

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

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.

Ce sujet se décompose en trois parties indépendantes les unes des autres.

Les documents réponses des pages 11 et 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.

Lors des applications numériques, les résultats seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec ceux de l'énoncé et une attention particulière sera portée aux unités utilisées. Toute réponse devra être justifiée.

Consciente des enjeux énergétiques et climatiques, la Polynésie française s'efforce de réduire sa dépendance aux énergies fossiles. Depuis 2009, la Polynésie française s'est fixée pour objectif d'assurer 50% de la production d'énergie électrique à partir d'énergies renouvelables (EnR) à l'horizon 2020.

L'énergie thermique marine (ETM) est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles, de surface, et les eaux profondes des océans.

Ce type de production d'énergie avait été envisagé et étudié par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) dans les années 1980 en Polynésie. Quelques prototypes de faibles puissances (1 MW maximum) ont depuis été testés par les États-Unis et le Japon.

La Polynésie française serait propice à l'installation de sources d'énergie thermique marine : les eaux de surface sont très chaudes et les eaux froides en profondeur sont proches des côtes, à environ 2 à 3 km contre 6 à 8 km aux Antilles par exemple.

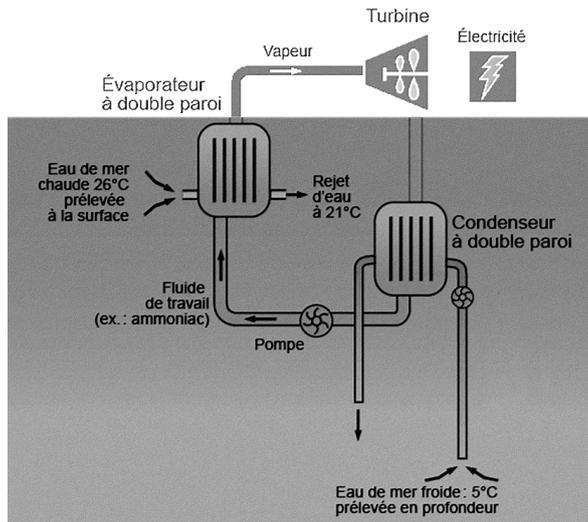
Ce sujet comporte trois parties indépendantes les unes des autres :

- **Partie A : Étude du principe de l'ETM**
- **Partie B : Étude du prélèvement des eaux froides**
- **Partie C : Valorisation des eaux profondes**

Partie A : Principe de l'ETM

La résolution de cette partie s'appuie sur les documents A1 et A2 ci-dessous.

Document A1 : Schéma de principe de l'ETM

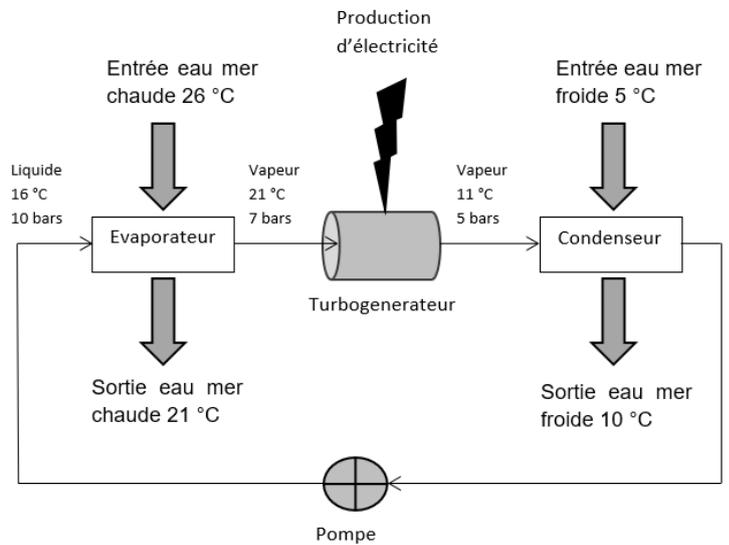


<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-thermique-des-mers-etm>

L'énergie thermique marine (ETM) consiste à exploiter la différence de température entre les eaux de surface réchauffée par le soleil et les eaux profondes qui, à partir d'une certaine profondeur, ont une température stable voisine de 5 °C. L'objectif est donc de ramener ces eaux profondes en surface et d'en tirer une quantité d'énergie supérieure à celle qu'il a été nécessaire d'investir pour le pompage.

