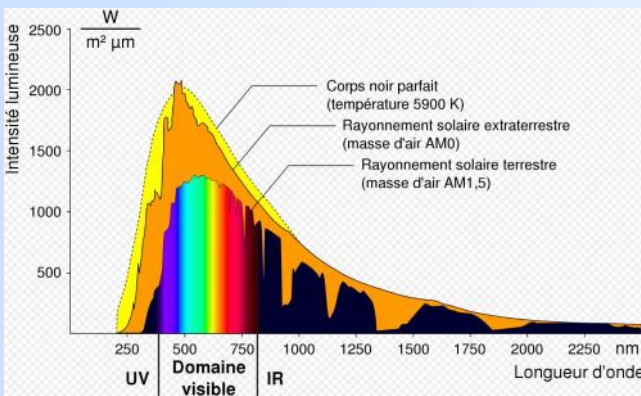


Les panneaux solaires: état de lieux actuels et leurs perspectives.

Ils ont pour vocation de récupérer l'énergie du soleil pour la transformer en énergie électrique ou bien en chaleur récupérable. L'énergie solaire provient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du Soleil. Elle se propage dans le Système solaire et dans l'univers essentiellement sous la forme d'un



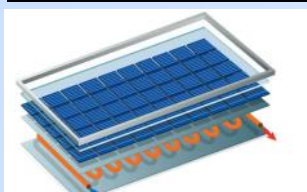
rayonnement électromagnétique dont la lumière n'est que la partie visible. L'énergie solaire est la fraction de l'énergie électromagnétique provenant du Soleil, traversant l'atmosphère qui en absorbe une partie, et parvenant à la surface de la Terre. La lumière transporte de l'énergie, que l'on nomme **l'énergie lumineuse**. Cette énergie lumineuse se transforme en **énergie thermique** lorsqu'elle entre en contact avec **une surface**. Le spectre

du rayonnement solaire à la surface de la Terre est principalement réparti entre le spectre visible et les infrarouges proches, ainsi qu'une petite partie située dans les ultraviolets proches. **La quantité d'énergie solaire** atteignant la surface de la planète est si importante que, **en un an**, elle représente environ **deux fois l'énergie** obtenue à partir **des ressources non renouvelables** de la Terre. Actuellement on peut différencier sur le marché **les panneaux photovoltaïques des panneaux solaires**. Les premiers vont convertir le rayonnement solaire en **énergie électrique** utilisable pour tous les appareils électriques d'une habitation. **Les panneaux solaires** est composé de **capteurs thermiques** qui transforment le rayonnement du soleil en **énergie thermique**, c'est-à-dire en chaleur pour le chauffage de l'habitation ou les équipements. D'autres panneaux combinent les deux procédés, ces panneaux hybrides produisent à la fois de l'énergie électrique et de l'énergie thermique. **Le panneau photovoltaïque** est un dispositif qui permet de capter et transformer le rayonnement solaire en énergie électrique, grâce à une **multitude de cellules** traditionnellement composées **de silicium**. Le contact des rayons du soleil sur ce matériau semi-conducteur crée un courant électrique, exprimé en kWh. Cet effet photovoltaïque, a été découvert par Edmond Becquerel au XIXe siècle. Deux types panneaux photovoltaïques classiques sont utilisés actuellement : Les panneaux **poly cristallins** : ils sont constitués de plusieurs cristaux de silicium agglomérés. Ils présentent un rendement moyen de 14 à 18 %. Les panneaux **monocristallins** : ils sont composés d'un seul cristal de silicium et présentent généralement un rendement supérieur à 20 %. Cette technologie est en cours d'évolution avec des panneaux solaires monocristallins nouvelle génération. Le poids des panneaux photovoltaïques mono cristallins (les plus utilisés en France) posés sur le toit avec les équipements de fixation gravite autour de **20 à 25 kg/ m2**. Pour les panneaux photovoltaïques installés au sol de Type **Plug & Play** de 1.20m*1,70m soit 2m2, le poids total est d'environ 30 kg soit **15 kg / m2**.

Le panneau solaire thermique est une surface qui capte les rayons du soleil pour réchauffer un fluide caloporteur placé sous les panneaux. Ce fluide chaud rejoint ensuite le ballon de stockage dans lequel il réchauffe l'eau chaude sanitaire utilisée dans vos robinets, lavabos, douches, etc... Le fluide caloporteur est le plus souvent du mono propylène-glycol (antigel), un mélange d'eau et de glycol. Le poids se situe au environ de **40 kg/m2**.



