

# Baccalauréat général

## Enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur

### Sujet zéro

Aucun document n'est autorisé

**Information aux candidats** : les candidats qui disposent d'une **calculatrice** avec **mode examen** devront l'activer le jour des épreuves et les calculatrices **dépourvues de mémoire** seront autorisées. Ainsi, tous les candidats composeront sans aucun accès à des données personnelles pendant les épreuves.

Coefficient 16 – Durée 4 heures

#### ROBOT UBBO MAKER

#### Constitution du sujet

Le sujet comporte deux parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

- **Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
  - **partie 1 : sciences de l'ingénieur (3 heures)** ..... pages 2 à 16
    - **documents réponses** ..... pages 17 à 20
  - **partie 2 : sciences physiques (1 heure)** ..... pages 21 à 29

#### Partie 2 : sciences physiques

Dans la partie 2 : sciences physiques, les candidats choisiront de traiter deux des trois exercices proposés.

Vous indiquerez sur votre copie **les 2 exercices choisis** : exercice A ou exercice B ou exercice C.

## Exercice A – Valoriser la « chaleur fatale » des centres de stockage de données

**Mots-clefs : bilans énergétiques ; premier principe de la thermodynamique, transfert thermique, travail**

Le trafic de données est responsable de plus de la moitié de l'impact énergétique mondial du numérique avec 55 % de sa consommation d'énergie annuelle. Chaque octet transféré ou stocké sollicite des terminaux et des infrastructures de grande envergure, gourmandes en énergie (centres de données, réseaux de télécommunication).

Les flux vidéo représentent 80 % des flux de données mondiaux en 2018 et 80 % de l'augmentation de leur volume annuel. En termes d'usages, la surconsommation numérique est ainsi principalement causée par la vidéo.

D'après *The Shift Project* : <https://theshiftproject.org>.

La « chaleur fatale » (ou chaleur perdue) est la chaleur produite par un site de production industriel alors qu'elle n'en constitue pas l'objectif. De ce fait, elle n'est pas nécessairement récupérée. La valorisation de « cette chaleur fatale » pour le chauffage urbain est envisagée dans les nouveaux projets de construction de centres de stockage de données : le refroidissement des machines pourrait permettre de chauffer des logements environnants.

### La « chaleur fatale » des centres de stockage de données en Île-de-France

Le gisement maximal total de « chaleur fatale » issue des centres de stockage de données est estimé actuellement à 490 GW·h par an en Île-de-France (d'après [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)). À La Courneuve, en Seine-Saint-Denis (93), Interxion construit la première des quatre unités de son grand centre de stockage de données PAR8. Chaque unité, avec 10 800 m<sup>2</sup> de salles informatiques, est indépendante et reçoit une puissance électrique de 25 MW.

D'après la [MRAe](#) (mission régionale d'autorité environnementale) et l'[étude d'impact](#).

### Le fluide technique 3M™ Novec™ 7500

Le fluide technique 3M™ Novec™ 7500 est un fluide ininflammable utilisé dans les applications de transfert de chaleur. Il est compatible avec la plupart des composants électroniques et peut être utilisé en contact direct pour leur refroidissement par immersion.

D'après <https://www.3mfrance.fr>.

### Masses volumiques et capacités thermiques de différents fluides

Fluide	Masse volumique	Capacité thermique massique
Eau	$\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Air	$\rho_{\text{air}} = 1,29 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c_{\text{air}} = 1,01 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Novec™ 7500	$\rho_{\text{Novec 750}} = 1,61 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c_{\text{Novec 750}} = 1,13 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

## Quel fluide envisager pour valoriser la « chaleur fatale » d'un centre de stockage de données ?

Pour un logement moyen (70 m<sup>2</sup>), on peut estimer la consommation d'énergie pour l'eau chaude à environ 10 MW·h par an.

1. Déterminer le nombre de logements moyens qui pourraient être chauffés sur une année si toute la « chaleur fatale » des centres de stockage de données d'Île-de-France était valorisée. Commenter.

On suppose que la totalité de l'énergie électrique fournie au centre de stockage de données est convertie en chaleur par ce même centre de stockage de données. Pour valoriser la « chaleur fatale », il faut par exemple la transférer des salles informatiques vers le circuit de chauffage urbain à l'aide d'un ou plusieurs échangeurs thermiques. Le fluide caloporteur d'un tel échangeur permet d'évacuer la chaleur produite lors du fonctionnement du centre de stockage de données.

Trois schématisations différentes des transferts d'énergie qui s'effectuent dans ce système sont proposées ci-dessous.

