



Plateforme des acteurs de l'eau
et de l'assainissement au Liban

le **cnam**
Liban

Mardi de LEWAP

Les rencontres recherche et grand public



Énergies renouvelables dans le secteur eau
et assainissement au Liban

Ali Karaki

Contact : karaki11_lb@yahoo.fr

03 932533

Diplômé de Ecole Centrale de Nantes-France

Enseignant - chercheur

ISSAE CNAM Liban

Faculté de Génie- 3 Université Libanaise

Expérience professionnelle :

Energétique, dimensionnement des systèmes de climatisation ,
Hydraulique appliquée , physique des bâtiments, Acoustique ,
Système de lutte contre incendies , Travaux maritimes ,
Modélisation numérique. (CFD) (Dynamique des fluides numérique).

Table des matières

- 1 Contexte énergétique et environnemental
- 2 Contexte énergétique au Liban
- 3 Panorama des énergies renouvelables
- 4 Energie solaire
- 5 Energie Eolienne
- 6 L'énergie géothermique
- 7 L'hydroélectricité (Energie hydraulique pour la production d' électricité)
- 8 Biomasse
- 9 Lois et législation du secteur de l'électricité
- 10 Le boom incontrôlé de l'énergie Solaire au Liban
- 11 Logiciels dans le domaine des énergies renouvelables
- 12 Proposition des sujets types de recherches pour les élèves du CNAM



Contexte énergétique et environnemental.

Le système énergétique actuel se caractérise essentiellement par une dépendance excessive vis-à-vis des énergies fossiles (le pétrole, le gaz naturel et le charbon) .

Le charbon, le pétrole et le gaz naturel entrent ainsi pour plus de 80 % dans le bilan de la consommation mondiale.

Il se caractérise par le changement climatique et la destruction de la biodiversité

(La biodiversité désigne l'ensemble des êtres vivants ainsi que les écosystèmes dans lesquels ils vivent).

La consommation excessive d'énergie fossile et la combustion de ces sources d'énergie sont largement responsables des changements climatiques.

Les cinq dernières années sont les cinq les plus chaudes observées depuis 1850. la température moyenne mondiale a augmenté de presque 1 °C

Contexte énergétique au Liban:

L'énergie électrique se caractérise par une production presque constante de la compagnie EDL

Cependant, la capacité de production actuelle du pays, principalement issue de centrales à combustibles fossiles vieillissantes, est estimée à seulement environ 1 800 mégawatts.

La demande varie entre 3 000 et 3 200 MW, tandis que la production est d'environ 1 800 MW.

Les seules sources d'énergie produites à l'échelle nationale comprennent les chauffe-eau solaires (CES), les centrales hydroélectriques (286 MW), une contribution de l'énergie solaire photovoltaïque et le biogaz des déchets de décharge solides *landfill*



Table 3. Existing hydroelectric power stations in Lebanon

River	Establishment	Plant(s)	Year of Installation	No. of units	Installed capacity (MW)
Litani/Awali rivers	Litani Water Authority	Markaba, Awali, Joun	1961, 1964, 1967	7	199
Nahr Ibrahim river	Société Phénicienne des Forces de Nahr Ibrahim des Eaux et Electricité	Chouane, Yahchouch, Fitri	1961, 1955, 1951	8	32
Kadisha valley	La Kadisha, Société Anonyme d'Electricité du Liban Nord	Bechare, Mar Licha, Blaouza II, Abu-Ali	1924, 1957, 1961, 1932	11	25
Nahr Al Bared	Al Bared Concession	Al Bared 1, Al Bared 2	1936	5	17
Safa spring	Electricité du Liban	Richmaya-Safa	1931	3	13
Total installed capacity				5	286

Source: MEW, 2018.



**Nations
Unies**

PANORAMA DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Selon les Nations unies :

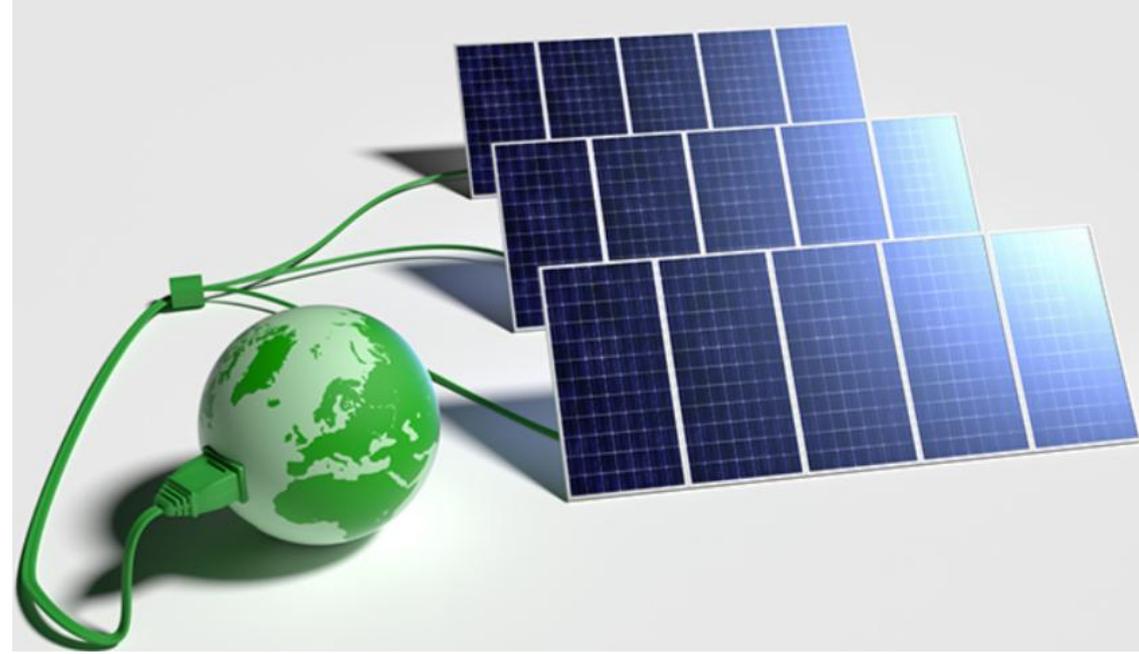
Les énergies renouvelables sont des énergies provenant de sources naturelles qui **se renouvellent à un rythme supérieur à celui de leur consommation**. La lumière du soleil et le vent, par exemple, constituent de telles sources qui se renouvellent constamment.

En revanche, les combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) sont des ressources **non renouvelables** qui mettent des centaines de millions d'années à se constituer.

ÉNERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire est la plus abondante de toutes les ressources énergétiques

La Terre reçoit une quantité considérable d'énergie solaire, estimée à 173 000 térawatts (milliers de milliards de watts)
En comparaison, la consommation énergétique mondiale est d'environ 15 térawatts. (15,000,000 MW)

