

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2019

Sciences et Technologies de l'Industrie
et du Développement Durable
et
Sciences et Technologies de Laboratoire
spécialité Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire

PHYSIQUE-CHIMIE

Epreuve du lundi 24 juin 2019

Durée : 3 heures

Coefficient : 4

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

Les documents réponses de la page 12/12 sont à rendre impérativement avec la copie.

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

En 2018, en Afrique environ 33 % de la population a accès à l'énergie électrique.

Dans certains villages, le raccordement au réseau électrique n'est pas envisageable dans un futur proche.



<https://africanmanager.com/lirrigation-a-energie-solaire-peut-changer-la-donne-selon-la-fao/>

La mise en place d'une production autonome est souvent difficile. Il faut trouver des solutions faciles à utiliser et qui nécessitent peu d'entretien. L'objectif de ce problème est d'étudier des solutions envisageables pour le village d'Ikamby situé à 30 km de la ville la plus proche et difficilement accessible.

Ce problème étudie différentes solutions envisageables dans trois domaines :

Partie A : Irrigation des cultures (9 points)

Partie B : Éclairage autonome (6 points)

Partie C : Cuiseur économe (5 points)

Partie A : Irrigation des cultures (9 points)

Objectif : faire correspondre la production d'énergie électrique locale (partie A.2) aux besoins du système d'irrigation du village (partie A.1).

A.1) Dimensionnement des besoins

A.1.1) On cherche à déterminer la consommation d'eau journalière V (en $\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$) nécessaire à l'irrigation.

Le **document A1** fournit des informations sur les besoins en eau pour l'irrigation. Compléter le tableau qui permet d'estimer les besoins totaux en eau sur le **document réponse DR1 à rendre avec la copie**.

On souhaite pomper l'eau nécessaire grâce à une pompe alimentée en direct par des panneaux solaires. Le réservoir est situé à 25 m au-dessus du cours d'eau. La durée d'ensoleillement journalière est de 8 h, la pompe ne peut fonctionner que pendant cette durée.

A.1.2) Déterminer le débit q de la pompe en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ puis en $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ permettant d'assurer le stockage de la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation pendant une journée.

La puissance de pompage est donnée par la relation :

$$P = q_m g H$$

- P : puissance en watt (W)
- g : accélération de pesanteur ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
- H : hauteur de pompage (m)
- q_m : débit massique ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

A.1.3) Dans la pratique, le débit massique de la pompe est de $3,40 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$, calculer la puissance P nécessaire au pompage.

A.1.4) Calculer la puissance du moteur électrique P_e de la pompe sachant que le rendement du dispositif de pompage est de 70 %.

A.2) Dimensionnement de l'installation solaire

On relie le moteur électrique de la pompe à un panneau photovoltaïque chargé de l'alimenter.

Afin de déterminer le nombre de cellules photovoltaïques nécessaires à cette alimentation électrique, des essais en laboratoire sont réalisés.

On utilise des projecteurs halogènes pour éclairer la cellule photovoltaïque dont la description technique est accessible dans le **document A2**.

L'irradiance (puissance lumineuse surfacique) reçue par la cellule solaire est réglée telle que $E = 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Dans le laboratoire, la température de la cellule est de $T_C = 25^\circ\text{C}$.

A.2.1) On dispose de la cellule solaire, d'un ampèremètre, d'un voltmètre et d'une résistance réglable.

Proposer un montage qui permet de retrouver la caractéristique du courant I en fonction de la tension U de la cellule solaire décrite dans le **document A2**.

A.2.2) La notice de l'ampèremètre utilisé indique que « $\Delta I = 1\%$ de la valeur lue + 3 d ». On rappelle que « d » désigne le dernier digit ou la résolution.

Calculer la valeur de ΔI lorsque l'ampèremètre indique la valeur $I = 3,52$ A.

A.2.3) En vous aidant des caractéristiques de la cellule donnée dans le **document A2**, calculer la puissance lumineuse reçue par la cellule P_{cell} (en W) au cours de notre expérimentation.

