

L'ÉNERGIE AU FIL DU TEMPS, À MANOSQUE... ET AILLEURS.



avec la participation du LYCÉE FÉLIX ESCLANGON
et le soutien de ses partenaires



PARTIE I



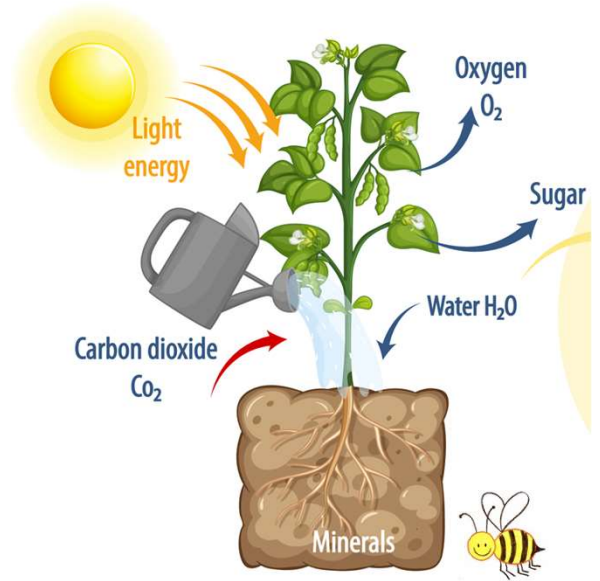
L'ÉNERGIE AU FIL DU TEMPS

L'ÉNERGIE C'EST LA VIE



Les plantes vivent de l'énergie lumineuse qui vient du soleil. C'est la photosynthèse.

La première forme d'énergie utilisée par les hommes, est d'origine musculaire. Elle vient de leur alimentation.



L'évolution de l'homme



Homo habilis
-2 à -3 million
d'années



Homo erectus
-2 millions à
-100 000 ans

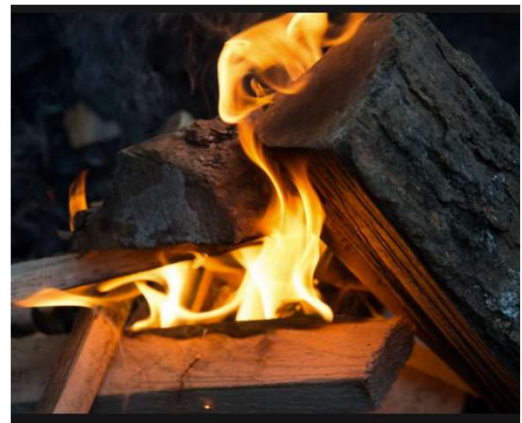


Homo sapiens
-100 000 ans



Homo sapiens
-40 000 ans

Les hommes ont fait brûler du bois depuis 400 000 ans: ils se sont chauffés, ils ont fait cuire leurs aliments, et cela leur a permis de se développer.



UNE ÉNERGIE MÉCANIQUE



PLUS GRANDE QUE CELLE DES MUSCLES

Utiliser la force de l'eau ou du vent permet d'effectuer un travail plus important qu'avec la force des muscles..

1510, Manosque, le moulin à eau (Moulin Neuf).



En 1839, une roue à augets a été installée (4m de diamètre et 1m de large). Les augets sont des vases placés sur la circonférence de la roue pour contenir plus d'eau, et ainsi, faire tourner la roue plus vite. Cette roue a été la première en Provence de cette dimension.

Une nouvelle roue a été installée en 2020 par le Comité du Patrimoine Manosquin.

c.p.m@wanadoo.fr

<https://patrimoinemanosquin.weebly.com>

1640, Montfuron, le moulin à vent Saint-Elzéar.



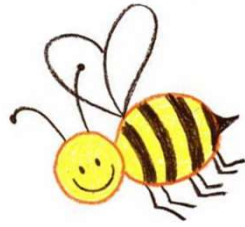
Les ailes (13m x 4m), sont vrillées: les barreaux ne sont pas contenus dans le plan de rotation, et l'angle de calage varie le long de l'aile



[Le vrillage des ailes des moulins ? une vraie question, un vrai problème... – Fédération des Moulins de France \(fdmf.fr\)](#)

Visite sur rendez-vous,
renseignements en mairie de [Montfuron](#).

[Moulin Saint-Elzéar de Montfuron — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)



LE COIN DES EXPLICATIONS

UNE ÉNERGIE MÉCANIQUE

PLUS GRANDE QUE CELLE DES MUSCLES

Utiliser la force de l'eau ou du vent permet d'effectuer un travail plus important qu'avec la force des muscles..



Qu'est-ce qu'une énergie 'plus grande', un travail 'plus important' ?
Il faut une mesure chiffrée pour comparer.

Une énergie se mesure en 'Joule' et aussi en 'Watt-heure' (Wh). Nous utiliserons le Wh et ses dérivés en puissances de 10:

1 kWh	kilo	Watt-heure	= 1 000 Wh
1 MWh	méga	Watt-heure	= 1 000 kWh = 1 000 000 Wh
1 GWh	giga	Watt-heure	= 1 000 MWh = 1 000 000 000 Wh
1 TWh	téra	Watt-heure	= 1 000 GWh = 1 000 000 000 000 Wh
1 PWh	péta	Watt-heure	= 1 000 TWh = 1 000 000 000 000 000 Wh

Quand on parle d'énergie (E), on parle aussi souvent de 'puissance' (P). La puissance est l'énergie produite pendant 1 seconde.

La puissance s'exprime en Watt (W).

Énergie d'origine musculaire

Exemple: une personne de 70 kg fait une randonnée en montagne pendant 8h avec un dénivelé de 300 m/h.

Cette personne utilise une énergie musculaire d'environ 0,5 kWh. La puissance moyenne fournie par les muscles est d'environ **60 W**.

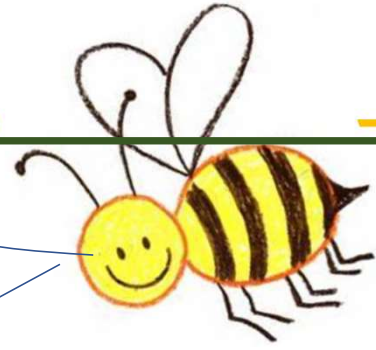
Moulins à vent

La puissance d'un moulin à vent tel que celui de Saint Elzéar dépend de plusieurs facteurs: la vitesse du vent, la forme des ailes, les frottements de l'axe de rotation, ... On arrive en général à des valeurs de 1 à 30 kW.

Un moulin d'une puissance de 30 kW qui fonctionne pendant 1h fournit une énergie de 30 kWh.



Donc, reprenons... Les
ordres de grandeurs...
Avec des illustrations...



POUR L'ÉNERGIE...



