

Partie 2 – Sciences physiques

Les trois exercices proposés sont indépendants ; le candidat doit en traiter seulement deux. Chacun des exercices est noté sur 10.

Le candidat indiquera au début de sa copie les numéros des 2 exercices choisis. Les mots clés présents en en-tête de chaque exercice, peuvent l'aider à effectuer son choix.

Les numéros des exercices traités doivent apparaître clairement sur la copie.

EXERCICE I – DES SATELLITES POUR MIEUX CONNAITRE LES OCÉANS

Mots clés : description d'un mouvement, mouvement dans un champ de gravitation, mouvement circulaire.

L'altimétrie par satellite est aujourd'hui l'un des outils les plus précieux pour l'océanographie. À bord du satellite est embarqué un radar. Il mesure avec une précision remarquable (environ 2 cm) la hauteur des océans.

On étudie, dans cet exercice, les mouvements de deux satellites altimétriques.

Fruit d'une collaboration internationale entre les États-Unis et l'Europe, Jason-CS/Sentinel-6 (figure 1), est le dernier né des satellites altimétriques.

Conçu pour mesurer la hauteur des océans avec une précision de l'ordre du cm, il se déplace à une vitesse proche de $2,59 \times 10^4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ sur une orbite circulaire, à une altitude $h = 1\,336 \text{ km}$, et repasse tous les dix jours au-dessus du même point.

La masse du satellite Jason-CS/Sentinel-6 est égale à $m_S = 1\,440 \text{ kg}$.

Données :

- masse de la terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- rayon terrestre : $R_T = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$

1. Donner, l'expression de la force gravitationnelle qui s'applique au satellite Jason-CS/Sentinel-6 dans le repère de Frenet associé. Représenter, sans souci d'échelle, cette force et le repère de Frenet sur le document de l'**ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**.
2. Montrer que, dans un référentiel judicieusement choisi, le mouvement du satellite considéré est circulaire uniforme.
3. Établir l'expression du vecteur vitesse du satellite. Le représenter, sans souci d'échelle, sur le document de l'**ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**.



Figure 1. Satellite Jason-CS/Sentinel-6

4. Déterminer le nombre de fois que le satellite parcourt son orbite avant de repasser au-dessus du même point.

Le candidat est invité à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

Topex-Poséidon a été le premier satellite d'altimétrie de précision réalisé par la NASA et le CNES. Lancé le 10 août 1992, les 2 400 kg du satellite ont été placés sur une orbite circulaire à 1 336 km du sol. Il a fourni des données jusqu'en 2005.

5. Comparer la vitesse du satellite Topex-Poséidon à celle du satellite Jason-CS/Sentinel-6. Justifier simplement votre réponse, sans calculs.

EXERCICE II – LA THALASSOTHERMIE

Mots clés : bilans énergétiques, premier principe de la thermodynamique, transfert thermique, travail

Adaptée aux zones littorales à forte densité de population, la thalassothermie se développe en Méditerranée, mais pas uniquement. Elle est aussi présente à Biarritz, Cherbourg, Brest et Boulogne-sur-Mer. L'intérêt de ce procédé réside dans le fait qu'un faible apport d'énergie électrique à l'énergie thermique captée dans la mer, permet d'obtenir une quantité importante d'énergie issue de sources d'énergie renouvelables. Le procédé est décrit dans la figure 1.

