

Devoir Surveillé de rentrée

**L'emploi des calculatrices personnelles est interdit.
Aucune sortie n'est possible pendant l'épreuve.**

Instructions générales

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction. La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

En particulier, les résultats non encadrés et non justifiés ne seront pas pris en compte.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points.

Le candidat prendra soin de bien numéroter les questions et d'y répondre dans l'ordre sur sa copie.

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

ATTENTION : - La rédaction doit être faite à l'encre noire ou bleue. Les couleurs doivent être réservées à l'encadrement des résultats et/ou les schémas.
- Les encres vertes et violettes sont interdites.
- Sont interdits également : les stylos plumes, les correcteurs type « Typex » ou « blanco », les stylos à friction.

Etude des propriétés physiques et chimiques de l'eau de mer

Océanographie : Science qui a pour objet l'étude des mers et des océans, du milieu marin et de ses frontières ainsi que des organismes qui y vivent.

L'océanographie consiste à étudier les océans par l'utilisation de diverses sciences de base telles que la physique, la chimie, la biologie, la géologie, les mathématiques étant évidemment omniprésentes. [...]

Les études en océanographie physique sont menées d'une part par une observation directe des propriétés et des mouvements des masses d'eau, d'autre part par application des principes de la physique de base, m' mécanique et thermodynamique, pour déterminer et comprendre les mouvements observés. [...]

Mesurer pour connaître, puis connaître pour modéliser et enfin modéliser pour comprendre. Ensuite seulement viendra la prévision. Tel est le crédo des océanographes actuels. [...]

Document 1. Océanographie physique, Nathalie Daniault, Ecole Navale, UBO, 02/2005

I) Océanographie physique

I.1) Capacité thermique de l'eau

Si la terre est habitable, c'est un peu à l'océan que nous le devons. En effet, par la redistribution de la chaleur vers les pôles qu'il effectue (il participe à ce transport à parité avec l'atmosphère) l'océan contribue à maintenir la température des zones équatoriales plus basses et celle des hautes latitudes plus hautes qu'elles ne le seraient en l'absence de ce transport de chaleur.

La capacité calorifique* de l'eau ($\approx 4000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, environ 4 fois celle de l'air) fait que l'océan est le régulateur thermique de l'atmosphère : une couche de 2,5m de la surface océanique peut stocker autant de chaleur que la totalité de l'atmosphère**. [...]

Ainsi 2,5m d'eau ont la même capacité calorifique par unité de surface que toute l'épaisseur de l'atmosphère.

En d'autres termes, la chaleur nécessaire pour augmenter de 1K toute l'atmosphère est identique à celle nécessaire pour augmenter de 1K, 2,5m d'océan.

* = capacité thermique, on notera $c = 4 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

** = atmosphère limitée à la troposphère

Document 2. Océanographie physique, Nathalie Daniault, Ecole Navale, UBO, 02/2005

- 1) Enoncer le premier principe de la thermodynamique. On précisera tous les termes entrant dans sa composition, ainsi que leurs unités.
- 2) Définir la notion d'enthalpie. Donner son unité.
- 3) Montrer que pour une transformation monobare et réversible, la variation d'enthalpie est égale au transfert thermique du système avec l'extérieur soit :

$$\Delta H = Q$$

- 4) Définir la notion de capacité thermique à pression constante. Que peut-on dire dans le cas d'un fluide incompressible et indilatable ? On exprimera en particulier la variation d'enthalpie en fonction de la capacité thermique.
- 5) Montrer que pour une transformation monobare et réversible, il est possible de relier le transfert thermique à la capacité thermique selon la formule suivante :

$$Q = C \Delta T$$

- 6) En utilisant les données de l'annexe 1, expliquer la phrase du document 2 : « une couche de 2,5m de la surface océanique peut stocker autant de chaleur que la totalité de l'atmosphère ».

I.2) Le système océan-atmosphère

Néanmoins, le système océan-atmosphère est un système couplé car c'est la circulation atmosphérique (le vent) qui est responsable pour une large part de la circulation générale des océans, aussi comprend-on que l'explication globale des phénomènes climatiques passe par l'étude de la dynamique océanique. On comprend également que la protection des mers revêt une importance capitale : on peut parler ici du problème du CO_2 dont l'augmentation (30% en 100 ans), liée à l'utilisation du charbon et du pétrole, pourrait, par "effet de serre" faire croître la température moyenne de l'atmosphère causant la fonte des calottes polaires, avec les conséquences que l'on imagine. L'océan jouera-t-il un rôle de buvard ?