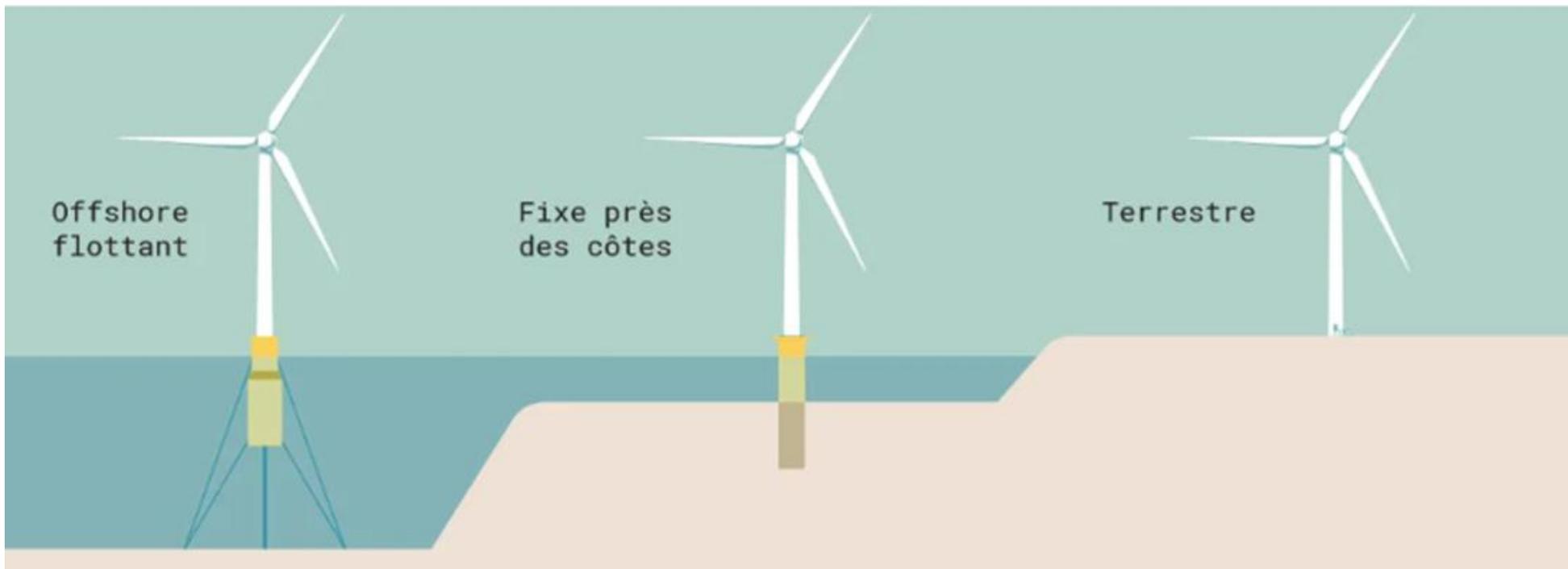


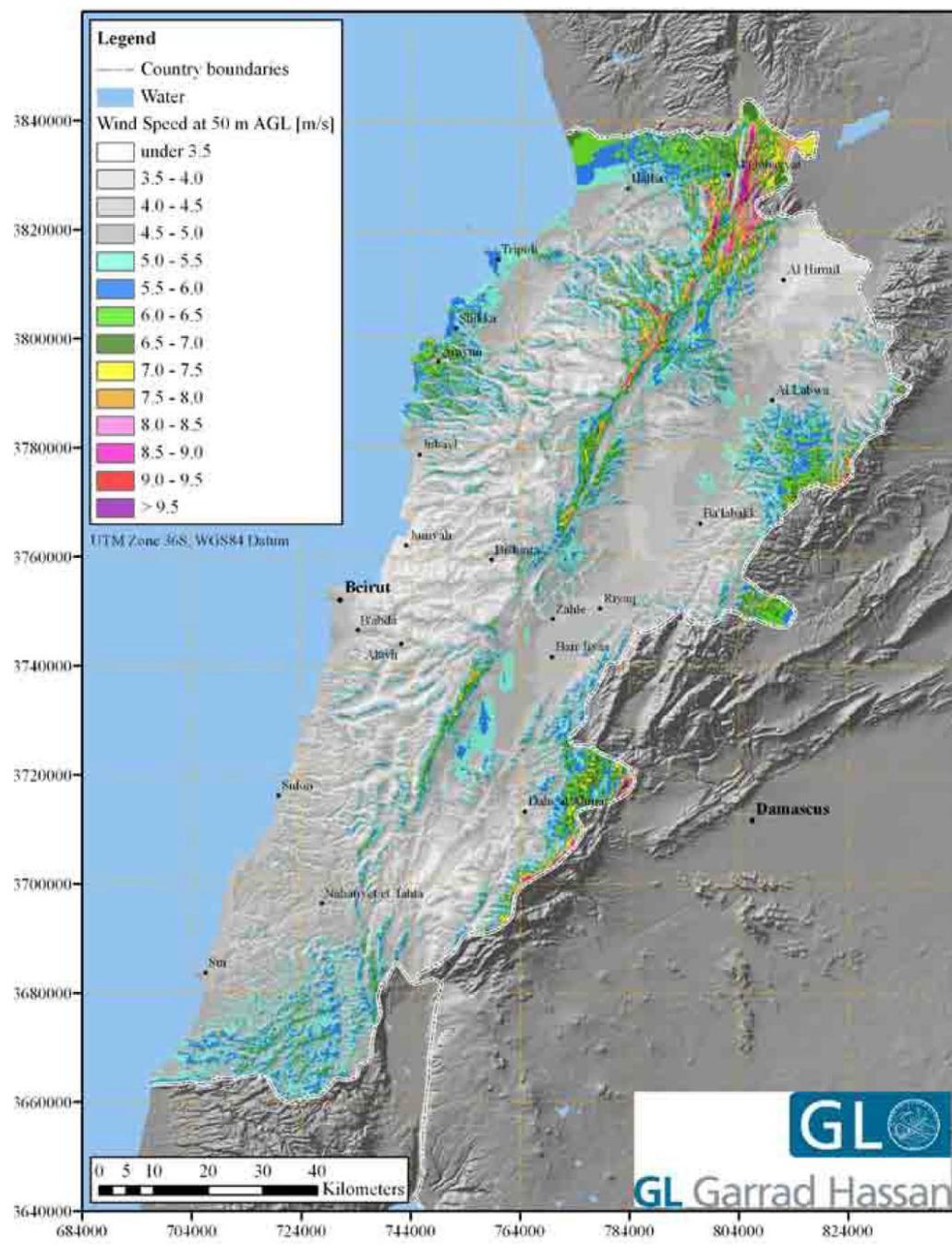
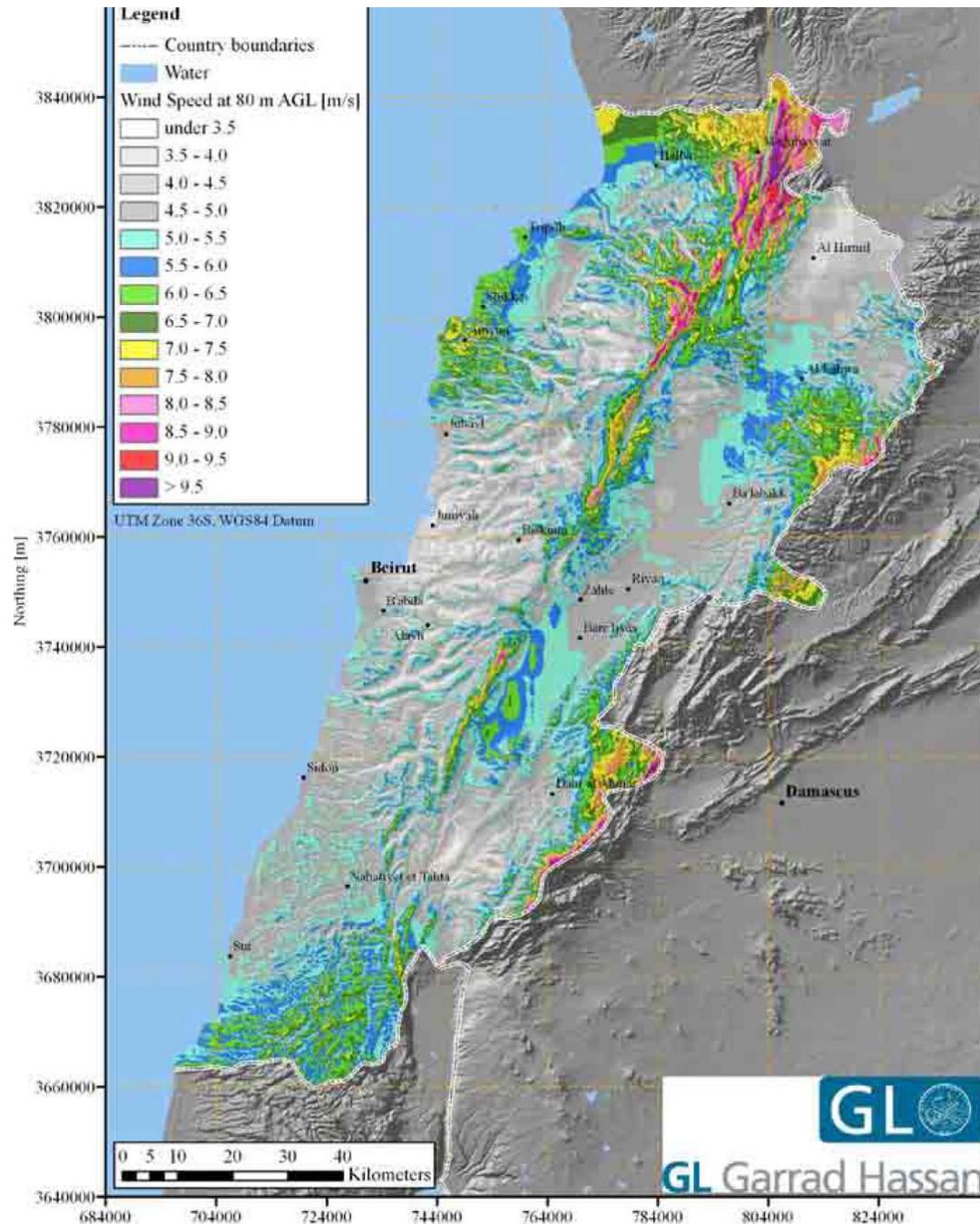
ÉNERGIE ÉOLIENNE

$$P_{\text{extraite}}^{\text{max}} = \frac{16}{27} P_{\text{incidente}} \text{ avec } P_{\text{incidente}} = P_{\text{cinétique}} = \frac{1}{2} \rho S v_{\text{amont}}^3$$