Les panneaux solaires hybrides. Ils produisent à la fois de **l'électricité et de l'eau sanitaire ou de l'air chaud**. Un panneau solaire hybride est composé de deux couches : Une couche supérieure constituée de cellules photovoltaïques ; Une couche inférieure pouvant être constituée d'un ventilateur permettant de capter la chaleur solaire et la diffuser dans le foyer ou d'un circuit avec fluide caloporteur visant à alimenter le chauffage ou le chauffe-eau. Les panneaux



SNIPF B.Normandie

Le **26 avril** dernier lors de **notre AG**, nous avons souhaité mettre à l'honneur plusieurs de nos adhérents : **Claude LEBOSSÉ** pour son dévouement, Trésorier durant 15 ans de notre association.



La remise de l'Insigne d'OR et Diplôme de membre d'honneur Pour : **Patrick LENORMAND** (à droite sur la photo ci-dessous) **Thierry CAUCHARD** (centre sur la photo) pour leurs implications et présences assidues à nos réunions SRIPF.

La médaille du mérite de la SNIPF pour **Jean-Paul LEBAS** (À gauche sur la photo) Président de notre association pendant 6 années (2 mandats) à la SRIPF. B.Normandie.



La Grande Médaille de la SNIPF Pour **Laurent CHATAIGNER** - Ex Président de la SNIPF - 7 années de présidence à la SRIPF B.Normandie, - Donateur pour notre association au travers de son entreprise AMCM et 3 IPF issus de son entreprise.

(Suite 1) solaires hybrides présentent des avantages et des inconvénients : Un double-usage : chauffage de l'air ou de l'eau et production d'électricité. Un rendement optimisé : la température du panneau aérovoltaïque est limitée grâce à l'utilisation et à l'évacuation de la chaleur, ce qui impacte directement le niveau de rendement. **Les panneaux photovoltaïques** prédominent largement le marché de la récupération de l'énergie solaire pour les particuliers, les entreprises et les administrations. Deux unités de mesure sont souvent utilisées avec ces panneaux: le kW (kilowatt) et le kWc (kilowatt-crête). **Le kW (kilowatt)** est l'unité de mesure de la puissance. Il représente la quantité d'énergie qu'un appareil électrique consomme ou produit à un instant donné. En d'autres termes, il indique la vitesse à laquelle l'énergie est utilisée ou fournie. **Le kWc (kilowatt-crête)**, quant à lui, est l'unité de mesure de la puissance crête. Il s'agit de **la puissance maximale que peut produire un panneau solaire** dans des conditions d'ensoleillement optimales, définies par les conditions STC (Standard Test Conditions) : 1000 W/m² d'irradiance et une température de 25°C. **La puissance crête (kWc)** d'un panneau solaire est un indicateur de sa capacité de production d'énergie dans des conditions idéales. Cependant, **la production d'énergie réelle** dépend de plusieurs facteurs, tels que :



- L'ensoleillement réel, qui peut varier en fonction de la saison, de l'heure de la journée, de la météo et de la localisation géographique. - La température ambiante, qui affecte l'efficacité des panneaux solaires. - L'inclinaison et l'orientation des panneaux solaires. - L'ombrage causé par des bâtiments ou des arbres. En raison de ces facteurs, la quantité d'énergie produite par un panneau solaire sur une période donnée (kWh) sera toujours inférieure à sa puissance crête (kWc). Le ratio entre la production d'énergie réelle et la puissance crête est appelé **le facteur de performance**. Ce facteur varie généralement entre 15% et 25% en fonction des conditions et de l'installation. En tenant compte de ces distinctions et en optimisant les différents aspects de l'installation, il est possible de maximiser la production d'énergie solaire et de rentabiliser son investissement. L'ensoleillement est un paramètre nécessaire pour récupérer l'énergie solaire voici quelques exemples d'ensoleillement dans des régions françaises La Loire et Jura : 1700 à 1800 h, le Var : 2900 h d'ensoleillement, l'Aquitaine et région Lyonnaise : 1900h et 2000 h d'ensoleillement, la région Nord et le Pays Basque ensoleillement : 1500 à 1600 h, le Finistère et le Cotentin (Cherbourg) :1450 h Normandie région Caen : 1600h à 1700h. En auto consommation il est souhaitable de connaître **sa consommation talon** d'une journée. Pour connaître le nombre de panneaux nécessaires minimum à installer. Trop de panneaux donneront un dépassement d'énergie qui partira directement dans le réseau. On nomme talon de consommation, la consommation électrique continue d'un foyer. Plus concrètement, même quand vous dormez ou que vous n'êtes pas chez vous, votre maison consomme de l'électricité. Le réfrigérateur, le congélateur, le chauffe-eau, la box internet, l'horloge du four, la TV en veille... C'est toute cette énergie que consomme votre foyer, même quand vous n'utilisez aucun appareil qui se nomme le talon de consommation.

