



## 16 EXERCICE D'ÉNERGIE OcéANIQUE

### Exercice 16.1 : Les hydroliennes de la baie de Fundy

La baie de Fundy est célèbre pour ses marées les plus hautes du monde, qui pourraient s'avérer être une source d'énergie renouvelable importante. La première phase du projet d'énergie marémotrice dans cette baie est organisée par l'entreprise Sustainable Marine Energy et débutera en 2021. L'entreprise commence avec l'installation d'une plateforme nommée PLAT-I d'une puissance nominale de 420 kW assemblée à Meteghan, en Nouvelle-Écosse au Canada. La plate-forme comporte 6 hydroliennes, avec un rayon d'hélice de 1,5m. La masse volumique de l'eau est de  $999,75 \text{ kg/m}^3$ . Le projet souhaite fournir en électricité 3000 foyers canadiens, soit une puissance moyenne totale sur une année de 9MW.

### QUESTIONS

**Question 1 :** Quelle doit être la vitesse de l'eau dans les hydroliennes afin d'atteindre la puissance nominale de la plateforme (en m/s, une décimale)? On suppose que les rendements de conversion mécanique et électrique sont de 100%, que  $C_d$  correspond à  $C_d \text{ max}$  (Betz) et qu'il n'y a pas d'autres pertes. De plus, chaque hydrolienne fournit la même puissance à la plateforme donc l'hypothèse est formulée que la vitesse d'écoulement d'eau est la même pour chaque hydrolienne à chaque endroit sur la plateforme.

**Question 2 :** Combien consomme en énergie électrique un foyer de la Nouvelle-Écosse par année (en kWh, arrondi à la dizaine de kWh près, exemple 32 450 kWh)? On suppose que les foyers « appellent » en moyenne la puissance spécifiée plus haut.

**Question 3 :** Admettant que les hydroliennes fonctionnent avec un facteur d'utilisation de 54% à leur puissance nominale, combien de plates-formes doivent être installées pour réaliser les objectifs d'approvisionnement des 3000 foyers (arrondi à l'entier supérieur) ?

Préalablement à la mise en place du projet, l'électricité consommée par ces foyers était produite par une centrale à gaz qui émet  $418 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$ . On formule l'hypothèse que les hydroliennes émettent  $8 \text{ gCO}_2\text{eq}/\text{kWh}$   
(Source : <https://www.equiterre.org/fiche/mythe-3-produire-des-energies-renouvelables-creer-beaucoup-de-ges-0#:~:text=On%20consid%C3%A8re%20qu'une%20de%20CO2%20eq%2FkWh> )

**Question 4 :** Admettant une consommation d'énergie de 80 millions de kWh par an, combien d'émissions seraient évitées sur une année grâce à l'installation océanique dans la baie Fundy (en tonnes de  $\text{CO}_2$ , à la centaine près) ?

**Question 5 :** Suite à la mise en place de mesures d'efficacité et de sobriété énergétique, les foyers consommeraient dorénavant seulement 7000 kWh par année (chauffage compris), combien de plates-formes devraient alors être installées pour alimenter le même nombre de foyers sobres et efficaces ? (Arrondi à l'entier supérieur). Considérez un FU de 54%.

## RÉPONSES

**Question 1 :** Quelle doit être la vitesse de l'eau dans les hydroliennes afin d'atteindre la puissance nominale de la plateforme (en m/s, une décimale)? On suppose que les rendements de conversion mécanique et électrique sont de 100% et que  $C_d$  correspond à  $C_d$  max (Betz).

Comme une hydrolienne est similaire à une éolienne, il est possible d'appliquer des raisonnements assez similaires pour résoudre le problème. Ainsi la puissance cinématique de l'hydrolienne se calcule tel que :

$$P_{cin} = 0.5 * \rho * V^3 * A_{rot}$$

Avec :

- La masse volumique de l'eau,  $\rho$ , qui vaut 999,75 kg/m<sup>3</sup> ;
- L'aire du cercle que réalise les pales de l'hydrolienne,  $A_{rot} = \pi * r^2$  et  $r=1,5m$  ici ;
- La vitesse d'écoulement de l'eau autour des pales,  $V$ , en m/s.