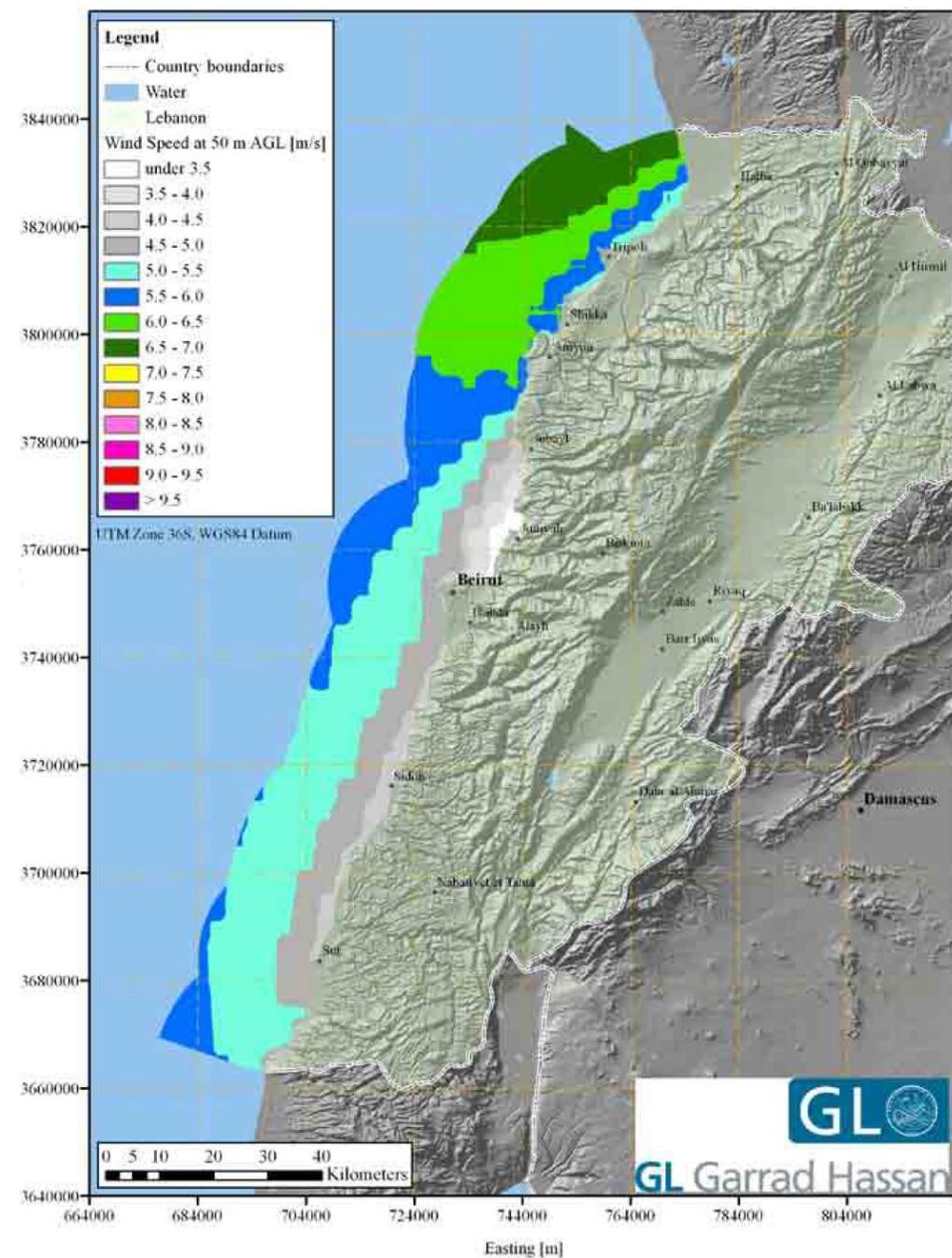
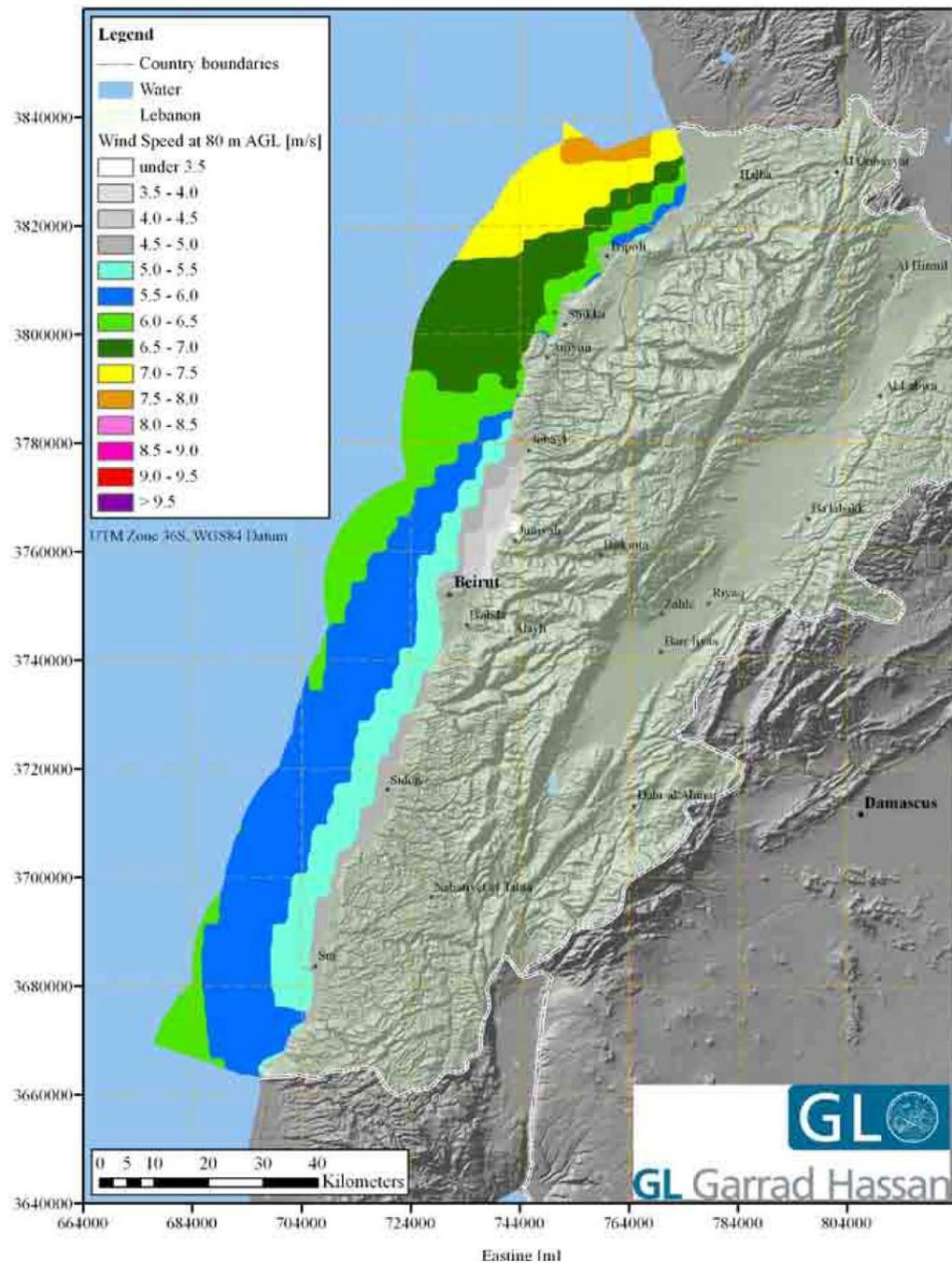
Pour l'énergie éolienne, le principe consiste à exploiter l'énergie cinétique de l'air en mouvement à l'aide de grandes éoliennes situées sur des zones terrestres ou bien en mer.

Eoliennes terrestres, fixées près des côtes ou en offshore flottante
le coût de la solution offshore par rapport à l'implantation terrestre (de l'ordre de presque le double),
la limitation raisonnable de la profondeur d'eau acceptable, au maximum de l'ordre de 50 mètres.

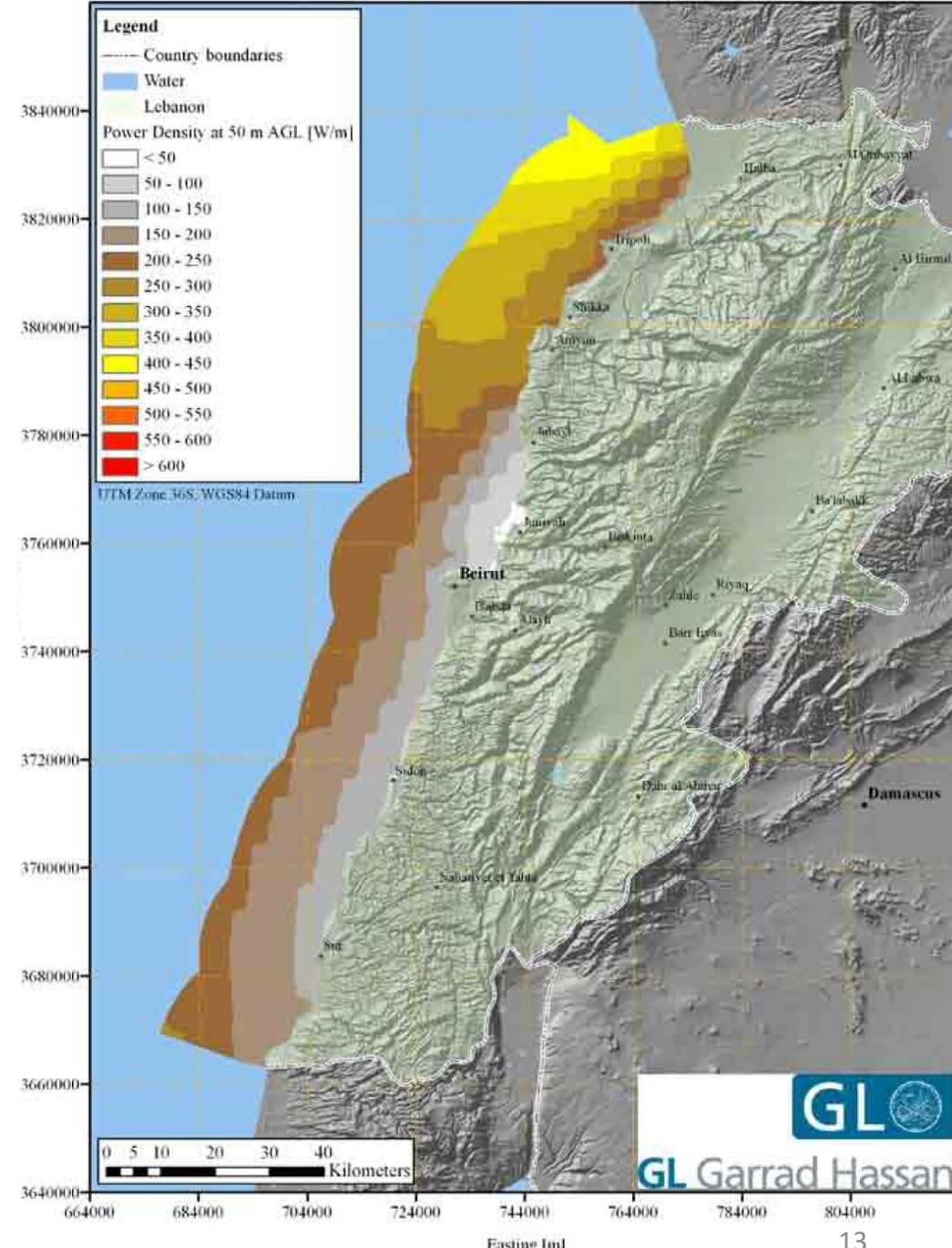
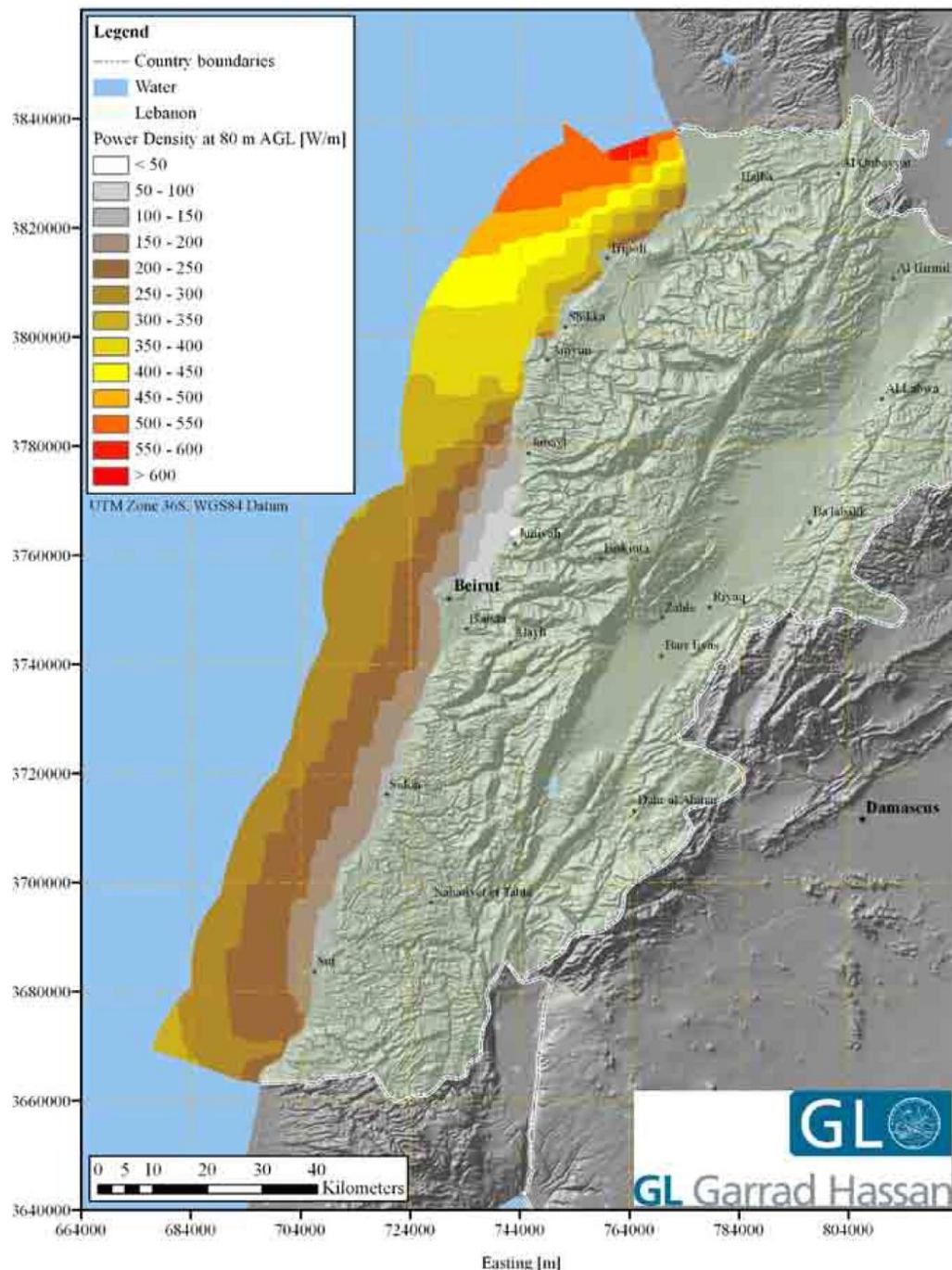




