. Les deux défauts mis en avant plus haut sont les axes principaux des recherches, avec en plus, une envie d'esthétique et de longévité.

7. BIBLIOGRAPHIE

Liens internet : (valides le 30/05/2016)

1. <http://www.photovoltaique.info/Les-principaux-axes-de-la,155.html>
2. <http://www.novethic.fr/lapres-petrole/energies-renouvelables/isr-rse/energie-solaire-des-innovations-qui-changent-la-donne-143602.html>
3. <http://www.revolutions-energetiques.com/sprayld-le-spray-pour-transformer-nimporte-quelle-surface-en-panneau-solaire/>
4. <https://mrmondialisation.org/au-japon-on-fait-flotter-les-centrales-solaires/>
5. <http://www.france24.com/fr/20151123-maroc-noor-parc-panneau-solaire-photovoltaique-cop21-climat-energie-electricite>
6. <https://dualsun.fr/>
7. <http://123solaire.fr/blog/revolution-imprimable/>
8. <http://www.connaissancesdesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique-a-concentration>
9. <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=5118>
10. <http://www.philamarmotte.com/effetphoto.htm>
11. <http://max2tout.fr/pages/partiel.html>
12. <http://www.tpepanneauxsolaires.fr/rentabilite.html...>
13. <http://www.quelleenergie.fr/.../panneaux-solaires-photovolta.../>
14. <https://mrmondialisation.org/?s=centrale+solaire>
15. <http://www.yinglisolar.com/fr/solar-basics/>
16. http://panneausolaire.free.fr/fabrication_fonctionnement.php
17. <http://blog.alma-solarshop.fr/du-silicium-aux-panneaux-sol.../>
18. http://www.photovoltaique.guidenr.fr/l_2_extraction-purific...
19. <http://www.photovoltaique.info/L-effet-photovoltaique.html>
20. <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16679>
21. http://electronique-et-informatique.fr/.../Semi_conducteurs3.../
22. <http://www.luxol.fr/projet-toi.../14-effet-photovoltaique.html>
24. <http://ines.solaire.free.fr/solpv/page0.html>
25. <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16696>

Vidéo (valide le 30/05/2016):

1. https://www.youtube.com/watch?v=23i-v_tWTA