



Le Soleil, avenir du transport urbain ?

« Le Soleil est une étoile quelconque mais, pour la vie sur Terre, sa présence est indispensable...
L'énergie solaire reçue par la Terre représente par an près de 15 000 fois la totalité de la consommation énergétique mondiale actuelle ! »

Une partie de cette énergie abondante peut être transformée en énergie électrique par une cellule photovoltaïque (capteur solaire). Cette énergie électrique doit être stockée car la demande énergétique peut être décalée dans le temps vis-à-vis de l'apport en énergie solaire (utilisation par exemple, pour les transports).

Bus électrique à recharge rapide

Entre janvier 2015 et juin 2016, l'aéroport de Nice a expérimenté un bus électrique à autonomie illimitée, le Watt System de la société PVI.

L'innovation majeur de ce bus est le « biberonnage » du véhicule, qui consiste à effectuer un transfert d'énergie à chaque station d'arrêt vers le bus pendant le transfert des passagers. La recharge à l'aide du « totem » dure 20 secondes, soit moins que le temps d'arrêt du véhicule, et lui offre alors une autonomie d'environ 1 km, soit suffisamment pour parcourir la distance jusqu'à l'arrêt suivant ou l'arrêt d'après.

La solution technologique permettant de réaliser cette innovation dans les transports en commun est le supercondensateur, dont l'avantage est une récupération d'énergie quasi-instantanée.



Parcours de bus à l'aéroport de Nice :

N°	Nom de l'arrêt	Totem installé	Distance parcourue par rapport à l'arrêt précédent (m)
1	Terminal 1	Oui	865 (par rapport à l'arrêt 8)
2	Coste & Bellontes	Non	
3	Gare routière	Non	
4	Parking P8	Oui	815
5	Parking P4	Oui	420
6	Parking P9	Oui	485
7	Terminal 2	Oui	845
8	Frêt	Oui	440
9	Pôle technique	Non	

1. Déterminer la distance parcourue par le bus Watt System pour effectuer un tour, c'est-à-dire du terminal 1 au terminal 1.
2. Déterminer le nombre de recharges pour un tour.
3. Sachant que le bus parcourt un tour en 1741 s et que l'aéroport de Nice est ouvert de 5h30 à 22h30, déterminer le nombre de charges en une journée, puis sur une année de 365 jours.



Le tableau suivant représente différentes solutions technologiques envisageables pour la réalisation de l'accumulateur (stockage de l'énergie)

Technologie	Énergie massique (Wh.kg ⁻¹)	Nombre de charges maximal
Plomb-acide	40	400 – 800
Ni-MH (Nickel – hydrure métallique)	85	800 - 1000
LMP (Lithium Metal Polymer)	110	1000 - 2000
Lithium-ion	180	500 – 1000
Supercondensateur	7	1000000 - 2000000

4. En exploitant le tableau et en prenant le nombre de charges maximal le plus défavorable, calculer la durée de vie (en années) des supercondensateurs, et comparer avec la durée de vie d'un accumulateur LMP qui n'effectuerait qu'un cycle de charge par jour.

La consommation d'énergie par kilomètre d'un bus électrique équipé d'accumulateurs est généralement égale à 1200 Wh.km⁻¹, cette consommation intégrant l'énergie motrice et les servitudes du bus (éclairage chauffage, climatisation, ...).

5. Sachant qu'un bus équipé d'accumulateurs LMP parcourra 136 km par jour avant de se recharger, calculer la masse de la batterie qu'il faut installer sur le bus. Comparer cette valeur avec la masse de supercondensateurs permettant de couvrir la plus grande des distances entre deux stations.
6. Conclure sur les critères de choix du constructeur d'utiliser la technologie des supercondensateurs en comparaison des autres technologies d'accumulateur.

Le raccordement électrique du bus au Totem est réalisé grâce à un bras télescopique équipé d'un connecteur électrique. Le temps nécessaire pour le déploiement du bras est de 6 secondes, et le temps de repliement du bras est de 4 secondes.

Le temps d'arrêt, déplacement du bras télescopique (aller et retour) compris, ne doit pas excéder 20 secondes pour une recharge.

7. Déterminer la durée effective de recharge.
8. Déterminer la puissance maximale de recharge.

Le dispositif est constitué de 48 modules, chacun d'une capacité de 165 F et d'une tension de fonctionnement de 48 V. Dans le circuit de charge, l'ensemble a une capacité équivalente de 21,4 F.

