

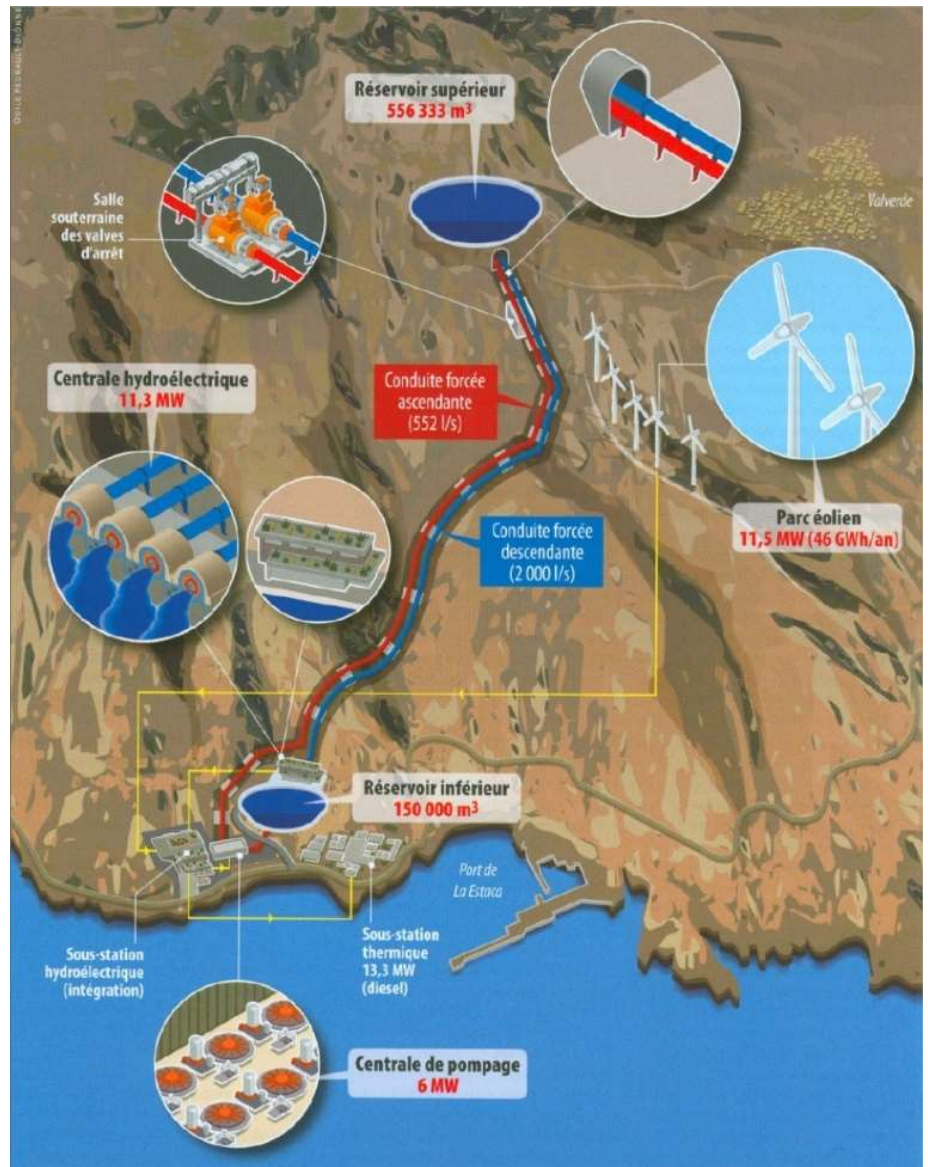
Problématique : El Hierro : un modèle énergétique ?

1. L'île El Hierro

El Hierro est une petite île de l'Atlantique au large de l'Afrique, dans l'archipel des Canaries. Cette île présente une combinaison unique d'éolien et d'hydraulique qui lui permet de tendre vers une totale autonomie énergétique.

Selon un schéma unique au monde, la centrale "Gorona del Viento" associe cinq éoliennes et deux bassins, l'un à 700 mètres au-dessus du niveau de la mer, l'autre 650 mètres plus bas. Le parc éolien, d'une puissance de 11,5 mégawatts, couvre amplement la demande des usines de dessalement d'eau de mer et des quelque 10 000 habitants de cette île d'origine volcanique, d'une surface de 278 km².