1 personne, randonnée de
8h, dénivelé 300 m/h :

énergie musculaire 0,5 kWh



1 L d'essence :

énergie thermique 10 kWh

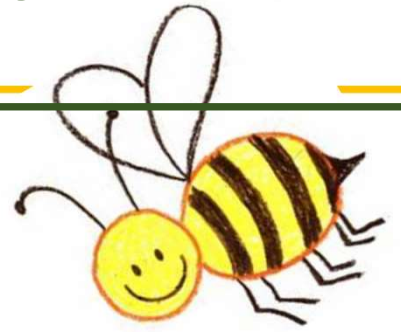
énergie mécanique 2 à 4 kWh



moulin à vent qui fonctionne
pendant 1h :

énergie mécanique 10 à 30 kWh

ET POUR LA PUISSANCE...



0,1 kW



1-30 kW



100 kW



100 000 kW



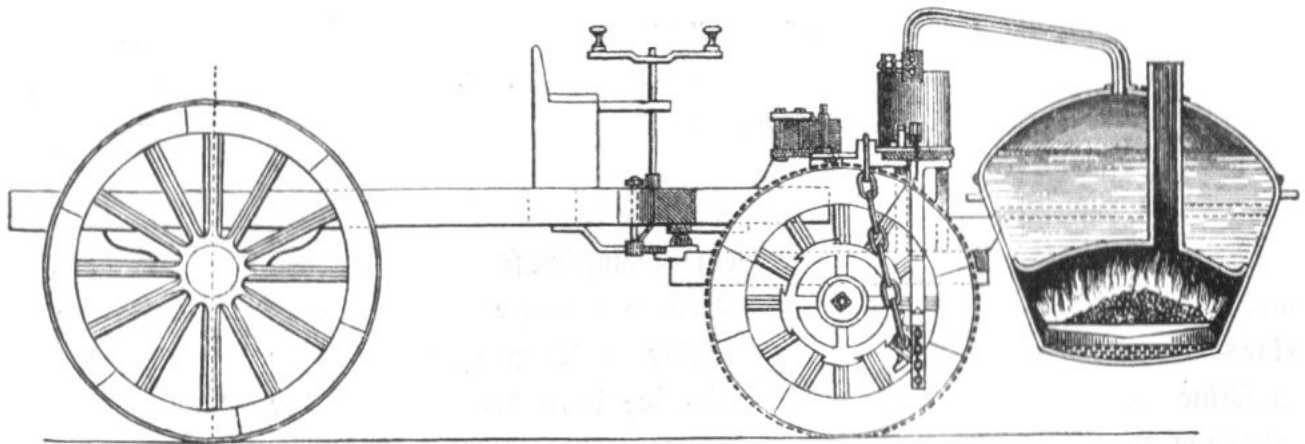
Oui, oui! C'est bien ça!
La puissance, c'est
l'énergie E divisée par
la durée t .

$$P = \frac{E}{t}$$



Les hommes ont compris qu'avec de la chaleur aussi, ils pouvaient faire marcher une machine...

Entre 1769 et 1771, Nicolas-Joseph Cugnot a conçu et utilisé le 1^{er} véhicule automobile en Europe: un 'fardier' d'artillerie, pour transporter des canons.



Le chariot est entraîné par une machine à vapeur à 2 cylindres.

C'EST UNE REVOLUTION INDUSTRIELLE.

Puissance du 'chariot à feu' de Cugnot ~ 40 kW.

... ON UTILISE LES COMBUSTIBLES FOSSILES À GRANDE ÉCHELLE.



Les combustibles fossiles sont des stocks formés par la sédimentation des matières organiques riches en carbone enfouies dans le sol depuis 100 à 300 millions d'années : charbon, pétrole, gaz naturel.



COMBUSTION DANS L'AIR



1831-1965, Manosque, la mine de Gaude.
Mine de lignite



c.p.m@wanadoo.fr

<https://patrimoinemanosquin.weebly.com>

Produits	Teneur en carbone (en %)	Pouvoir calorifique (en kWh/kg)
Anthracite	93 - 97	9,3 - 9,7
Charbon maigre et houille anthraciteuse	90 - 93	9,7 - 10,0
Charbon demi-gras ou semi-bitumineux	80 - 90	9,7 - 10,3
Charbon gras ou bitumineux à coke	75 - 90	8,9 - 10,3
Flambant	70 - 80	9,1 - 9,4
Lignite	50 - 60	< 7,0
Tourbe	< 50	3,5

GÉOSEL & GÉOMÉTHANE:

SITES DE STOCKAGE EN CAVITÉS SALINES.

GÉOSEL : depuis 1969.

Stockage de **40%** de pétrole et de **60%** de produits raffinés.

Un des premiers sites de stockage européens par la taille : **30** cavités salines d'une capacité de plus de **9 millions** de m³,

Connecté aux installations pétrolières de la zone Fos/Lavéra et aux réseaux internationaux de pipeline.

~**3,5 millions** de m³ de produits raffinés mouvementés par an.

GÉOMÉTHANE : depuis 1993 sur Manosque et Dauphin.

Stockage de gaz naturel, **7** cavités salines en exploitation, et une capacité totale de **280 millions** de m³ (2/3 de la consommation de Marseille).

Profondeur couche de sel: **1000 à 1500m**.

Production maximale : **14,4 millions** de m³ par jour, plus de **2 milliards de m³** de gaz injectés depuis 1993.





Pourquoi stocker en cavités salines ?

Depuis le milieu du XX^{ème} siècle, les cavités salines sont utilisées pour constituer des stockages d'énergie, notamment d'hydrocarbures. Creusées dans des couches de sel stables et étanches à plusieurs centaines de mètres sous terre, elles présentent plusieurs avantages: sécurité renforcée du stockage (faible accessibilité), dimensions importantes, faible impact environnemental.

D'où vient le sel? A l'origine, le sel vient de la mer. C'est l'assèchement des mers intérieures très anciennes qui est à l'origine de gisements souterrains de sel. Le sel fossile qui est extrait du sous-sol est appelé sel gemme.

