

# LE PROJET ÉOLIEN HYDROGÈNE D'UTSIRA (ÎLE DE NORVÈGE)

## PARTIE A - Les éoliennes

### A.1. Besoins en énergie électrique.

A.1.1 Calcul de l'énergie maximale que peuvent fournir les deux éoliennes en un an (en kW.h)

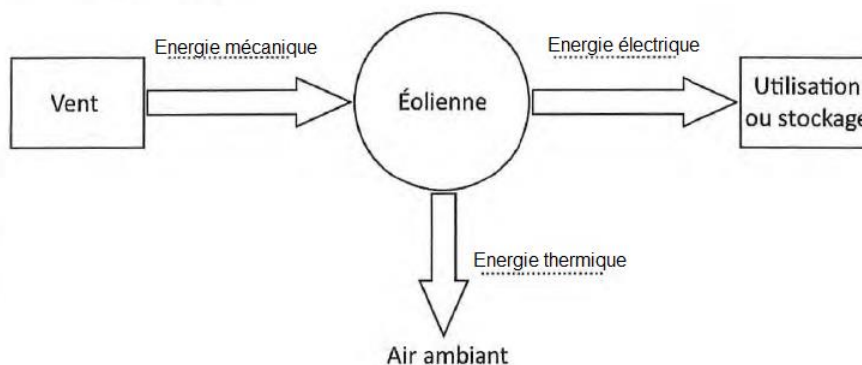
D'après les caractéristiques de l'éolienne, la puissance est de 600 kW. Donc l'énergie maximale que peuvent fournir les deux éoliennes en un an sera de :

$$E_{\max} = 2 \times P \times t = 2 \times 600 \times 365 \times 24 = 1,05 \times 10^7 \text{ kWh}$$

A.1.2 La consommation de l'île est d'environ 3 500 MW.h/an c'est-à-dire  $3,5 \times 10^6$  kW.h. Donc l'énergie maximale que peuvent fournir les deux éoliennes en un an est bien suffisante pour alimenter en énergie électrique l'île.

A.1.3 Il n'est pas nécessaire d'avoir deux éoliennes car la production d'énergie électrique pour une éolienne serait de  $5,26 \times 10^2$  kW.h. Cette valeur est bien supérieure à celle de la consommation de l'île en énergie électrique.

A.1.4 Document réponse



### A.2. Principe de fonctionnement d'une éolienne.

A.2.1 Expression du volume d'air  $V_{\text{air}}$

Le volume d'un cylindre est donné par la relation :

$$V_{\text{air}} = S \times d = S \times v \times \Delta t$$

A.2.2 Expression de la masse d'air

On a la relation :

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{air}}} \quad \text{donc} \quad m = \rho \times V_{\text{air}} = \rho \times S \times v \times \Delta t$$

A.2.3 Expression de l'énergie cinétique de cette masse d'air.

On a la relation :

$$E_c = \frac{1}{2} m \times v^2 = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times \Delta t \times v \times v^2 = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^3 \times \Delta t$$

#### A.2.4 Expression littérale de la puissance mécanique $P_{vent}$ .

On a la relation :

$$E_C = P_{vent} \times \Delta t$$

$$\text{donc } P_{vent} = \frac{E_C}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^3 \times \Delta t}{\Delta t} = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^3$$

#### A.2.5 Calcul de la puissance mécanique maximale récupérée pour un vent de $10 \text{ m.s}^{-1}$

On calcule la puissance mécanique.

D'après la question précédente, on a la relation :

$$P_{vent} = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^3 = \frac{1}{2} \times 1,23 \times 1257 \times 10^3 = 7,7 \times 10^5 \text{ W} = 770 \text{ kW}$$

D'après la relation donnée dans l'énoncé, on a :

$$P_{méca} = a_p \times P_{vent} = 0,59 \times 770 = 454,3 \text{ kW}$$

#### A.2.6 Document réponse A.2.6

La puissance électrique est déterminée graphiquement à partir de la courbe du document 2.