Quels sont les avantages d'avoir ces types de procédés pour son habitation ? Utiliser une source d'énergie illimitée venant d'une étoile, le soleil directement chez soi pour la transformer en énergie électrique et thermique répondant à nos usages personnels. - Participer à titre personnel à réduire l'utilisation des énergies fossiles qui affectent directement le climat, mais aussi la santé humaine dont la nôtre. - Réduire notre coût budgétaire de ces énergies d'usage produites par des prestataires extérieurs avec un prix de plus en plus élevé. - Les inconvénients sont d'abord l'efficacité limitée de ces moyens techniques qui nous permettent de collecter l'énergie solaire et la transformer en énergie électrique et thermique (énergies d'usage). Cette récupération d'énergie est limitée par l'intensité variable de la luminosité solaire dans la journée, avec des jours ou des moments de la journée nuageux, brumeux, pluvieux, et puis la nuit. Elle est limitée par la capacité des techniques actuelles à récupérer la totalité de l'énergie solaire. Elle est limitée par les moyens techniques actuels de stockage de l'énergie transformée afin de coller au mieux au moment de la consommation de ces énergies (électricité et thermique) dans l'habitat tout la journée et la nuit. C'est pourquoi des innovations dans ce domaine sont en cours, certaines au stade de la recherche d'autres en phase de mise en production.

Est-ce intéressant aujourd'hui d'investir dans ces nouvelles technologies de récupération d'énergie ?

La réponse est **oui** mais en pratiquant **l'auto consommation**. Le plus rentable c'est l'installation de panneaux photovoltaïques prêts à l'emploi les **Plug & Play** qui peuvent être installés sur le sol, sur un mur, sur les balcons et les terrasses. Ils produisent directement de l'électricité envoyée dans votre installation. Le retour sur investissement de 5 à 8 ans est plus rapide que celui des panneaux photovoltaïques de **20 à 25 ans** installés sur les toits obligatoirement par des professionnels qui ajoute des coûts supplémentaires au retour sur investissements. **Ces panneaux photovoltaïques Plug & Play appelés aussi kits solaires autoconsommation** sont vendus directement au consommateur, qui peut l'installer lui-même s'il est un bricoleur avec les précautions d'usage liées à l'électricité et à la sécurité liée aux travaux du bâtiment s'ils sont fixés sur des murs. Le prix varie entre **700 et 800 euros** pour des panneaux photovoltaïques qui font en environ 2 m²

de surface. L'installation sur les toits des panneaux photovoltaïques ou thermiques et Hybrides (les 2) nécessite un diagnostic de celle-ci de la part des installateurs afin de vérifier la capacité des toits à supporter la surcharge des panneaux et accessoires et les possibilités d'ancrage et de fixation (C'est d'autant importants pour les panneaux solaires thermiques dont le poids au m² est élevé 40 kg /m²). Il est tenu compte aussi des contraintes météorologiques locales et régionales (pluie, vent, neige). De plus les installations sur toit font l'objet d'une autorisation de travaux des services de l'urbanisme, et d'Enedis pour le branchement et connexions spécifiques au compteur électrique. Les panneaux photovoltaïques mono cristallins (production d'électricité) sont constitués de cellules solaires. Une seule cellule solaire ne produit pas beaucoup d'électricité ; c'est pourquoi ils sont regroupés dans des modules de panneaux solaires. Le nombre de cellules dans un panneau solaire peut varier de 36 cellules à 144 cellules. Les deux options de panneaux solaires les plus courantes sur le marché aujourd'hui sont **les 60 et 72 cellules**. Actuellement chaque panneau photovoltaïque sur le marché de l'auto consommation atteint de 420 watt à 510 watt ils sont installés le plus souvent au sol ou sur les murs. Pour les installations sur les toits obligatoirement réalisés par des entreprises, il est important de demander le nombre de watt récupéré par panneau en puissance de crête Car des entreprises proposent encore des panneaux à



(Suite 2) 300 watt alors qu'il est commun maintenant d'avoir des panneaux de 420 watt à installer.