Dans les conditions de l'essai de laboratoire décrites plus haut, on trouve une puissance maximale P_{max} fournie par la cellule de 35 W.

A.2.4) Quel est le rendement de la cellule photoélectrique ?

Ce rendement est très faible. Nous souhaitons comparer cette puissance effectivement mesurée à celle qui est prévue par le constructeur.

A.2.5) Identifier la caractéristique correspondant aux conditions expérimentales et calculer la puissance maximale P_m en utilisant le document constructeur (**document A2**).

A.2.6) En exploitant le **document A3**, calculer l'énergie du photon pour laquelle la réponse spectrale est maximale. On rappelle que $c = 3 \cdot 10^8$ m/s et que $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s.

A.2.7) Proposer une explication possible à la différence observée entre la mesure au laboratoire et les données du constructeur qui correspondent à une utilisation en lumière naturelle.

Après avoir refait des essais au soleil qui correspondent aux conditions moyennes rencontrées à Madagascar (irradiance de $E = 800$ W·m⁻² ; température de 45°C), on trouve que la puissance maximale d'une cellule de $P_{max} = 42$ W.

A.2.8) Le moteur électrique consomme une puissance $P_e = 1200$ W. Déterminer le nombre de cellules n_{cell} composant le panneau photovoltaïque pour assurer le fonctionnement de la pompe.

A.2.9) Actuellement le village utilise une pompe fonctionnant avec un moteur à essence. Citer au moins deux avantages que procurerait son remplacement par le panneau photovoltaïque.

A.3) Contrainte de pression

A.3.1) La pompe choisie est capable d'imposer à sa sortie une surpression ΔP_s de 6 bars par rapport à la pression atmosphérique. Cette valeur est-elle suffisante pour assurer le relevage de l'eau de la rivière vers le réservoir ?

On justifiera la réponse par un calcul.

Données : masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1\,000$ kg·m⁻³ ; 1 bar = 10⁵ Pa

A.3.2) En réalité, lorsque de l'eau circule dans les tuyaux, il existe une perte de pression due aux frottements de l'eau sur le tuyau (effet de viscosité) qui diminue donc la hauteur maximale de relevage. Sur le terrain la hauteur de relevage maximale obtenue avec les 6 bars en sortie de pompe est en réalité de 47 m. Calculer cette perte de pression.

Documents de la partie A

Document A1 : description des cultures



Figure 1 : vue générale du site et des terres à irriguer (photo google maps)

On souhaite réaliser une station de pompage destinée à l'irrigation des cultures dans le village d'Ikamby à Madagascar. L'absence d'eau en quantité suffisante est préjudiciable au développement des cultures.

Une rivière est disponible en aval des terres à irriguer.

Un réservoir de volume suffisant situé à 25 m au-dessus de la rivière est disponible.

On veut pouvoir disposer d'une réserve d'eau à tout moment de la journée.

Les terrains cultivables représentent une surface d'environ 42 000 m² (4,2 ha dont 3 ha de riziculture, 0,7 ha de vergers et 0,5 ha pour les autres types).

Le rendement d'une rizière cultivée de manière traditionnelle est d'environ 3,8 tonnes/ha, pour un besoin journalier de 30 m³·ha⁻¹ d'eau. Les vergers ont quant à eux besoin de 5 m³·jour⁻¹·ha⁻¹ d'eau. Les autres types de cultures demandent en moyenne 10 m³·jour⁻¹·ha⁻¹ d'eau.