Donc pour une vitesse du vent de  $10 \text{ m.s}^{-1}$ , la puissance électrique est de 400 kW et pour une vitesse du vent de  $8 \text{ m.s}^{-1}$ , la puissance électrique est de 200 kW.

Le rendement est calculé à partir de la relation donnée dans l'énoncé :

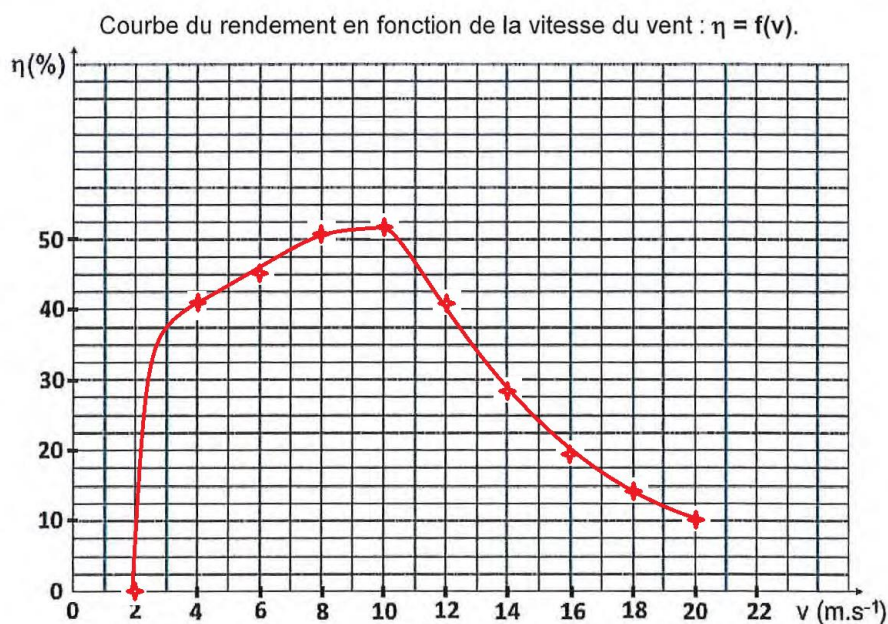
$$\eta = \frac{P_{elec}}{P_{vent}} = \frac{400}{770} = 0,52 \text{ soit } 52\%$$

$$\eta = \frac{P_{elec}}{P_{vent}} = \frac{200}{394} = 0,51 \text{ soit } 51\%$$

On peut donc compléter le tableau du document réponse :

Vitesse du vent $v$ en $\text{m.s}^{-1}$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Puissance du vent en kW	6	49	166	394	770	1330	2110	3150	4190	6160
Puissance électrique en kW	0	20	75	200	400	550	600	600	600	600
Rendement (%)	0	41	45	51	52	41	28	19	14	10

Tracé de la courbe de variation du rendement en fonction de la vitesse du vent



La vitesse du vent permettant d'avoir le meilleur rendement est de  $10 \text{ m.s}^{-1}$

### A.3. Énergie récupérable par les deux éoliennes de l'île d'Utsira.

#### A.3.1 Document réponse A.3.1

A partir du document 2, on détermine graphiquement la valeur de la puissance électrique

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Vitesse moyenne du vent en $m.s^{-1}$	10	9	8	7	8	7	7	7	8	10	9	10
Puissance électrique en kW	400	300	200	150	200	150	150	150	200	400	300	400

#### A.3.2 Calcul de l'énergie électrique récupérée, $E_{rec}$ (en kW.h), par les deux éoliennes en un an.

D'après le tableau précédant, on effectue le calcul suivant :

$$E_{rec} = 2(400 \times 90 + 300 \times 60 + 200 \times 90 + 150 \times 120) = 1,8 \times 10^5 \text{ kW.h}$$

A.3.3 Cette énergie récupérée est bien inférieure à l'énergie maximale que peuvent produire les deux éoliennes. Donc l'énergie récupérée que peuvent fournir les deux éoliennes en un an n'est pas suffisante pour alimenter en énergie électrique l'île.