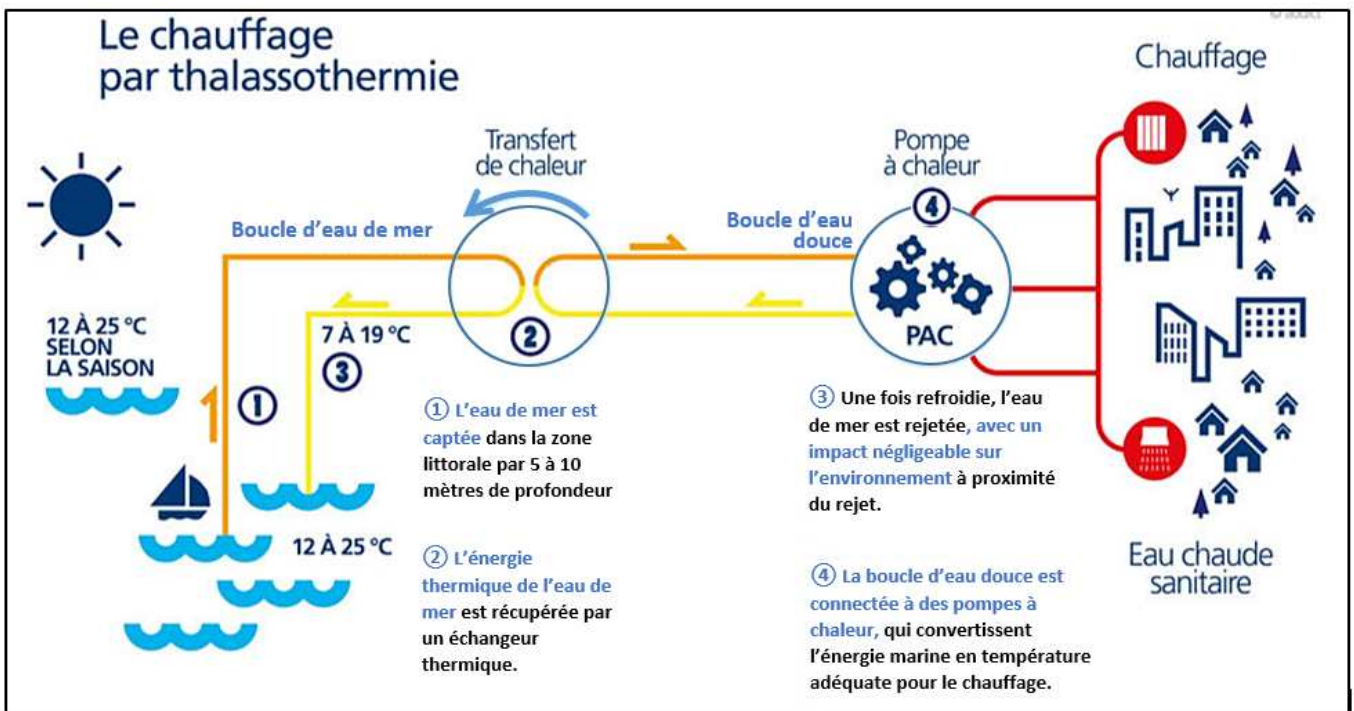


Figure 1. Présentation de la thalassothermie d'après <https://www.dalkia.fr/fr/e-mag-efficacite-energetique/thalassothermie-lor-bleu-du-littoral>

Une pompe à chaleur est un dispositif qui permet de récupérer de l'énergie d'une source sous forme de transfert de chaleur en investissant un minimum d'énergie.

À cause de son caractère corrosif, l'eau de mer ne doit pas être en contact direct avec la pompe à chaleur.

Au sein d'une pompe à chaleur, circule un fluide caloporteur. Il constitue le [système de l'étude. Au cours de son mouvement dans la pompe, il](#) passe par différents états physiques et différentes températures (voir la figure 2) :

- dans l'évaporateur, il y a un transfert d'énergie thermique Q_1 vers le fluide. La température du fluide augmente. Il devient gazeux ;
- dans le compresseur, il y a un transfert d'énergie du compresseur vers le fluide sous forme de travail W_{el} . La pression augmente ce qui a pour conséquence une élévation de la température du fluide ;

- dans le condenseur, il y a un transfert d'énergie thermique Q_2 vers le fluide. La température du fluide diminue. Il devient liquide ;
- dans le détendeur, la pression du fluide diminue, il redevient liquide. Sa température diminue et devient inférieure à celle de la boucle d'eau douce.