Dans ce problème la variable  $V$  représente alors l'inconnue qu'il faut calculer.

De plus la limite de Betz, de 16/27, s'applique pour les hydroliennes aussi. Ainsi, en négligeant la considération de rendements mécanique et électrique, de même que tout autre type de pertes, la puissance d'une hydrolienne se trouve par cette formule :

$$P_{hydrolienne} = P_{cin} * (16/27)$$

On sait aussi que la puissance nominale totale d'une plateforme comportant 6 hydroliennes est de 420kW; ainsi la puissance nominale d'une hydrolienne (en supposant que chaque hydrolienne fournisse la même puissance à la plateforme donc que la vitesse d'écoulement d'eau est la même pour chaque hydrolienne à chaque endroit sur la plateforme) est de  $420/6 = 70$  kW.

Ainsi il suffit ensuite de résoudre l'équation suivante :  $70\ 000 = P_{cin} * (16/27)$  ce qui donne la formule suivante :

$$V = \left( \frac{70000 * \left(\frac{27}{16}\right)}{0.5 * \rho * A_{rot}} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,2 \frac{m}{s}$$

Notez que l'on emploie la puissance en W et non en kW pour éviter que les unités ne balancent pas.

Les vitesses d'écoulement de l'eau autour d'une hydrolienne sont moins importantes que l'air autour d'une éolienne mais cette réduction est compensée par une masse volumique plus importante pour l'eau que pour l'air ce qui permet de produire quand même une quantité d'énergie intéressante.

**Question 2 :** Combien consomme en énergie électrique un foyer de la Nouvelle-Écosse par année (en kWh, arrondi à la dizaine de kWh près, exemple 32 450 kWh)? On suppose que les foyers « appellent » en moyenne la puissance spécifiée plus haut.

On sait que la puissance totale moyenne appelée de l'installation est de 9MW (Ptot) afin de subvenir à 3000 foyers canadiens. Ainsi, en moyenne, un foyer consomme en énergie électrique :

$$C_{\text{foyer}} = ((P_{\text{tot}} * 1000) / (\text{Nbfoyers})) * 24 \text{h/j} * 365 \text{j/an} = 26\,280 \text{ kWh/an}$$

**Question 3 :** Admettant que les hydroliennes fonctionnent avec un facteur d'utilisation de 54% à leur puissance nominale, combien de plates-formes doivent être installées pour réaliser les objectifs d'approvisionnement des 3000 foyers (arrondi à l'entier supérieur) ?

On sait que la puissance totale de l'installation est de 9 MW (Ptot) et que la puissance d'une plateforme est de 420 kW (Pplateforme) ainsi le nombre théorique de plateformes nécessaires se calcule avec la formule suivante :

$$N_{\text{plateforme}} = (P_{\text{tot}} * 1000) / P_{\text{plateforme}} = 22 \text{ plates- formes.}$$

Toutefois, le facteur d'utilisation est de 54% donc :

$$N_{\text{plateforme}} = (P_{\text{tot}} * 1000) / P_{\text{plateforme}} / \text{FU} = 40 \text{ plates- formes.}$$

**Question 4 :** Admettant une consommation d'énergie de 80 millions de kWh par an, combien d'émissions seraient évitées sur une année grâce à l'installation océanique dans la baie Fundy (en tonnes de CO<sub>2</sub>, à la centaine près) ?