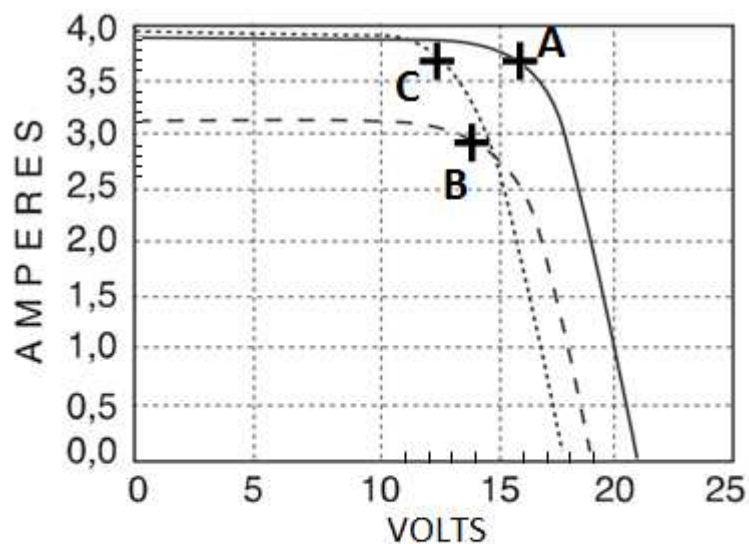
Document A2 : caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

Données techniques :

Longueur	1477 mm
Largeur	660 mm
Épaisseur	35 mm
Masse	11,9 kg

Caractéristique électrique de la cellule photovoltaïque (document constructeur)

Courbe du courant en ampères en fonction de la tension en volts. La caractéristique varie en fonction de l'irradiance reçue (E) et de la température de la cellule T_c . Pour chacune des caractéristiques, les points A, B et C correspondent au point de fonctionnement du panneau lorsqu'il délivre une puissance maximale.



$E = 1000 \text{ W/m}^2$; $T_c = 25^\circ\text{C}$ —————

$E = 1000 \text{ W/m}^2$; $T_c = 60^\circ\text{C}$
.....

$E = 800 \text{ W/m}^2$; $T_c = 45^\circ\text{C}$ - - - - -
- - - - -

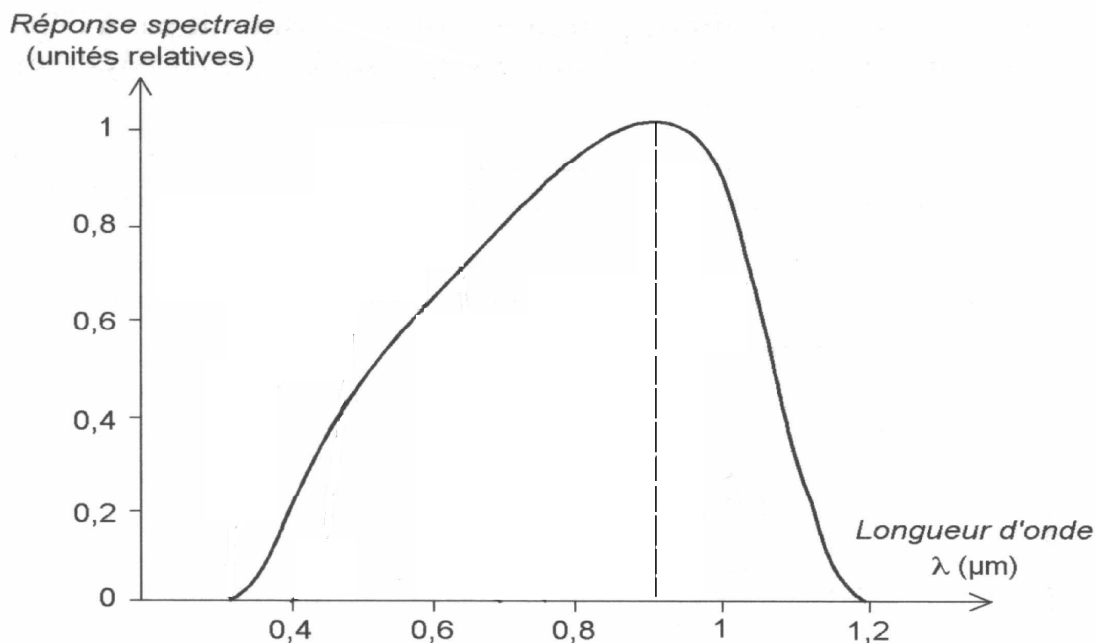
Document A3 : Rendement de la cellule

Rendement de cellules solaires :

Le rendement maximal des panneaux solaires issus du commerce est actuellement de l'ordre de 16 %, car les cellules photovoltaïques ne peuvent tout simplement pas réagir à la totalité du spectre lumineux.