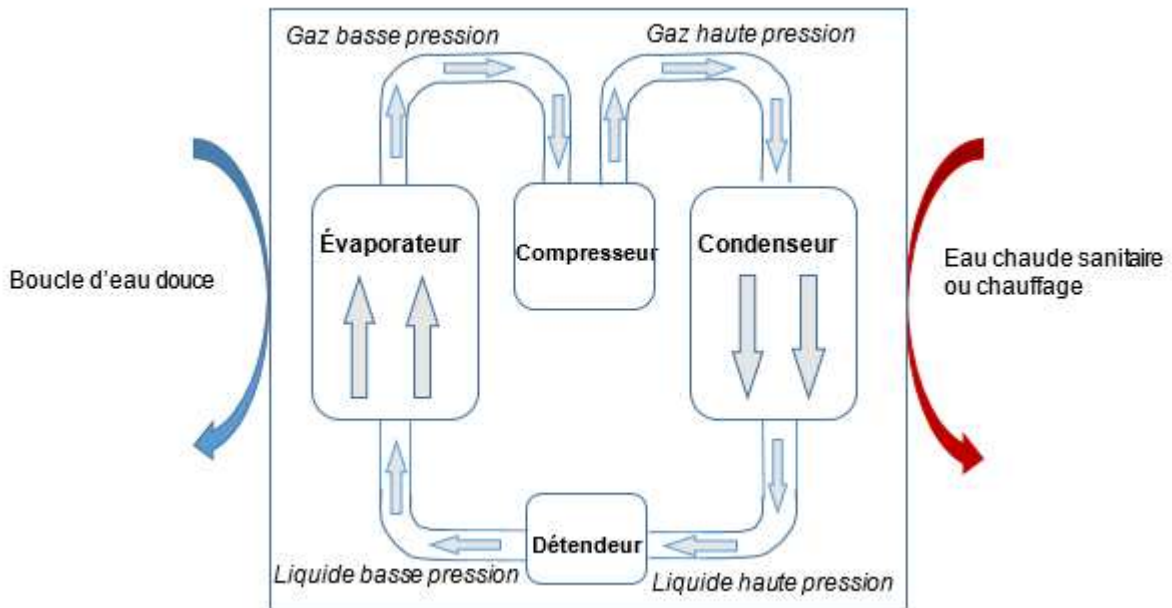


Figure 2. Schéma d'une pompe à chaleur d'après http://www.guide-de-la-pompe-a-chaaleur.com/comprendre_pompe_chaleur/fonctionnement

1. Quel est le principal mode de transfert thermique entre la pompe à chaleur et le circuit d'eau chaude sanitaire ? Le décrire de façon qualitative.
2. Représenter, sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** et à l'aide de flèches, le sens des transferts d'énergie entre les différentes parties du diagramme et faire figurer Q_1 , Q_2 et W_{el} . Préciser leurs signes.

En 2013, la ville de Cherbourg a installé deux pompes à chaleur à l'eau de mer d'une puissance thermique totale de valeur $\phi = 2,2$ MW dans la chaufferie collective d'un quartier qui compte 1 300 logements.

Le coefficient de performance (CoP) de ces pompes à chaleur est défini comme le rapport de l'énergie thermique fournie par un système technique sur l'énergie électrique investie. Dans les conditions optimales de fonctionnement, il est égal à 3,4.

On considère dans la suite de l'exercice, que :

- toute l'énergie thermique fournie par les pompes à chaleur est utilisée pour le réseau d'eau chaude sanitaire ;
- chaque logement a un ballon d'eau chaude sanitaire de 200 L ;
- le volume d'eau dans les tuyaux est négligeable devant le volume d'eau dans les ballons.

Données :

- masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- capacité calorifique massique de l'eau : $c_{eau} = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- coût de l'électricité (tarif règlementé) = 0,159 € par kW·h

Lors de la mise en route de l'installation, la température de l'eau dans le réseau d'eau chaude est de 15,2 °C.

3. Calculer la température de l'eau, considérée comme un liquide incompressible, après 5 h de fonctionnement des pompes à chaleur.