L'excès d'électricité sert à propulser l'eau de mer adoucie du bassin inférieur vers le supérieur. Et, quand le vent tombe, l'énergie hydraulique prend le relais, en relâchant l'eau du haut vers le bas, offrant une puissance de 11,3 mégawatts.



La station de transfert d'énergie par pompage (STEP) se compose d'un premier bassin inférieur de 150 000 m³, d'un bassin supérieur d'une capacité maximale de 556 000 m³ situé en hauteur, dans le cratère d'un volcan, d'une station de pompage de 6 MW et d'une station de turbinage (composée de quatre groupes Pelton) de 11,5 MW. Une centrale de pompage remonte l'eau en utilisant l'excès de production des éoliennes par rapport à la consommation réseau. L'ensemble permet de fournir deux jours d'autonomie complète sans aucun vent. L'usine thermoélectrique (centrale au diesel) est maintenue afin de faire face à un problème éventuel dans l'installation ou à une période prolongée sans vent.

2. Les STEP, stockage d'énergie par pompage turbinage

La technique de pompage-turbinage est une technologie éprouvée connue depuis la fin du XIX^e siècle. Utilisée à travers le monde, elle permet de stocker de grande quantité d'énergie électrique par l'intermédiaire de l'énergie potentielle de l'eau.

Utilisant cette technique, les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) permettent d'éviter le gaspillage d'énergie pendant les heures creuses (nuit, week-end) et de pallier à l'intermittence de la production électrique du secteur éolien et solaire.

Une centrale hydroélectrique réversible (pompage ou turbinage) est utilisée pour transférer l'eau entre deux bassins situés à des altitudes différentes.

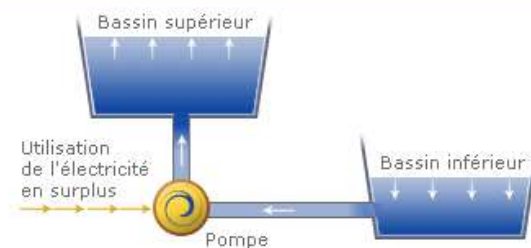
Lorsque le réseau fournit un surplus d'électricité (heures creuses ou pic de production) l'eau du bassin inférieur est pompée dans le bassin supérieur.

Sous l'effet de la pesanteur, cette masse d'eau représente une future capacité de production électrique.

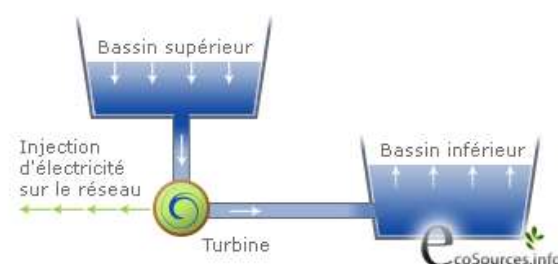
Lorsque le réseau connaît un déficit de production électrique, la circulation de l'eau est inversée. La pompe devient alors turbine et restitue l'énergie accumulée précédemment.

L'opération engendre au total entre 15% à 30% de perte, mais permet de stocker de l'énergie inutilisée.

Phase de pompage - Stockage de l'énergie



Phase de turbinage - Restitution de l'énergie



3. Caractéristique des éoliennes du parc éolien

3.1. Éolienne de type Enercon E-70 de 2,3 MW

- Nom de l'aérogénérateur : E70/2300
 - Puissance nominale : 2300 kW
 - Classe de vent : IEC NVN ½
- Données générales
 - Densité de puissance : 0,5809 kW/m²
 - Nombre de pales : 3
 - Diamètre de rotor : 71 m
- Génératrice
 - Type : SYNC-RT
 - Nombre : 1
 - Vitesse maximale : 21.5 tours/minute
 - Tension de sortie : 400 V
 - Fabricant : Enercon



- Rotor
 - Vitesse minimale de rotation : 6 tours/minute
 - Vitesse maximale de rotation : 21.5 tours/minute
 - Vitesse minimale de vent : 2 m/s
 - Vitesse nominale de vent : 15 m/s
 - Vitesse maximale de vent : 34 m/s
 - Fabricant : Enercon
- Mat
 - Hauteur minimale : 57 m
 - Hauteur maximale : 98 m
 - Fabricant : SAM

4. Rappel

4.1. Énergie potentiel et puissance due à la hauteur d'un fluide

$$E_p = m \times g \times h$$

$$P = \rho \times g \times h \times Q$$

E_p : énergie potentielle en joules (J)