Coupe géologique

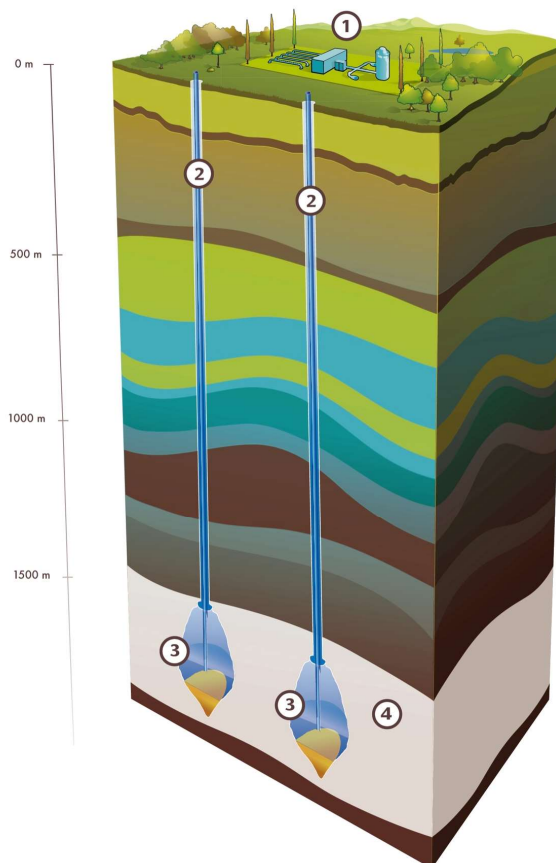
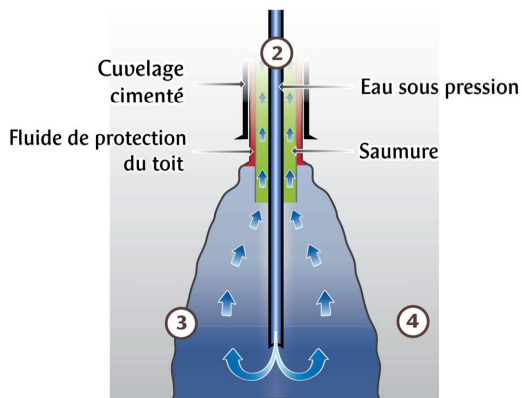
Technique utilisée

Le stockage en cavités salines

Caractéristiques :

- Volume utile plus faible
- Fort débit de soutirage

- 1) station centrale
- 2) puits d'exploitation
- 3) cavité saline
- 4) couche de sel gemme



ON A APPRIS À TRANSFORMER L'ÉNERGIE DE L'EAU OU DU VENT EN ÉLECTRICITÉ

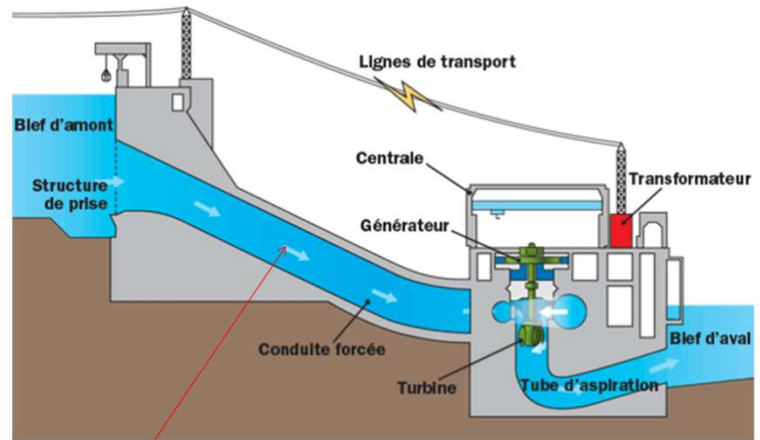


La force de l'eau fait toujours tourner une roue, comme dans l'antiquité, mais maintenant, la rotation de la roue dans un champ magnétique produit un courant électrique. C'est un alternateur.

L'électricité permet de transporter l'énergie de la rivière ou du vent à un autre endroit, et de l'utiliser facilement partout.



Barrage de Serre-Ponçon
380MW, environ 700 GWh/an.



L'eau perd de l'altitude et gagne de la vitesse, elle perd de l'énergie potentielle et gagne de l'énergie cinétique. L'énergie cinétique est transformée en énergie électrique par l'alternateur.



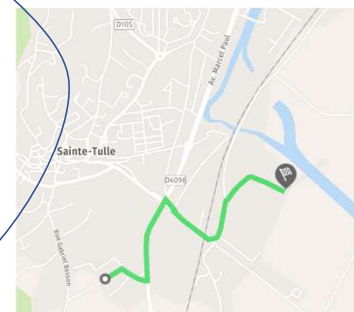
Serre-Ponçon

environ 110 km,
dénivelé 450m,
6h de vélo.

Vous êtes ici : ECO-Campus

Serre-Ponçon? en vélo??? Pas folle l'abeille! Moi, je vais à Sainte-Tulle.

Usine hydroélectrique de Sainte-Tulle:
1,6 km, 7mn de vélo.



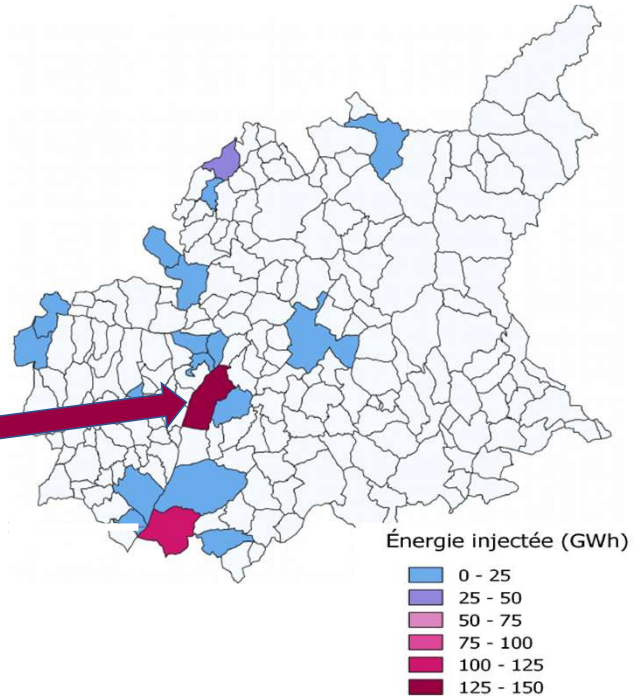
ON A APPRIS À TRANSFORMER L'ÉNERGIE LUMINEUSE DU SOLEIL EN ÉLECTRICITÉ



En utilisant des cellules photovoltaïques, comme sur le plateau de 'La Colle' aux Mées.



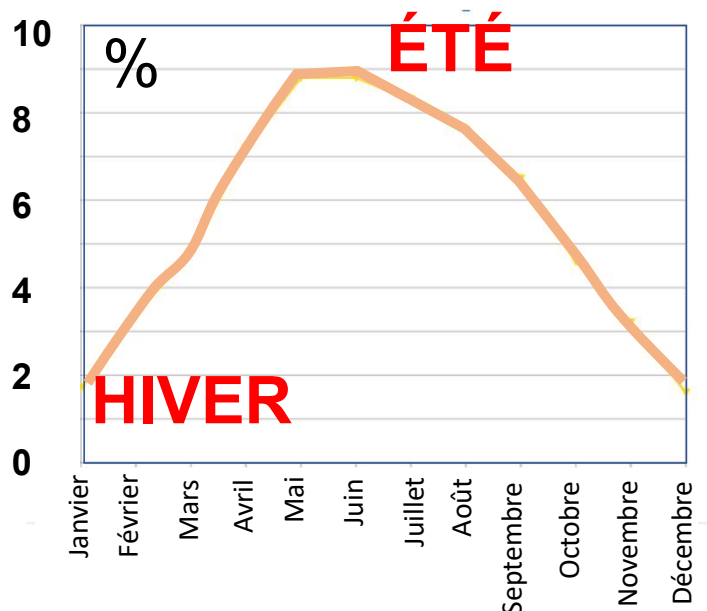
Hélène ROCHE PHOTOGRAPHY.