4. Calculer, en pourcentage, l'économie réalisée sur une facture électrique par rapport à l'utilisation d'un chauffe-eau électrique dont le coefficient de performance est égal à 1. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

EXERCICE III – LES ONDES GRAVITATIONNELLES DÉTECTÉES PAR INTERFÉROMÉTRIE

Mots clés : interférences

LIGO et VIRGO sont deux interféromètres, situés, respectivement aux États-Unis et en Italie. Ils ont pour but la détection d'ondes gravitationnelles. Ces phénomènes, dont Einstein avait prédit l'existence en 1916, ont été observés pour la première fois en 2015 au LIGO. Il s'agit de phénomènes de propagation de nature complexe qui se produisent lors de la réunion de trous noirs ou d'explosion de supernovæ. Ces ondes gravitationnelles sont capables de déplacer des corps massifs mais ces déplacements sont imperceptibles à échelle humaine.

La description de l'interféromètre VIRGO permet de comprendre le principe de la mesure. Il est composé de deux tubes sous vide de 3 kilomètres de long disposés à angle droit. Aux extrémités sont installés deux miroirs parmi les plus parfaits au monde. Un faisceau laser, émis par une source, est divisé en deux grâce à un diviseur de faisceau. Les rayons ainsi produits se réfléchissent sur un des miroirs, et sur l'autre. Après leurs allers-retours, ces deux rayons laser se combinent et forment des interférences avant d'atteindre le détecteur (figure 1).

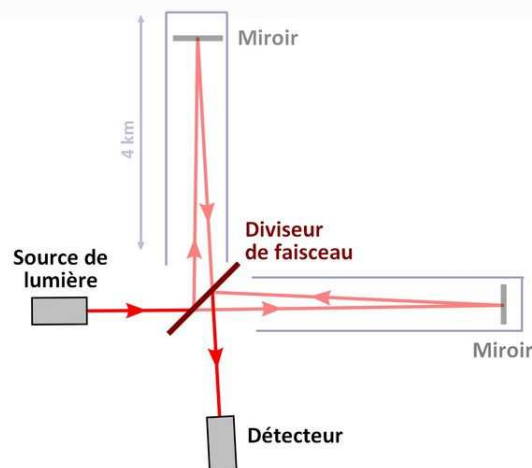


Figure 1. Schéma illustrant le fonctionnement d'un interféromètre (schéma d'après Stannered, GFDL)

Le principe de VIRGO consiste donc à faire interférer les deux rayons qui ont été réfléchis sur les deux miroirs différents. Les miroirs sont positionnés de façon à ce que les deux faisceaux interfèrent, en l'absence d'onde gravitationnelle, de façon destructive au niveau du détecteur.

D'après les propos de Nathalie Duruelle directrice de recherche au CNRS : « *quand une onde gravitationnelle passe sur Terre, le temps d'aller et retour de la lumière entre les deux miroirs va changer, puisque l'un se sera un tout petit peu rapproché et l'autre un tout petit peu éloigné compte tenu de leur disposition en angle droit. À l'arrivée, les deux ondes lumineuses ne s'annulent plus au moment de se combiner et le récepteur détecte un signal lumineux.* »

Afin de comprendre le principe de fonctionnement de l'interféromètre VIRGO, un dispositif avec des fentes d'Young est réalisé au laboratoire (figure 2). Une lumière laser de longueur d'onde λ éclaire deux fentes étroites S_1 et S_2 situées à égales distances de la source S et séparées de la distance d . Le point P , proche de O , est repéré sur un écran éloigné d'une distance D des deux sources telle que $D \gg d$.