Document A2 : Dossier technique

L'IFREMER considère que le coût du pompage des eaux profondes ne s'avérera rentable que pour un différentiel de température d'au moins 20°C entre l'eau de mer chaude prélevée à la surface et l'eau de mer froide prélevée en profondeur.



La centrale ETM fonctionne en cycle thermodynamique fermé. Le fluide caloporteur circulant dans cette boucle est de l'ammoniac NH₃. L'eau chaude de surface pompée cède de l'énergie à l'ammoniac dans l'évaporateur à double paroi. La vapeur du fluide caloporteur actionne ensuite une turbine, qui entraîne un turbogénérateur. Le fluide continue alors son parcours et se condense dans le condenseur à double paroi en cédant son énergie à l'eau froide pompée en profondeur.

Principe physique

1. Choisir le type de transfert thermique intervenant entre l'eau de mer et la paroi solide de l'évaporateur parmi les termes convection, conduction, ou rayonnement. Justifier la réponse par une phrase.
2. Préciser dans quel sens s'effectue ce transfert thermique.
3. Placer, sur le **document réponse DR1 page 11**, les points de fonctionnement nommés E et S correspondant respectivement à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur à l'aide du document A2.
4. Nommer la transformation physique subie par l'ammoniac NH_3 dans l'évaporateur.

Le transfert thermique

Le débit massique D_m de l'eau de mer chaude prélevée par la conduite de l'évaporateur est égal à $3000 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ et la capacité thermique massique c_{mer} de l'eau de mer, supposée indépendante de sa température, vaut $4,00 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$.

5. Vérifier que l'énergie thermique Q échangée par l'eau de mer chaude en une seconde a pour valeur $-6,0 \times 10^7 \text{ J}$.
6. Donner la signification de la valeur négative de l'énergie thermique Q .
7. Expliquer en une phrase ce que représente la grandeur ΔH_{vap} .
8. Sachant que dans les conditions de pression et de température de ce sujet l'enthalpie molaire de vaporisation ΔH_{vap} de l'ammoniac a pour valeur $-27,6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, déterminer la quantité de matière n d'ammoniac vaporisée chaque seconde ; on supposera que le transfert thermique entre l'eau et l'évaporateur s'effectue sans perte.

Choix de la profondeur

L'océan tropical est un vaste capteur d'énergie solaire et ses eaux de surface constituent un immense réservoir d'énergie. Le **document réponse DR2 page 11** indique l'évolution de la température de l'eau des océans en fonction de la profondeur.

9. En utilisant le **document réponse DR2 page 11**, indiquer clairement la profondeur approximative à laquelle devra être effectué le prélèvement d'eau froide pour obtenir une température de 5°C .
10. Vérifier que le différentiel de température est suffisant pour que l'installation soit rentable.

Partie B : Prélèvement des eaux froides

La France réfléchit à l'opportunité de développer un prototype d'ETM sur l'île de la Réunion, dans la ville de Sainte Rose. Le **document B2** indique les caractéristiques techniques d'une canalisation de prélèvement de l'eau froide en profondeur.

Document B1 : Formulaire

Débit volumique D_V :

$$D_V = \frac{V}{\Delta t} = v \times S$$

V : volume de fluide (m^3) ;

Δt : durée de passage (s) ;

v : vitesse du fluide ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ;

S : section de la canalisation (m^2).

Variation de pression hydrostatique ΔP (Pa) :

$$\Delta P = \rho \times g \times h$$

ρ : masse volumique ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) ;

g : intensité de la pesanteur terrestre ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) ;

h : profondeur (m).