Vitesse du vent moyenne annuelle a 80 m et 50 m de la surface du terre



Offshore Vitesse du vent moyenne annuelle a 80 m et 50 m de la surface du terre



Offshore Densité de la puissance du vent moyenne annuelle a 80 m et 50 m de la surface du terre W/m²

Bathymétrie de la zone côtière du Liban :
(profondeur moins que 50 m) pour un éventuel parc d'Eolien
en offshore



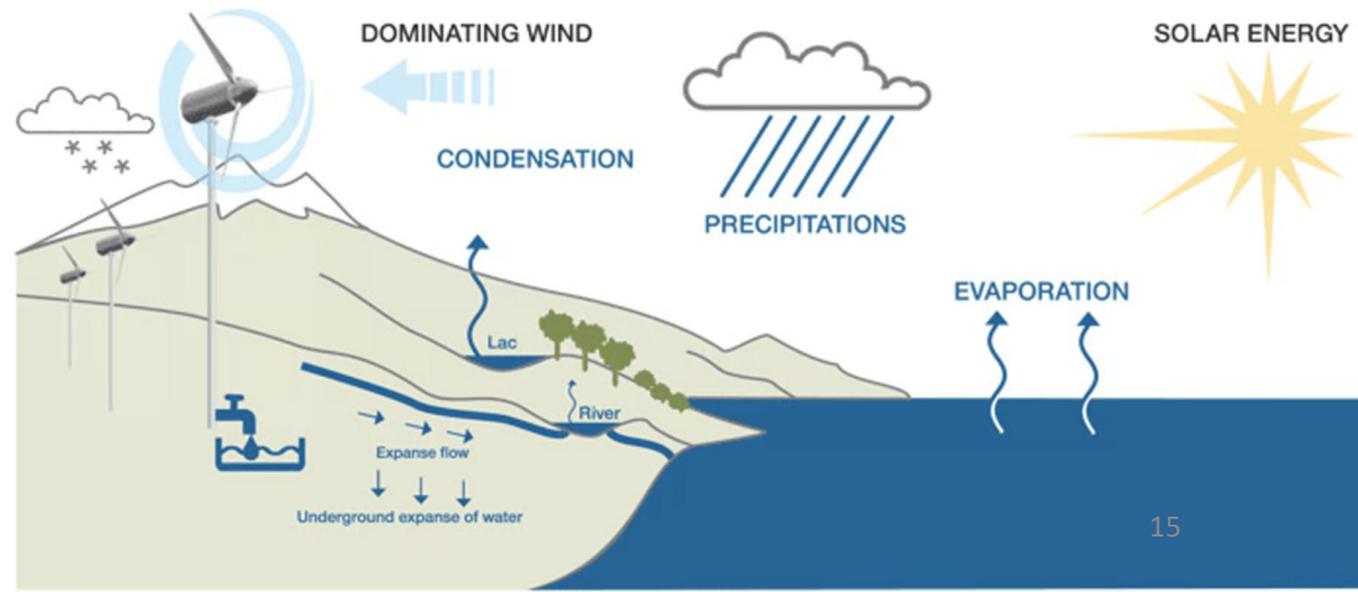
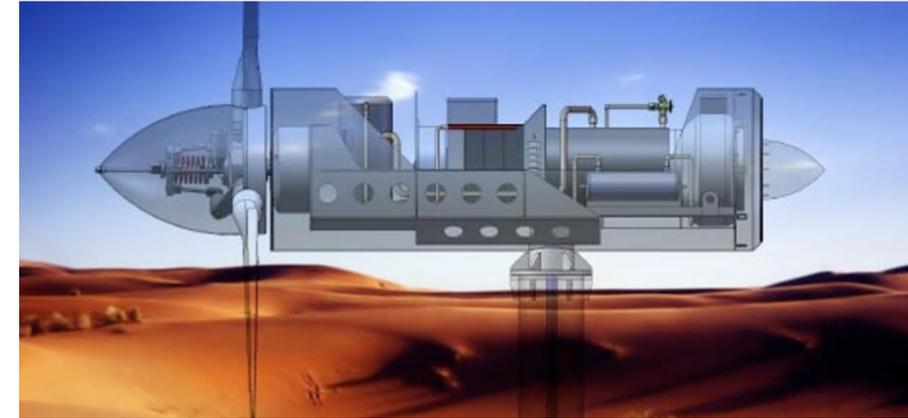
Eolienne et production de l'eau

Un nouveau type d'éolienne récupère non seulement l'électricité du vent, mais aussi l'eau propre de l'air, en condensant l'humidité .

Un prototype d'éolienne récupérerait 65 litres d'eau par heure dans l'air du désert d'Abou Dhabi, selon l'entreprise qui l'a construit (L'entreprise française Eole Water).

L'air est aspiré par le nez de l'éolienne et envoyé à travers un compresseur puis un évaporateur qui extrait l'humidité de l'air par condensation .

Le prototype d'Abou Dhabi est déjà opérationnel.