P : puissance en watt (W)

m : masse du fluide en kilo (kg)

g : accélération de la pesanteur en mètre par seconde au carré ($m \cdot s^{-2}$)

h : hauteur de la colonne de fluide en mètre (m)

ρ : masse volumique du fluide en kilo par mètre cube ($kg \cdot m^{-3}$)

Q : débit volumique du fluide en mètre cube par seconde ($m^3 \cdot s^{-1}$)



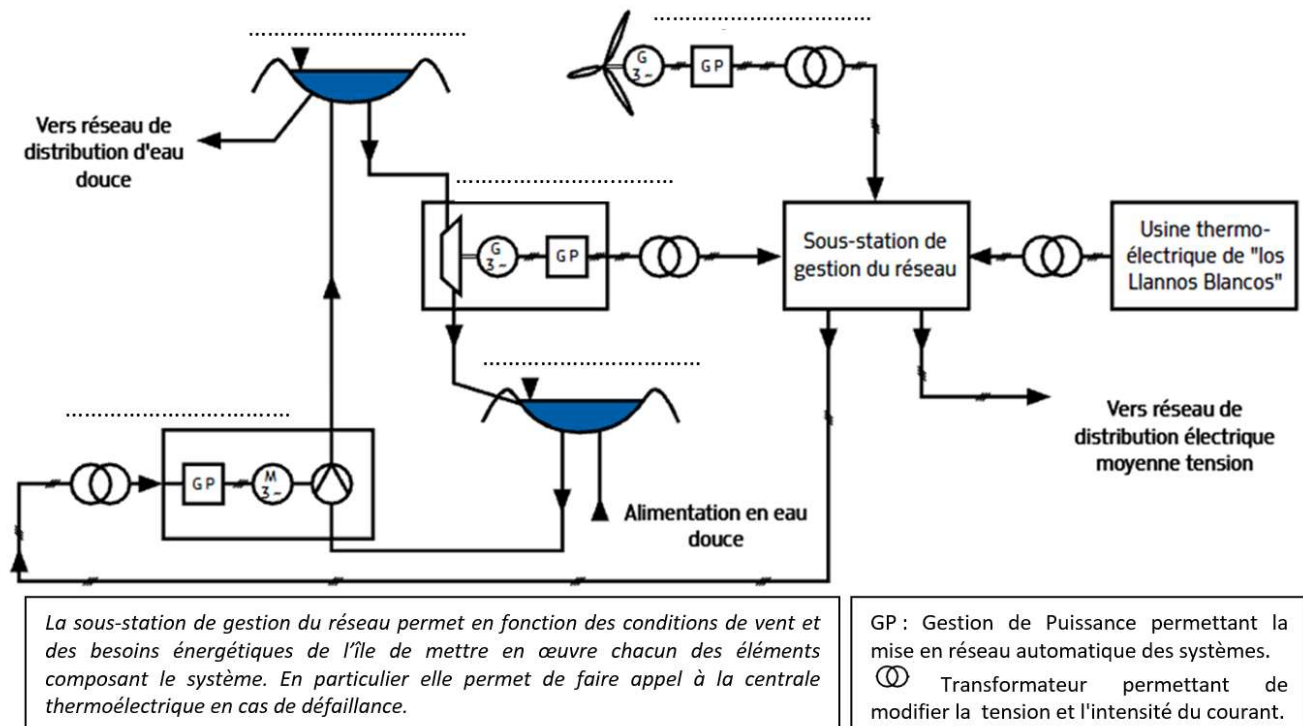
5. Questions

5.1. Schéma de principe

✍ Compléter le schéma de principe ci-dessous en utilisant les termes du descriptif de l'île El Hierro :

✍ Sur le schéma ci-dessous, repasser :

- En bleu le circuit de l'eau ;
- En rouge le circuit de l'électricité.



5.2. La production d'énergie

✍ D'après le descriptif du fonctionnement de la production d'énergie sur l'île El Hierro, donner pour chaque situations climatiques le mode de production d'énergie.

- Vent :
- Pas de vent ponctuellement :
- Pas de vent prolongé :

5.3. STEP

✍ Dans le cas de l'île El Hierro, quel est le rôle du STEP ?

✍ À quel moment fonctionne le pompage ?