### Schéma 1



### Schéma 2



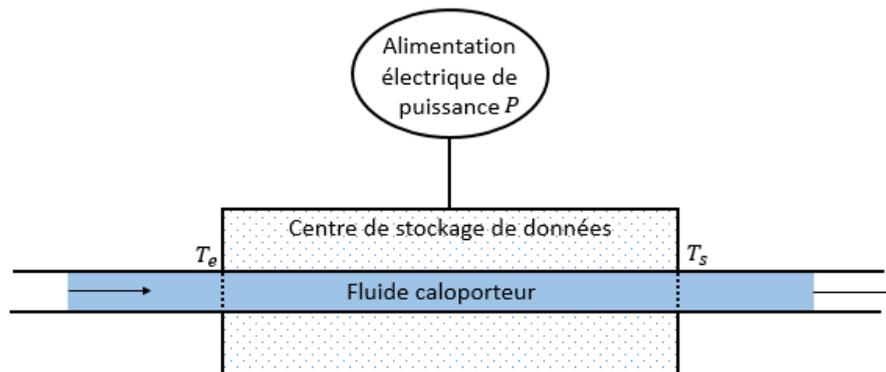
### Schéma 3



2. En supposant que les flèches représentent le sens réel des transferts d'énergie, sélectionner la schématisation appropriée parmi les trois proposées. Justifier le choix effectué.
3. Pour le schéma choisi, indiquer, en justifiant la réponse, le signe du transfert thermique lorsque le centre de stockage de données est pris comme système thermodynamique d'étude.

Le centre de stockage de données reçoit une puissance électrique  $P$ . L'énergie électrique reçue est supposée être totalement convertie en chaleur. Le fluide caloporteur traverse le centre de stockage de données avec un débit volumique  $D_V$  et permet le maintien à une valeur constante de la température des machines en évacuant la chaleur produite. Le débit volumique représente le volume de fluide caloporteur qui rentre ou sort de l'installation par unité de temps ; il s'exprime en  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  ou en  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ .  $T_e$  est la température du fluide caloporteur à l'entrée du centre de stockage de données et  $T_s$  est la température du fluide caloporteur à la sortie.

Le schéma suivant illustre la modélisation choisie pour une unité de centre de stockage.



4. Identifier l'unique proposition correcte pour chacune des trois affirmations suivantes. Justifier vos choix.

4.1. Par rapport à la température d'entrée  $T_e$ , la température de sortie  $T_s$  est :

- a. supérieure ;
- b. égale ;
- c. inférieure.

4.2. Avec  $T_e$  et  $P$  constants, si le débit  $D_V$  augmente, alors la température  $T_s$  :

- a. augmente ;
- b. reste constante ;
- c. diminue.

4.3. Avec  $T_e$  et  $D_V$  constants, si la puissance électrique  $P$  augmente, alors  $T_s$  :

- a. augmente ;
- b. reste constante ;
- c. diminue.

5. On fixe une durée de référence d'étude  $t_{ref}$ .

5.1. Déterminer la masse  $m$  de fluide caloporteur qui rentre ou sort de l'installation pendant cette durée en fonction de  $D_V$ ,  $\rho$  et  $t_{ref}$ .

5.2. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système « centre de stockage de données » pour la durée  $t_{ref}$ , déterminer l'expression du transfert thermique reçu par le fluide caloporteur pendant la durée  $t_{ref}$ .

5.3. On peut établir l'expression suivante :

$$T_s = T_e + \frac{P}{D_v \rho c}$$

avec  $c$  la capacité thermique massique du fluide caloporteur. Commenter soigneusement cette expression en étudiant l'influence des différents paramètres sur la valeur de la température de sortie du fluide caloporteur.

On considère que le fluide caloporteur possède une température  $T_e = 10\text{ °C}$  à l'entrée du centre de stockage de données et une température  $T_s = 50\text{ °C}$  à la sortie. Dans le cas du refroidissement d'une des unités construites à La Courneuve par Interxion, il faut un débit  $D_{eau} = 150\text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$  si le fluide est de l'eau et un débit  $D_{Novec} = 345\text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$  si le fluide est du Novec™ 7500.

5.4. Calculer la valeur du débit volumique  $D_{air}$  lorsque le fluide caloporteur est l'air. Commenter le résultat obtenu.

6. Identifier, pour chacun des trois fluides caloporteurs, ses avantages et ses inconvénients d'utilisation dans la perspective d'un chauffage urbain.

