

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Durée de l'épreuve : **4 heures**

CORRECTION

PARTIE commune (2,5h) 12 points

Parc photovoltaïque flottant



Travail demandé

Partie 1 : Le parc photovoltaïque flottant permet-il de réduire l'impact environnemental ?

Question 1.1

DT1

Charbon Fioul Gaz

Question 1.2

DT1,

DR1

Voir DR1

Masse = 572,2 Tonnes de CO₂

Document réponses DR1 Émissions annuelles de CO₂

P : Production électrique annuelle du parc en MWh	Filière qui produit du CO ₂	Proportion de production d'électricité de la filière en %	W : Energie électrique produite par la filière en MWh/an	M : Émission annuelle de CO ₂ par filière en tonnes de CO ₂ eq
15 450 MWh	Gaz	6,3 %	W = 0,063 x P W = 973,35 MWh/an	M = 0,429 x 973,35 ME = 417,56 Tonnes de CO ₂ eq / MWh
	Charbon	0,7%	0,007x15 450 = 108,15	M = 0,986 x 108,15 = 106,64
	Fioul	0,4%	0,004x15 450 = 61,80	M = 0,777 x 61,80 = 48,00
Masse totale de CO ₂ engendrée par les filières carbonées en tonnes de CO ₂ eq :				417,56 + 106,64 + 48,00 = 572,20

Question 1.3

DT3

Surface station = 12 ha

Surface plan d'eau = 27,6 ha

12/27,6 = 0,43 soit 43% de la surface est recouverte

Occupe moins de 50% de la surface donc l'exigence est respectée.

Question 1.4

DT2,

DR2

Voir DR2

Surface épargnée = 16,56 ha

Document réponses DR2 Impact sur les surfaces cultivables

	Parc photovoltaïque au sol de Cintegabelle	Parc photovoltaïque flottant de Saint-Elix
Surface occupée par le parc (ha)	7,19 ha	12 ha
Production annuelle du parc (MWh)	6 700	15 450

Surface de terres cultivables utilisées pour produire de 15450 MWh (ha)	7,19 x 15 450/6 700 = 16,58 ha	0 ha
---	-----------------------------------	------

Question 1.5

DR3

Sur DR3, **noter** pour chaque critère dans cases grisées (favorable +, nuisible – ou neutre 0) et **écrire** le commentaire pour le critère « occupation des surfaces cultivables » en fonction des résultats de la question 1.4.

Voir DR3

Déterminer le parc le moins impactant. **Justifier**

Le parc le moins impactant est le parc flottant car

- L'eau rafraîchit les panneaux et augmente la production d'électricité
- Moins d'impact sur les terres cultivables
- Moins d'impact visuel

Document réponses DR3 Critères d'évaluation

Critères	Parc photovoltaïque flottant	Parc au sol	Commentaires
Influence de la température ambiante sur la production	+	-	L'eau permet une diminution des températures de fonctionnement, ceci permet un gain de production pour les parcs installés sur l'eau.
Occupation des surfaces cultivables	+	-	Un parc photovoltaïque installé sur un plan d'eau utilise très peu de surfaces cultivables contrairement au parc au sol.
Impact sur la faune et la flore	0	0	Quelle que soit le parc, flottant ou au sol, les nuisances apportées à la faune et à la flore sont limitées. Des mesures compensatoires aux quelques impacts générés sont imposés aux abords des installations (mise en place de nichoirs, plantation de haies).
Impact visuel	+	-	Le parc flottant ne doit pas dépasser la surface de l'eau de plus de 44 cm, ceci lui permet d'être discret et peu visible. Le parc au sol est visible car les panneaux sont inclinés à 30° et plus grands que ceux utilisés pour les parcs flottants. L'impact visuel est important.
Maintenance de l'installation	-	+	La maintenance d'un parc au sol est facile à réaliser car l'accès au parc est peu contraint. Pour les parcs flottants, l'accès au système se fait sur des passerelles flottantes et en milieu humide, ceci complique les opérations de maintenance.

Question 1.6

Réduit les impacts car :

- évite la production de CO2 par rapport aux moyens de production du mix électrique français ;
- épargne des terres cultivables par rapport à une centrale au sol.

Partie 2 : Comment optimiser la production d'énergie électrique dans l'espace disponible du plan d'eau ?

Question 2.1

DT5

La puissance crête d'un panneau est de 425 W et il y a 34 000 panneaux donc $34\,000 \times 425 = 14,45$ MWc posé

Question 2.2

DT3, DT4, DT5

Le constructeur des panneaux assure une puissance de 92% de la puissance installée au bout de 25 ans donc P_{C25} [MWc] = $0,92 \times 14,45 = 13,294$ MWc.

