



14.6 EXERCICES DE BIOMASSE MODERNE_ SOLUTION

Exercice 14.6.a : Biomasse moderne à Fort St. James en Colombie-Britannique

Dalkia, une filiale de Véolia, a construit entre 2013 et 2018 une centrale d'énergie à base de biomasse moderne à Fort St. James en Colombie-Britannique au Canada. Cette centrale consomme 307 000 tonnes de bois avec une humidité de 34% provenant des scieries voisines chaque année en fonctionnement normal (Soit 24h/24h sans problème d'approvisionnement). Elle ne réalise pas elle-même le séchage du bois, elle récupère et stocke que le bois sec. Le PCI moyen du bois sec est de 5330 kWh/t ou 19.19 MJ/kg (environ deux fois moindre que celui d'un hydrocarbure). Le rendement de conversion global en énergie électrique de la centrale est de 33%. Un foyer consomme par jour 55 000 Wh en moyenne avec le chauffage et 22 300 Wh sans chauffage. Les foyers avec chauffage utilisent pour l'exercice un chauffage électrique. La centrale a un rythme de production identique pour chaque mois, ainsi la même quantité de bois sec sera consommée chaque mois.

QUESTIONS

Question 1 : Quelle est la quantité de bois sec que récupère la centrale chaque année (en tonnes, sans décimale)?

Pour la suite de l'exercice, nous allons considérer que la centrale stocke et consomme 200 000 tonnes de bois sec chaque année en fonctionnement normal. Indépendamment de la solution en 1.

Question 2 : Quelle est la puissance de la centrale en fonctionnement normal toute l'année ? (En MW, 1 chiffre après la virgule)

Question 3 : Combien de foyers la centrale va-t-elle pouvoir alimenter ? Avec et sans chauffage.

Une brèche dans le toit du stockage du bois sec empêche une conservation optimale de celui-ci. Durant le mois de janvier, la masse de bois de sec récupéré redevient humide avec une siccité de 70% et donc être à nouveau sécher. La centrale doit alors elle-même effectuer le séchage durant cette période. Pour cela, elle utilise son bois directement pour le faire quitte à obtenir moins d'électricité. La chaleur latente de l'eau est de 2200 kJ/kg. Le processus de séchage a un rendement de 40%. Le prix de revente de l'électricité est de 0.09CAD/kWh.

Question 4 : Quelle est la quantité d'énergie électrique (en kWh) perdue sur le mois de Janvier avec le défaut de stockage ? Quel est son coût ?

La brèche a été colmatée, il n'y a plus de pertes d'énergie. La centrale a un investissement initial de 100 millions de CAD, un coût de maintenance annuel de 600k CAD et il reçoit une subvention de 2 millions de CAD. Le prix de l'achat d'une tonne de biomasse sèche est de 100 CAD.

Question 5 : Quelle est alors la PRI simple de la centrale (en années, arrondir à l'entier supérieur)?



REPOSES

Question 1 : Quelle est la quantité de bois sec que récupère la centrale chaque année ?

Il faut d'abord considérer la quantité de bois humide $Q_{bh} = 307\,000$ dans l'énoncé puis son humidité, $h = 0.34$. Ensuite, avec la simple formule suivante, la quantité de bois sec est retrouvée :

$$Q_{bs} = Q_{bh} * (1-h).$$

Puis avec l'application numérique comportant les données proposées, on retrouve :

$$Q_{bs} = 202\,620 \text{ tonnes de bois sec récupéré chaque année.}$$

Note : lorsque l'humidité est de 34%, la siccité est de 66%.

Question 2 : Quelle est la puissance de la centrale en fonctionnement normal toute l'année ? (En MW, 2 chiffres après la virgule)

On sait que la centrale va fonctionner environ 8760 heures dans l'année, $h_{an} = 8760$. Dans l'énoncé, on considère le PCI du bois sec $PCI_1 = 5330$ en kWh/t ainsi que la quantité de bois sec, $Q_{bs2} = 200\,000$ en tonnes annuellement. De plus, le rendement de conversion de la centrale est de $r = 0.33$. Ainsi avec la formule suivante, on retrouve la puissance de la centrale en MW :

$$P_c = (Q_{bs2} * PCI_1 * r) / (h_{an} * 1000) = 40.16 \text{ MW}$$

Le facteur 1000 permet de convertir les kWh en MWh.

Question 3 : Combien de foyers la centrale va-t-elle pouvoir alimenter ? Avec et sans chauffage.

Il faut considérer la consommation journalière des maisons avec et sans chauffage :

- $C_{foysc} = 22300$ → consommation moyenne d'un foyer en Wh/jour sans chauffage ;
- $C_{foyac} = 55000$ → consommation moyenne d'un foyer en Wh/jour avec chauffage.

Ensuite, il faut diviser la production d'énergie totale de la centrale sur une année $E_{prod\,tot} = Q_{bs2} * PCI_1 * r$ par la consommation annuelle d'une maison avec ou sans chauffage : $(C_{foy}/1000) * 365$. La division par 1000 permet de passer de Wh en kWh et 365 convertis les données quotidiennes en données annuelles.

Ainsi, on retrouve le nombre de foyers alimentés sans chauffage :

$$N_{bfsc} = (Q_{bs2} * PCI_1 * r) / ((C_{foysc}/1000) * 365) = N_{bfsc} = 43\,220 \text{ foyers}$$

Puis, celui avec chauffage :

$$N_{bfac} = (Q_{bs2} * PCI_1 * r) / ((C_{foyac}/1000) * 365) = 17\,520 \text{ foyers}$$

Ces chiffres donnent un ordre de grandeur du nombre de foyers pouvant être impactés par l'implantation d'une telle centrale. Certes, cette solution n'est envisageable qu'en zone rural ou le produit forestier est présent à moins de 200 km.

