

# CHAP 02 –DEUX SIECLES ENERGIE ELECTRIQUE

## TP Φ 3 CENTRALES HYDROELECTRIQUES EN ALSACE

### LES CENTRALES HYDRAULIQUES DE KEMBS LE LONG DU RHIN

EDF a établi 12 centrales hydroélectriques le long du Rhin, pour produire une puissance totale de 1400 MW, 100% décarbonée, gratuite et renouvelable.

Parmi toutes les centrales hydroélectriques implantées, on va s'intéresser aux deux centrales de Kembs :

- la plus récente dite centrale K sera étudiée en classe
- la plus ancienne dite centrale historique est proposée à faire à la maison si vous le souhaitez.

#### A°) EN CLASSE : ETUDE DE LA CENTRALE K

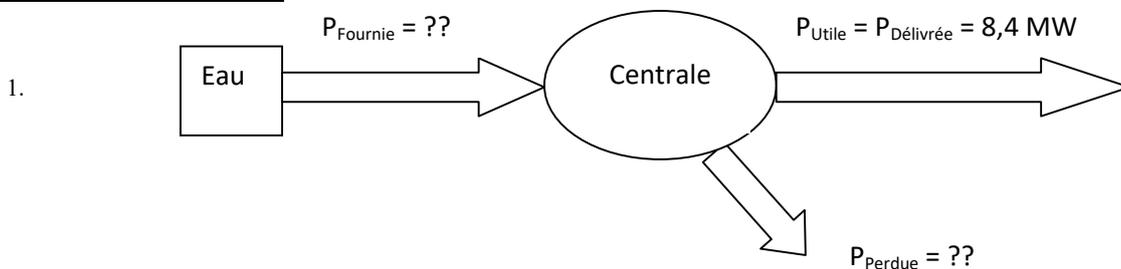


Pourquoi construire une nouvelle centrale ?

Par les mesures environnementales mises en place à Kembs, l'augmentation du débit dans le Vieux-Rhin, le débit dans le Rhin a diminué. Et donc le volume d'eau turbiné à Kembs a diminué ainsi que pour les 3 centrales situées à l'aval, ce qui entraîne une réduction significative de la production d'électricité.

Pour compenser en partie cette perte, la nouvelle centrale K va turbiner l'eau restituée au Vieux-Rhin et produire de l'électricité.

#### Rendement de la centrale K.



2. Pour calculer la puissance fournie par l'eau à une turbine, on applique la formule  $P_{\text{fournie}}(\text{eau}) = h \times d \times \mu \times g$ , avec :

- h : la hauteur de chute ( $h = 11 \text{ m}$  d'après le document 3)
- d : le débit d'eau ( $d = 45 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- $\mu$  : la masse volumique de l'eau  $\mu_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg/m}^3$
- g : la constante de pesanteur  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

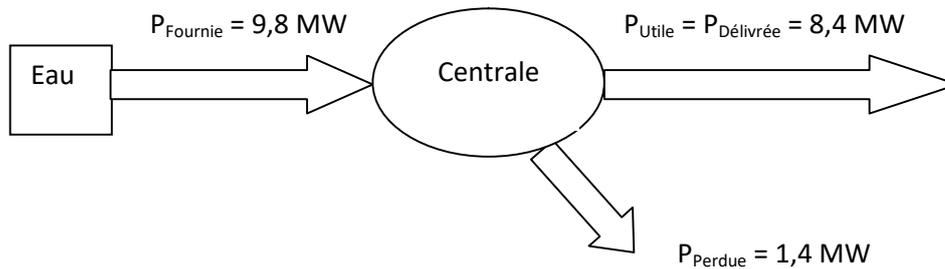
Ce qui donne  $P_{\text{fournie}}(\text{eau}) = h \times d \times \mu \times g = 11 \times 45 \times 1000 \times 9,8 = 4,85 \times 10^6 \text{ W} = 4,9 \text{ MW}$ .