Vérifier la conformité au cahier des charges.

Le cahier des charges donne la contrainte d'avoir « au moins 13 MWc après 25 ans de fonctionnement », $P_{C25} = 13,294$ MWc est bien supérieure donc l'exigence est respectée.

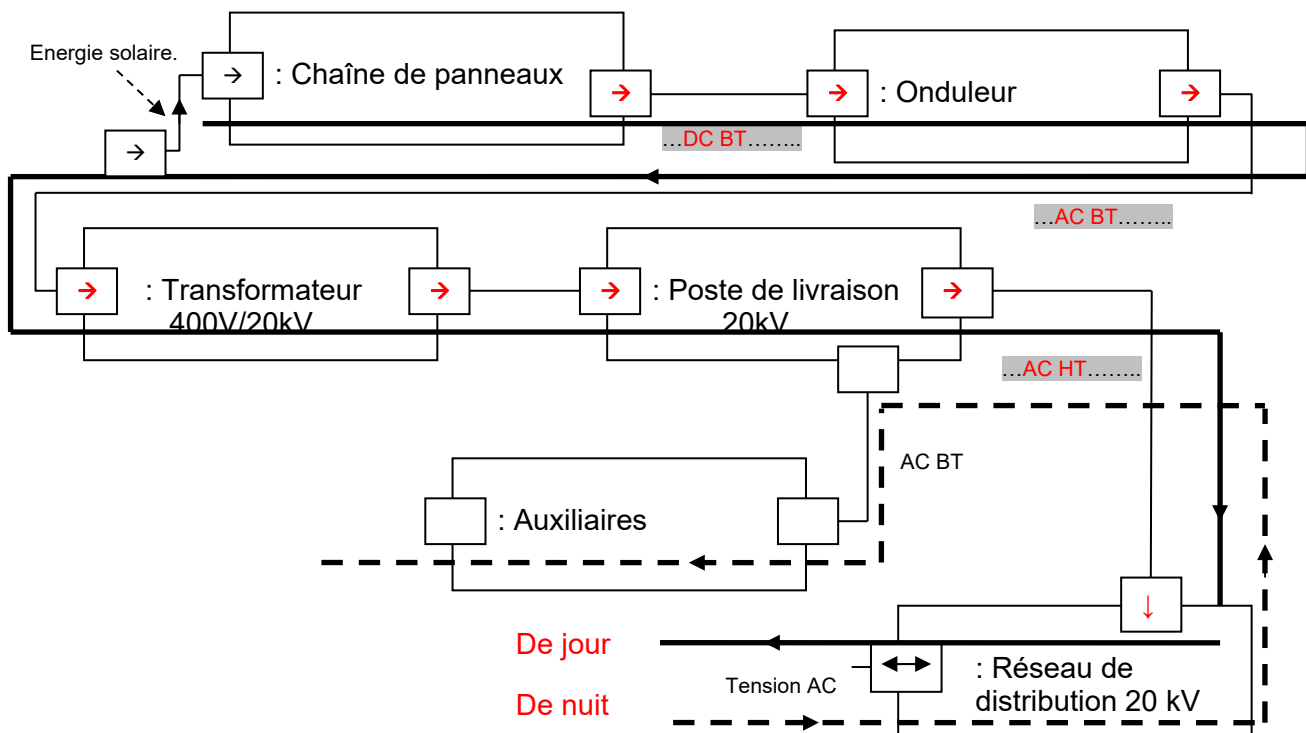
Question 2.3

DT6

DR4

Voir DR4

DR4 : Diagramme de bloc interne partiel



Question 2.4 | Voir DR4

DR4 | L'onduleur permet d'adapter la tension DC au réseau AC.

Question 2.5 | Voir DR5

DR5 : Paramétrage du logiciel PVGIS

Technologie d'un panneau	Silicium monocristallin ? ☒ Ou CIS (Cuivre Indium et Sélénium) ? ☐ Ou Cdte (Tellurure de Cadmium) ? ☐
Position de montage	A l'air libre ? ☒ Ou Intégré au bâtiment ? ☐
Puissance crête (kWc)	8,5.....
Inclinaison (°)	11.....
Azimut (°)	15.....