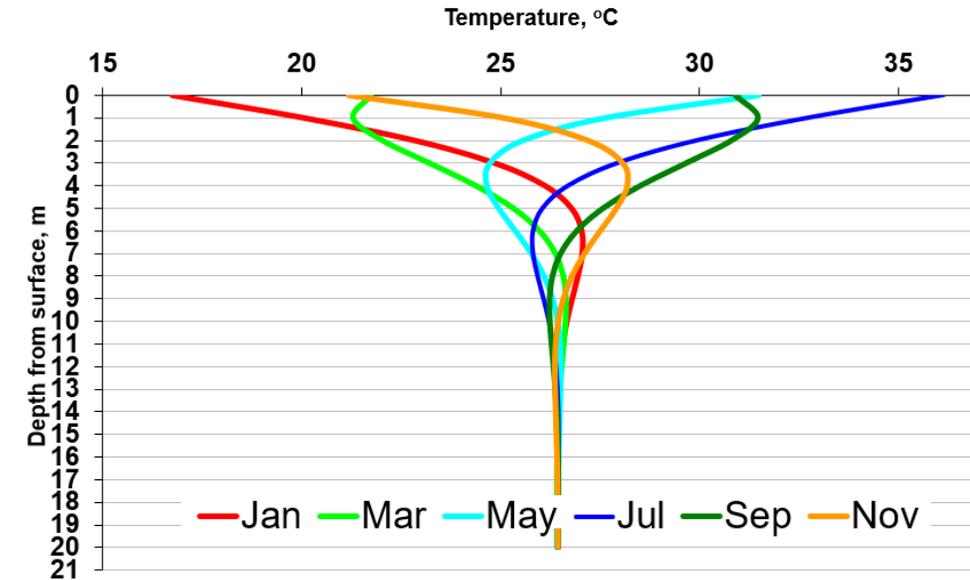
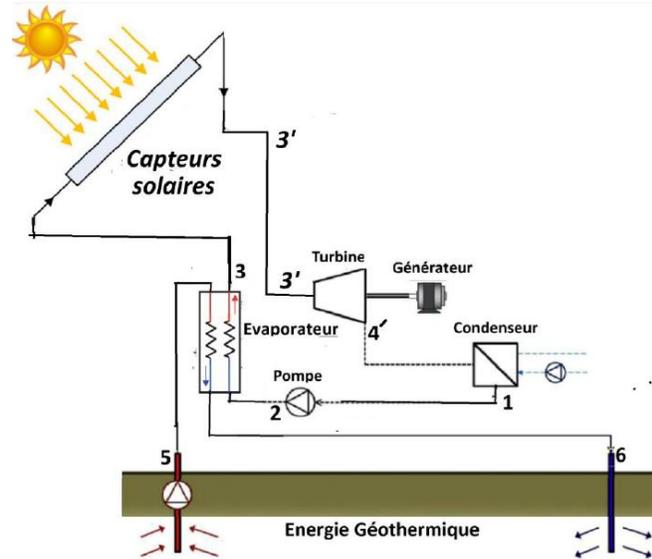
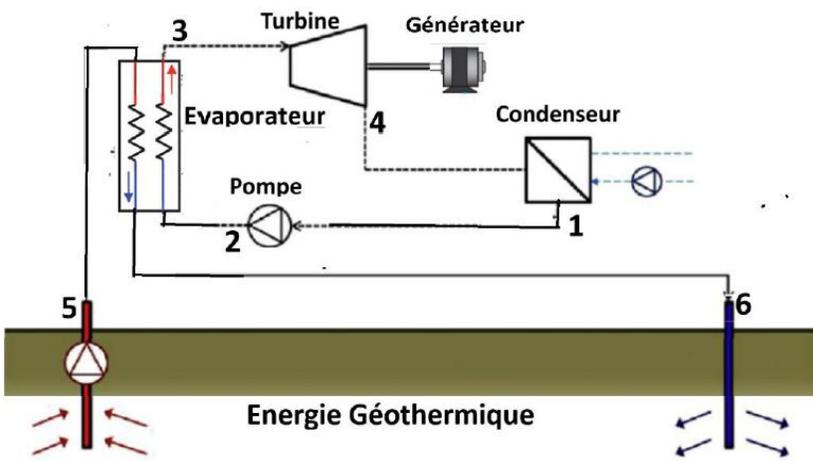
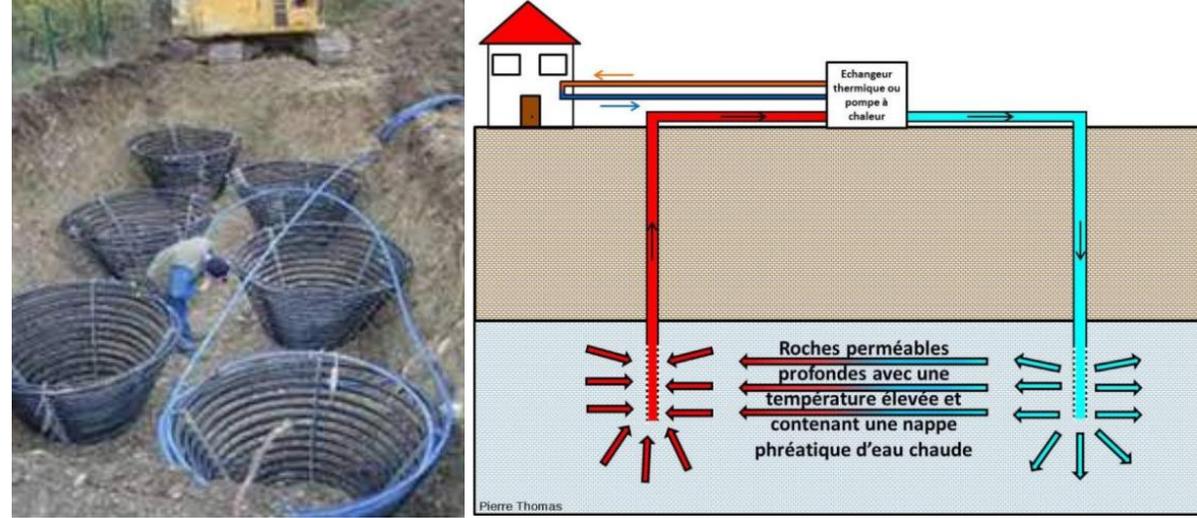


L'énergie géothermique

Consiste à exploiter l'énergie thermique dans les sols à :

Faible profondeur où la température est presque constante (chauffage et climatisation au moyen d'une pompe à chaleur)

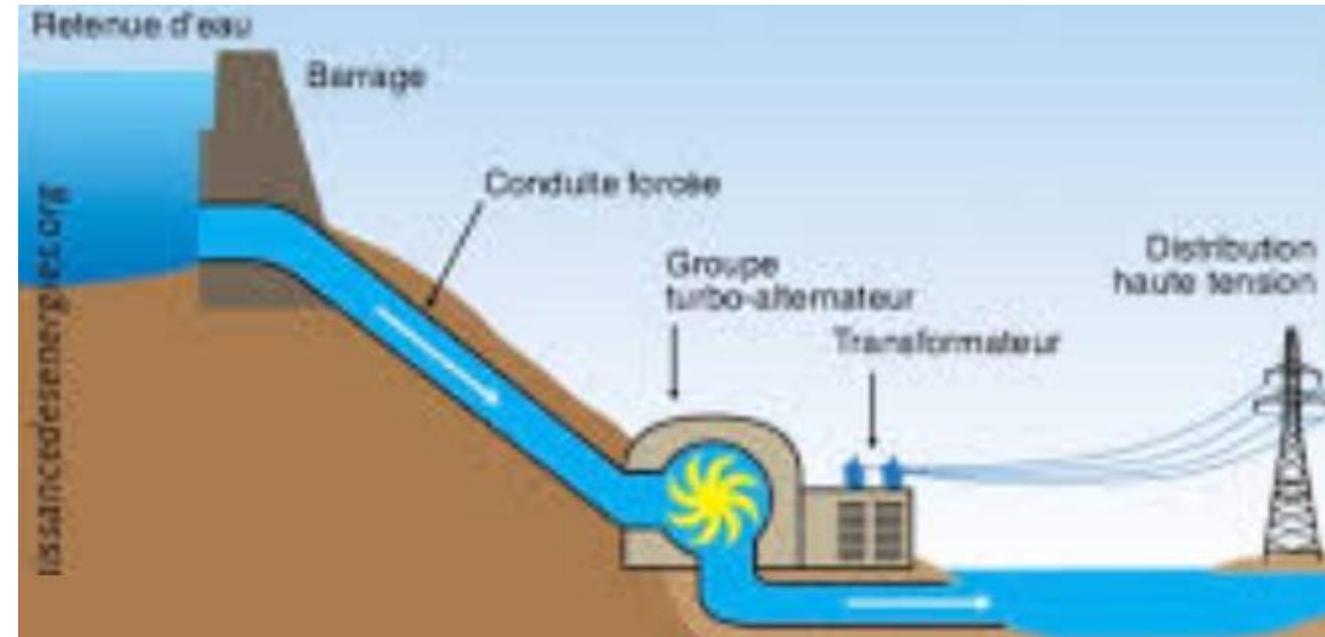
Très Profonde pour produire de l'électricité Cycle Organique de Rankine « réservoirs hydrothermaux »



Cycle Organique de Rankine /solaire hybride (Organic Rankine Cycle)

HYDROÉLECTRICITÉ

Pour l'hydroélectricité, l'énergie exploitée est celle de l'eau qui se déplace des hauteurs vers les basses altitudes...
Actuellement, l'hydroélectricité constitue **la plus grande source d'énergie renouvelable** dans le secteur de l'électricité.
La Chine est le leader mondial de la production hydroélectrique. Elle possède la plus grande capacité installée
Le Canada en 2021, plus de 60% de l'électricité produite provenait de l'hydroélectricité, faisant du pays le deuxième producteur mondial dans ce domaine, juste après la Chine.



ÉNERGIE MARINE

L'énergie marine est issue de technologies qui utilisent l'énergie cinétique et thermique de l'eau de mer (les vagues ou les courants sous marins) pour produire de l'électricité.

La mise au point des systèmes d'énergie marine n'en est encore qu'à ses débuts et un certain nombre de prototypes de dispositifs pour la houle et les courants de marée sont à l'étude.

Prototype : Proteus AR3000- Royaume-Uni.

Avec un rotor de 24 m de diamètre et une puissance nominale de 3 MW

La nouvelle turbine AR3000 de 3MW est la plus puissante et en exploitation commerciale au monde sur le marché hydrolien, à ce jour.