Masse volumique ρ_{mer} de l'eau de l'océan dans les conditions de pression et de température du pompage :

$$\rho_{MER} = 1033 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

Intensité g de la pesanteur terrestre :

$$g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Aire S (m^2) d'un disque de rayon r (m) :

$$S = \pi \times r^2$$

Document B2 : ETM de Sainte Rose

La puissance de la centrale ETM dépendra grandement de la quantité d'eau de mer pompée donc du nombre de canalisations utilisées pour pomper cette eau. Voici les données pour une canalisation :

- Utilisation de canalisations en polyéthylène haute densité PEHD (produit standard) avec un diamètre maximum de 2,00 m.
- Vitesse de l'eau dans les conduites de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (vitesse généralement préconisée)
- Débit d'eau froide profonde de l'ordre de $3,0 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ pour obtenir une puissance produite égale à 1,0 MW (système ETM).
- Débit d'eau chaude égal au double de celui de l'eau froide.
- Distance de 0,8 m entre deux tuyaux installés sur le fond marin.

Étude dynamique.

11. En utilisant la relation donnant l'aire d'un disque, calculer la surface S de la section d'une canalisation en PEHD, en conservant trois chiffres significatifs.
12. Calculer le débit volumique réel D_v de l'eau dans une canalisation de la station ETM de Saint Rose.
13. En utilisant le débit volumique D_v réel calculé précédemment, vérifier que la puissance P réellement délivrée par une installation comportant 5 canalisations est égale à 6,3 MW.
14. Les canalisations utilisées ne conservent pas forcément le même diamètre tout au long de l'installation. Les conduites de deux mètres de diamètre tendent à se rétrécir avant leurs arrivées sur le site de Sainte Rose.

En considérant que le débit reste constant, calculer la vitesse v d'écoulement dans une canalisation de rayon r égal à 25 cm.

La bathymétrie (sondage de la profondeur)

Document B3 : Principe de fonctionnement du sonar.

Un **sonar** est un dispositif utilisant les propriétés particulières de la propagation du son dans l'eau pour détecter et situer les objets sous l'eau.

Ce dispositif contient un appareil situé sur ou dans la coque, jouant les rôles d'émetteur et de récepteur.

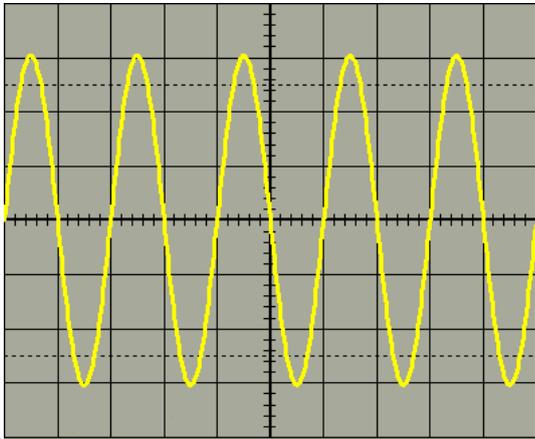
Le sonar émet des impulsions électriques converties en ondes sonores par l'émetteur. Ces ondes se propagent dans l'eau à la célérité c_{son} égale à $1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Lorsqu'une onde touche un objet, elle se réfléchit et l'écho revient sur le sonar. Le récepteur convertit l'onde réfléchie en un signal électrique qui est traité et renvoyé à l'écran du sonar.

D'après le site <https://www.online-sciences.com>

Avant tout projet d'installation, l'IFREMER a procédé à des sondages proches des côtes de Sainte Rose. Le **document réponse DR3 page 12** donne un exemple d'enregistrement obtenu.

15. Déterminer la période T du signal émis par l'émetteur du bateau à l'aide du **document B4** ci-dessous :

Document B4 : oscillogramme du signal émis par l'émetteur du sonar.