3. Dans le document 3, on m'indique que la centrale K est constituée de 2 turbines.

La puissance  $P_{\text{fournie(eau)}}$  fournie par l'eau à la centrale K de Kembs a donc pour valeur :

$$P_{\text{fournie(eau centrale)}} = 2 \times 4,9 \text{ MW} = 9,8 \text{ MW}.$$

Le diagramme énergétique de la centrale K de Kembs est donc :



La puissance perdue se déduit des deux autres puissances par soustraction.

4. On peut donc calculer le rendement de la centrale  $r = \frac{P_{\text{Utile}}}{P_{\text{Fournie}}} = \frac{8,4}{9,8} = 85,7\% \approx 86\%$

### Energie produite par la centrale K – Equivalence tonne pétrole – Rejet GES.

5. Pour calculer l'énergie théorique produite  $E_{\text{Théorie}}(K)$  en kWh en une année, on applique la relation  $E = P \times \Delta t$ .  
En supposant qu'elle fonctionne 24h/24h pendant un an, alors  $\Delta t = 1 \text{ an} = 365 \text{ jours} = 365 \times 24 \text{ h} = 8\,760 \text{ h}$ .  
Soit  $E_{\text{Théorie}}(K) = P_{\text{Délivrée}} \times \Delta t = 8,4 \text{ MW} \times 8\,760 \text{ h} = 8,4 \times 10^6 \times 8\,760 = 73,6 \times 10^9 \text{ Wh} = 73,6 \times 10^6 \text{ kWh}$ .
6. D'après le document 5, 1 kWh produit par combustion dans une centrale thermique au charbon, libère 1060 g de  $\text{CO}_2$ .  
On en déduit que la même quantité d'énergie que la centrale K, mais produite par une centrale thermique au charbon, libérerait donc une masse de GES  $m(\text{GES}) = 73,6 \times 10^6 \times 1060 = 78 \times 10^9 \text{ g} = 78 \times 10^6 \text{ kg} = 78\,000 \text{ t de CO}_2$ .
7. Dans le document 6, on m'indique qu'en moyenne un habitant en France a une empreinte carbone de 9 tonnes.  
Cette centrale K permet donc de compenser l'impact carbone  $\frac{78000}{9} = 8666 \approx 9000$  habitants.
8. D'après le document 4  $1 \text{ tep} = 12 \times 10^3 \text{ kWh}$ . Donc :

$$\text{Donc : } E_{\text{Théorie}}(K) = \frac{73,6 \times 10^6}{12 \times 10^3} \approx 6100 \text{ tep}$$

Cela signifie que la même centrale thermique qu'il faudrait construire à la place de la centrale K, consommerait environ 6 100 tonnes de pétrole.