Question 2.6 | Voir DR6

DT8,
DR6

DR6 : Production électrique d'une rangée de 20 panneaux

Angle d'inclinaison d'un panneau α (°)	11	22	35
Distance Dp (m) entre deux panneaux.	158	205	251
Energie électrique produite E_{an} (kWh) par une rangée de 20 panneaux	...10002,5.....Q2.6	12673	13053
Ratio RA ($kWh \cdot m^{-1}$) = E_h/D_p	...6330,7.....Q2.7	...6182,0.....Q2.7	...5200,0.....Q2.7

Question 2.7 | Voir DR6

DR6

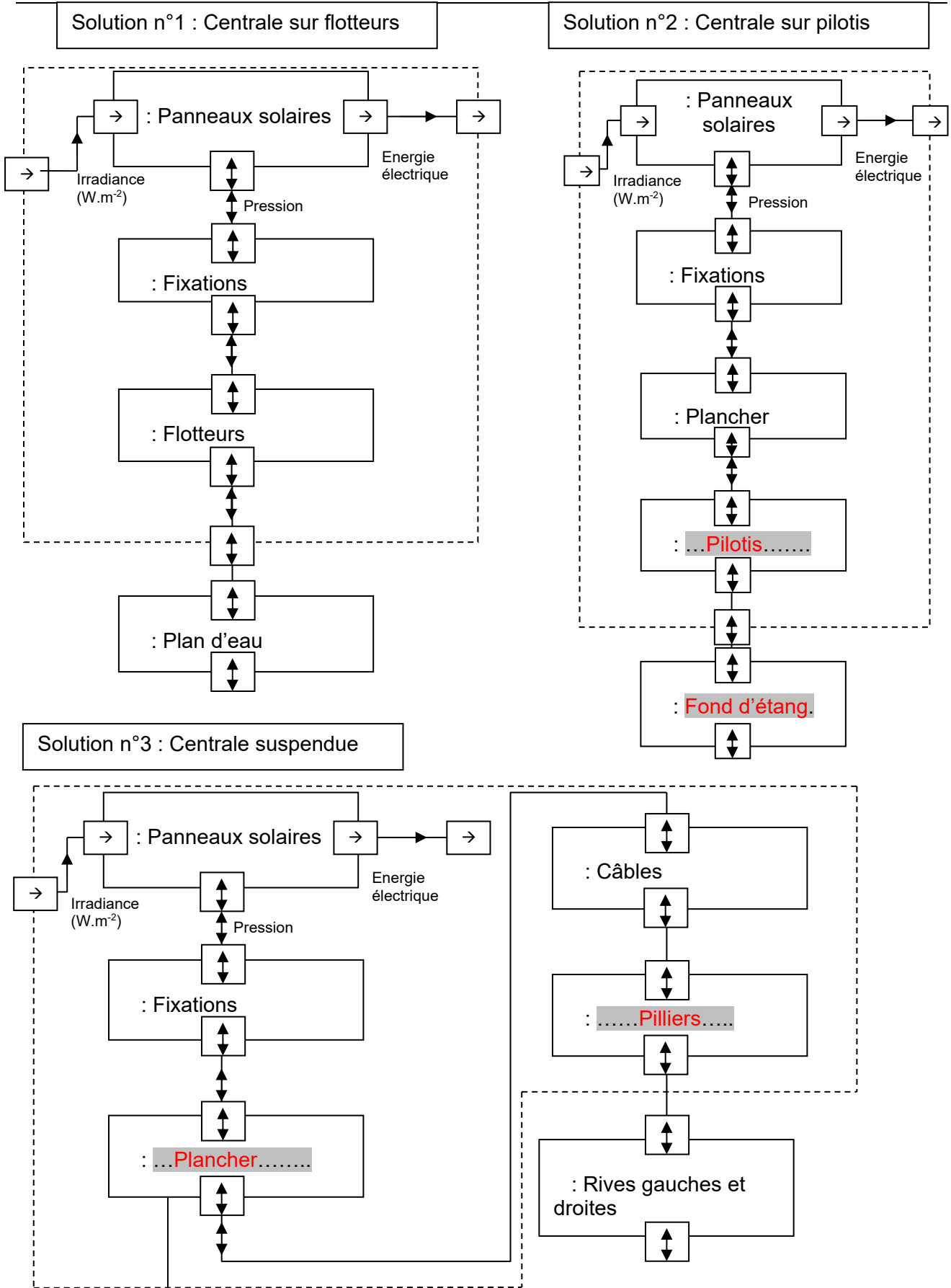
Question 2.8 | Pour optimiser la surface d'étendue d'eau il faut rapprocher le plus possible les panneaux entre eux et réduire l'inclinaison pour éviter l'ombre portée d'un panneau sur l'autre. La production électrique est alors impactée par la faible inclinaison mais le ratio de production par mètre reste important en comparaison à une installation terrestre classique.