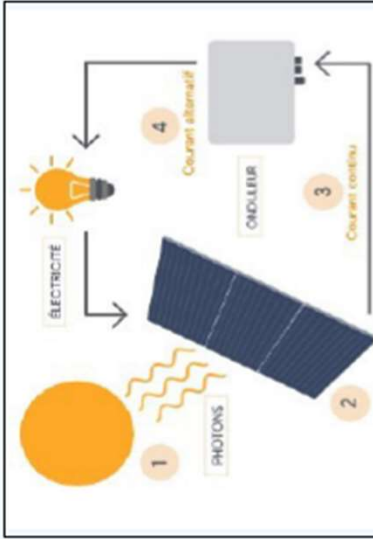
En 2020, dans les Alpes de Haute Provence, au total: ~8 km² panneaux PV (0,11% de la surface du département) produisent 440 GWh, soit environ 36% de l'électricité consommée dans le département et environ 11% de l'énergie totale consommée.

Energie annuelle glissante de mars 2020 à mars 2021

Fraction de la consommation d'énergie totale qui a été couverte par la production à partir de photovoltaïque dans la région PACA.

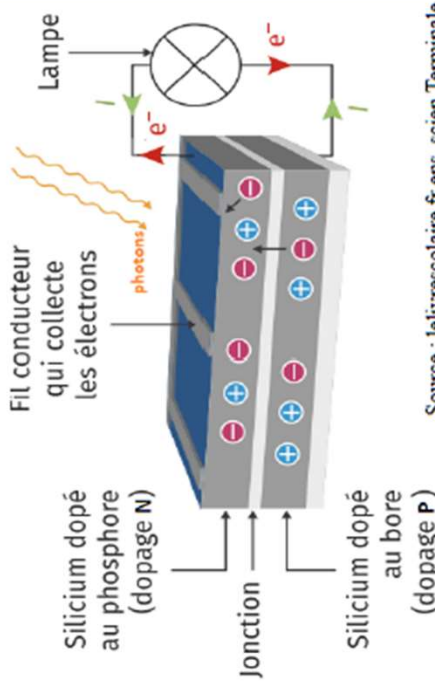


Panneaux photovoltaïques : fonctionnement



Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet *photoélectrique* pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire. Les électrons arrachés par les photons passent dans le circuit extérieur, créant ainsi un courant électrique. Le courant continu est transformé en courant alternatif grâce à un onduleur.

Une *cellule photovoltaïque* est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs : l'un, dopé N, possède un surplus d'électrons (par ajout d'atomes de phosphore) et l'autre, dopé P, a un déficit d'électrons (par ajout d'atomes de bore). Ces deux semi-conducteurs dopés N et P agissent comme les deux bornes d'une pile, aux bornes de laquelle il est possible de récupérer les électrons délogés par des photons ayant suffisamment d'énergie.



Il existe trois types de panneau photovoltaïque

- Le *Monocristallin* : coût élevé, rendement de 16% à 24%, fonctionnement meilleur avec peu de luminosité, moins bien sous haute température.
- Le *Polycristallin* : coût moins élevé que le monocristallin, rendement de 10% à 18%, fonctionne sous faible luminosité et meilleur quand la température augmente.
- L'*Amorphe (souple)* : coût le moins élevé, rendement de 5% à 10%, bon fonctionnement sous faible luminosité mais faible en plein soleil.

Écologiques

- Réduction des émissions de CO₂ et des rejets polluants
- Préservation de la nature

Economiques

- Prix de revente de l'électricité photovoltaïque encore assez élevé
- Amortissement rapide

Techniques

- Panneaux simples et rapides à installer
- Panneaux robustes et nécessitant très peu de maintenance

Sources: les-energies-renouvelables.eu/

INCONVENIENTS

- Production d'électricité plus faible l'hiver, pour une consommation plus forte
- Coût de l'investissement élevé
- Rentabilité des panneaux certaine au-dessus de 20 ans
- Ne peuvent pas fournir toute l'énergie nécessaire
- La fabrication des panneaux nécessite une grande quantité d'énergie pour extraire les minéraux qui les composent
- Encombrent visuel
- Nécessitent un entretien régulier

Sources : lepanneau solaire.net/ ; maison-travaux.fr/ ; futura-sciences.com/



AVANTAGES



Des panneaux photovoltaïques au Lycée Esclangon

Orientation des toits :

Bat B : Sud ouest

Bat C : Sud

Inclinaison des toits :

~ $18^\circ \pm 2^\circ$

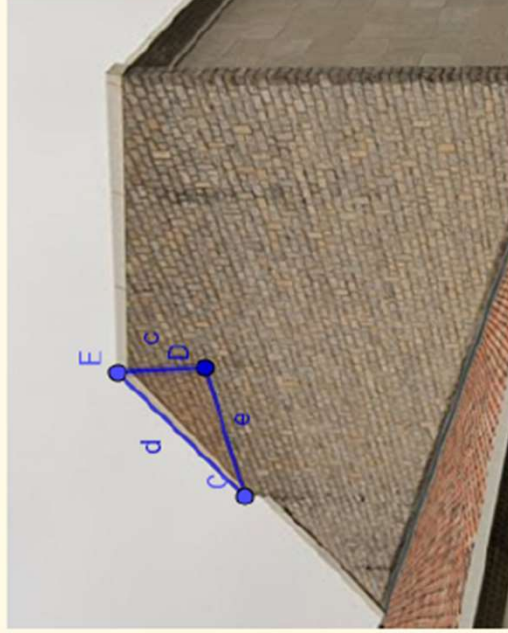
(à rehausser à 30° pour un meilleur rendement)

Superficie des toits :