## PARTIE B - Production de dihydrogène

**B.1.** Le dihydrogène produit par reformation à l'avantage d'être le procédé le moins cher mais il a l'inconvénient de rejeter du dioxyde de carbone et d'utiliser des ressources fossiles.

Le dihydrogène produit par électrolyse à l'avantage de ne pas rejeter du dioxyde de carbone et d'utiliser l'eau comme réactif. Mais cette technique à l'inconvénient d'avoir un mauvais rendement et d'avoir un coût élevé.

### B.2. Electrolyseur

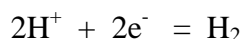
#### B.2.1 Définition d'un oxydant et celle d'un réducteur

Un oxydant est une espèce susceptible de capter des électrons (accepteur d'électrons).

Un réducteur est une espèce susceptible de céder des électrons (donneur d'électrons).

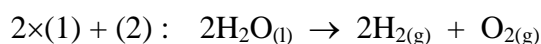
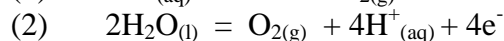
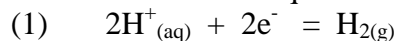
#### B.2.2

B.2.2.a Demi-équation de la réaction de réduction correspondant à la formation du dihydrogène.

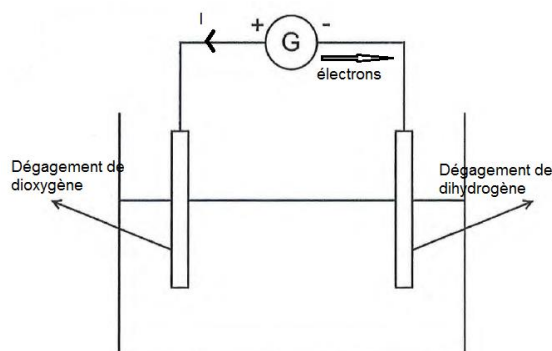


#### B.2.2.b Ecriture de l'équation de fonctionnement de l'électrolyse.

On a les deux demi-équations suivantes :



#### B.2.3 Document réponse B.2.3



## B.2.4

B.2.4.a Calcul du nombre de moles d'électrons,  $n_e$  (en mol), échangés pendant une heure.  
D'après l'équation bilan de la question B.2.2.a, on a la relation :

$$\frac{n_{H_2}}{2} = \frac{n_{e^-}}{2} \quad \text{donc} \quad n_{H_2} = n_{e^-} = 417 \text{ mol}$$

B.2.4.b Calcul du nombre d'électrons,  $N_e$ , correspondant.

$$N_{e^-} = 417 \times 6,02 \times 10^{23} = 2,51 \times 10^{26} \text{ électrons}$$

B.2.4.c Relation entre le nombre d'électrons,  $N_e$ , mis en jeu et la charge totale,  $Q$ , transportée.  
On a la relation :

$$Q = q_e \times N_e$$

B.2.4.d Calcul de l'intensité du courant,  $I$ , dans l'électrolyseur.

On a la relation :

$$Q = I \times \Delta t \quad \text{donc} \quad I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{q_e \times N_e}{\Delta t} = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 2,51 \times 10^{26}}{1 \times 3600} = 1,12 \times 10^4 \text{ A} = 11,2 \text{ kA}$$

## B.3 Stockage du dihydrogène

B.3.1 Calcul du volume,  $V$ , correspondant à la pression de 1,0 bar.

D'après la relation donnée dans l'énoncé, on a :

$$p_1 V_1 = pV \quad \text{donc} \quad V = \frac{p_1 V_1}{p} = \frac{200 \times 12}{1} = 2400 \text{ m}^3$$

B.3.2 Calcul du temps de fonctionnement de l'électrolyseur pour remplir le réservoir de dihydrogène.

D'après l'énoncé, l'électrolyseur fournit  $10 \text{ m}^3$  par heure donc pour  $2400 \text{ m}^3$  :

$$t = \frac{2400}{10} = 240 \text{ h}$$

B.3.3 Relation entre  $V$ ,  $V_m$  et  $n$ .