On sait que la baie de Fundy était anciennement alimentée par des centrales au gaz rejetant 418 gCO<sub>2</sub>/kWh (émis) environ. Pour estimer la différence, il faut soustraire la part d'émissions de GES des hydroliennes qui est de 8 gCO<sub>2</sub>eq/kWh. De plus, on suppose une consommation totale des 3000 foyers de 80GWh chaque année (plutôt que 9MW\*24\*365/1000 ou 78,840GWh). Ainsi, les émissions évitées par année sont de :

$$\text{emi\_evite} = [\text{emi\_gaz} - \text{emi\_hydro}] * 80 \text{GWh} * 10^6 \text{ kWh/GWh} * 1 \text{ tonne}/10^6 \text{g} = 32\,800 \text{ tonnes de CO}_2 \text{ par an.}$$

Ici on ne considère aucun rendement, i.e. les émissions causées par le gaz incluent le rendement de combustion. Les émissions des hydroliennes viennent de tierces sources (le transport pour installation et entretien sur la durée de vie des équipements).

Notez que l'effet des unités converties de g à tonne et de kWh à GWh s'annule. Dans ce cas. Il est possible de négliger explicitement inclure les unités dans le raisonnement mais c'est un hasard. Il est fortement recommandé d'employer explicitement les unités dans une solution.

**Question 5 :** Suite à la mise en place de mesures d'efficacité et de sobriété énergétique, les foyers consommeraient dorénavant seulement 7000 kWh par année (chauffage compris), combien de plates-formes devraient alors être installées pour alimenter le même nombre de foyers sobres et efficaces ? (Arrondi à l'entier supérieur). Considérez un FU de 54%.

Ici, un foyer sobre et efficace est supposé consommer par année 7 000 kWh (C<sub>foyerMES</sub>) d'énergie électrique. Il s'agirait d'une très nette amélioration de plus de 80% ! Ainsi, pour subvenir aux besoins de 3000 foyers avec une consommation similaire, il faudrait théoriquement :

$$N_{pfMES} = (C_{foyerMES} [kWh/an] * N_{brefoyers}) / (P_{plateforme} [kW/pf] * 24 [h/j] * 365 [j/an])$$

= 6 plates-formes (5,7).

Cependant, l'installation ne fonctionne que 54% du temps sur une année.

$$N_{pfMES} = (C_{foyerMES} [kWh/an] * N_{brefoyers}) / (P_{plateforme} [kW/pf] * 24 [h/j] * 365 [j/an]) / FU$$

= 11 plates-formes (10,57).

Ce simple calcul comparatif permet de constater que des mesures de sobriété combinées avec des mesures d'efficacité permettraient de réduire drastiquement le besoin en nombre de plateformes donc en énergie. La pression sur les ressources nécessaires en serait alors moins grande, sur toute la durée d'exploitation des résidences et des systèmes de production.

Mais, est-il raisonnable de penser qu'il serait possible de réduire par près de 4 la consommation des résidences ?

La réponse courte est oui.

La norme PASSIV HAUS limite, si l'on désire la certification, à 15kWh/m<sup>2</sup> par an le chauffage ce qui correspond à 85% de moins qu'une maison Novoclimat qui est déjà une certification Québécoise. Au global, une Passivhaus ne doit pas consommer plus de 120kWh/m<sup>2</sup>/an en énergie primaire.