Au cours de la charge, la tension entre les bornes du dispositif passe de 382V à 756V, avec des pertes d'énergie par effet Joule estimées à 130 Wh.

9. Sachant que l'énergie emmagasinée par un condensateur a pour valeur $E = \frac{1}{2}Cu^2$, montrer que le système est effectivement capable d'effectuer une recharge le temps d'un arrêt.



Des routes qui génèrent de l'électricité

Fixer sur le bitume un revêtement photovoltaïque résistant au passage des poids lourds et ainsi transformer le réseau routier en centrale électrique : ce rêve d'ingénieur n'en est plus un. Relevant tous les défis, un prototype de dalle solaire a été mis au point en France, et dans un premier temps 1000 km de routes devraient en être équipés avant l'année 2020.



D'après *Science et Vie* - Mai 2016

1. Indiquer pourquoi, selon vous, des panneaux photovoltaïques fixés sur les routes bénéficieront a priori d'un éclairage moindre que ceux fixés sur les toits d'habitation.
2. Pour mieux comprendre les rendements relativement modestes des cellules à base de silicium, calculer la valeur de la longueur d'onde maximale λ_{max} au-delà de laquelle les photons absorbés ne peuvent plus générer d'électricité. À quel domaine des ondes électromagnétiques appartient cette longueur d'onde ?
3. Évaluer la surface de bitume à équiper de revêtement photovoltaïque pour rendre l'ensemble des totems de recharge autonomes. On choisira comme énergie pour un totem l'énergie maximale nécessaire à la recharge. Le dispositif doit permettre un service de 6 rotations par heure, soit une charge toutes les 10 minutes.

Hypothèse de travail : sur une voie à trafic moyen, la route bénéficie de près de 90% du temps d'éclairement.



Définition

Le rendement d'une cellule photovoltaïque correspond au rapport entre l'énergie électrique fournie par cette cellule et l'énergie lumineuse reçue sur la surface correspondante :

$$R = \frac{E_{\text{électrique}}}{E_{\text{lumineuse}}}$$

Données

- En 2015, la production d'origine photovoltaïque s'est élevée en France à 6,7 milliards de kilowattheures, soit 1,4 % de la consommation électrique nationale. (D'après Science et Vie - Mai 2016)
- La superficie totale des routes et parkings de France vaut environ 17000 km² (D'après Science et Vie - Mai 2016).
- Énergie d'un photon : $E_{\text{photon}} = \frac{hc}{\lambda}$
- Constante de Planck : $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s.
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8$ m.s⁻¹.
- Électronvolt : 1 eV = 1,602.10⁻¹⁹ J.

La Wattway

La dalle solaire relève 5 défis...

1 L'adhérence
La surface supérieure de la dalle contient des granulats qui assurent le contact avec les pneumatiques.

2 La transparence
Toutes les couches supérieures, posées sur les cellules photovoltaïques, laissent passer la lumière.

3 La résistance
Pour supporter le passage de véhicules pesant jusqu'à 45 tonnes, le silicium polycristallin est entouré d'une dizaine de couches de résines.

4 La pose
Une résine adhésive suffit à coller les dalles directement sur la chaussée existante après y avoir inséré la goulotte regroupant le câblage des cellules.

5 La sécurité
Afin d'éviter tout risque d'électrocution en cas d'accident, le système fonctionne en basse tension (moins de 60 V).

La cellule (à base de silicium polycristallin) est "prise en sandwich" entre une douzaine de couches de résines polymères aux caractéristiques variées, dont la "recette" reste bien-sûr jalousement gardée. Le résultat est une dalle rectangulaire de seulement 7 mm d'épaisseur, appelée Wattway, présentant un rendement moyen d'environ 15 %, proche de celui des toitures qui avoisine les 18 %.