Bat B : $392 \text{ m}^2 \pm 1 \text{ m}^2$

Bat C : $415 \text{ m}^2 \pm 1 \text{ m}^2$

Total : $807 \pm 2 \text{ m}^2$



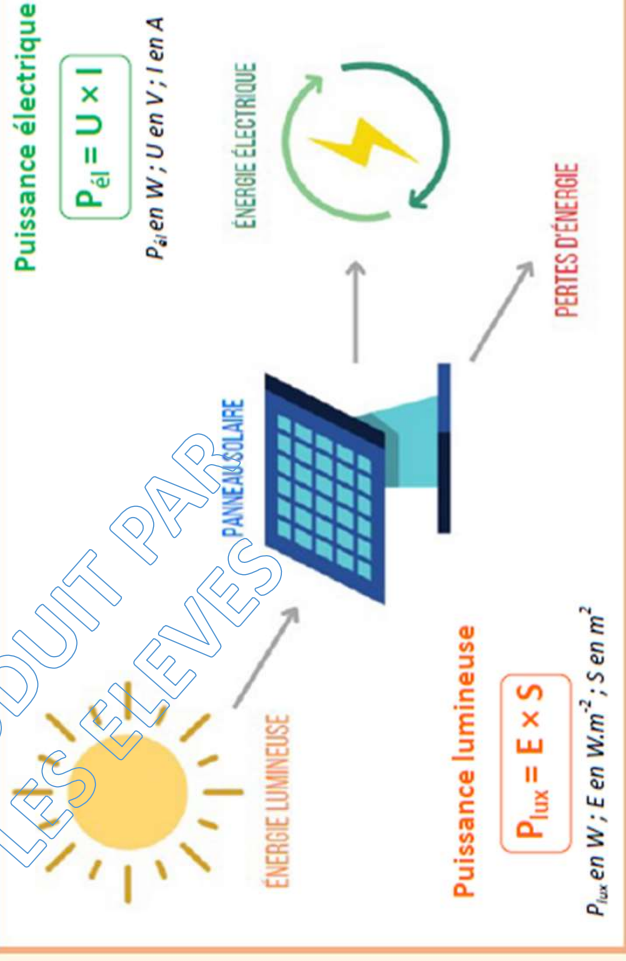
Le panneau photovoltaïque utilisé pour le lycée Esclangon serait le **polycristallin** dont le rendement est compris entre 10 et 18%.

D'après la carte ci-contre, le potentiel énergétique moyen thermique pour notre région est au minimum de $1760 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$.

Pour la surface de toit prévue au lycée, l'énergie lumineuse reçue serait :

$$1760 \times 807 = 1,42 \times 10^6 \text{ kWh.an}^{-1}.$$

Rendement énergétique

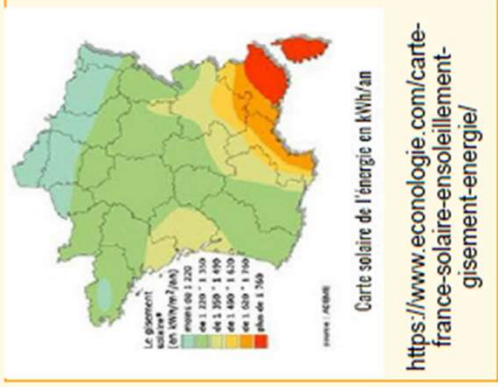


L'énergie électrique utilisable serait donc comprise entre :

$$1,42 \times 10^6 \times 0,10 = 1,42 \times 10^5 \text{ kWh.an}^{-1}$$

$$\text{et } 1,42 \times 10^6 \times 0,18 = 2,56 \times 10^5 \text{ kWh.an}^{-1}$$

Sachant que la consommation annuelle du lycée en 2022 était de 211 401 kWh, une installation de panneaux photovoltaïques sur les toits du lycée Esclangon serait envisageable et permettrait de couvrir plus de la moitié de la consommation annuelle.

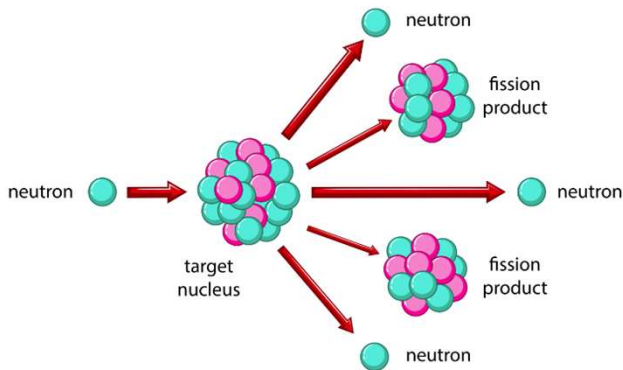


LES
CORDÉI
DE LA
RÉUSSITE

DEPUIS ~1960, ON SAIT TRANSFORMER L'ÉNERGIE DES NOYAUX DES ATOMES EN ÉLECTRICITÉ.



Fission nucléaire



Dans les réactions de fission nucléaire, le noyau d'un atome lourd, l'Uranium, se casse en 2 noyaux plus petits. La réaction produit aussi des neutrons de grande énergie. La récupération de l'énergie thermique des neutrons permettra de transformer l'eau en vapeur, qui fera fonctionner la turbine.



Centrale nucléaire de Tricastin



Chacun des 4 réacteurs a une puissance de 900 MW. En 2022, la centrale a produit une énergie de 21,3 TWh.



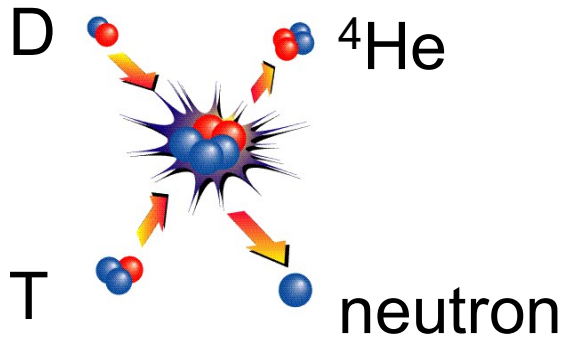
Centre de Recherches Cadarache



Le centre de Cadarache a d'abord été un banc d'essai qui a ouvert la voie aux réacteurs nucléaires français.

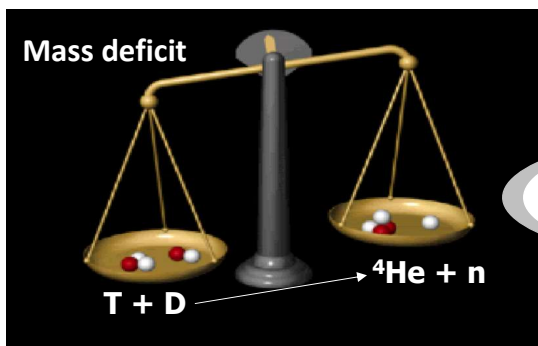


LA FUSION NUCLÉAIRE OU L'ÉNERGIE DES ÉTOILES.

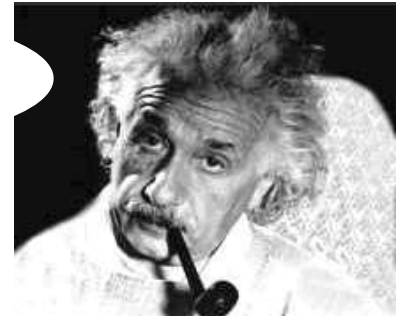


Moins d'un gramme de mélange DT peut fournir à une personne en Europe l'énergie qu'il lui faut pour vivre pendant 1 an.

1000 g \rightarrow 996,25 g + 93 GWh



$$E = \Delta mc^2$$



Recherches
en cours



Tokamak WEST, Cadarache.



Projet ITER



PARTIE II

QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE?

