



Nom : Prénom :		N° d'Examen
		CIN

Cadre réservé à l'administration		NOTE
----------------------------------	--	------

SPECIALITE ENERGIE
(Durée 4 heures)

EPREUVE D'HYDRAULIQUE (32 PTS)

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa feuille et poursuit sa composition en précisant les initiatives qu'il prend pour la rédaction de sa solution.

Pour le QCM répondre sur les feuilles de l'énoncé

Remettre l'énoncé avec la copie

PROJET D'ADDUCTION EN EAU POTABLE DE DEUX VILLES

Dans un avant-projet d'alimentation en eau potable de 2 villes V_1 et V_2 par un barrage commun (voir Figure-1 ci-dessous), on se propose de faire l'étude suivante : On fait un prélèvement en B de 150 l/s pour alimenter le réservoir de la ville V_1 . La conduite AB a une longueur de 5,2 Km.

La ville V_2 étant plus difficilement accessible, on installe ainsi une conduite gravitaire avec un bassin tampon jusqu'au point le plus bas et une station de pompage de reprise pour refouler l'eau jusqu'au réservoir de la ville V_2 . Pour ne pas perdre toute l'énergie de chute de l'eau dans la conduite gravitaire on décide d'installer avant le bassin de tampon un groupe turbine alternateur tournant à 1500 trs/mn. et d'un rendement global $\eta_{GT} = 80\%$.

Le niveau d'eau dans le bassin tampon doit être constant à 990 m. On peut utiliser pour la station de pompage une électropompe de rendement global $\eta_{GP} = 75\%$ et tournant à 500 trs/mn. On néglige les pertes de charge au niveau des rétrécissements, au niveau des élargissements et au niveau des raccordements ainsi qu'au niveau de DE. On ouvre au maximum la vanne V alimentant le réservoir V_1 .

Remarque : On désigne par j (en m/m ou en m/Km) la perte de charge (régulière + singulière) par unité de longueur, et on prend $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ et $\rho = 10^3 \text{ Kg/m}^3$.