Sensibilité verticale de la voie 1 : $1 \text{ V}\cdot\text{div}^{-1}$

Base de temps (vitesse de balayage) : $20 \mu\text{s}\cdot\text{div}^{-1}$

16. Calculer sa fréquence f .
17. En utilisant le **document B5** ci-dessous, déterminer la nature de l'onde émise.

Document B5 : Nature de l'onde en fonction de sa fréquence.



18. Indiquer, par une double flèche et par le symbole Δt , le temps de propagation de l'impulsion sur **document réponse DR3 page 12**.
19. Vérifier, à l'aide d'un calcul, que ce temps de propagation Δt a pour valeur 1,6 s.
20. Calculer la distance d à laquelle se trouve le fond marin où sera prélevée l'eau froide.
21. La pression au niveau de la surface de l'océan correspond à la pression atmosphérique P_{atm} égale à $1,02 \cdot 10^3 \text{ hPa}$. Déterminer la pression hydrostatique P à une profondeur de 1200 m.

Partie C : Valorisation des eaux profondes

En sortie de la centrale ETM, l'eau de mer froide est à une température d'environ 10°C. L'intérêt serait de valoriser cette eau à travers de nouvelles activités, ce qui permettrait de réduire les coûts des installations. En effet, l'eau de grande profondeur présente trois atouts principaux :

- une température basse,
- une bonne qualité microbiologique,
- une richesse en éléments minéraux.

L'une des applications envisagées consisterait à utiliser cette eau fertile pour élever des algues en photo-bioréacteurs (algoculture). Ces algues microscopiques peuvent être utilisées directement pour la synthèse d'un biocarburant : le biodiesel.



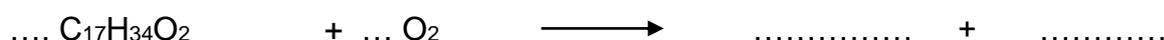
*Culture des microalgues en photobioréacteur
Image <https://fr.wikipedia.org>*

L'algoculture

Lors de la photosynthèse, grâce à la lumière, les algues consomment le dioxyde de carbone CO_2 pour produire du dioxygène O_2 mais aussi de la matière organique (glucides, lipides...). Elles peuvent donc produire un carburant « vert ».

En effet, la majeure partie de l'énergie stockée dans les algues l'est sous forme de lipides (triglycérides d'acides gras) qui, après réaction avec du méthanol, peuvent être utilisables comme carburant appelé EMAG (esters méthyliques d'acide gras). Contrairement au biocarburant issu de cultures oléagineuses (maïs, colza...), ce biodiesel ne détourne pas l'usage des terres agricoles, habituellement utilisées pour des cultures alimentaires, au profit de la production de carburant.

22. Indiquer les aspects de la production d'algues marines en photo-bioréacteurs qui semblent prometteurs au plan économique ou écologique.
23. Le biodiesel (EMAG) a pour formule brute $\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$ et sa combustion complète produit du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau.
Recopier l'équation de la réaction de combustion complète ci-dessous sur la copie, la compléter et l'ajuster.



24. Montrer que la quantité de matière n contenue dans une masse m de biodiesel valant 1,0 kg est voisine de 3,7 mol.

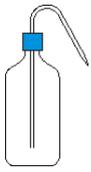
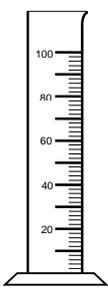
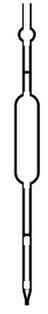
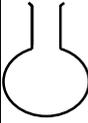
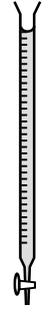
On donne la masse molaire moléculaire de l'EMAG : $M(\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2) = 270 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

25. Montrer que la quantité de matière n_{CO_2} de dioxyde de carbone produite par la combustion d'un kilogramme de biodiesel est voisine de 63 mol. Compléter le tableau du **document réponse DR4 page 12** à remettre avec la copie.
26. Calculer la masse m_{CO_2} de dioxyde de carbone produite par la combustion complète d'un kilogramme de biodiesel sachant que la masse molaire du dioxyde de carbone $M(CO_2)$ vaut $44 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
27. Sachant que la combustion d'un kilogramme de diesel classique produit 3,1 kilogrammes de dioxyde de carbone, calculer la masse de dioxyde de carbone économisée par la combustion d'un kilogramme de biodiesel, par rapport à celle du diesel classique. Commenter le résultat obtenu.