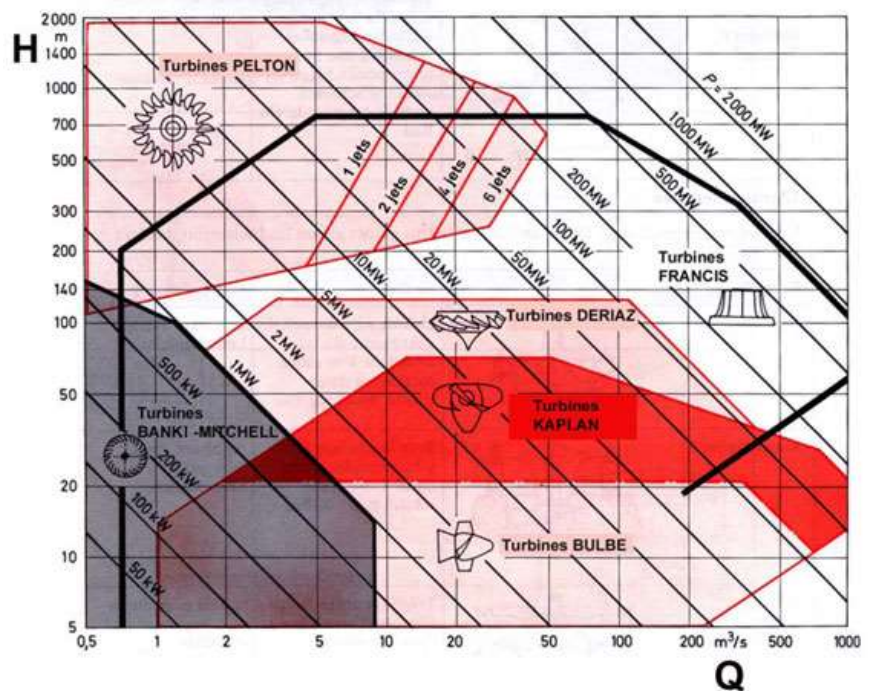
✍ À quel moment fonctionne le turbinage ?

5.4. Le turbinage

À partir du descriptif de l'île El Hierro et de sa figure :

- Relever le débit Q lors du turbinage, l'exprimer en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
 - $Q =$
 - $Q =$
- Relever la différence de hauteur H entre les deux bassins.
 - $H =$

À partir des éléments précédents relevés, justifier le choix de turbines de type Pelton.



Calculer l'énergie potentielle stockée dans le bassin supérieur (voir le rappel sur l'énergie et puissance due à la hauteur d'un fluide).

Pour rappel, pour l'eau : $1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ kg}$

Calculer la puissance disponible en entrée des turbines (voir le rappel sur l'énergie et puissance due à la hauteur d'un fluide).

Pour rappel, la masse volumique de l'eau : $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

À partir des résultats ci-dessus, calculer le temps de fonctionnement maximum de la station de turbinage.

Ce temps est-il adéquat avec le nombre de jours d'autonomie souhaité sans vent ?

✍ À partir de la puissance disponible disponibles en entrée des turbines et de la puissance de la station de turbinage (puissance en sortie des turbines à relever dans le descriptif de l'île El Hierro), calculer le rendement η de la station de turbinage.

✍ À partir du rendement et de l'énergie potentiel (énergie en entrée de la centrale), calculés précédemment, calculer l'énergie électrique (en sortie de la centrale) que peut fournir la centrale.

5.5. Les éoliennes

✍ Quelle est la puissance nominale P du parc éolien ?

✍ Quelle quantité d'énergie électrique E_{EL} est sensé fournir le parc éolien pendant une année ?

Le facteur de charge (ou facteur de capacité) du parc Eolien est défini par le rapport entre l'énergie électrique produite sur une année et l'énergie maximum que pourrait produire le parc éolien s'il fonctionnait en permanence (24h sur 24) et dans les conditions nominales.

✍ Calculer le facteur de charge du parc Eolien.

✍ À partir de la caractéristique des éoliennes du parc éolien, utiliser la densité de puissance en kW/m^2 pour calculer la puissance électrique $P_{\text{électrique}}$ fournie par l'éolienne afin de vérifier les 2,3 MW annoncée par le constructeur.
(Rappel : la surface d'un disque est $S = \pi R^2$)

5.6. Synthèse

✍ À partir des calculs ci-dessus, d'après vous, l'île El Hierro est-elle un modèle énergétique ?