Partie 3 : Comment maintenir des modules photovoltaïques en surface d'un plan d'eau en toute sécurité et en minimisant les impacts environnementaux?

Question 3.1 | Voir DR7

DT9,
DR7

DR7 : Diagramme de bloc interne partiel des différentes solutions de maintien de panneaux en surface



Question 3.2 DT11	$S = (1\,046 + 758) \times 1\,812 = 3,27 \times 10^6 \text{ mm}^2 \text{ soit } 3,27 \text{ m}^2$ $S_m = S - (2 \times S_1) - (4 \times S_2) = 3,27 - (2 \times 0,063248) - (4 \times 0,035140) = 3 \text{ m}^2$ $S_{mt} = 3 \times 34\,000 = 102\,000 \text{ m}^2$
Question 3.3	L'évaporation est limitée car la centrale masque les rayons incidents du soleil, limite l'effet du vent, permet de maintenir une humidité relative. La couleur blanche des flotteurs réfléchisse aussi les rayons solaires.
Question 3.4	$S_a = (1\,890 \times 980) - (631 \times 315) - (3,14159 \times 315^2 / 4)$ $S_a = 1\,852\,200 - 198\,765 - 77\,931 = 1\,575\,504 \text{ mm}^2 = 1,57 \text{ m}^2$
Question 3.5	$h_i = \text{Poids} / (\rho \times S_a \times g) = 34,4 \times 9,81 / (1\,000 \times 1,60 \times 9,81) = 21,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ soit 21,5 mm
Question 3.6	Les panneaux sur flotteurs restent bien en flottaison car leurs immersions ne dépassent pas 21,5 mm sur une hauteur de 150mm. Les panneaux connectés entre eux forment une centrale flottante suffisamment ramassée pour ne pas occuper tout le plan d'eau.

Partie 4 : Comment stabiliser la position de la centrale sur le lac, éviter sa dérive ?

Question 4.1 DT12	$V_{\max} = 33,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Question 4.2	$F_v = 214 \text{ kN}$ (compris entre 200 et 225 kN)
Question 4.3 DT14	Pour une valeur en compression de 94,5 kN le tableau propose un couple de 6404 N.m
Question 4.4 DT13	$T_{A\,L5K} = 47,3 \text{ kN}$
Question 4.5	$T_{H\,L5K} = T_{A\,L5K} \times \cos 12^\circ = 47,3 \text{ kN} \times \cos 12^\circ = 46,3 \text{ kN}$ $N_{\text{pieux}} = F_v / T_{H\,L5K} = 214 / 46,3 = 4,62$ Il faudra donc 5 pieux pour reprendre les efforts horizontaux liés au vent.

Partie 5 : Comment structurer le réseau de communication ?

Question 5.1 DT7	Informations numériques
Question 5.2	Exemple : 172.16.64.5/27
Question 5.3	Nombre de clients sur le LAN (figure 8) -> 3 si on ne considère que les caméras et station météo de la figure et 4 si on rajoute le serveur DNS Il y a le réseau LAN (réseau local) et le réseau WAN (réseau étendu, réseau couvrant une zone géographique de grande envergure donc ici coté internet). On a ces 2 types de réseaux étant donné que l'on doit pouvoir obtenir, consulter des informations de l'installation (station météo, caméras...) depuis l'extérieure du site (WAN) et à partir du site (LAN).

Énergies et environnement

Parc photovoltaïque flottant

CORRIGÉ



Travail demandé

Partie A : Quelle quantité d'énergie peut produire la centrale photovoltaïque flottante.

QA.1 $P_{\text{centrale}} = 425 \times 30590 = 13 \text{ MW}$

QA.2 $E_{\text{CT}} = 13000 \times 1334,4 = 17\,347\,200 \text{ kWh}$

QA.3 DRS1

QA.4 DRS1 donne 1213,7 kWh $\rightarrow E_{\text{CFR}} = 13000 \times 1213,7 = 15\,778\,100 \text{ kWh}$

QA.5 Energie centrale flottante : $E_{\text{CF}} = 13000 \times 1207,4 = 15\,696\,200 \text{ kWh}$
Rapport flottant/terrestre $R_{\text{FT}} = 15\,696\,200 / 17\,347\,200 = 90,48\%$
Rapport flottant refroidi/terrestre $R_{\text{FRT}} = 15\,778\,100 / 17\,347\,200 = 90,95\%$

QA.6 Nombre de foyers = $(E_{\text{CFR}} - E_{\text{CF}})/4679 = 17,5$

QA.7 Une centrale photovoltaïque flottante est un peu moins performante qu'une centrale terrestre (rapport de 90,5%), mais elle a des atouts en termes de surfaces utilisées et d'impact visuel. Le refroidissement des panneaux de manière naturelle permet de gagner 0,5% de plus ce qui n'est pas négligeable et correspond dans ce cas à la consommation de 17 foyers.