D'après Sciences et Vie - Mai 2016



L'énergie de gap d'un semi-conducteur

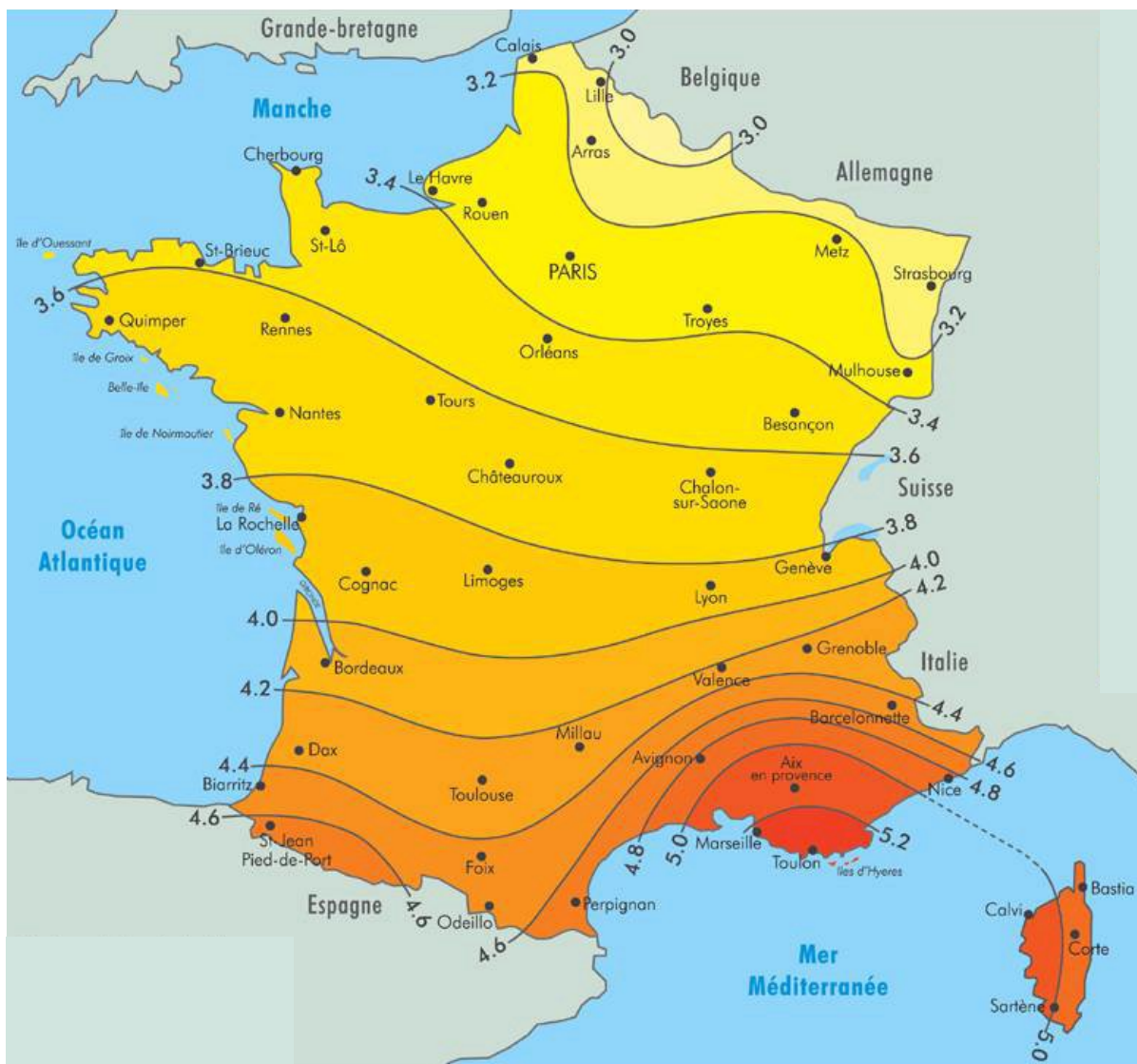
La cellule photovoltaïque, élément de base du capteur, est composée d'un matériau semi-conducteur qui permet de capter l'énergie des photons.

Dans un semi-conducteur à base de silicium, « l'énergie de gap » E_g est égale à 1,12 électronvolt à une température de 300 kelvins. Cela implique que seuls les photons ayant une énergie supérieure à E_g seront en mesure de déloger un électron de la bande de valence pour le faire passer dans la bande de conduction, contribuant ainsi à l'apparition d'un courant électrique.

D'après <http://ines.solaire.free.fr/solpv/page3.html>

L'ensoleillement en France

Voici la carte des moyennes annuelles de l'énergie solaire reçue sur une surface orientée au sud et inclinée d'un angle égal à la latitude (en kWh/m²/jour), valeurs qu'il convient de minorer d'environ 20 % lorsque la surface est horizontale.



D'après Atlas européen du rayonnement solaire