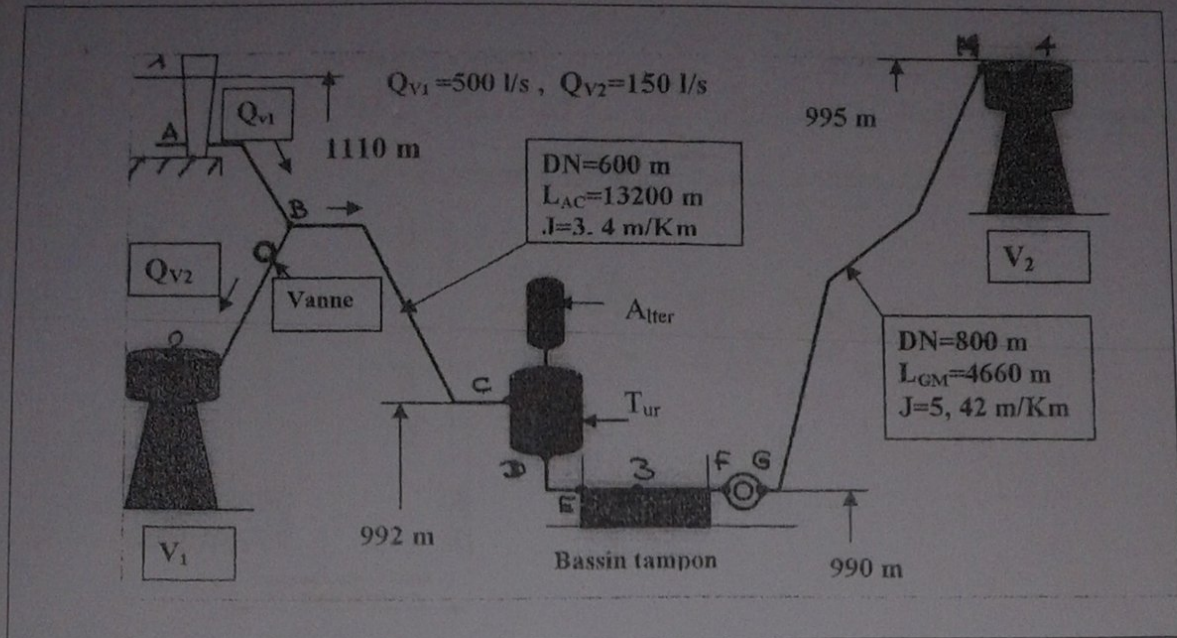
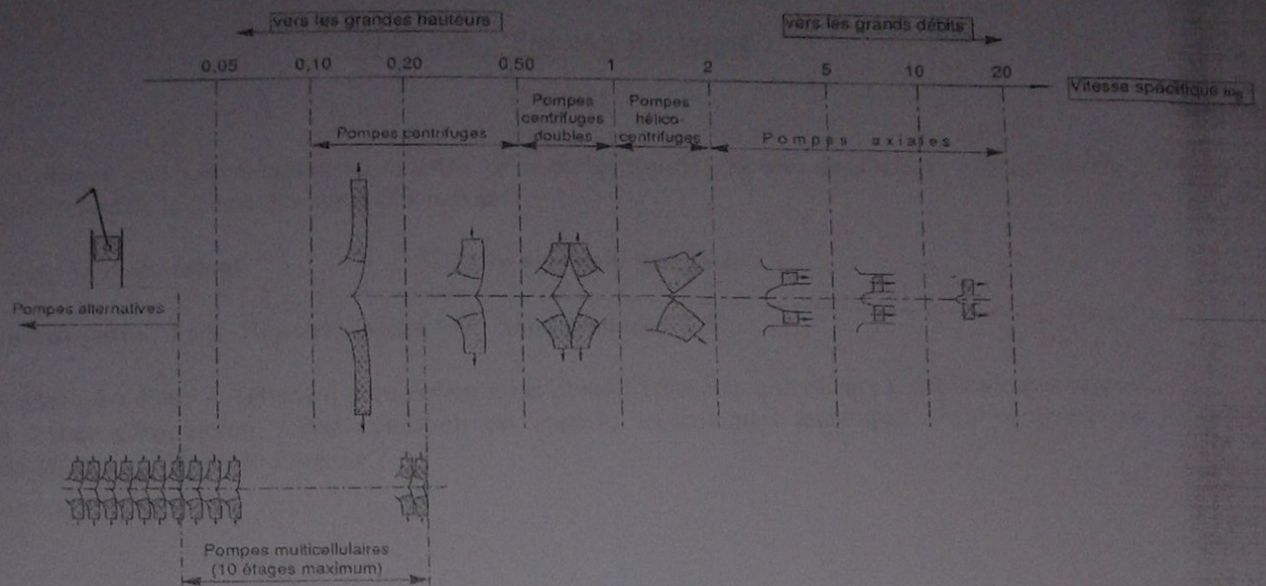
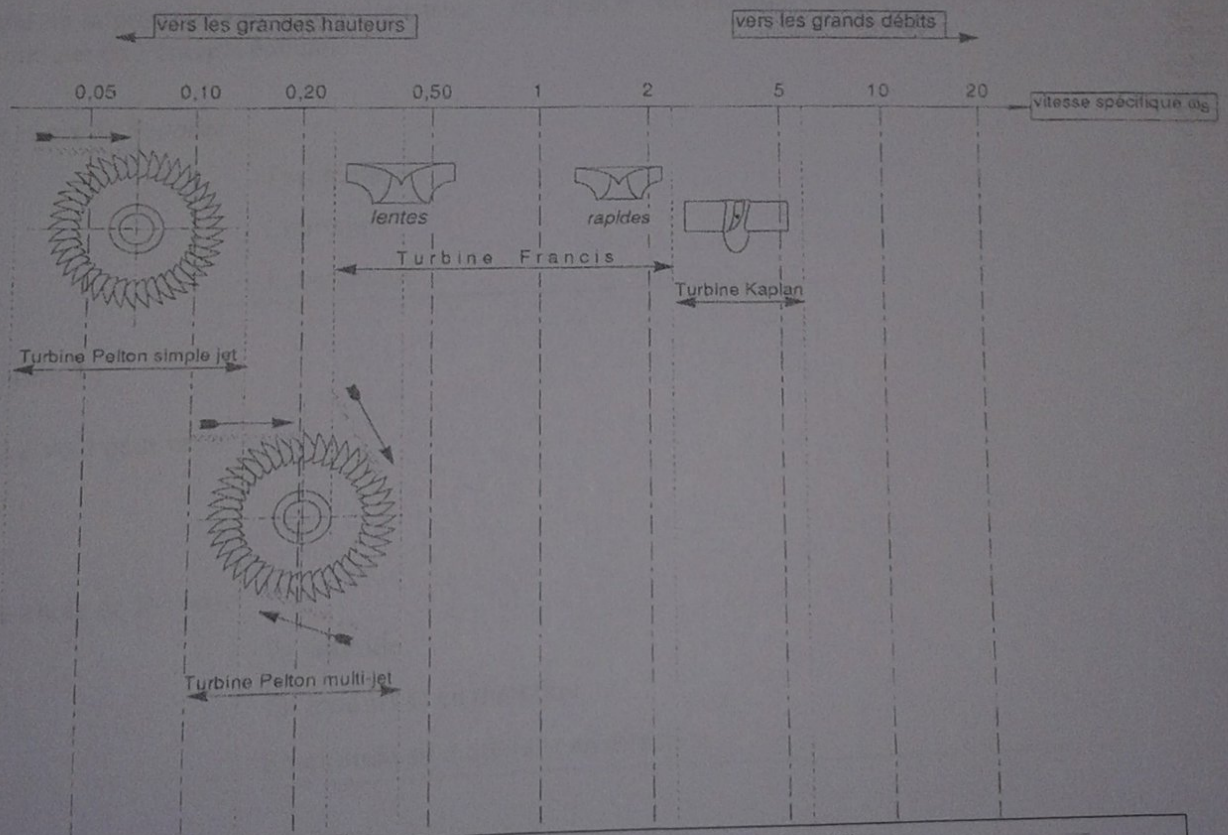