## Exercice B – Embouteillages et collisions dans l'espace

### Mots-clefs : décrire un mouvement, mouvement dans un champ de gravitation

Depuis le début de l'ère spatiale à la fin des années 1950, plus de cinq mille satellites ont été placés en orbite terrestre. En raison de leur durée de vie limitée, seulement un peu plus de deux mille d'entre eux sont encore en fonctionnement. Des projets récents d'accès à Internet par satellite prévoient d'augmenter considérablement leur nombre dans les années à venir. Les satellites hors service ainsi que les derniers étages des fusées participent à l'encombrement spatial et forment des millions de fragments de taille variable.

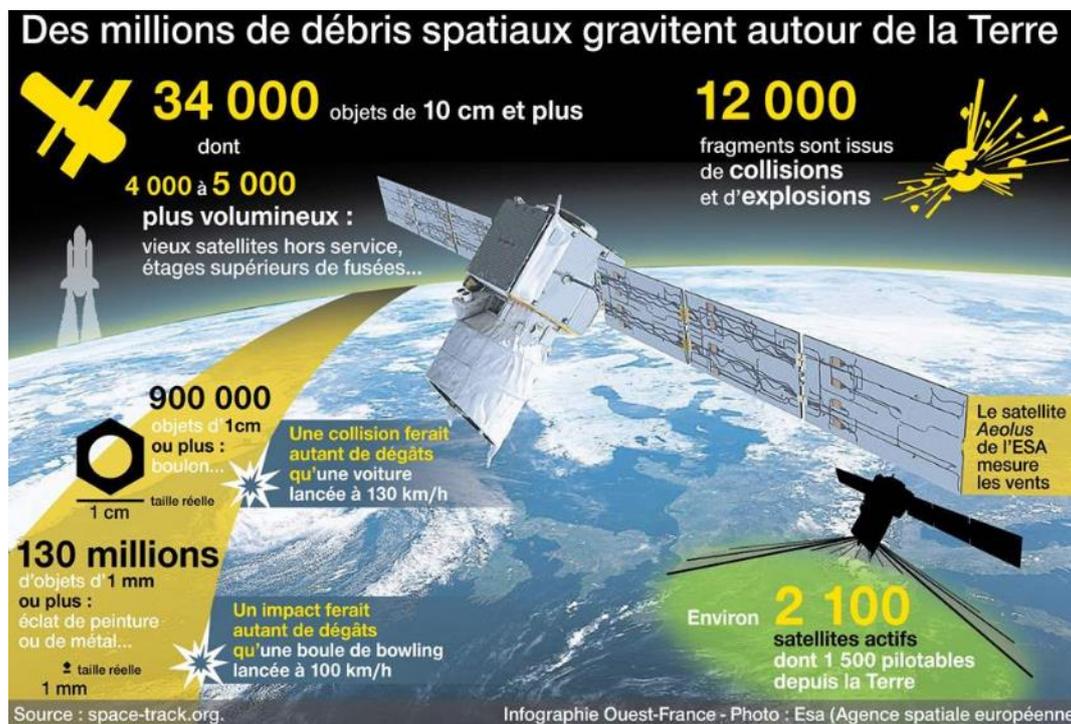
### En quoi ces débris constituent-ils un danger ? Comment s'en prémunir ?

#### Données :

- masse de la Terre :  $M_T = 5,97 \times 10^{24}$  kg ;
- rayon de la Terre :  $R_T = 6371$  km ;
- constante universelle de gravitation :  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>·s<sup>-2</sup>.

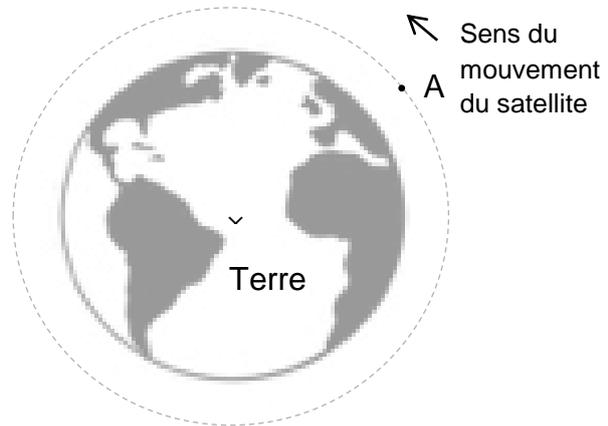
#### Les débris de l'espace

À 1 000 km d'altitude, un objet se déplace à 30 000 km·h<sup>-1</sup> et mettra 1 000 ans à s'écraser sur Terre ou brûler dans l'atmosphère. Sur cette durée, il est probable qu'il puisse rencontrer un satellite et l'endommager. Des projets sont développés pour capturer les débris existants, mais aussi pour accélérer la désorbitation des nouveaux satellites.