L'ÉNERGIE, C'EST UNE MESURE DE LA TRANSFORMATION DU MONDE.



tas de pierres



mur



Pour transformer un tas de pierres sèches en mur, il faut fournir un travail.

Combien de travail? beaucoup? pas beaucoup? un peu? hum....pas très précis...

Pour être précis, on attribue une valeur à ce travail et cette valeur est exprimée dans l'unité qui s'appelle le Joule. On utilise aussi le Wh et ses multiples.

Le travail à faire, c'est la même chose que l'énergie de la transformation du tas de pierres en mur.

	grandeur physique qui le caractérise	unité
objet	masse	kg
	dimensions	m, m ² , m ³
transformation	énergie	J

L'énergie n'est pas un objet.

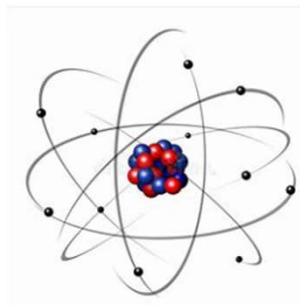
L'énergie d'un système isolé est constante.

L'ÉNERGIE PRIMAIRE EST EXTRAITE DE STOCKS OU DE FLUX.



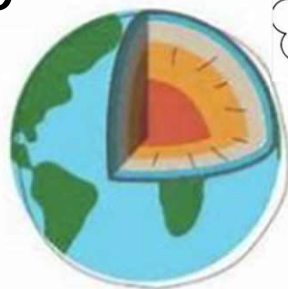
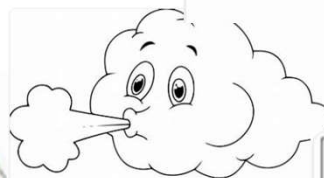
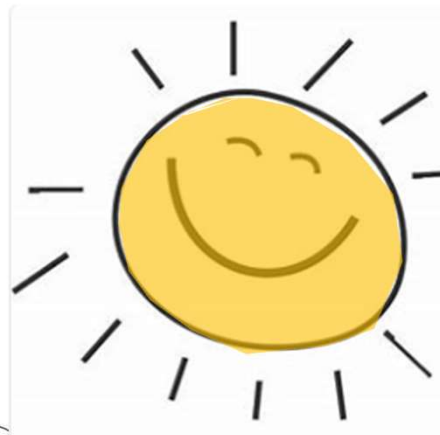
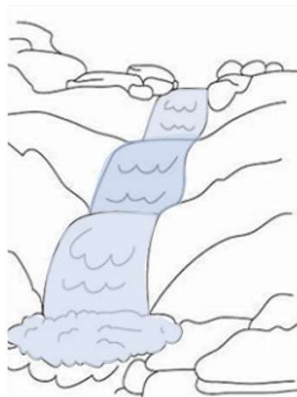
les stocks sont épuisables

- les fossiles
- les noyaux des atomes



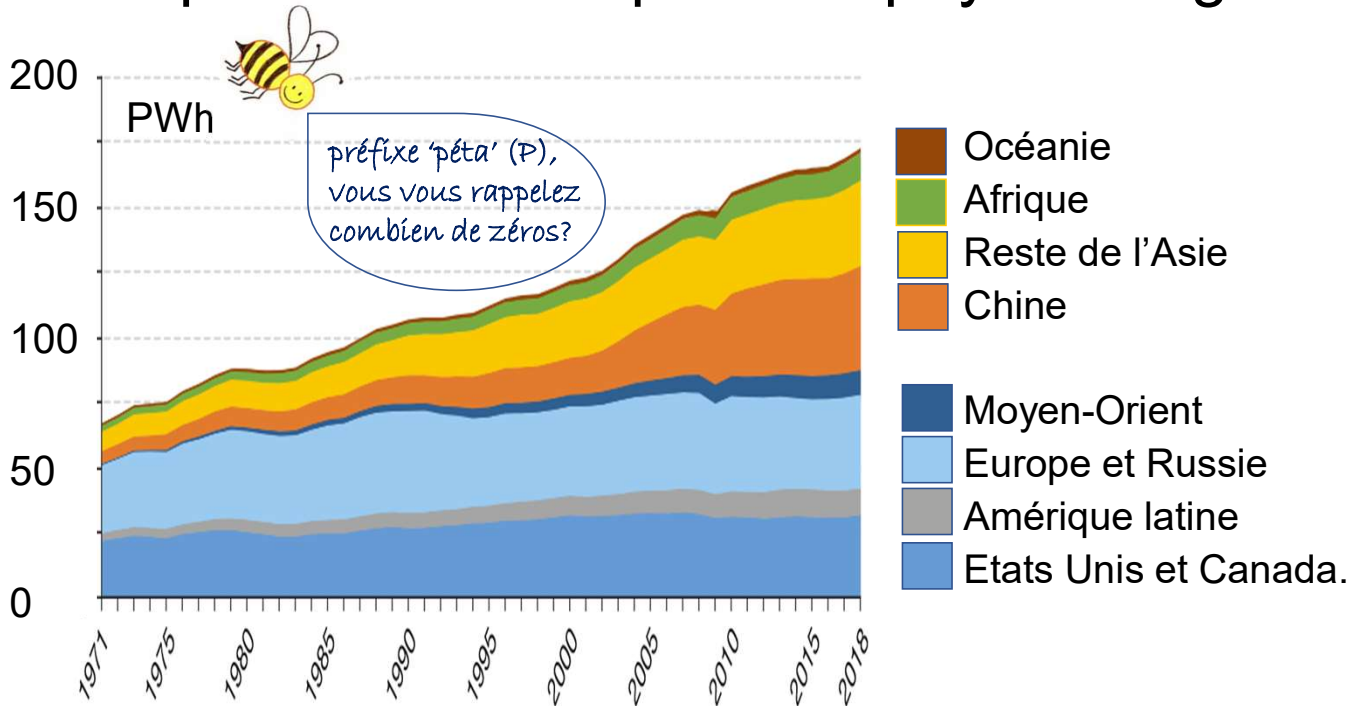
les flux sont inépuisables à l'échelle humaine