Biomasse : Biocombustibles et biocarburants

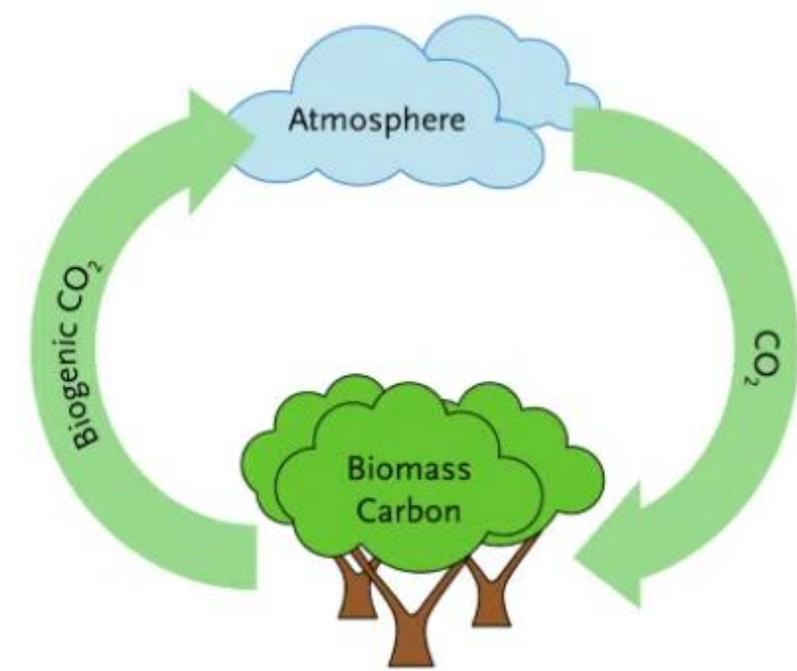
la biomasse, telles que le bois, le charbon de bois, les déjections animales pour la production de chaleur et d'électricité, et les cultures agricoles pour les biocarburants liquides.

La biomasse peut être utilisée énergétiquement sous deux formes :
soit sous forme de combustible, dans les chaudières ou équipements de même type,
soit sous forme de carburant, dans les moteurs.

Les combustibles dérivés
le méthane (le biogaz),
l'hydrogène (le bio-hydrogène),
le gaz naturel (le bio-SNG).

L'avantage de la biomasse :
le stockage, la plupart des énergies renouvelables ont tout le même défaut, celui de n'être pas stockables :

- . l'énergie solaire est nulle à certaines heures ou insuffisante pour des raisons météorologiques,
- . l'énergie éolienne l'est également pour des raisons météorologiques (vent trop faible ou trop fort).



La biomasse pour le chauffage :



Foyer ouverte



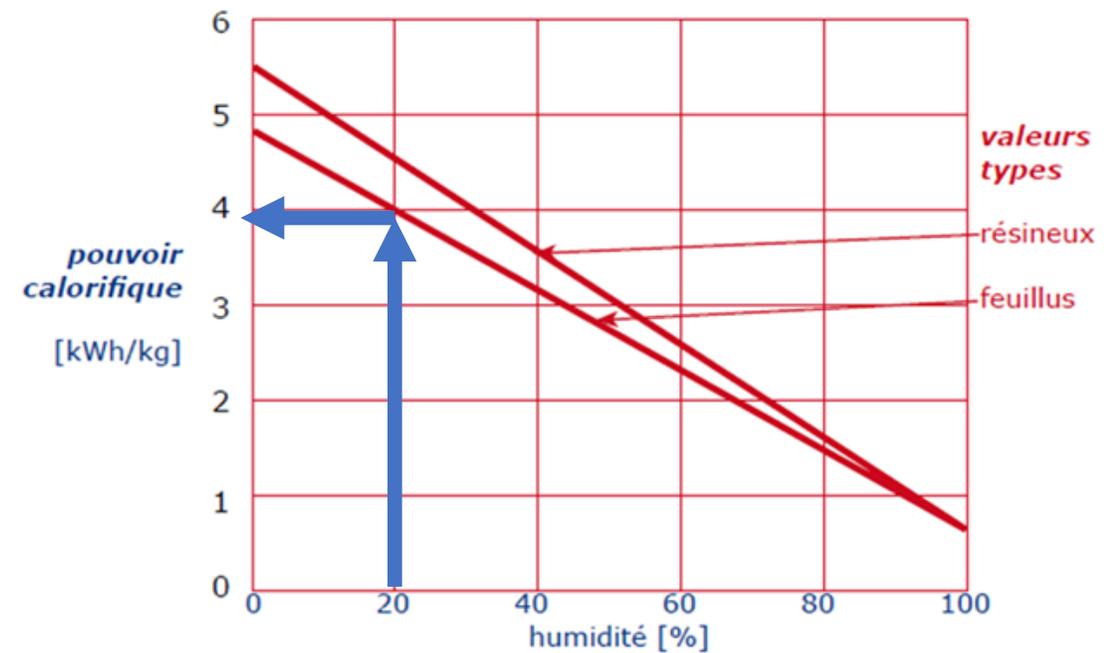
Foyer fermée



Les flammes que nous voyons dans une Foyer/cheminée sont le résultat de la pyrolyse du bois, Lorsque le bois sec (pouvoir calorifique élevé) est chauffé à des températures élevées, il commence à se décomposer en divers composés volatils, tels que le méthane (CH₄), le monoxyde de carbone (CO) et des hydrocarbures. Ces composés **particulièrement volatils** s'enflamment au contact de l'oxygène de l'air .

Foyer ouverte (rendement 15 %) ne permet pas d'atteindre des températures très élevées et par la suite moins de production de la pyrolyse

Foyer fermée (rendement 70-80 %), permet d'emprisonner la chaleur et d'atteindre des températures relativement élevées et par la suite la production de la pyrolyse (combustion complète, moins de de goudron, de suie)



Le biogaz

La dégradation par fermentation (en l'absence d'oxygène) de la biomasse et de ses déchets conduit à la production de biogaz, surtout constitué de méthane (CH_4).

De sorte qu'ici l'essentiel des procédés peut être classé dans le cadre de la méthanisation

L'ensemble des processus équivaut, pour l'essentiel, à une fabrication de méthane, aboutissant au mélange suivant dit «biogaz» :

55 à 65 % de méthane (CH_4),

35 à 45 % d'acide carbonique (H_2CO_3),

LA FABRICATION DU BIOGAZ

**MATIÈRES ORGANIQUES
EN FERMENTATION**

hydrolyse

ACIDES, SUCRES

bactéries

CH_3COOH (acide acétique), CO_2

bactéries

**BIOGAZ
($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{CO}_3$ pour l'essentiel)**

Combustibles Renouvelables :

Les procédés de Gazéification permettent la transformation de cette ressource (Biomasse) en un gaz de synthèse (CO, H₂, CH₄, CO₂) sous l'effet d'un apport de chaleur (pyrolyse) ou d'un agent oxydant (gazéification) constitué d'oxygène et de vapeur d'eau.

Production d'hydrogène :

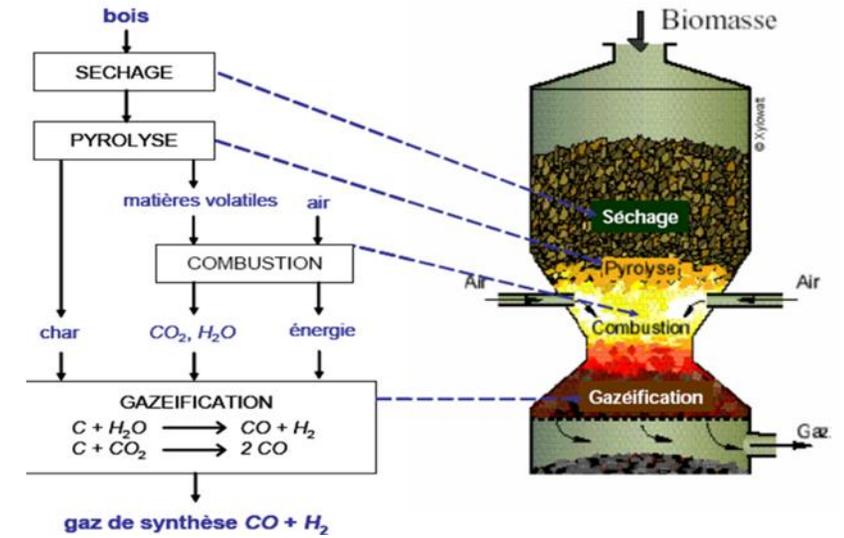
Nous appelons «**combustibles renouvelables**», ceux qui rejettent une quantité de carbone égale à celle qui a été puisée précédemment dans l'atmosphère.

Par exemple.

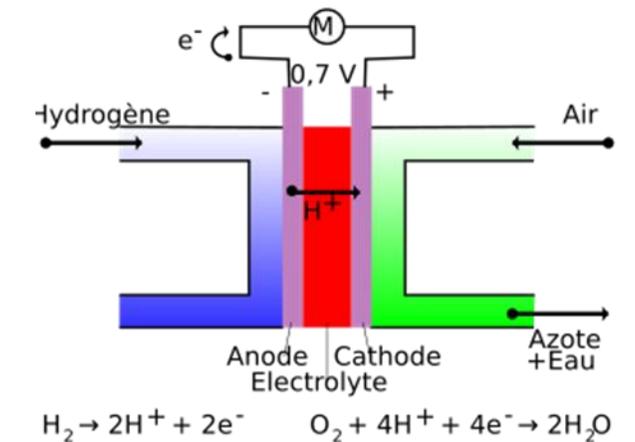
-Production de **l'hydrogène** par électrolyse de l'eau en utilisant l'énergie Eolienne ou photovoltaïque (pile à combustible utilisant l'hydrogène comme carburant pour produire de l'électricité)

-Production de **l'hydrogène** par Gazéification de la biomasse

-La méthanisation, ou fermentation de la biomasse, est un processus biologique qui produit du **biogaz**, un gaz renouvelable, à partir de matières organiques (biomasse)



La gazéification de biomasse



Pile à combustible

Lois et législation du secteur de l'électricité (Energie Renouvelables)

La loi 462 au Liban concerne la régulation du secteur de l'électricité et prévoit la création d'une autorité nationale de régulation de l'énergie.

Cette loi vise à ouvrir le secteur à la privatisation et à attirer les investissements étrangers, notamment pour le développement des énergies renouvelables.

-Création d'une Autorité de Régulation de l'Énergie (ARE) :

-Privatisation progressive :

-Développement des énergies renouvelables :

La loi n'a pas encore été mise en œuvre et attend le lancement de l'ERA, qui attend que les autorités nomment son conseil d'administration.