$V$  est exprimé en L,  $n$  en mol et  $V_m$  en  $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$  donc on a la relation :

$$n = \frac{V}{V_m}$$

B.3.4 Calcul de la quantité de matière stockée,  $n$ , de dihydrogène.

D'après la question précédente, on a la relation :

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{2400 \times 10^3}{24} = 1 \times 10^5 \text{ mol}$$

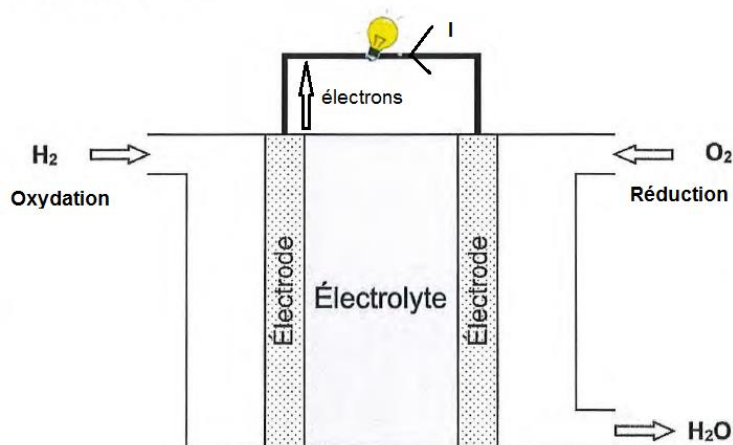
B.3.5 Signification des pictogrammes.

Le premier pictogramme signifie inflammable et le deuxième pictogramme signifie gaz sous pression. Le réservoir de dihydrogène doit être conservé à l'abri d'une source de chaleur et éloigné de toute flamme ou étincelle.

## PARTIE C - La production d'électricité

### C.1.

#### C.1.1 Document réponse C.1.1



C.1.2 Le dioxygène joue le rôle de combustible.

C.1.3 La pile à combustible ne produit pas des produits polluants pour l'environnement car elle ne rejette que l'eau.

C.1.4 Calcul du nombre de cellules élémentaires à associer.

La tension aux bornes d'une cellule est de 0,7 V donc pour obtenir une tension de 10 V, il faut :

$$N = \frac{10}{0,7} = 14,3$$

Il faudra donc associer 15 cellules élémentaires pour obtenir une tension d'une dizaine de volt aux bornes de la pile.

C.1.5 Calcul du temps de fonctionnement d'une cellule

D'après l'énoncé, on a la relation :

$$Q = n_e \times F = 417 \times 96500 = 4,02 \times 10^7 \text{ C}$$

De plus, on a la relation :

$$Q = I \times \Delta t \quad \text{donc} \quad \Delta t = \frac{Q}{I} = \frac{4,02 \times 10^7}{200} = 2,01 \times 10^5 \text{ s} = 56 \text{ h}$$

### C.2. Groupe électrogène.

C.2.1 Calcul de la puissance est absorbée par le groupe électrogène pour produire 55 kW.

On a la relation :

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}} \quad \text{donc} \quad P_{\text{absorbée}} = \frac{P_{\text{utile}}}{\eta} = \frac{55}{0,3} = 183,3 \text{ kW}$$

C.2.2. Calcul de l'énergie absorbée nécessaire par le groupe électrogène pendant 2,0 h.

On a la relation :

$$E_{\text{absorbée}} = P_{\text{absorbée}} \times \Delta t = 183,3 \times 10^3 \times 2 \times 3600 = 1,32 \times 10^9 \text{ J} = 1,32 \text{ GJ}$$

C.2.3 Calcul de quantité de matière de dihydrogène nécessaire pour fournir cette énergie.

On a la relation :

$$n = \frac{E_{\text{absorbée}}}{\Delta H_c} = \frac{1,32 \times 10^6}{286} = 4615,4 \text{ mol}$$