- le soleil
- l'eau
- le vent
- la géothermie
- la biomasse
- les marées

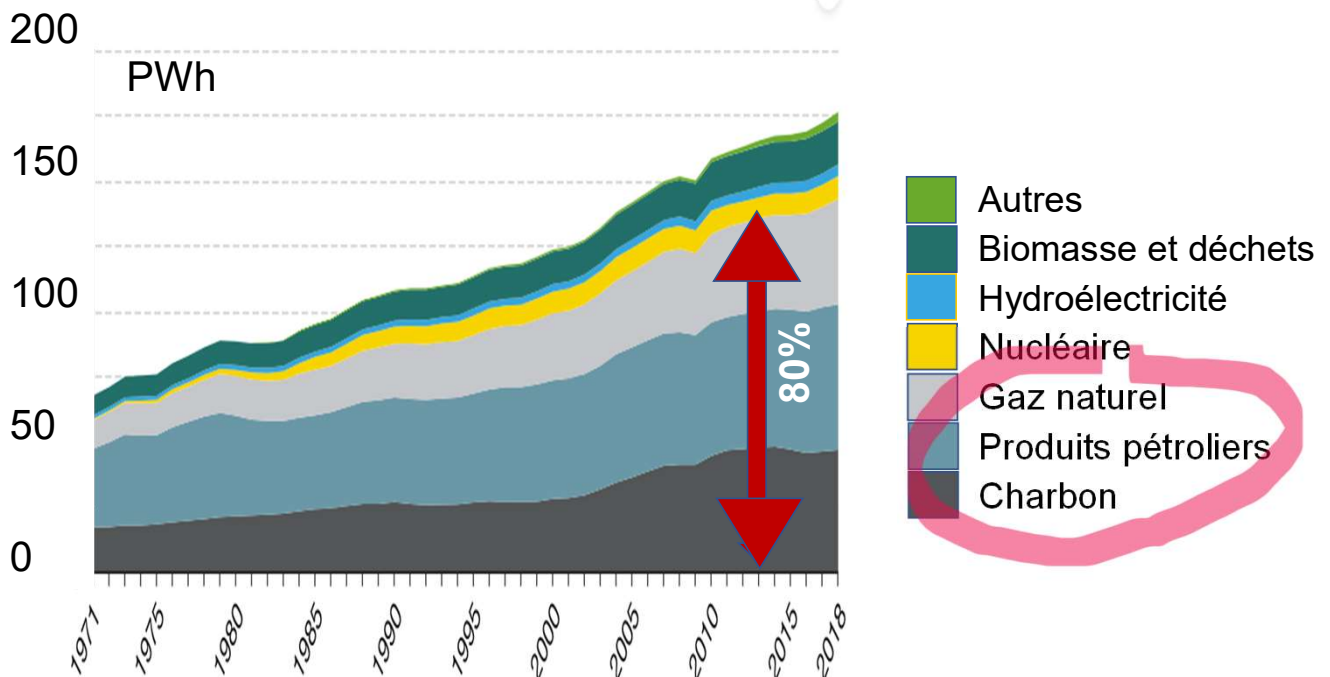




□ en constante augmentation, dont une part croissante pour les pays émergents.



□ dominée par les énergies fossiles



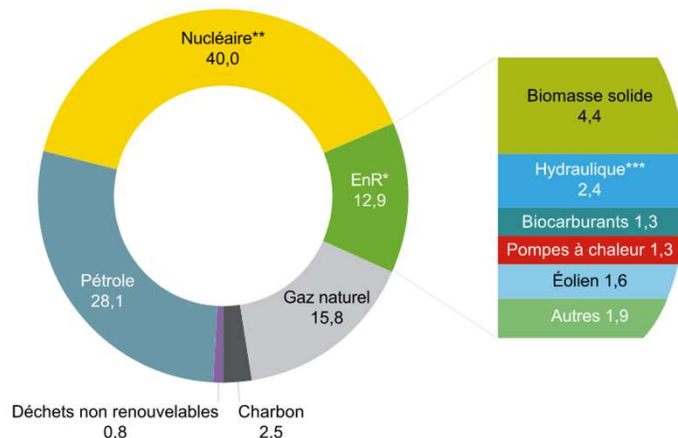
80% de la consommation mondiale d'énergie primaire est d'origine fossile.

CONSOMMATION EN FRANCE ET DANS LES ALPES DE HAUTE PCE



En 2020, consommation pour la France:

Fossile	1208 TWh	47%
Nucléaire	1028 TWh	40%
Renouvel.	334 TWh	13%
<hr/>		
Total	2570 TWh%



Exemples de consommation en France:
carburants routiers: 465 TWh/an
acier 56 TWh/an
Ciment 4,2 TWh/an

* EnR : énergies renouvelables.
** Correspond pour l'essentiel à la production nucléaire, déduction faite du solde exportateur d'électricité. On inclut également la production hydraulique issue des pompages réalisés par l'intermédiaire de stations de transfert d'énergie, mais cette dernière demeure marginale comparée à la production nucléaire.
*** Hydraulique hors pompages.
Champ : France entière (y compris DROM).
Source : SDES, Bilan énergétique de la France.



Mais.... Je rêve!
Ils vont nous faire
calculer maintenant???

La consommation annuelle totale d'énergie de notre département est de 4 TWh, soit % de la consommation de la France.(.... % de la surface de la France et 0,2% de la population).



Superficies:
Alpes de Haute Provence: 6925 km²
France 552000 km²

Populations:
Alpes de Haute Provence: 165 000 hab.
France: 68 000 000 hab.

PARTIE III



CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES POUR UNE UTILISATION PRATIQUE.



Et vous Madame,
comment voulez-vous
votre énergie?

Intermittente?



Transportable?

Concentrée?

STOCKABLE?

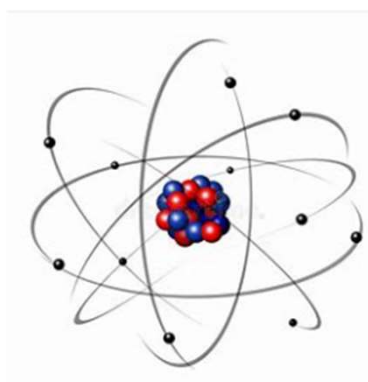
Pilotable?

Diluée?

POUR UNE UTILISATION PRATIQUE, L'ÉNERGIE DOIT ÊTRE CONCENTRÉE ET PILOTABLE.



- ❑ LES ÉNERGIES DE STOCKS SONT CONCENTRÉES ET PILOTABLES.



- ❑ LES ÉNERGIES DE FLUX SONT DILUÉES ET INTERMITTENTES

→ grandes surfaces ou grands volumes nécessaires
→ non pilotables



LA QUESTION DU STOCKAGE EST CRUCIALE.

Moi j'ai bien compris, je stocke du miel!