Figure 1

1. Quel type de turbine faut-il installer à l'amont du bassin tampon ? (6 pts)
2. Calculer la puissance électrique fournie par le groupe turboalternateur (6 pts)
3. Déterminer le type de pompe à utiliser pour le refoulement de l'eau. (6 pts)
4. Calculer la puissance électrique absorbée par le groupe-électropompe. (6 pts)
5. A quelle cote Z_4 pourrait-on remonter l'eau si on alimentait directement le groupe électropompe par la puissance électrique fournie par le groupe turboalternateur ? (8 pts)



Type de turbopompes en fonction de la vitesse spécifique ω_s



Type de turbines en fonction de la vitesse spécifique ω_s

EPREUVE D'ENERGIE EOLIENNE

(36 pts)

Pour chaque question, marquez par la lettre 'x' la ou les bonnes réponses dans la case correspondante
Signification de la forme des symboles suivants :

☐ Sans faire de calcul

☐ faire un calcul préalable

Réponse juste : 2 pts Réponse fausse = 0 sans réponse = 0.5

Question 1 : Pour installer un parc éolien nous devons respecter une distance minimale par rapport aux zones d'habitation. Cette condition est appelée un potentiel technique, sous contrainte ou économique de l'énergie éolienne ?

vous choix de Réponse

☐ Technique

☐ Contrainte

☐ Économique

Question 2 : Faire des prévisions de l'évolution des coûts moyens de l'énergie fossile en tenant compte de la protection de l'environnement font partie du potentiel technique, sous contrainte ou économique de l'énergie éolienne ?