On rappelle que l'énergie d'un photon est reliée à la fréquence de l'onde associée par la relation $E = h \cdot \nu$.

Courbe de réponse spectrale de la cellule photovoltaïque



Partie B : Éclairage autonome (6 points)

La nuit tombe généralement vers 18 heures. On souhaite que les habitants puissent disposer d'une source de lumière, notamment pour que les enfants puissent réaliser leurs devoirs.

L'objectif de cette partie est d'étudier l'opportunité d'installer des lampes à gravité dans les maisons. Cette lampe est décrite dans **document B1**.

B.1) Énergie récupérable grâce à la gravité

Donnée : valeur de l'intensité de la pesanteur $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

B.1.1) Calculer la valeur du poids du sac.

La masse descend à vitesse constante d'une hauteur $h = 2$ m sur une durée $\Delta t = 15$ minutes.

B.1.2) À partir des données précédentes, calculer la variation de l'énergie potentielle E_p du sac au cours de son mouvement.

B.1.3) Estimer l'énergie cinétique du sac et montrer que seule une fraction négligeable de l'énergie potentielle est transformée en énergie cinétique.

B.1.4) Montrer que la valeur de la puissance mécanique moyenne récupérable pendant la chute est de l'ordre de 0,27 W.

B.2) Etude du convertisseur mécanique-électrique

B.2.1) Compléter le bilan de puissance sur le document réponse **DR2** en précisant la forme énergétique des puissances considérées.

B.2.2) À l'aide des caractéristiques du générateur électrique données dans le **document B2** et des résultats précédents, déterminer le rendement η du convertisseur.

B.3) Choix du type d'éclairage

B.3.1) Le **document B3** présente des caractéristiques concernant différentes sources de lumière. Justifier que la lampe à gravité utilisant une LED est la meilleure solution en remplacement d'une bougie traditionnelle.

B.4) Transmission

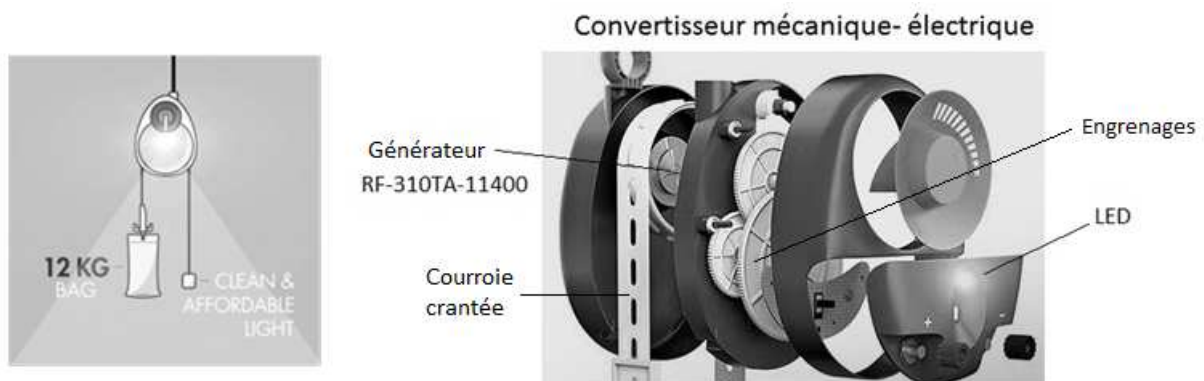
La masse suspendue entraîne par une courroie crantée un tambour de diamètre 7 cm.

B.4.1) Quelle est la vitesse de rotation ω du tambour exprimée en tour/minute ?

B.4.2) À quoi servent les engrenages visibles dans le schéma du **document B1** ?

Documents de la partie B

Document B1 : principe d'une lampe à gravité



En descendant, le sac de 12 kg entraîne un générateur produisant de l'énergie électrique permettant d'alimenter la lampe LED du dispositif.

Document B2 : caractéristique du générateur électrique RF 310 TA

Il s'agit d'un générateur de tension continue réglable.