SOURCE CONCENTRÉE OU DILUÉE: LES CHIFFRES

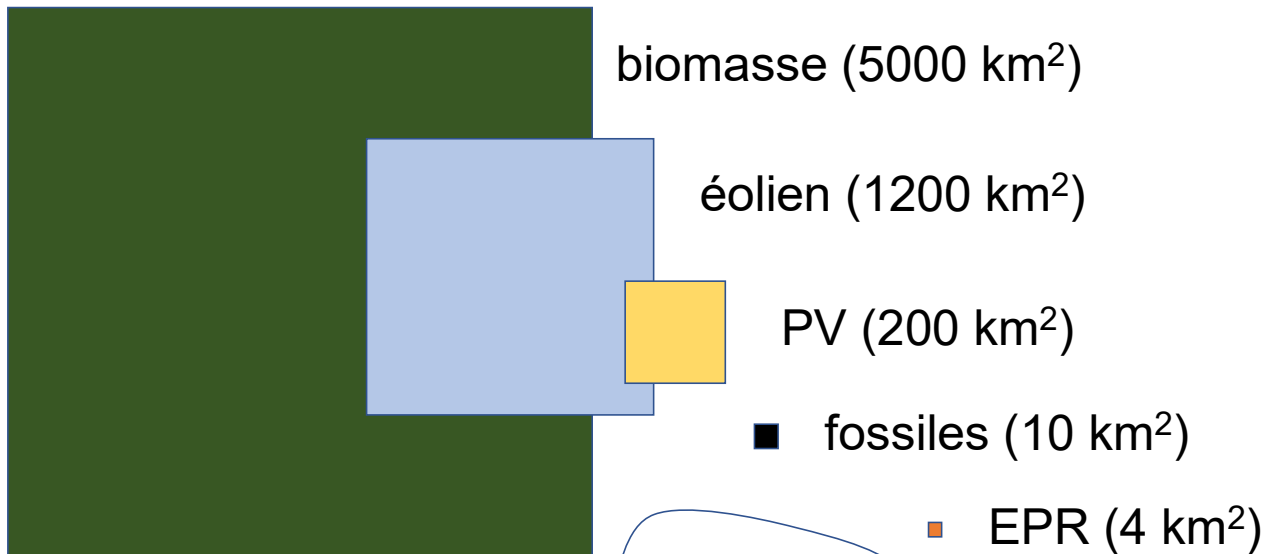


EPR de Taishan : entré
en service le 14/12/2018
24 TWh/an (8 G€)



Barrage des Trois Gorges, 1993-2009
80 TWh/an (40 G€)
640 km x 3 km : 15 villes, 115 villages
1,8 millions de personnes déplacées
Risque aval pour 75 millions de
personnes.

Surface nécessaire pour produire 24 TWh par an:

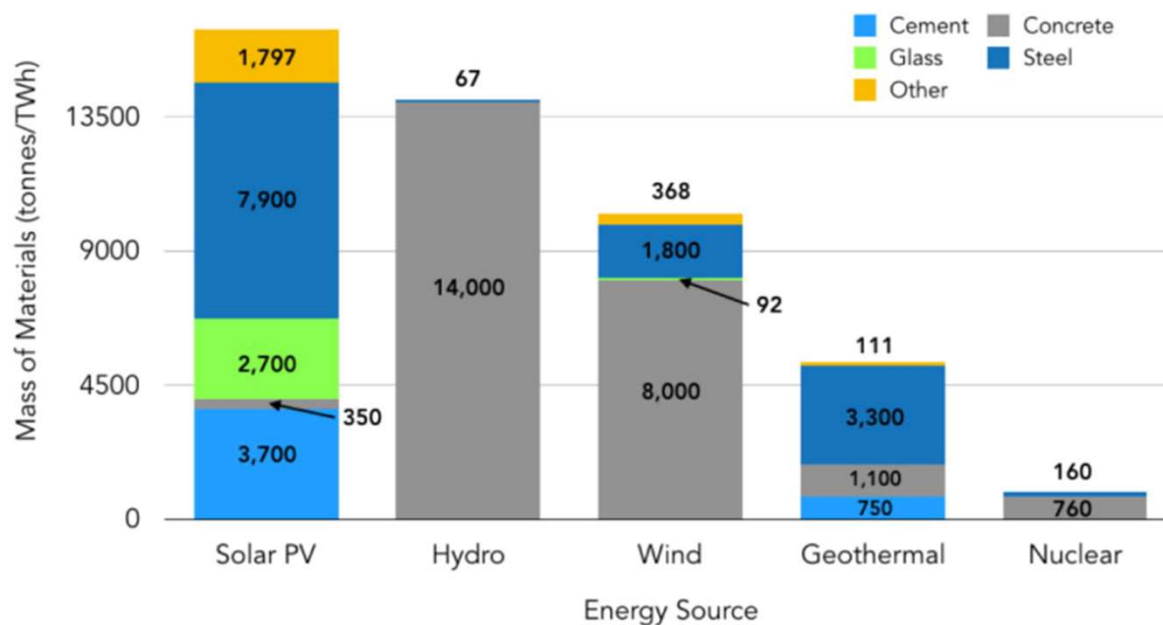


Oh la la, mais je
ne me sens pas à
l'échelle...

LA MISE EN ŒUVRE DES ÉNERGIES DILUÉES EST TRÈS GOURMANDE EN MATÉRIAUX.



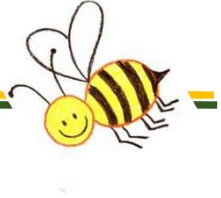
Matériaux [tonnes/TWh]



'Quadrennial Technology Review: An assessment of Energy Technologies and Research Opportunities', Table 10, September 2015. United States Department of Energy. Nuclear and hydro require 10 tonnes/TWh and 1 tonne/TWh of other materials, respectively, but are unable to be labeled on the graph.



POUR AVOIR DE L'ÉNERGIE, OÙ JE VEUX, QUAND JE VEUX.



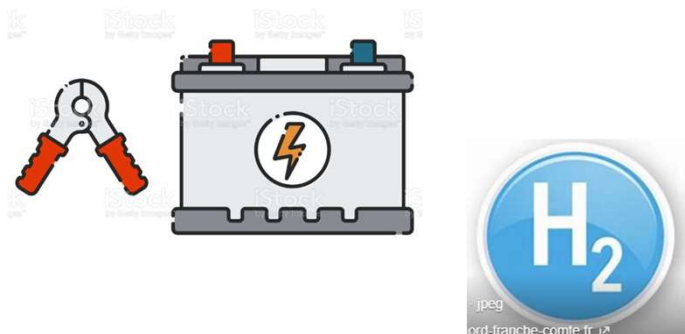
- ❑ Avec les énergies fossiles, c'était très facile!



- ❑ A l'avenir, avec la réduction de l'utilisation des énergies fossiles, l'usage des réseaux électriques va s'intensifier pour véhiculer l'énergie. Cela requiert:



- un stockage local:
batteries, hydrogène...



- l'équilibre des réseaux.

RÉSUMÉ DE QUELQUES CARACTÉRISTIQUES CHIFFRÉES

énergie	PV	éolien	géothermie	hydro	pétrole	charbon	EPR
nb d'années de réserves prouvées	flux	flux	flux	flux	55	130	100
concentration (GW/an/km ²)	70	12	3	25	1400		3500
pilotable	non	non	oui	oui	oui	oui	oui
pouvoir calorifique (MWh/kg)					0,012	0,009	22000
facteur de charge moyen (%)	13	22					80
stockage nécessaire	oui	oui	non	non	non	non	non
utilisation matériaux (MWh/t)	61	98	190	71			1087
émission de CO2 (kWh/kg CO2)	~20	50			3,2		167

Hum!!!... C'est malin! Et comment je choisis maintenant?



À VOUS DE JOUER!
... VOUS AVEZ TOUT EN MAINS
POUR INVENTER LA SUITE !