Engagement du Liban à accroître l'utilisation des technologies d'énergie renouvelable en fixant un objectif visant à couvrir 30 % de la consommation totale d'énergie primaire (électricité et chauffage) à partir d'énergies renouvelables d'ici 2030

Le boom incontrôlé de l'énergie Solaire au Liban:

Au Liban, la capacité photovoltaïque installée a connu une augmentation significative, passant d'environ 100 MW en 2020 à plus de 1000 MW en 2024.

Cette croissance est principalement due à l'installation de systèmes solaires sur les toits des maisons et des bâtiments, en réponse à la crise énergétique et à la défaillance d'Électricité du Liban (EDL).

En 2024, les importations de panneaux solaires ont chuté de 82% par rapport à 2022, selon LCEC. (The Lebanese Center for Energy Conservation)

L'efficacité et la fiabilité des systèmes solaires est parfois mise en cause par :

Manque de qualifications nécessaires pour l'installation

Risques d'incendie

Stabilité et fixation face au vent



Problèmes de Recyclage des panneaux photovoltaïques et batteries des systèmes solaire au Liban .

En général la durée de vie est 5 à 8 ans pour les batteries , et de 10 à 15 ans pour les panneaux photovoltaïques) ce qui pose des problèmes majeurs dans les années à venir pour le recyclage de ces matériaux

En fait, les panneaux solaires et leurs batteries contiennent des matières toxiques et des métaux lourds. S'ils ne sont pas éliminés correctement, ces matériaux pourraient présenter des dommages importants pour l'écologie du Liban, y compris ses eaux souterraines et ses sols.

Un calcul basé sur les données d'une enquête de 2023 estime qu'environ 500 000 batteries devraient être recyclées dans les années à venir,

Au Liban, le recyclage des batteries photovoltaïques est un défi majeur en raison du manque de filière de récupération et de traitement adéquate.



Meteonorm

Est un logiciel pour le calcul des données météorologiques typiques pour la plupart des sites dans le monde

Il permet de donner des fichiers climatiques pour les logiciels de simulation énergétique des bâtiments et aussi des logiciels de calcul photovoltaïque



Building simulation

- TRNSYS
- CH Meteo
- HELIOS-PC
- DOE
- Suncode
- Match
- sia 380/1
- LESOSAI
- EnergyPlus (.epw)
- DYNBIL
- PHLuft
- IDA ICE
- IBK-CCM
- VIP-Energy

PV

- Polysun
- PVSOL
- PVSyst
- PVS
- Meteo matrix (TISO)
- PVScout
- Solinvest
- SAM

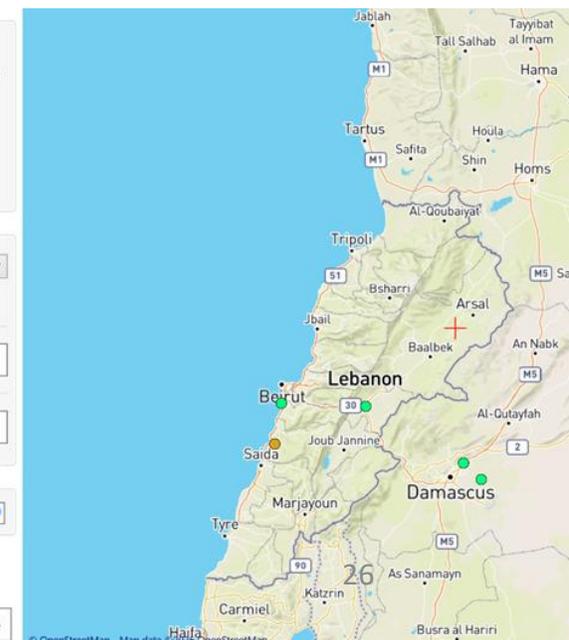
Location types

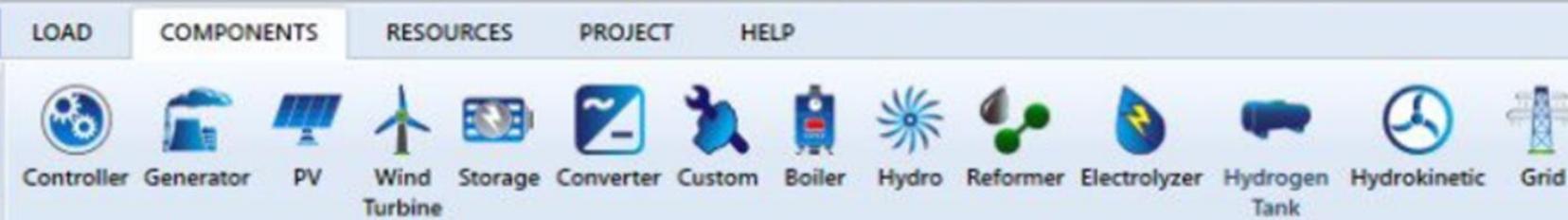
- Weatherstations
- Weatherstations w/o global radiation
- Design Reference Year locations
- Cities
- User defined locations
- Batch mode locations

Zoom to region

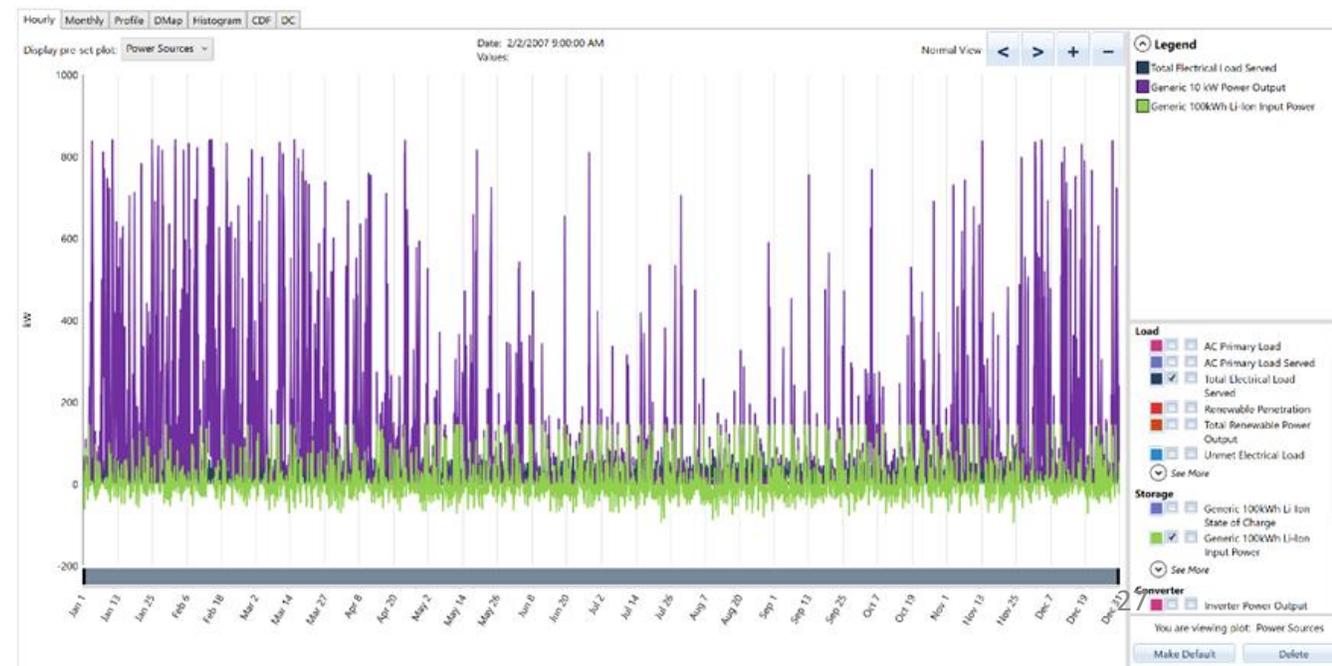
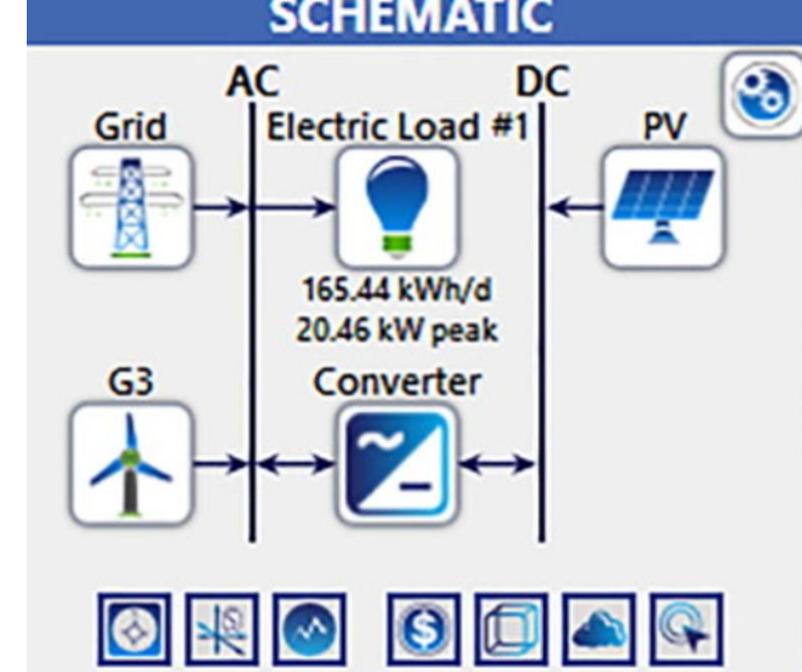
34.125 °N Lat 36.337 °E Lon