Quels sont les progrès actuels et en cours d'évolution dans ce domaine ? On peut constater déjà dans l'amélioration des performances des panneaux solaires actuels par leur capacité d'augmenter la récupération de la luminosité solaires et la transformer en énergie électrique des habitations ou bien en énergie thermique pour le chauffage et eau chaude. **Les panneaux photovoltaïques, nouvelle génération** sont constitués de **120 à 144 demi-cellules photovoltaïques**. Il s'agit simplement de cellules solaires monocristallines qui ont été scindées en deux parties grâce à un laser. Cette technologie permet d'optimiser largement les performances des panneaux monocristallins classiques. Les cellules divisées en deux permettent de réduire la distance parcourue par l'électricité sur le ruban de métal et ainsi de réduire la perte d'énergie. Chaque demi-réaction se déroule dans un compartiment séparé, ou demi-cellule, contenant une électrode. L'électrode où se produit l'oxydation est l'anode et celle où se produit la réduction est la cathode. Les électrons circulent dans un fil reliant les deux demi-cellules. C'est pourquoi **les panneaux avec demi-cellules** présentent **des performances optimales** par rapport à ceux avec des cellules pleines. D'autres panneaux photovoltaïques sont équipés de la **technologie TOPCON** qui est à ces débuts. Contrairement à d'autres technologies où la face arrière est opaque, la technologie **TOPCon** permet à la lumière de traverser cette partie de la cellule, augmentant ainsi la capture des photons solaires et contribuant à un meilleur rendement. Cette technologie permet d'atteindre des performances inégalées actuellement. Le fabricant chinois **Trina Solar** revendique un nouveau record mondial avec son nouveau panneau solaire TOPCon de type N. d'une puissance de **740,6 W**. TÜV un organisme de certification allemand à valider cette puissance. Trina Solar a par ailleurs tenu à préciser que le nouveau module avait été développé au sein de son propre laboratoire de recherche et développement.

Quelles sont les champs d'innovation sur les panneaux solaires ? Ils couvrent tous les contraintes des panneaux solaires. - Optimiser la récupération de la luminosité du soleil, par n'importe quel temps - Maîtriser la chaleur thermique des rayons solaires- Alléger la surface de réception de la luminosité solaire qui permet de la transformer en énergie électrique ou thermique - Adapter les panneaux sur n'importe quelle forme des bâtiments qui les réceptionnent - Permettre à la nature de se développer naturellement sous des panneaux solaires. On trouve **les panneaux solaires bi-verres**. La différence entre les panneaux solaires bi-verre et les pan-



neaux solaires photovoltaïques traditionnels se situe dans leur structure : les cellules (monocristallines ou poly cristallines) sont encapsulées entre deux plaques de verre mesurant chacune 2 mm d'épaisseur.

Elles permettent une résistance accrue aux intempéries et agressions chimiques et aux températures extrêmes. Ils permettent de résoudre le problème d'opacité de la partie inférieure du panneau et d'optimiser la captation de la lumière par une transparence accrue. **Les panneaux solaires bifaciaux**. On a aussi les panneaux **solaires bifaciaux** une variante des panneaux bi verres qui sont spécialement conçus pour récupérer la lumière sur les 2 faces du panneau. Ils sont équipés de cellules photovoltaïques sur les faces externe et interne. Cela permet de capter à la fois : Le rayonnement solaire direct et le rayonnement solaire réfléchi. Ils permettent de s'appuyer sur principe de **l'albedo**, en captant les rayons solaires réfléchis par un sol neigeux, sableux ou de couleur claire, aussi sur les façades et sur les toits.

Les panneaux photovoltaïques à concentration C'est une innovation cruciale dans le paysage des technologies solaires, elle permet d'accroître de manière significative le rendement des cellules photovoltaïques, offrant ainsi une solution prometteuse pour produire davantage d'électricité tout en optimisant l'utilisation de l'espace. L'intégration de lentilles et de miroir dans le panneau, agit comme un effet loupe en concentrant une plus grande quantité d'énergie solaire sur une surface donnée Autrement dit d'accroître la performance au m2 de panneau de production d'électricité. Des innovations constantes sont en cours pour surmonter quelques contraintes et permettre une adoption plus généralisée de cette technologie. Ces panneaux pourraient bien représenter l'avenir de la production d'énergie solaire, en optimisant le rendement des panneaux solaires et diminuer l'empreinte écologique.