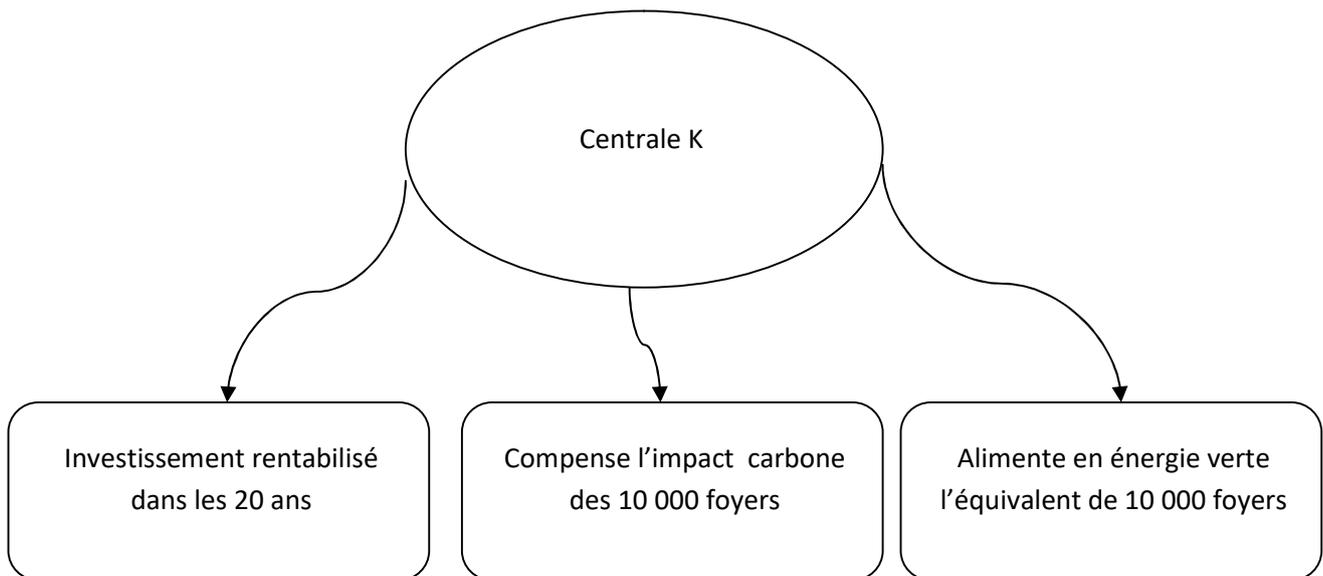
Le prix du pétrole varie en fonction de nombreux paramètres. Actuellement 1 tonne de pétrole brute coûte 500 euros. Cela signifie qu'une année de production avec cette centrale thermique coûte  $6\,100 \times 500 = 3,1$  millions d'euros.

L'investissement a été de 50 millions d'euros, soit un retour sur investissement en 20 ans.

9. Un foyer consomme en moyenne 3 000 kWh par an d'énergie. Et à la sortie on a une énergie réellement produite  $E_{\text{Reel}}(K) = 28 \times 10^6 \text{ kWh}$ .

On en déduit le nombre de foyers qu'elle alimente annuellement :  $N = \frac{28 \times 10^6}{3000} = 9333 \approx 10000$  foyers.

## 10. Conclusion



Reste l'impact d'un barrage au travers d'un fleuve sur la faune et la flore.

La construction de la centrale K est complétée par 5 mesures innovantes :

- l'augmentation significative dans le Vieux-Rhin, depuis 2010, du débit minimum nécessaire à la vie aquatique, dit «débit réservé»,
- la renaturation de plus de 100 hectares sur l'île du Rhin à la place d'une ancienne parcelle agricole, incluant la restauration du «Petit Rhin», une rivière de 7 kilomètres. Inauguré en 2015, cet espace rendu à la nature est une action unique en Europe
- le rétablissement des apports naturels de graviers dans le Vieux-Rhin est indispensable au développement de la vie piscicole et de la végétation alluviale. Il est mis en œuvre progressivement depuis mars 2013,
- la réalisation d'ouvrages favorisant la circulation des espèces animales :
  - une nouvelle passe à poissons qui est composée de 2 circuits :
    - l'un de montaison depuis le Vieux-Rhin ou depuis l'île renaturée vers l'amont du barrage ;
    - l'autre de dévalaison depuis l'amont du barrage vers l'île renaturée et le Vieux-Rhin.
  - une passe à castors en rive allemande, permet à ces mammifères aquatiques de franchir le barrage.



### 1 CENTRALE K

Elle délivre le débit réservé et alimente le cours du Petit Rhin à raison de 7 m<sup>3</sup>/s. Equipée de 2 groupes turbines, l'ouvrage produira annuellement environ 28 millions de kWh.

### 2 CANAL D'AMENÉE

En forme d'entonnoir, il canalise le débit jusqu'à la centrale. Il est équipé d'un système (dégrilleur) qui permet de faciliter l'entrée de l'eau de la centrale.

### 3 PASSE À POISSONS

Intégrée en grande partie à la nouvelle centrale, elle s'étend sur plus de 200 m de longueur. Elle est composée de 2 circuits de montaison des poissons. Un dispositif de dévalaison, permet aux poissons de descendre le fleuve.