vous choix de Réponse

☐ Technique

☐ Contrainte

☐ Économique

Question 3 :

a) Le vent peut varier :

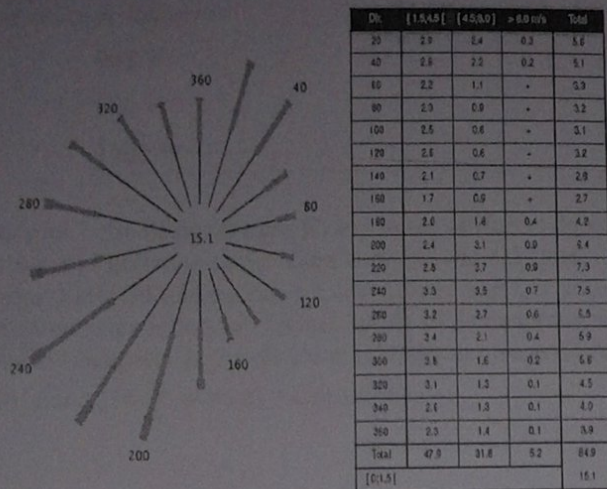
Votre choix de Réponse

☐ En altitude

☐ En module et en direction

☐ En altitude en module et en direction

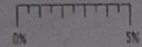
b) Vous devez installer une éolienne sur le site caractérisé par la rose énergétique ci-dessous. Pour récupérer le maximum d'énergie à quelle position angulaire, devez-vous placer cette éolienne ?



Groupes de vitesses (m/s)



Pourcentage par direction



votre choix de Réponse

- ☐ 100°
- ☐ 220°
- ☐ 240°

Question 4 : Dans un site particulier, la vitesse du vent augmente de 25% et passe de 10 m/s à 12,5 m/s. Que vaut alors l'augmentation de la densité de puissance éolienne ?

votre choix de Réponse

- ☐ 36%
- ☐ 46 %
- ☐ 56 %

Question 5 : Rappeler la définition du coefficient de puissance du rotor C_p pour une éolienne.

$C_p = \dots\dots / \dots\dots$

Quelle est sa valeur pour une éolienne parfaite ?

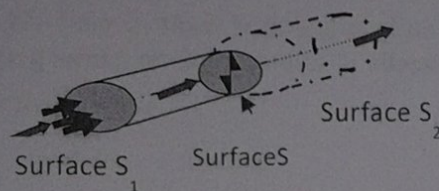
Que représente physiquement ce coefficient C_p ?

Question 6 : Soit une éolienne parfaite d'une surface du rotor de 20 m^2 . Quelle puissance maximale peut-on récupérer à la sortie du rotor pour un vent d'une vitesse de 5 m/s et $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

votre choix de Réponse

- ☐ 908 W
- ☐ 508 W
- ☐ 1008 W

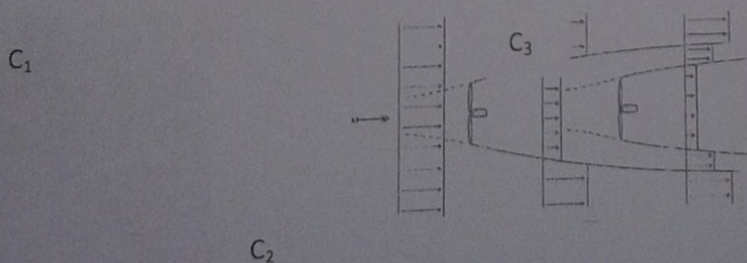
Question 7: En désignant par C_1 la vitesse uniforme du vent en amont d'une éolienne par C au niveau du rotor de l'éolienne et par C_2 en aval de cette éolienne. On considère le tube de courant intercepté par le rotor d'aire S d'une éolienne à écoulement axial, et on se place dans le cadre de la théorie monodimensionnelle avec vitesse axiale seulement (suivant la direction x de l'axe du rotor). Si l'on souhaite, récupérer la puissance maximale au niveau du rotor, on peut considérer le rapport de vitesse défini par : $\lambda = \frac{C}{C_1}$ avec $C_1 = \text{Constante}$