Panneaux solaires tuiles et ardoises. Les capteurs solaires intégrés dans la toiture. Les tuiles solaires remplacent les tuiles traditionnelles des toitures. Le courant produit par les cellules photovoltaïques et transformé grâce à l'onduleur central et l'énergie est conservée dans une batterie. Sa capacité à s'intégrer dans l'ensemble de la toiture avec des teintes variées est un aspect attractif de ces panneaux. Toutefois actuellement leur coût reste élevé par rapport aux panneaux photovoltaïques. Entre 900 et 2000 euros le m2. La maintenance demande encore à être optimisée en particuliers pour l'identification de baisse de production due à une tuile ou ardoise spécifique. **Panneaux solaires en couches minces** Dans ce système, le matériau semi-conducteur à base de silicium est simplement vaporisé en couche très fine sur le support tel que le verre ou des matériaux

souples. Parmi les avantages la légèreté, sa capacité a épousé des formes s'il est réparti sur support souple. L'un des inconvénients, un rendement plus faible qu'avec un système photovoltaïque. Les cellules photovoltaïques en couches minces doivent être posées sur une plus grande surface **Panneau solaire Back contact** La technologie « Back Contact » permet d'étendre la surface de production d'électricité en reliant les cellules monocristallines les unes aux autres à l'arrière des panneaux (en contact arrière, d'où le nom « Back Contact »). Il présente un rendement plus important pour une même surface posée. Mais aussi des performances meilleures même lors de faible irradiance.

Le Panneau solaire avec la technologie MBB. La technologie MBB (« multi-bus bar ») est considérée comme étant prometteuse. Un « bus bar, pratiquement invisible à l'œil, est un **dispositif conducteur électrique** constitué de métal qui permet de faire circuler du courant de la cellule photovoltaïque au panneau. Les cellules classiques sont composées de 3 à



(Suite 3) 4 bus bars, alors que les cellules MBB sont équipées de plus de 5 bus bars. Sa vocation est d'optimiser la production d'électricité des panneaux solaires. **Le panneau solaire organique** Véritable petite révolution les capteurs solaires organiques peuvent être intégrés sur tous types d'objets. Une cellule organique est composée d'une couche dite « active », réalisée à partir d'une molécule organique (azote, carbone, etc.) à base végétale ou animale. Les panneaux solaires sont plus fins, plus résistants, plus flexibles à la fois, les cellules organiques peuvent être posés sur du mobilier, mais aussi sur des surfaces vitrées, par exemple ou bien en film peu sensibles à la chaleur et donc un rendement stable sur l'ensemble d'une année L'usage de celle solaire organique est en cours d'e développement pour améliorer les rendements, encore modestes actuellement. Le coût de production réduit, associé à la simplicité de fabrication grâce à ses matériaux organiques, peut potentiellement rendre cette technologie plus accessible pour les utilisateurs. **La peinture solaire** est une déclinaison potentielle des cellules organiques en phase d'innovation, elle n'est pas encore optimisée en terme de performance. Son application similaire à celle de la peinture ou du papier peint la rendra attractive pour n'importe quel utilisateur.



D'autres inventions si elles débouchent sur une industrialisation, pourront avoir des perspectives intéressantes de diversifier les panneaux solaires suivant les caractéristiques du lieu où elles seront utilisées.

Par exemple : L'invention **d'une cellule solaire transparente au spectre lumineux nécessaire au développement des plantes**.



Lorsque des panneaux solaires sont installés à grande échelle, la surface qu'ils prennent aux sols est un véritable problème et un frein au développement de cette production verte d'électricité. Les panneaux photovoltaïques actuels sont, la plupart du temps, installés sur des terrains constructibles ou sur des terrains agricoles. Ils nécessitent un compromis entre exploitation agricole et production d'électricité avec souvent des hostilités de différents acteurs. Ces cellules transparentes intégrant le spectre de luminosité des plantes ont été **inventées par des chercheurs israéliens**. Elles sont conçues à base de cristaux de pérovskite. Les cellules solaires deviennent transparentes à la **partie du spectre lumineux** la plus efficace pour les plantes **via la photosynthèse**. L'utilisation de ces cellules pourrait être utilisée sur les serres sans gêner la production agricole et développer de l'énergie verte. Elles pourraient également recouvrir des cultures de grandes hauteurs comme les vergers ou rizières. Selon les

premiers tests, cette nouvelle production d'énergie verte réduirait le coût de l'énergie en Israël d'au moins 75 %. Les chercheurs aspirent à recouvrir la moitié des serres d'Israël pour dépasser l'objectif national de production d'électricité verte prévu pour 2050.