Partie B : Quel type d'onduleur et quelle association choisir pour raccorder la centrale au réseau de distribution.

QB.1 Nombre de panneaux : $13\,000\,000 / 425 = 30589$

QB.2 Nombre de panneaux par ligne : $560 / 70 = 8$

QB.3 Nombre de lignes : $30592 / 8 = 3824$

QB.4 Il y a 7 postes de transformation

Soit en moyenne $3824/7 = 546,3$ lignes par transformateur.

La répartition sera de 2 postes à 547 lignes et 5 postes à 546 lignes.

Puissance max d'un poste : $547 \times 8 \times 425 = 1\,859\,800 \text{ W}$ soit environ 1,86 MW
(La réponse $13\text{MW} / 7 = 1,86\text{MW}$ est acceptée).

QB.5 Le conteneur qui a la puissance immédiatement supérieure est le 2200 KWc avec 20 onduleurs.

QB.6 L'onduleur Sunsys P66TL à une puissance PV de 80 kW. Un conteneur avec 20 onduleurs de ce type serait limité en entrée à $20 \times 80 = 1600 \text{ kW}$ ce qui est inférieur au 1,86 MW de l'installation. Avec les onduleurs Sunsys P100TL la puissance théorique d'entrée est de 2,4 MW.

Partie C : Quel est l'influence des câbles sur le bon fonctionnement des onduleurs ?

QC.1 Courant nominal d'un panneau : $I_p = 6,07\text{A}$ (DTS2)
Pour une jonction de 16 lignes : $I_J = 16 \times 6,07 = 97,12\text{ A}$

QC.2 Pose à l'air libre. Prendre 120 A. $\rightarrow S = 16\text{ mm}^2$

QC.3 A 90°C, un câble a une résistance linéique de $1,587\ \Omega/\text{km}$
Pour un câble de 50 m : $R_{50} = 0,001587 \times 50 = 0,07935\ \Omega$
Chute de tension pour un câble : $\Delta U_c = 0,07935 \times 97,12 = 7,71\text{ V}$

QC.4 Liaison composée de 2 câbles
 $\Delta U_L = 2\Delta U_c = 15,41\text{ V}$
 $\Delta U_{L\%} = 15,41/560 = 2,75\%$

QC.5 Puissance perdue : $P_L = 2 R_{50} I_J^2 = \Delta U_L I_J = 15,41 \times 97,12 = 1500\text{ W}$
Sur l'abaque, pour 96,7A, les pertes sont de 15 W/m soit pour 2x50m = 1500W

QC.6 La chute de tension maximale est respectée. La valeur de 2,75% représente aussi la perte de puissance. Le rendement de l'installation va chuter. Il faudra éventuellement augmenter la section si on veut un meilleur rendement.

Partie D : Comment identifier un défaut de production.

QD.1 Il y a eu une pluie de sable qui a masquée les panneaux. L'efficacité des panneaux photovoltaïques est réduite. La production chute.

QD.2 Les panneaux ont été lavé soit par la pluie soit par un nettoyage manuel.

QD.3 La comparaison entre la production réelle et la production théorique permet de déterminer une anomalie comme l'encrassement des panneaux et d'agir rapidement pour éviter une perte de production importante.

Document réponses DRS1

Mois	Production énergétique centrale terrestre en kWh pour 1kWc installé Inclinaison de 38°	Production énergétique centrale Flottante en kWh pour 1kWc installé Inclinaison de 11°	Production énergétique centrale flottante en kWh pour 1kWc installé (abaissement de 2,5°C)
Janvier	75,7	52,7	52,7
Février	89,2	69,6	69,6
Mars	118,9	104,5	104,5
Avril	125,4	122,7	QA.3 : 123,5
Mai	125,0	131,6	132,5
Juin	136,7	137,8	138,7
Juillet	131,4	141,1	142,1
Août	135,5	133,5	134,4
Septembre	124,6	113,5	114,3
Octobre	109,2	88,1	88,7
Novembre	84,1	60,2	60,6
Décembre	78,8	52,1	52,1
Total	1334,5	1207,4	QA.4 1213,7