Nettoyage du bioréacteur

Les photo-bioréacteurs sont des tubes transparents qui s'opacifient à cause de la présence de calcaire dans l'eau de mer. Un nettoyage chimique à base d'acide phosphorique est donc préconisé. La fiche technique du produit employé est donnée dans le **document C.1 page 10**.

28. Préciser les précautions d'usage de ce produit.
29. Nommer la famille des espèces chimiques capables de capter un proton H^+ .
30. Sur une échelle de pH graduée de 0 à 14, indiquer dans quel intervalle se situe une solution acide, une solution basique, une solution neutre ; positionner le produit de nettoyage dans un de ces intervalles.
31. Détailler le protocole expérimental à suivre pour préparer un volume de 250,0 mL de solution diluée à 20 % en volume (ou au $1/5^{\text{ème}}$) de bio-détartrant ; préciser le matériel de laboratoire utilisé parmi la liste ci-dessous et les volumes mis en œuvre.

pissette	éprouvette graduée	fiolle jaugée	erlenmeyer	ampoule à décanter	pipette jaugée	ballon	bécher	pipette graduée	burette graduée
									

32. Indiquer comment évolue la concentration des ions $H_3O^+_{(aq)}$ si on ajoute de l'eau à la solution pure initiale. Préciser dans quel sens évolue le pH .

33. L'acide phosphorique fait partie du couple acide/base $\text{H}_3\text{PO}_{4(\text{aq})} / \text{H}_2\text{PO}_{4}^{-}(\text{aq})$.
Écrire l'équation modélisant la réaction acido-basique entre l'acide phosphorique et l'eau qui appartient au couple acide/base $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\text{l})$; préciser l'espèce chimique qui capte un proton H^{+} .

Document de la partie C

Document C.1 : Le produit de nettoyage

Fiche technique

BIO D-TART L



CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES :

Aspect : liquide incolore pH à l'état pur : < 1

Densité à 20 °C : 1.11 +/- 0.005

Contient : acide Phosphorique ; Classé C = CORROSIF. Tensio-actifs non ioniques...

MODE D'UTILISATION :

S'emploie par trempage ou circulation.

Diluer dans de l'eau de 10 à 20 % selon le degré d'entartrage et le support à traiter

Après le détartrage, neutraliser avec BIO NEUTRAL.

Rincer à l'eau potable.

Pour le sol, utiliser dilué de 10 à 50 % selon le support et le degré d'entartrage.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI :

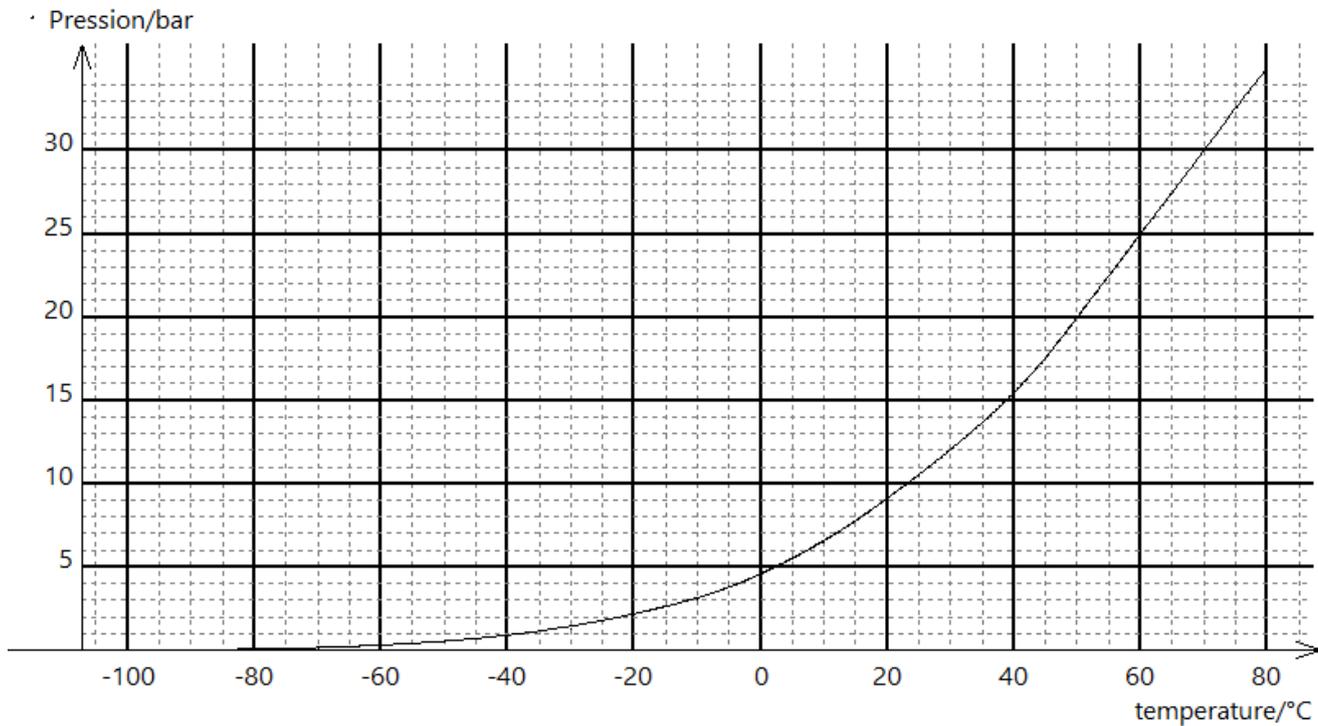
Provoque de graves brûlures de la peau et des lésions oculaires.