Document 3. Océanographie physique, Nathalie Daniault, Ecole Navale, UBO, 02/2005

A. La présence d'eau liquide

On donne le diagramme pression-température (P, T) de l'eau :

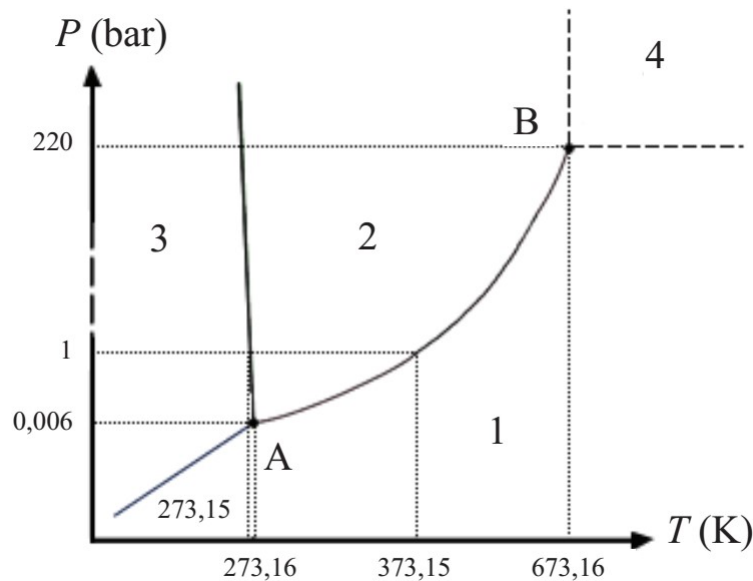


Figure 1. Diagramme (P, T) de l'eau

- 7) Associer à chaque domaine (numérotés de 1 à 4) l'état physique dans lequel se trouve l'eau parmi les propositions suivantes : solide, liquide, gaz et fluide supercritique.
- 8) Donner les noms des points A et B.

(Sur Mars) Si l'eau n'existe plus sous forme liquide, elle a dû néanmoins être présente sous cette forme dans le passé. Les volcans martiens ont dû éjecter de l'hydrogène et de l'oxygène qui ont donné naissance à de l'eau dont les canaux conservent la trace de son écoulement. Lors d'un refroidissement ultérieur de la planète, l'eau a dû disparaître sous forme de glace dans le sol. Un élément qui vient confirmer cette hypothèse est la présence de dépôts de sel au creux de dépressions vers lesquelles serpentent des canaux.



Document 4. Espace et éducation, CRDP de l'académie de Versailles, janvier 2006.

Figure 2. Image de la caméra stéréoscopique haute résolution 2D du canyon d'Echus Chasma sur la planète Mars

II) Propriétés physiques de l'eau de mer

Les mouvements océaniques sont contrôlés par la masse volumique de l'eau de mer. L'équation d'état de l'eau de mer indique que la masse volumique ρ est une fonction de la pression P , la température T et de la salinité S . Cette relation est non linéaire, mais approximativement :

ρ augmente de 1kg/m^3 quand : T diminue de 5°C , S augmente de 1‰ et P augmente de 200 dbar^* .

* : Le dbar est l'unité usuelle de pression en océanographie physique. $1\text{ dbar} \approx 10^4\text{Pa}$

Document 7. Océanographie physique, Nathalie Daniault, Ecole Navale, UBO, 02/2005

II.1) Influence de la pression sur la densité de l'eau

On va ici s'intéresser à aux variations de la masse volumique de l'eau de mer en fonction de la pression.

17) D'après le document 7, on peut exprimer la masse volumique dans l'eau de mer en fonction de la pression sous la forme : $\rho - \rho_0 = \alpha(P - P_0)$. Expliquer cette forme et donner la valeur de α . On précisera son unité.

On montre que la pression et la masse volumique sont aussi reliées par la relation de la statique des fluides suivante :

$$\frac{dP}{dz} = \rho g$$

18) En remplaçant dans l'équation de la statique des fluides, donner l'équation différentielle dont $P(z)$ est solution. La résoudre et montrer que :

$$P(z) = \frac{\rho_0}{\alpha} (\exp(-\alpha g z) - 1) + P_0$$

Commenter.

II.2) Température potentielle

La température joue un rôle prépondérant sur la masse volumique de l'eau. Mais la température varie aussi avec la pression. On a en effet une variation adiabatique de la température avec la pression. Considérons une masse d'eau de volume V constant et dont la salinité reste constante. On la descend à 4000m de profondeur au cours d'une transformation adiabatique et réversible. D'une température de $T(0) = 5^\circ\text{C}$ à la surface, elle atteint à l'arrivée une température de $T(4000) = 5,45^\circ\text{C}$.