Des panneaux colorés et transparents. Les cellules Grätzel, du nom de leur inventeur, promettent des panneaux légers, performants et recyclables à condition de réussir le défi de l'industrialisation non résolu jusqu'ici. Ces cellules Grätzel ont **un concept différent des cellules photovoltaïques classiques**. Colorées mais transparentes, elles se collent simplement sur une surface vitrée. Elles peuvent prendre place partout où existent des vitrages en tout genre. Elles seraient moins chères à produire et à installer et bien plus faciles à recycler. Les rendements seraient plus importants avec une capacité de fonctionner même avec une faible luminosité. Un site de production a été annoncé en Nouvelle Aquitaine opérationnel pour 2025. Cette innovation toutefois conduit à une certaine prudence sur les matériaux utilisés et leur rendement énergétique dans le temps, de même que leur durabilité au vieillissement face aux UV et à l'humidité.



Les panneaux pluvio-voltaïques Des chercheurs de l'université Tsinghua en Chine ont mis au point un panneau "pluvio-voltaïque". C'est-à-dire capable de **recupérer l'énergie des gouttes de pluie** qui s'écrasent à sa surface. Avec leur nouvelle technique, les chercheurs sont arrivés à générer **200 watts par mètre carré**, soit presque la même chose qu'un panneau solaire. On pourrait avoir des panneaux **bi-modes, soleil/pluie**. Ils sont Capable de produire autant quand il fait beau que quand il pleut. Pour générer de l'énergie tout va dépendre de l'intensité. Plus les gouttes sont grosses, plus les rendements seront importants. C'est une technologie qui intéresse particulièrement les pays et les régions où il pleut beaucoup. Avec le dérèglement climatique, elle concerne bien sur notre pays .

Des panneaux solaires pour produire la nuit. Des chercheurs de l'université Stanford ont utilisé **le processus de refroidissement radiatif**. Pour faire simple, au lieu d'exploiter la lumière du soleil (ou de la lune !) ils utilisent au contraire le froid de l'espace, le refroidissement par rayonnement. Un phénomène qui se produit surtout la nuit, lorsque l'appareil refroidit, et devient "plus froid que la température ambiante il ne s'agit pour le moment que de prototypes, Le rendement de ces technologies est encore très faible.



Dans un futur proche : Les perspectives de produire l'électricité par le soleil en tenant compte de son intensité, du maximum de ses spectres, de la variabilité de la luminosité nuit comprise et de la météo changeante et des effets de la météo et du climat sont à différents stades de développement : Recherche, prototype industrialisation, productions et installation. Nous aurons dans les prochaines années la possibilité d'utiliser un mix de solutions pour produire de l'électricité et de la chaleur avec le soleil dans une dimension plus large que celle que nous connaissons actuellement. Des travaux de recherche **sur le stockage de l'énergie sont aussi en cours**. Ce qui peut paraître un obstacle actuellement sera une opportunité intéressante prochainement, la variété des panneaux solaires présentés vous le démontre. Faut-il attendre leur arrivée ou commencer à investir avec les solutions existantes. Il existe des solutions pertinentes pour faire face à la transition énergétique aujourd'hui. Je serai tenté d'indiquer pour ceux qui doutent, de commencer par faire un test en auto consommation d'énergie sur une petite échelle en utilisant les

(Suite 4)

panneaux les plus performants sur le marché et mesurer l'intérêt d'utiliser l'énergie solaire. La réflexion qu'elle suscite, permet de réfléchir à des sources d'économie au sein de votre habitat et de changer certains comportements, tout en sachant que « La meilleure économie des ressources est celle que nous ne consommons pas »

INGÉNIEURS PROFESSIONNELS DE FRANCE

Région Basse-Normandie (Calvados, Manche, Orne)

Membre IESF - Ingénieurs et scientifiques de France

Membre de la Fédération SNIPF

Contact Courriel : jluc.leveque@gmail.com Edition N°13

Les sources documentaires: (textes et autres) sont référencées dans un document annexe joint à cette newsletter