- 1) Pour quelle valeur de λ la puissance récupérée par le rotor est-elle maximale ?
- 2) Donner les valeurs correspondantes de C_2 et de C

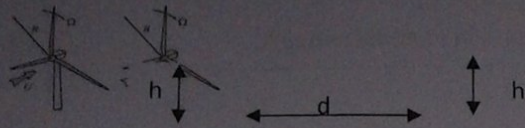
Question 8 : BETZ a défini la puissance maximale théorique qui peut être extraite du vent par une éolienne, ainsi que les vitesses du vent en amont et en aval de celle-ci. Sachant qu'on a 2 éoliennes montées en série l'une proche de l'autre.

- 1) En désignant par C_1 la vitesse du vent en amont de la première éolienne, donner la valeur de la vitesse du vent C_3 (en fonction de C_1) en aval (après) la seconde éolienne.



- 2) Dans le cas de ' n ' éoliennes placées en série donner en fonction de C_1 , l'expression de cette vitesse V_n située en aval de la $n^{\text{ème}}$ éolienne

Question 9 : Pour éviter les effets du sillage à quelle distance minimale 'd' d'une éolienne de 20 m de diamètre et de hauteur du mât h=30m doit placer une deuxième éolienne de mêmes caractéristiques ?



votre choix de Réponse

- ☐ 100 m
- ☐ 150 m
- ☐ 200 m

Question 10:

La variation du vent en altitude (cisaillement) peut être formulé par l'expression suivante :

$$V = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha$$

Que désigne le paramètre α

Question 11: Pour évaluer le potentiel d'un parc éolien et pour établir une corrélation statistique valable à long terme, on doit mesurer la vitesse du vent à 30, 40 et 60 m pendant au moins :

votre choix de Réponse

- ☐ 6 mois
- ☐ une année
- ☐ 2 ans

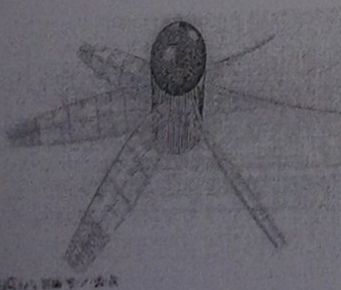
Question 12 :

Intensité de turbulence est le rapport entre l'écart type de la vitesse du vent et sa vitesse moyenne sur un intervalle de temps donné. Il existe ainsi

votre choix de Réponse

- ☐ 3 classes de turbulence
- ☐ 2 classes de turbulence
- ☐ 1 classe de turbulence

Question 13 :



Pour certaines éoliennes les pales sont tordues par construction (vrillage) dans le but de :

votre choix de Réponse

- ☐
- ☐
- ☐

Aléger les pales
Augmenter leurs performances aérodynamiques
Augmenter leurs résistances

Epreuve Photovoltaïque

(32 pts)

1- Dans un panneau photovoltaïque composé de 36 cellules montées en série, quel est l'effet d'ombrager une seule cellule ? (1 pt)

2- Dans quel cas l'énergie électrique photovoltaïque est plus compétitive par rapport aux sources d'énergie conventionnelles ? (1 pt)

3- Soit les caractéristiques I - V des deux cellules solaires suivantes de la figure suivante (Fig. 1)

a) Expliquer à partir du graphique, pourquoi la cellule No 2 donne moins de puissance crête que la cellule No 1 ? (1 pt)

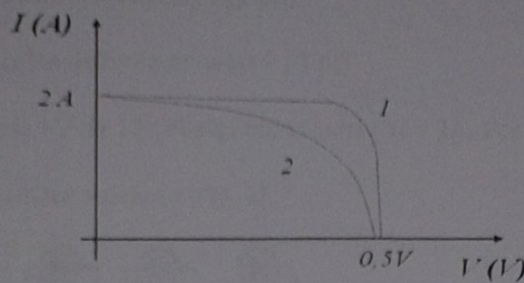


Fig. 1

b) Dessiner la caractéristique des deux cellules montées en série. Justifier. (1 pt)