19) Montrer qu'une transformation adiabatique réversible peut aussi être qualifiée d'isentropique.

20) Montrer que pour une transformation adiabatique et réversible, la variation d'enthalpie est égale à :

$$\Delta H = V \Delta P$$

21) Montrer alors que :

$$C \Delta T = V \Delta P$$

En déduire la variation de température avec la pression et justifier l'augmentation de température avec la profondeur.

Pour pouvoir étudier la variation de la masse volumique en fonction de la température, il faut pouvoir se soustraire de sa variation en fonction de la pression. On souhaite alors comparer deux masses d'eau à la même profondeur. On utilise fréquemment la masse volumique à la pression atmosphérique, soit : $\rho(S, T, P_0)$. On définit alors la température potentielle comme la température atteinte par un élément de fluide ramené adiabatiquement à la surface océanique.

22) La température potentielle sera-t-elle plus faible ou plus élevée que la température « in-situ », température à la profondeur z de départ de la transformation ?

II.3) Salinité de l'eau de mer

La salinité 1902, symbole S , était exprimée en g/kg d'eau de mer ou ‰. La détermination directe de la salinité est une opération trop délicate et trop lente pour pouvoir être utilisée dans des mesures de routine. Dans la pratique océanographique, la salinité a été déduite, jusqu'en 1961, de la chlorinité puis progressivement à partir de cette date, elle a été déduite des mesures de conductivité électrique.

La chlorinité est la masse en grammes des halogènes contenus dans un kilogramme d'eau de mer, les ions bromure et iodure étant remplacés par leur équivalent en ions chlorure.

Actuellement, on utilise la relation suivante entre salinité (symbole S) et chlorinité (symbole Cl) :

$$S\text{‰} = 0,030 + 1,8050 \times Cl\text{‰}$$

Document 8. Définition de la salinité

On détermine la chlorinité de l'eau de mer par la méthode de Mohr (Document 9).

On dispose de $V_0 = 100,0 \text{ mL}$ d'eau de mer (solution S_0) de concentration C_0 en ions chlorure, Cl^- . Compte tenu de la forte teneur en ions chlorure dans l'eau de mer, cette solution est diluée dix fois, on obtient la solution S_1 . On appellera C_1 la concentration en ions chlorure dans cette solution.

On prélève $V_1 = 5,0 \text{ mL}$ de la solution S_1 , on les place dans un bécher et on y ajoute $0,50 \text{ mL}$ de solution de chromate de potassium ($2K^+, CrO_4^{2-}$) de concentration $C = 0,050 \text{ mol.L}^{-1}$. On appelle S_2 , la solution ainsi obtenue d'un volume de $V_2 = 5,5 \text{ mL}$.

On ajoute alors, à la burette, une solution de nitrate d'argent (Ag^+, NO_3^-) de concentration $C_{Ag} = 0,025 \text{ mol.L}^{-1}$. Les ions argent vont alors réagir avec les ions chlorure et précipiter en chlorure d'argent, $AgCl$.

Le précipité rouge brique de chromate d'argent apparaît pour un volume versé $V_{Ag,E} = 11,0 \text{ mL}$ de nitrate d'argent.

Document 9. Protocole du dosage

23) Écrire l'équation de la réaction du titrage. Comment appelle-t-on les ions NO_3^- ?

24) Quel est le rôle de la solution de chromate de potassium ? Quelle réaction se produit à partir de l'équivalence et permet donc de la repérer ?

25) Quelle est la concentration des ions chlorure dans la solution S_1 ? dans la solution S_0 ?

26) En déduire la chlorinité puis la salinité de l'échantillon d'eau de mer (on considérera pour simplifier que l'eau de mer a une densité de 1,00).

Annexe 1 : Données

Pression atmosphérique	$P_0 = 1,00.10^5 Pa$
Masse volumique de l'eau de mer à P_0	$\rho_0 = 1000 kg.m^3$
Masse volumique de l'air à P_0	$\rho_{air} = 1 kg.m^3$
Capacité thermique massique de l'eau de mer	$c = 4 kJ.K^{-1}.kg^{-1}$
Capacité thermique massique de l'air	$c_{air} = 1 kJ.K^{-1}.kg^{-1}$
Epaisseur de la troposphère	$h_{trop} = 10 km$
Rayon de la Terre	$R_{terre} = 6371 km$
Masse molaire du chlore	$M_{Cl} = 35,5 g.mol^{-1}$

Annexe 2 : Formules et applications numériques

$\frac{2,5 \times 11}{5} = 5,5$	$5,5 \times 35,5 = 195$
$0,030 + 1,8050 \times 19,5 = 35,2$	