### 4 BARRAGE

Grâce à ses 5 passes, il régule le débit d'eau entre le Grand Canal d'Alsace et le Vieux-Rhin. Il permet aussi de faire face aux crues.

### 5 PETITE CENTRALE HYDRAULIQUE DU BARRAGE

Avec 2,6 MW de puissance installée, elle turbine jusqu'à 27 m<sup>3</sup>/s et vient compléter la centrale K, au delà de 90 m<sup>3</sup>/s de débit.

### 6 VIEUX RHIN

Son débit passe de 20 m<sup>3</sup>/s à 52 m<sup>3</sup>/s pour la période hivernale, et jusqu'à 150 m<sup>3</sup>/s l'été : une particularité encore unique en France.

### 7 GRAND CANAL D'ALSACE

Construit durant le XIX<sup>ème</sup> siècle, il permet d'assurer la navigation sur le Rhin et la production électrique grâce à 4 centrales hydrauliques qui turbinent au maximum 1400 m<sup>3</sup>/s chacune. Kembs, Ottmarsheim, Fessenheim, Vogelgrun produisent en moyenne chaque année 4 milliards de kWh.

### LA CENTRALE K

- Un débit maximal turbinable de 90 m<sup>3</sup>/s
- 11 m de hauteur de chute
- 8,4 MW de puissance installée
- Une production annuelle moyenne de 28 millions de kWh

11. Selon un rapport publié en 2010 par l'Insee sur l'économie française, un habitant en France émet en moyenne 9 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Soit l'équivalent de 9 allers-retours Paris-New York en avion ou de 76.500 kilomètres de 4x4 en ville, selon le blog écolo [Green-IT](#).

Le résultat est plutôt positif : la France, qui représente 1% de la population mondiale et 3% de la richesse planétaire, ne génère que 1,3% des émissions de CO<sub>2</sub> de l'ensemble de la planète. En comparaison, les Etats-Unis et la Chine sont à l'origine de 18,5% chacun des émissions de gaz à effet de serre dans le monde tandis que l'Allemagne y contribue à hauteur de 2,6% et le Royaume-Uni à hauteur de 1,7%.

Mais selon Jean François Julliard (Directeur général de Greenpeace France), si la France revendique une baisse de 1,7% des GES en 2019, ce qui est en soit une bonne nouvelle, le gouvernement avait au préalable augmenter le budget carbone qu'il s'était auto attribué, afin d'avoir un objectif plus facile à atteindre. Il est donc facile, après avoir baissé l'objectif, d'affirmer avoir atteint cet objectif voir même de l'avoir dépassé.

Mais par contradiction, Olivier Babeau (Président de l'institut Sapiens<sup>(1)</sup>) affirme que depuis 30 ans, la France a baissé ses émissions de GES de 12%. Par tête on a baissé de 2%. Et si on prend par point de PIB supplémentaire, on a baissé de 40%. En réalité on est donc des super bons élèves. Cela ne veut pas dire qu'on ne peut pas faire mieux. Mais en tous les cas on est sur la bonne voie.

En conclusion, il vaut toujours garder un esprit critique.

Effectivement il y a une baisse des émissions par personne. Mais si on regarde l'empreinte carbone, c'est-à-dire ce que représente réellement nos modes de vie, cela ne bouge pas, c'est stable. On a simplement que fait déplacer nos émissions de GES, à travers nos importations. Certains produits ne sont plus fabriqués en France mais qui sont consommés en France et fabriqués ailleurs. On a déplacé notre pollution ailleurs dans le monde. Et au final, cela ne change rien en termes d'impact sur la crise climatique.

L'idée est donc de travailler de concert, industriels et écologistes, pour permettre un développement économique, en accord avec des règles sociales et environnementales.

Note.

<sup>(1)</sup>L'Institut Sapiens est un organisme à but non lucratif dont l'objectif est de peser sur le débat économique et social.