4- Tracer la caractéristique I - V d'un générateur photovoltaïque. (1 pt)

a) Tracer la droite qui correspond à la résistance de charge passant par le point optimum. (1 pt)

b) Tracer la droite d'une résistance plus élevée (1 pt)

5- Soit une caractéristique I - V d'une cellule solaire de surface 100 cm^2 , avec $V_{oc} = 0,56 \text{ V}$, $I_{sc} = 2 \text{ A}$ et le facteur de forme $ff = 75\%$. Si l'éclairement est de 1 kW/m^2 , calculer son rendement. (1 pt)

6- Tracer la courbe de charge d'un élément de batterie acide plomb (tension de charge en fonction de la durée de charge, échelle linéaire). (1 pt)

7- Un panneau photovoltaïque est formé de 12 cellules identiques connectées de la manière suivante (Fig 2 a).

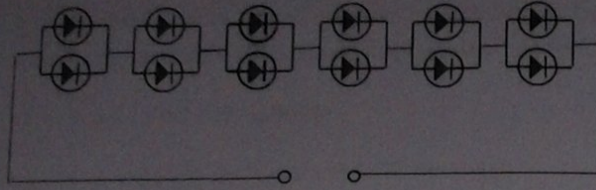


Fig 2 a

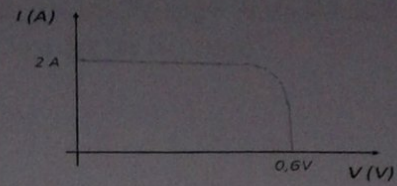


Fig. 2 b

a/ Dessiner la caractéristique courant-tension (I - V) d'un tel générateur sachant que la caractéristique d'une cellule d'entre elles est donnée ci-dessus (Fig. 2 b). (1 pt)

b/ Quel est le courant de court-circuit du panneau ? (1 pt)

c/ Quelle est la tension de circuit ouvert du panneau ? (1 pt)

d/ Quel est le facteur de forme (Fill Factor) ? (1 pt)

e/ Quelle est la puissance crête délivrée en watt ? (1 pt)

8- Dessiner la caractéristique I - V de 12 cellules identiques ($I_{sc} = 2A$, $V_{oc} = 0,6V$, $R_s = 0 \Omega$,

$R_{sh} = \infty$) montées de la manière suivante (Fig. 3)

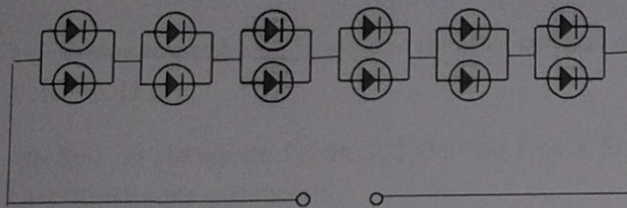


Figure 3

a/ Ecrire sur la figure 4 la valeur du courant et de la tension aux points remarquables. (1pt)

b/ Hachurer sur la caractéristique que vous avez dessinée la surface d'énergie maximum et porter dessus I_m et V_m . (1pt)

c/ Donner l'équation courant-tension d'une cellule idéale. (1pt)

d/ Ecrire la même équation en tenant compte d'une résistance série R_s non nulle. (1 pt)

e/ Décrire qualitativement l'effet de cette résistance série. (1 pt)

9- On désire installer une centrale PV/Batterie autonome qui compte tenu du climat, garantie 3 jours d'autonomie et une recharge complète en 8 jours. La consommation journalière est de 1 kWh.