Au rendement maximum :				
Modèle	Tension (V)	Vitesse (tour/min)	Courant (A)	
RF-310TA-11400	2,6	2190	0,070	

Document B3 : Caractéristiques de différentes sources de lumière

Flux lumineux d'une bougie : 12 lm

Caractéristique des lampes usuelles :

	Flux lumineux	Tension alimentation	Courant électrique	Puissance consommée	Efficacité lumineuse
LED	11 lm	2,6 V	67 mA	175 mW	63 lm/W
Lampe à incandescence TBT	1 lm	2,6 V	0,05 A	0,13 W	8 lm/W
Lampe "éco" fluocompacte	1200 lm	230 V	87 mA	20 W	60 lm/W

Partie C : Le cuiseur économe (5 points)

Des actions de reboisement sont engagées au sein du village, l'objectif de cette partie est d'étudier une solution permettant de réduire la consommation de bois.

Données :

Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Masses molaires : $M_C = 12\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_H = 1\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M_O = 16\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4180\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Pouvoir calorifique du bois sec (correspond à l'énergie récupérée lors de la combustion d'un kilogramme de bois sec) : $q = 1,8\cdot 10^7\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$

C1) Étude de la réaction chimique d'une combustion.

Dans cette partie, on fera l'hypothèse que les molécules organiques constitutives du bois sont principalement des polymères du glucose comme la cellulose.

C.1.1) Sur le document réponse **DR3**, identifier le motif de la cellulose. Donner la formule brute de ce motif.

C.1.2) Écrire puis équilibrer l'équation de combustion complète de la molécule $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$.

On peut estimer que lors de la combustion de 1 tonne de cette molécule, il y a consommation d'environ 740 m^3 d' O_2 , et production simultanée d'environ 740 m^3 de CO_2 et 560 kg d'eau.

C.1.3) Après avoir calculé les masses molaires du $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ et de l'eau, vérifier qu'une tonne de $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ produit par combustion approximativement 560 kg d'eau.

C2) Chauffage pour les besoins domestiques

On souhaite étudier les besoins en bois pour chauffer de l'eau par les procédés décrits dans les **documents C1** et **C2**.

C.2.1) On souhaite chauffer 10 litres d'eau. Calculer l'énergie nécessaire Q_{eau} pour amener l'eau de 20°C à 100°C .

C.2.2) En faisant l'hypothèse qu'il n'y a aucune perte, quelle est la masse de bois théorique m_{bth} à brûler ?

Pour la suite des questions, on considère que la masse de bois nécessaire est $m_{\text{bois}} = 0,2 \text{ kg}$.

C.2.3) À partir des données des **documents C1** et **C2**, évaluer la masse de bois réellement consommée pour chauffer les 10 L d'eau :

- Pour le foyer ouvert : m_{fo} (en kg)
- Pour le poêle rocket : m_{pr} (en kg)

C.2.4) En vous appuyant sur les **documents C1** et **C2**, donner au moins deux arguments permettant d'expliquer le meilleur rendement d'un poêle Rocket.

Documents de la partie C

Document C1

Dans les villages, la principale source de chaleur pour cuisiner est la combustion du bois. Cette combustion se fait dans un foyer ouvert, où un chaudron repose sur des pierres. Ce dispositif reste très utilisé dans les milieux ruraux, car sa mise en place ne nécessite aucun investissement. De plus, le foyer permet de disposer d'une source de lumière la nuit. Le rendement de ce dispositif n'est pas bon : environ 10 %. En effet, les échanges par conduction, convection et rayonnement ne sont pas optimisés avec le chaudron : la chaleur est rayonnée dans toutes les directions, le vent évacue facilement la chaleur produite. La chaleur est ainsi mal conservée par le chaudron.