<https://www.ouest-france.fr/> 21 Février 2020

On considère un débris de satellite dont le centre de masse A décrit une trajectoire circulaire de rayon  $R$  dans le champ de gravitation terrestre.



1. Reproduire sur la copie le schéma représentant la trajectoire circulaire du centre de masse d'un débris de satellite autour de la Terre et représenter au point A de la trajectoire, sans souci d'échelle, les vecteurs vitesse  $\vec{v}$  et accélération  $\vec{a}$  du centre de masse du débris ainsi que la force  $\vec{F}_{T/d}$  exercée par la Terre sur le débris.
2. Établir que la vitesse du débris est constante. Donner son expression en fonction de  $G$ ,  $M_T$  et  $R$ .
3. Calculer la valeur de la vitesse d'un débris situé à une altitude de 1 000 km et commenter l'écart observé avec la valeur citée dans l'infographie ci-dessus.

Un débris métallique de  $5 \text{ mm}^3$ , à cette altitude de 1 000 km, est souvent comparé à une boule de bowling. La comparaison précise que le débris a une énergie cinétique équivalente à celle d'une boule de masse  $m_B = 3,5 \text{ kg}$  animée d'une vitesse  $v_B$ .

4. Évaluer la valeur de la vitesse  $v_B$  de cette boule de bowling. Commenter et comparer la valeur obtenue avec l'indication de l'infographie.  
*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.*

Les nouveaux satellites, tels que Microscope lancé en 2016 par le CNES (France) à 700 km d'altitude, sont équipés d'une voile qui sera déployée pour écourter la durée de son retour sur Terre grâce à la « trainée atmosphérique », et donc sa combustion dans l'atmosphère.

5. Expliquer avec des considérations physiques ce qui permet de freiner le satellite, et pourquoi la désorbitation, et donc son retour sur Terre, est ainsi plus rapide.

## Exercice C – Pollution acoustique dans une web radio

---

### Mots-clefs : phénomènes acoustiques

On s'intéresse à la diffusion d'une émission de web radio amateur par Internet.

L'animateur radio est installé, derrière une fenêtre, dans une pièce équipée d'un ordinateur auquel est relié un microphone.

L'objectif de cet exercice est de vérifier si des sources sonores parasites peuvent gêner l'émission de radio.

Lorsque l'animateur radio parle, sa voix a une puissance sonore moyenne de valeur égale à  $4,0 \mu\text{W}$ . On fait l'hypothèse que le son est uniformément réparti sur une sphère de rayon  $r$  centrée sur la bouche de l'animateur.

### Données :

- l'intensité sonore  $I$  est la puissance sonore  $P$  par unité de surface :  $I = \frac{P}{S}$  ;  $S$  est l'aire de la surface d'une sphère de rayon  $r$  :  $S = 4 \times \pi \times r^2$  ;
- $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  est l'intensité sonore de référence ;
- l'affaiblissement acoustique caractérise les qualités de protection acoustique d'une paroi. Il est égal à la différence des niveaux d'intensité sonore mesurés de part et d'autre de la paroi.

Le microphone est considéré dans un premier temps comme omnidirectionnel : il possède les mêmes propriétés de captation dans toutes les directions, quelle que soit la position de la source sonore.

1. Montrer que l'intensité sonore moyenne du son reçu par le microphone placé à 50 cm de la bouche de l'animateur a environ pour valeur  $I_{\text{moy}} = 1,3 \times 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .
2. Déterminer le niveau d'intensité sonore moyen  $L_{\text{moy}}$  à cette distance.

Un avion à réaction décolle à une distance de 4,0 km de la pièce depuis laquelle se déroule l'émission de web radio. La puissance sonore de cet avion est  $P = 1,0 \times 10^5 \text{ W}$ .

La vitre de la fenêtre derrière laquelle est situé l'animateur a un indice d'affaiblissement acoustique de 25 dB.

3. Préciser, en l'expliquant, la nature de l'atténuation acoustique due à la vitre.
4. Déterminer, à partir de calculs, si l'avion constitue une gêne pour l'émission de radio.

Pour permettre des discussions entre des techniciens dans la même pièce sans occasionner de gêne pour l'émission, on utilise un microphone de directivité cardioïde large. Ce type de microphone permet de privilégier une source vers laquelle le micro est dirigé. En effet, le signal capté est atténué en fonction de la position de la source sonore. L'atténuation ne dépend pas de la fréquence de l'onde sonore.