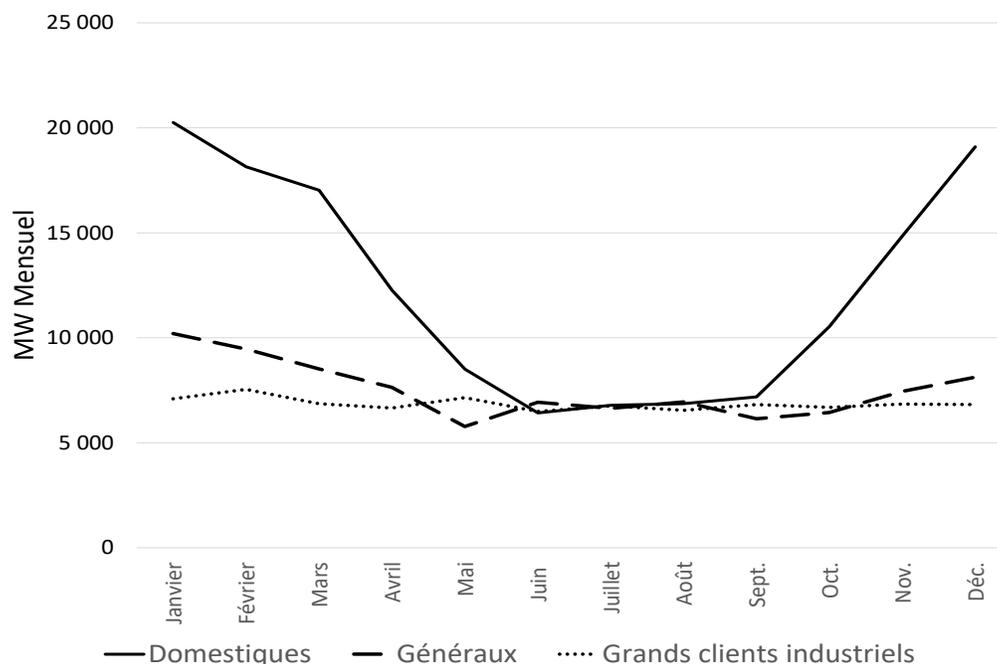
Donc, une petite maison (ou un appartement) de 60m<sup>2</sup> devrait théoriquement y arriver. On parle d'un petit appartement et alors le chauffage (15/120) ne représenterait que 12,5% de la facture d'énergie et non plus de 50% voire plus dans des maisons plus standards.

De cette manière, la courbe de puissance moyenne sur une année du secteur résidentiel au Québec (Courbe Domestiques, Figure suivante), serait lissée de facto. La puissance appelée en janvier et décembre chuterait à moins de 12 000 MW plutôt que les 20 000MW actuels (janvier 2017).

## Les critères du Label Passivhaus

L'obtention du label Passivhaus repose sur un cahier des charges précis

- La consommation de chauffage doit être inférieure à 15kWh par mètre carré et par an. Il est considéré que 15kWh/m<sup>2</sup>/an suffisent à chauffer un bâtiment dans de bonnes conditions grâce au soleil et à la récupération de la chaleur interne.
- L'étanchéité de l'enveloppe de l'habitat doit être de n50 ≤ 0.6 h-1. Cela signifie que l'habitat doit être assez étanche afin de conserver la chaleur dans l'enceinte de la maison.
- Les besoins en énergie primaire doivent être inférieurs à 120kWh par mètre carré par an.



## Définition technique d'une maison PassivHaus (Ref. EcoHabitation)

Une maison Passivhaus requiert à la fois des composants ayant une performance très élevée et beaucoup de soins durant la phase de construction. Ces composants devraient normalement répondre aux exigences suivantes :

- Les éléments de l'enveloppe externe doivent avoir un facteur U inférieur à 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) (facteur R supérieur à 37,8).
- L'enveloppe doit être réalisée sans ponts thermiques.
- L'étanchéité de l'enveloppe doit être vérifiée par un test d'infiltrométrie et les fuites d'air ne doivent pas excéder 0,6 CAH sous une pression de 50 Pa (dans les deux directions).
- Tout le vitrage doit avoir un facteur U inférieur à 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) (facteur R supérieur à 7,1) et un Coefficient de Gain de Chaleur Solaire (CGCS – en anglais SHGC) minimal de 50%.
- Les fenêtres doivent avoir un facteur U total (incluant cadre, espaceurs et jonctions) de 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) (facteur R supérieur à 7,1).
- Le système de ventilation doit avoir une efficacité de récupération de chaleur d'au moins 75% et une consommation électrique de moins de 0,45 Wh/m<sup>3</sup> de volume d'air fourni.
- Les systèmes de génération et distribution d'eau chaude utilisés doivent engendrer des pertes de chaleur minimales.
- Une utilisation très efficace de l'électricité de la maisonnée est essentielle.