Il se veut le premier représentant d'une think tech modernisant radicalement l'approche des think tanks traditionnels. Il souhaite innover par ses méthodes, son ancrage territorial et la diversité des intervenants qu'il mobilise, afin de mieux penser les enjeux vertigineux du siècle.

## B°) A LA MAISON : ETUDE DE LA CENTRALE HISTORIQUE.

12. Document complété ci-dessous à partir de la vidéo: <https://www.youtube.com/watch?v=0UwvwYqrXxA>

<b>Document 7. La centrale hydraulique historique de Kembs en quelques chiffres</b>		
	Type de centrale	turbinage
	Hauteur de chute	11 m
	Débit d'équipement	1 500 m³/s
	Nombre de turbines	6
	Type de turbines	Kaplan
	Puissance délivrée P(H)	160 MW
	Nombre de foyers alimentés	250 000

La force motrice du Rhin, transformée en électricité à l'usine hydro-électrique de Kembs, mise en service en 1932, provient pour 80% du territoire français et pour 20% du territoire suisse. EDF en assure l'exploitation depuis 1946 en vertu de deux contrats de concessions complémentaires, l'un français, l'autre suisse.

### Energie produite par la centrale historique – équivalence tonne pétrole – rejet GES.

13. Pour calculer l'énergie théorique produite  $E_{\text{Théorie}}(K)$  en kWh en une année, on applique la relation  $E = P \times \Delta t$ .  
En supposant qu'elle fonctionne 24h/24h pendant un an, alors  $\Delta t = 1 \text{ an} = 365 \text{ jours} = 365 \times 24 \text{ h} = 8\,760 \text{ h}$ .

$$\text{Soit } E_{\text{Théorie}}(H) = P_{\text{Délivrée}} \times \Delta t = 160 \text{ MW} \times 8\,760 \text{ h} = 160 \times 10^6 \times 8\,760 = 1,4 \times 10^{12} \text{ Wh} = 1,4 \times 10^9 \text{ kWh}.$$

14. D'après le document 5, 1 kWh produit par combustion dans une centrale thermique au charbon, libère 1060 g de  $\text{CO}_2$ .  
On en déduit que la même quantité d'énergie que la centrale historique, mais produite par une centrale thermique au charbon, libérerait donc une masse de GES  $m(\text{GES}) = 1,4 \times 10^9 \times 1060 = 1,5 \times 10^{12} \text{ g} = 1,5 \times 10^9 \text{ kg} = 1,5 \times 10^6 \text{ t de CO}_2$ .

15. Dans le document 6, on m'indique qu'en moyenne un habitant en France a une empreinte carbone de 9 tonnes.

$$\text{Cette centrale K permet donc de compenser l'impact carbone } \frac{1,5 \times 10^6}{9} \approx 165\,000 \text{ habitants.}$$

16. D'après le document 4, 1 kWh =  $12 \times 10^3$  kWh. Donc :

$$\text{Donc : } E_{\text{Théorie}}(K) = \frac{1,4 \times 10^9}{12 \times 10^3} \approx 120\,000 \text{ tep}$$

Cela signifie que la même centrale thermique qu'il faudrait construire à la place de la centrale K, consommerait environ 120 000 tonnes de pétrole.

Le prix du pétrole varie en fonction de nombreux paramètres. Actuellement 1 tonne de pétrole brute coûte 500 euros. Cela signifie qu'une année de production avec cette centrale thermique coûte  $120\,000 \times 500 = 60$  millions d'euros.

L'investissement a été de 50 millions d'euros pour la centrale K.

En un an de consommation de pétrole dans une centrale thermique qui remplacerait la centrale historique, le budget permet de construire une centrale K.

17. Un foyer consomme en moyenne 3 000 kWh par an d'énergie. Et à la sortie on a une énergie réellement produite  $E_{\text{Reel}}(\text{H}) = 5,3 \times 10^8$  kWh.

On en déduit le nombre de foyers qu'elle alimente annuellement :  $N = \frac{5,3 \times 10^8}{3000} \approx 180000$  foyers.

A comparer aux 250 000 foyers annoncés.