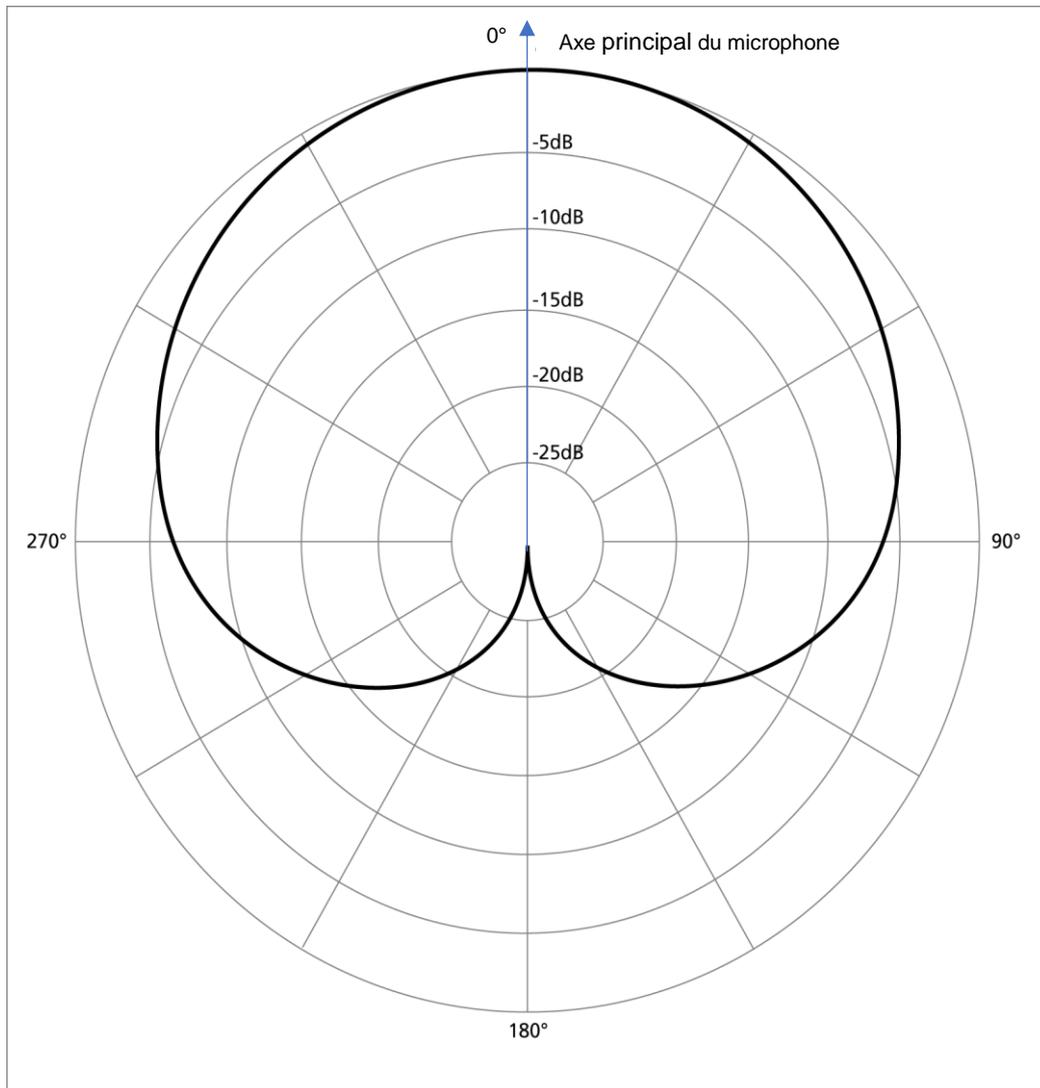


Figure 1. Diagramme polaire du microphone cardioïde étudié

Le diagramme polaire (figure 1) du microphone permet de déterminer l'atténuation du signal sonore en fonction de l'angle entre la direction de l'émission et l'axe principal du micro. Chaque cercle concentrique correspond à une valeur d'atténuation en décibel.

### Donnée

- détermination de l'atténuation sonore : on trace la demi-droite partant du centre du diagramme vers la source sonore considérée. Cette demi-droite coupe la courbe cardioïde noire en un point noté M. La valeur de l'atténuation sonore se lit grâce au cercle concentrique qui passe par le point M.

On considère que la conversation n'a pas d'effet sur la qualité de l'émission si son niveau sonore capté par le micro est inférieur à 30 décibels.

La puissance sonore de la conversation est  $1,0 \mu\text{W}$ . On considère que la conversation a lieu à 1,5 m du microphone.

5. Préciser les directions dans lesquelles la conversation peut avoir lieu sans gêner l'émission de web radio.

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