1. Calculer la capacité (C) nécessaire de la batterie ayant une tension $V = 12V$ (on prend $DOD_{Max} = 60\%$). (1 pt)

2. On admet que le rendement de la batterie est $\eta_{\text{Bat}} = 70\%$. Calculer l'énergie minimale qu'il faut stocker par jour dans la batterie pour garantir un fonctionnement des cas où : (1 pt)

- L'utilisation est permanente
- L'utilisation et la recharge sont différenciées

3. Si on admet que :

- le rendement du PV est de $\eta_{\text{PV}} = 13\%$
- le panneau fonctionne au point de puissance maximum (rendement $\eta_{\text{con}} = 90\%$).
- le rendement du régulateur est de $\eta_{\text{Reg}} = 90\%$,
- le rendement dans les lignes $\eta_{\text{Lig}} = 95\%$,

a- Calculer la surface PV nécessaire pour couvrir les mois de l'année dans le deux cas : (1 pt)

- L'utilisation est permanente
- L'utilisation et la recharge sont différenciées

b- Comment peut-on diviser par deux la surface obtenue en jouant sur le nombre de jours d'autonomie. (1 pt)

c- Comment peut-on diviser par deux la surface obtenue en jouant sur la capacité totale de la batterie. (1 pt)

10- Soit un champ de PV de 10000m^2 du type « Si monocristallin » installé dans un site ayant les caractéristiques suivantes :

Saison	hiver	printemps	été	automne
H (kWh/m ²)	2.8	6	9.4	4.2
Ho (kWh/m ²)	8	10	12	9
T (moyenne) °C	8	20	32	24

H est la moyenne mensuelle journalière de l'ensoleillement reçu selon les saisons.

Ho est la moyenne mensuelle journalière de l'ensoleillement extraterrestre selon les saisons.

Les caractéristiques des panneaux du champ de PVP sont :

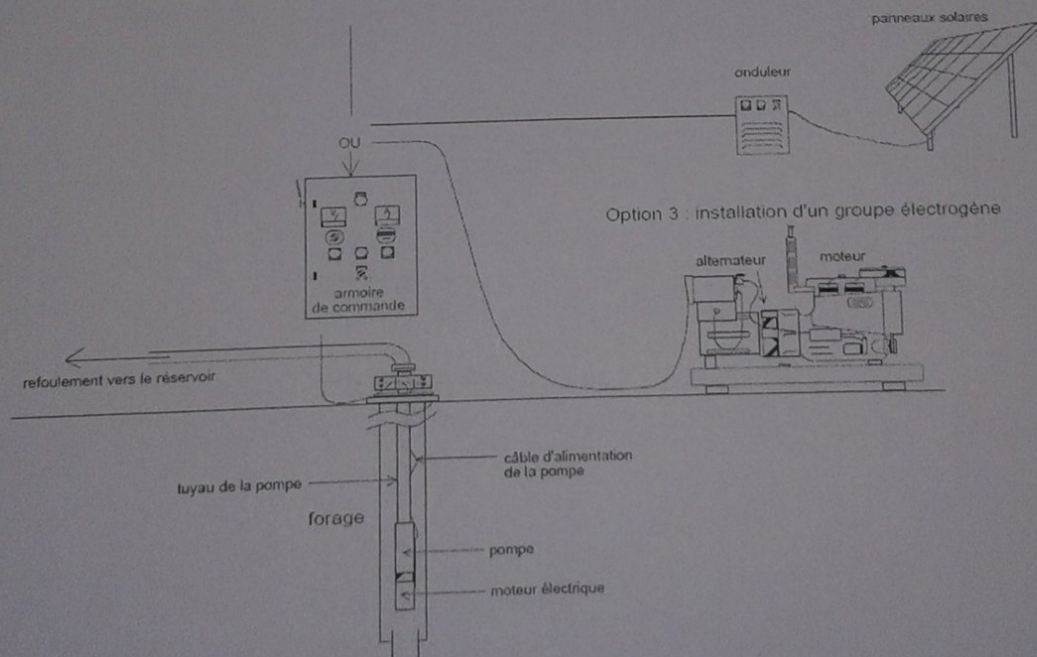
η_r (%)	NOCT (°C)	β_{PV} (%/°C)
13,0	45	0,40