Address search





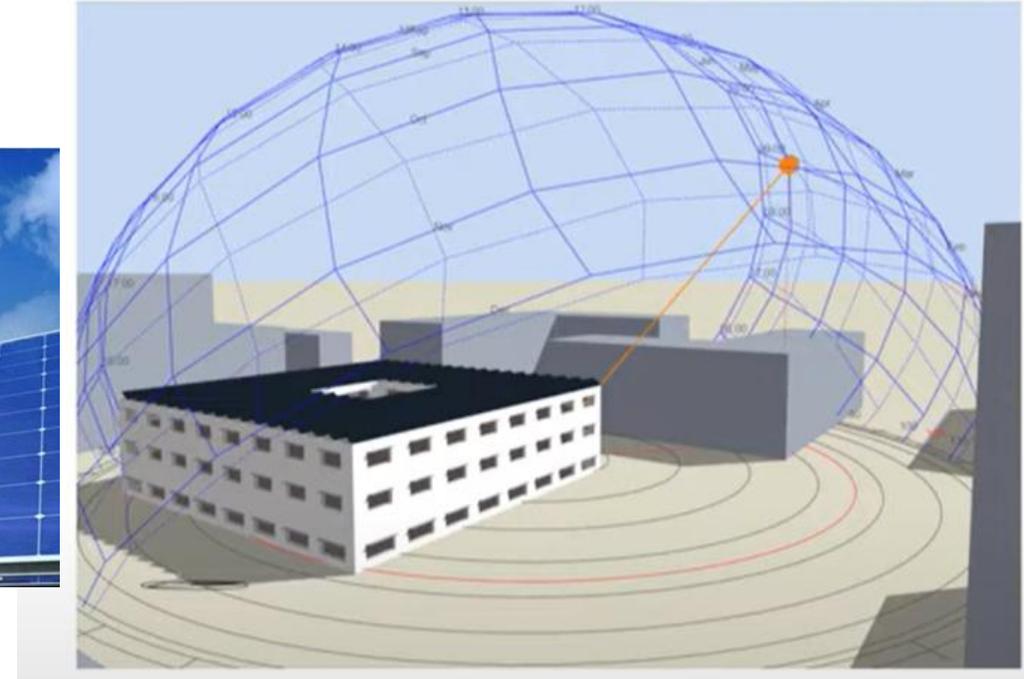
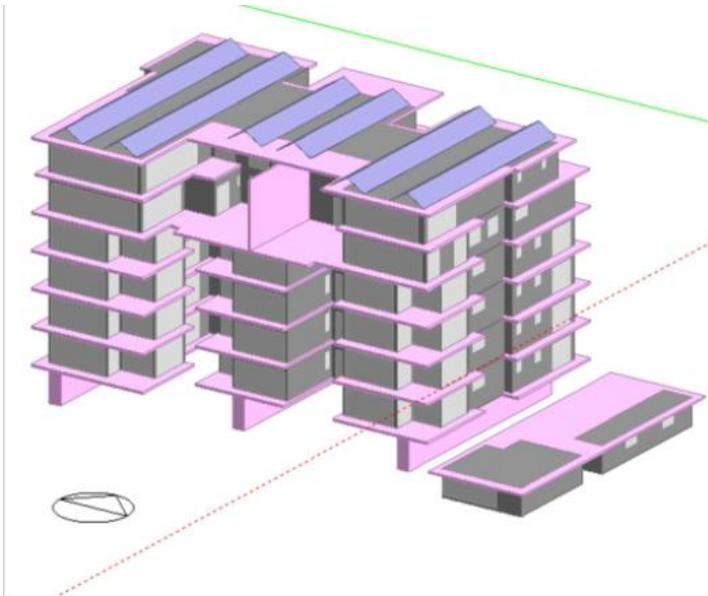
Logiciel :
 HOMER- Pro pour la conception des systèmes énergétiques combinant les énergies conventionnelles et Energies renouvelables, stockage d'Energie et Gestion énergétique
 Et ceci Grâce à des simulations de faisabilité technique et économique en une seule fois, HOMER Pro permet de la prise de décision lors la conception des projets énergétiques (efficacité , encombrement et coût)



DesignBuilder est un logiciel de simulation utilisé pour l'analyse de l'efficacité énergétique des bâtiments, notamment la consommation d'énergie, les émissions de carbone, l'éclairage et le confort thermique.



DesignBuilder s'appuie sur le moteur de calcul de EnergyPlus



DesignBuilder prend en charge plusieurs types de générateurs d'électricité sur place, notamment

Systemes photovoltaïques (PV)

Panneaux solaires (eau chaude domestique)

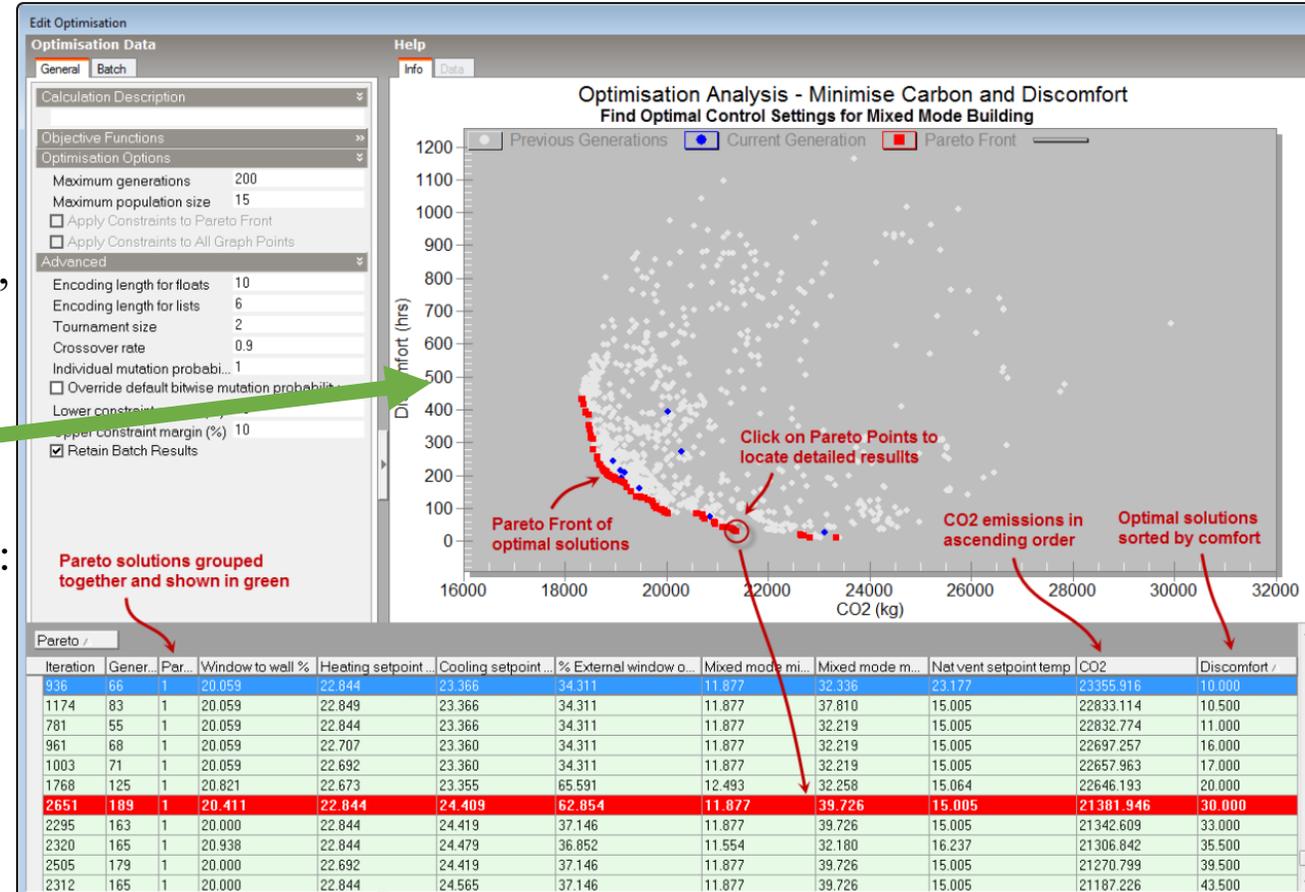
Systemes photovoltaïques Éoliennes

Générateurs à moteur à combustion interne

Générateurs à micro turbine

DesignBuilder permet de faire la modélisation énergétique d'une zone urbaine complexe et de faire une optimisation en fonction de la consommation énergétique, coût, confort, orientation des bâtiments, surfaces des panneaux photovoltaïques, system solaire eau chaude sanitaire, éolienne, énergie géothermiques, système de refroidissement solaire (machine à absorption), émission CO2 ... et ceci pour plusieurs variables et contraintes

Optimisation : Reposant sur le principe de la théorie de Darwin : les individus présentant des variations **avantageuses** dans un environnement donné ont plus de chances de **survivre**



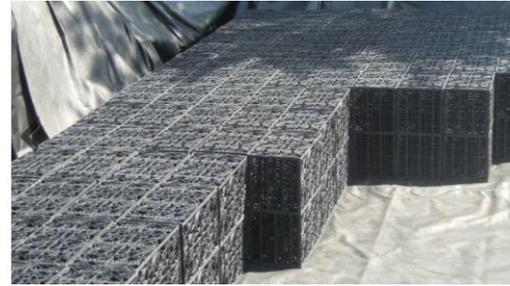
Proposition des sujets de recherches typiques dans le domaine des énergies renouvelables et optimisation énergétiques pour les élèves du CNAM

1- Recharge et collection d'eau de pluies afin de recharger la nappe phréatique souterraine, en creusant des puits dans les zones d'altitudes supérieures de 500 mètres

2 Collection des eaux de pluies, en utilisant des Citernes modulaires souterraines en plastiques, pour le besoin d'irrigation

3 Collecte des données sur les déchets de panneaux photovoltaïques et Batteries acide ou Lithium, et proposition des solutions de recyclages durables

4 Optimisation des systèmes des Soubia pour le chauffage individuel utilisant le bois ou le Mazout comme combustibles pour les endroits au dessus de 500 m d'altitude



Merci pour votre présence