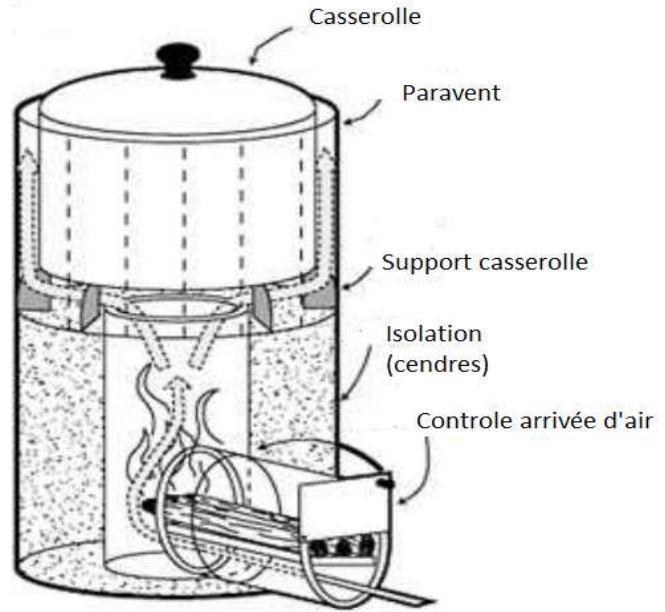
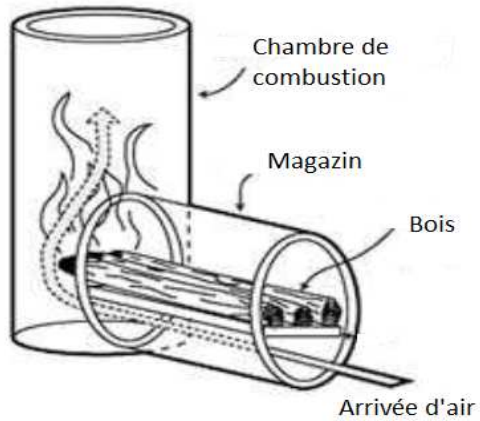
Par ailleurs, la combustion est souvent incomplète, car l'arrivée d'air nécessaire à la combustion n'est pas optimisée.



Foyer ouvert avec chaudron posé sur des pierres.

Document C2 : principe d'un poêle rocket

Vue du foyer de combustion :



Il est possible de réaliser ce type de poêle avec des matériaux simples. Ce dispositif est particulièrement adapté pour des montées en température rapides (environ 800°C) car l'inertie thermique du foyer de combustion est très faible. Une isolation du foyer avec des cendres évite les déperditions latérales. Le paravent augmente l'efficacité de l'échange avec la casserole.

Pour différentes raisons, le rendement moyen du dispositif est voisin de 50 %.

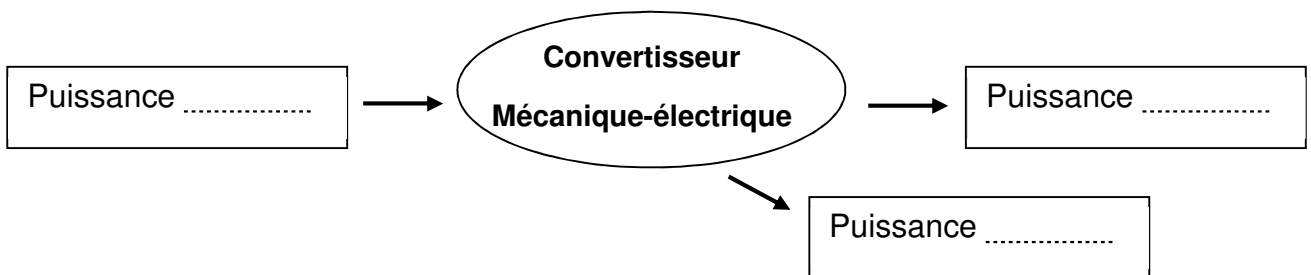
Document réponse DR1 à rendre avec la copie (même non complété)

Partie A – question A.1.1.

Utilisation	Surface à cultiver en hectare (ha)	Consommation journalière par hectare (en m ³)	Consommation journalière totale	
			En m ³	En litre
Riziculture	3			
Autres cultures	0,5			
Verger	0,7			
TOTAL				

Document réponse DR2 à rendre avec la copie (même non complété)

Partie B – question B.2.1.



Document réponse DR3 à rendre avec la copie (même non complété)

Partie C – question C.1.1.