1. Déterminer le rendement du champ de PV selon les saisons. (1 pt)
2. Tracer l'énergie produite par le champ de PV en fonction des saisons. (1 pt)
3. Le champ de PV est connecté à un onduleur ayant un rendement de 96%, si l'onduleur débite sur un réseau de coefficient d'absorption de 0.98, quelle est l'énergie annuelle (1 pt)

11- Une organisation gouvernementale au Maroc vous a engagé pour évaluer la viabilité financière d'installer un système photovoltaïque (PV) pour pomper l'eau potable nécessaire aux besoins des villageois et du bétail d'une communauté rurale éloignée située dans la province de Marrakech.

Le site envisagé est le village de Oulad Haj Mbarek près de Marrakech. Les coûts pour prolonger une ligne électrique du réseau de Marrakech jusqu'à ce village seraient prohibitifs, surtout lorsqu'on prend en compte les faibles besoins d'électricité de ce village. Dans de tels cas, la solution généralement adoptée ailleurs au Maroc, est d'installer une pompe à eau à moteur Diesel.

La population du village devrait atteindre 487 habitants en 2013. Il faut y ajouter un cheptel de 166 têtes de bétail, constitué principalement de vaches. La source d'eau est un puits à ciel ouvert. La Hauteur manométrique totale du puits est de 30 m. L'utilisation de modules photovoltaïques monocristallins d'une capacité de 70 Wc chacun est proposé pour le projet.



- a- Calculer les besoins journalier en eau du village Oulad Haj Mbarek en utilisant la norme 3. (1 pt)

- b- Calculer les besoins en énergie pour fonctionner une pompe capable de répondre aux besoins en eau du village sachant que la pompe solaire utilisée a un rendement de 45 % . (1 pt)
- c- Dimensionner le champ photovoltaïque pour fonctionner cette pompe solaire sachant qu'un module photovoltaïque monocristallin d'une capacité de 70 Wc produit annuellement 0,13 MWh. (1 pt)
- d- Calculer la réduction produite par ce projet en hectare absorbant le carbone (1 pt)
- e- Discuter la rentabilité de ce projet (1 pt)

Énergie requise pour la pompe :

$$E_{\text{elec}} = \frac{\text{Constante hydraulique} \times \text{le débit journalier} \times \text{la HMT}}{\text{Rendement du groupe motopompe}}$$

$$E_{\text{elec}} = \frac{C_H \cdot Q \text{ (m}^3/\text{j)} \cdot \text{HMT (m)}}{R_p}$$

où
 E_{elec} est habituellement exprimé en kWh

$$C_H = g \cdot \rho = \frac{9,81 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-2}) \cdot 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{3\,600 \text{ (s/h)}} = 2,725 \frac{\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{h}}{\text{m}^2}$$

où
 g = constante de la gravité (9,81 m/s²)
 ρ = la densité de l'eau (1 000 kg/m³)
 R_p = en général le rendement des groupes motopompes est de 30 % à 45 %, selon le type de pompe et de moteur.

Normes pour le calcul des besoins en eau :

- Norme 1 : la quantité minimal pour la survie : 10l /jour/ personne;
- Norme 2: l'objectif actuel des organismes de financement : 20l/jour/personne;
- Norme 3: la quantité minimale nécessaire au développement économique de 50l/jour/personne, incluant :
 - 20l/jour /personne : pour les besoins personnels;
 - 20l /jour /personne : 0.5 tête de bétail par personne;
 - 10 l /jour /personne : 2 m² de maraîchage par personne.
- 1 MWh produit par combustion diesel émet 0,26 TCO₂
- 1 hectare de forêt absorbe 10 TCO₂
- La durée de vie d'une installation pompage solaire est de 20 ans
- Le coût d'une installation pompage solaire est de 25 dirhams /W_c
- Le coût d'un mètre cube d'eau en utilisant une pompe à eau à moteur Diesel est de 2 dirhams