Question 4 : Quelle est la quantité d'énergie perdue sur le mois de Janvier avec le défaut de stockage* ? Quel est son coût ?

*Une brèche dans le toit du stockage du bois sec empêche une conservation optimale de celui-ci. Ainsi la centrale utilise, durant un mois (Janvier de 31 jours) dans l'année, un bois avec un siccité de 70% au lieu de 100%. Elle doit alors elle-même effectuer le séchage durant cette période. Pour cela elle utilise son bois pour le faire quitte à convertir moins en électricité. La chaleur latente de l'eau est de 2200 kJ/kg. Le processus de séchage a un rendement de 40%. Le prix de revente de l'électricité est de 0.09CAD/kWh



Pour répondre à cette question deux méthodes sont possibles, une longue et une courte. Dans les deux méthodes, il faut d'abord connaître la quantité de bois sec que consomme la centrale par mois, $Q_{\text{mois}} = Q_{\text{bs}}/12$. Ensuite, il faut calculer l'énergie que la centrale produit en un mois normalement sans brèche ou interruption de service :

$$E_{\text{totmois}} = Q_{\text{mois}} * \text{PCI1} = 88\,830\,000 \text{ kWh (thermique)}.$$

$$E_{\text{totmois,ele}} = Q_{\text{mois}} * \text{PCI1} * r = 29\,320\,000 \text{ kWh (électrique)}.$$

Puis, on calcule l'énergie nécessaire pour le séchage avec la chaleur latente h_l , le rendement de séchage r_{sech} et la siccité. Si :

$$E_{\text{sech}} = (h_l * Q_{\text{mois}} * (1 - S_i) * 1000) / (r_{\text{sech}} * 1000) = 27\,500\,000 \text{ MJ}$$

$$\text{UNITÉS : MJ} = (\text{kJ/kg} * T * T / T * \text{kg/T}) / (\text{kJ/MJ})$$

Avec la **méthode 1**, il suffit de convertir E_{sech} en kWh puis de multiplier par le rendement de la centrale pour retrouver

$$E_{\text{perd}} = (E_{\text{sech}} [\text{MJ}] / 3.6 [\text{MJ/kWh}]) * r = 2\,521\,000 \text{ kWh (électrique)}$$

Avec la **méthode 2**, plus longue, il faut récupérer la quantité de bois sec nécessaire pour le séchage avec le $\text{PCI2} = 19.19 \text{ MJ/kg}$ et la formule suivante :

$$Q_{\text{bsech}} = (E_{\text{sech}} [\text{MJ}] / (\text{PCI2} [\text{MJ/kg}] / 1000 [\text{kg/T}])) \text{ en tonne de bois sec.}$$

Puis, avec cette quantité il est possible de récupérer l'énergie perdue :

$$E_{\text{perd}} = Q_{\text{bsech}} * \text{PCI1} * r = 2\,521\,000 \text{ kWh (électrique)}$$

Les deux réponses doivent être les mêmes, bien sûr.

Il est intéressant de considérer le pourcentage de perte de production imputable à cette brèche qui a permis de telles infiltrations (sur le mois de janvier) :

$$\% \text{ de Pertes} = (E_{\text{perd}} / E_{\text{totmois}}) * 100 \text{ ou PE} = 8.6\%$$

Avec le prix de revente de l'électricité P_r , on retrouve le coût suivant :

$$\text{Coût} = \text{Prix} [\$/\text{kWh}] * E_{\text{perd}} [\text{kWh}] \text{ électrique} = 226\,800 \text{ CAD}\$$$

Ainsi, il faut reconnaître qu'une variation de la siccité du matériau fait grandement varier la rentabilité d'une centrale à la biomasse. L'un des aspects critiques de ce type de projet est la constance de l'approvisionnement à long terme.

Question 5 : Quelle est alors la PRI simple de la centrale (en années, arrondir à l'entier supérieur)?

Il faut d'abord calculer le revenu annuel de la revente d'électricité en CAD avec la formule suivante :

$$\text{REVENU} = \text{Prix} [\$/\text{kWh}] * r [\text{kWh}/\text{kWh}] * Q_{\text{bs}} [T/\text{an}] * \text{PCI1} [\text{kWh}/T] = 31\,660\,000 \$/\text{an}$$

Ensuite il faut calculer le coût annuel de la biomasse sèche sachant que le prix d'achat de celle-ci, $\text{Prix}_{\text{bio}} = 100 \text{ \$/tonne}$:

$$\text{Coût biomasse} = \text{Prix}_{\text{bio}} * Q_{\text{bs}} = 20\,000\,000 \$/\text{an}$$

Le projet requiert un investissement initial de 100 millions de CAD (CAPEX), un coût d'opération incluant maintenance de OPEX = 600k CAD par année et comporte une subvention initiale de 2 millions CAD. Donc, avec la formule suivante on retrouve sa PRI :

$$\text{PRI} = (\text{CAPEX} - \text{SUB}) / (\text{REVENU} - \text{Coût biomasse} - \text{OPEX}) = 8.861 \text{ ans} = 9 \text{ ans}$$

Au numérateur, on retrouve le coût du projet net $[\$]$ assumé être dépensé à l'année zéro du projet (au début du projet). Au dénominateur, on retrouve les revenus nets annuels $[\$/\text{an}]$ soit les revenus de vente de l'électricité moins le coût de la biomasse moins l'OPEX. A noter ici que l'OPEX est faible devant le coût de la biomasse.