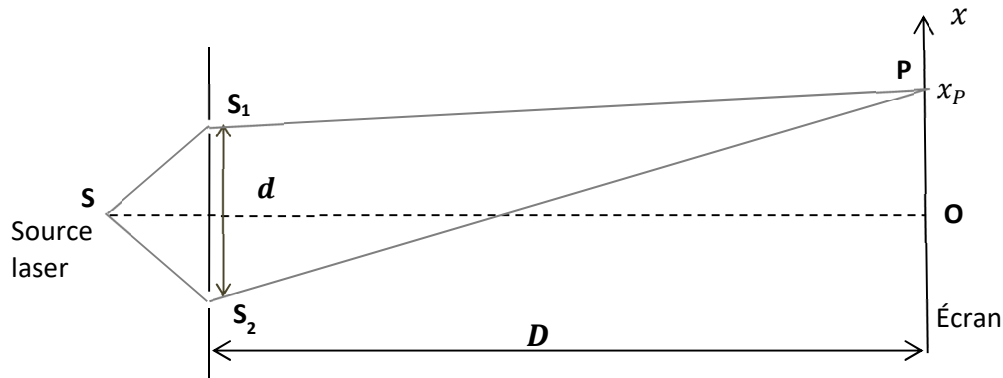


Figure 2. Dispositif des fentes d'Young vu de dessus

Données :

- distance entre les fentes et l'écran : $D = 2,0$ m
- distance entre les centres des fentes : $d = 0,20$ mm
- longueur d'onde du laser : $\lambda = 6,0 \times 10^{-7}$ m
- dans le cas de l'expérience, $S_2P - S_1P$ est la différence entre les deux distances parcourues par les deux ondes.

Elle s'exprime par la relation approximative : $S_2P - S_1P = \frac{d \times x_P}{D}$

On considère, dans un premier temps, le point P tel que la différence $S_2P - S_1P$ a pour valeur $1,5 \times 10^{-6}$ m.

1. Déterminer si les interférences en P sont constructives ou destructives. Préciser ce qui sera observé en P sur l'écran.
2. Calculer la valeur de l'abscisse x_P du point P .
3. Donner les valeurs des abscisses les plus proches de celle de P où le même phénomène est observable. En déduire la valeur de l'interfrange i .
Le candidat est invité à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

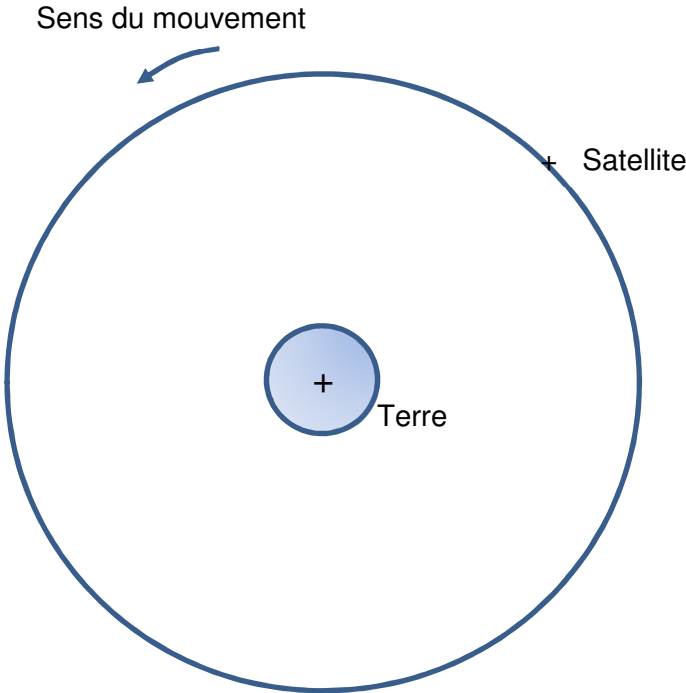
On ajoute sur le chemin S_1P un objet transparent qui ralentit la lumière et modifie ainsi le déphasage entre les deux ondes issues de S_1 et S_2 . Ce déphasage peut être modélisé par une nouvelle valeur $S_2P - S_1P$ telle que $S_2P - S_1P = 1,2 \times 10^{-6}$ m.

4. Préciser le changement observé sur l'écran au point P .
5. Expliquer comment cette expérience permet de comprendre le principe de l'interféromètre gravitationnel.

EXERCICE I - DES SATELLITES POUR MIEUX CONNAITRE LES OCÉANS

Questions 1. et 3.

Schéma de l'orbite du satellite Jason-CS/Sentinel-6 autour de la Terre (échelle non respectée)



EXERCICE II - LA THALASSOTHERMIE

Question 2. Diagramme énergétique de la P.A.C.