Se laver les mains soigneusement après manipulation

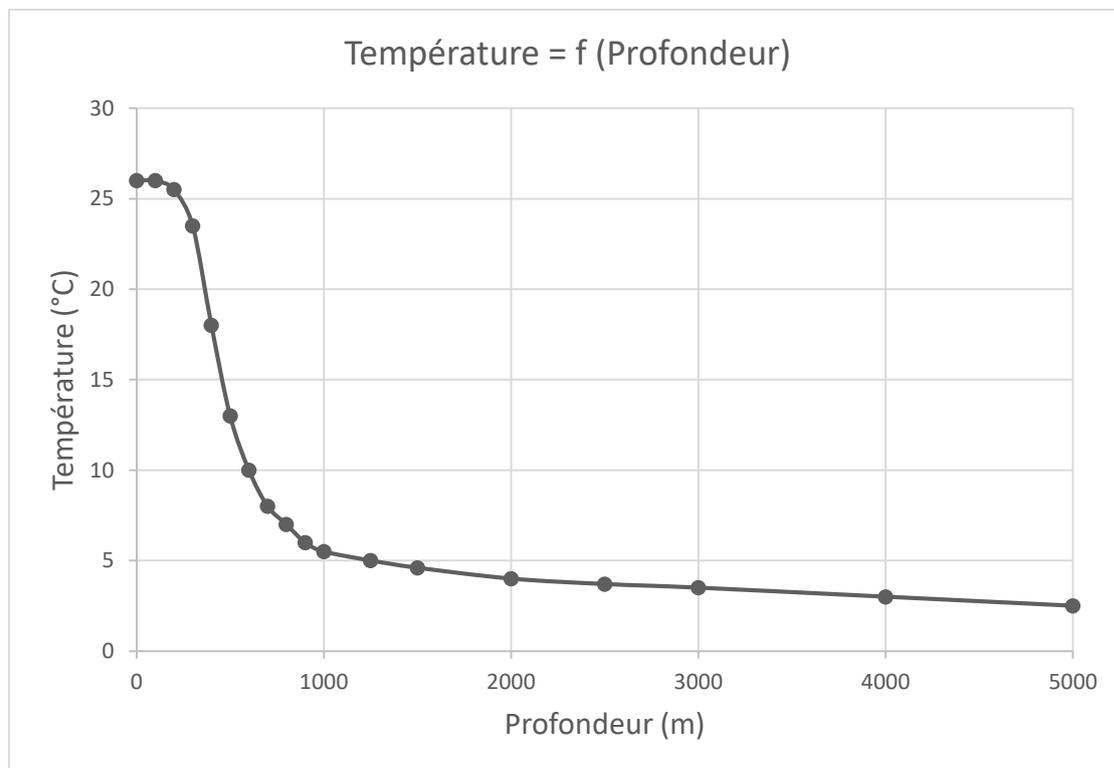


Documents Réponses à rendre avec la copie même non complétés

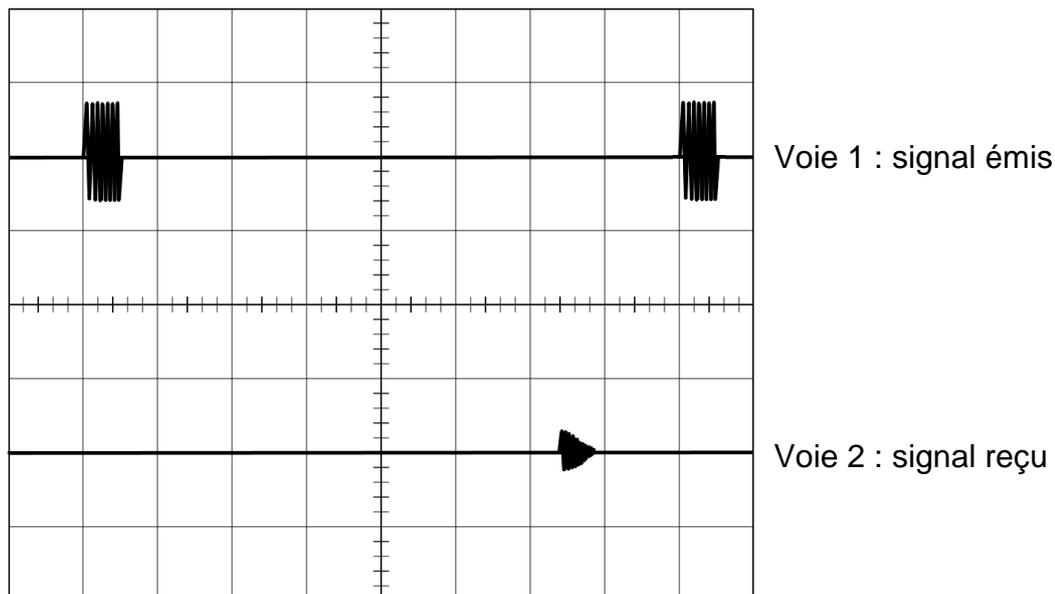
Document réponse DR1 : Diagramme de phases de l'ammoniac NH_3



Document Réponse DR2 : Température de l'eau des océans en fonction de la profondeur



Document réponse DR 3 : Propagation de l'onde dans l'eau



Sensibilité verticale de la voie 1 : $5 \text{ V}\cdot\text{div}^{-1}$
 Sensibilité verticale de la voie 2 : $100 \text{ mV}\cdot\text{div}^{-1}$
 Base de temps (vitesse de balayage) : $250 \text{ ms}\cdot\text{div}^{-1}$

Document réponse DR4 : Tableau d'avancement

	$\dots \text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2 + \dots \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \dots + \dots$			
État initial		En excès		
État final		En excès		