

**CONCOURS INTERNE POUR LE RECRUTEMENT  
D'ÉLÈVES INGÉNIEURS DES TRAVAUX DE LA MÉTÉOROLOGIE**

**SESSION 2025**

\*\*\*\*\*

**ÉPREUVE ÉCRITE OBLIGATOIRE  
PHYSIQUE**

Durée : 4 heures

Coefficient : 4

La **rigueur du raisonnement** et la **clarté de la présentation** seront prises en compte dans la notation.

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

Dans l'énoncé, **exprimer** signifie donner l'expression littérale, **calculer** signifie donner la valeur numérique.

Les vecteurs sont notés en caractères gras. Ainsi, **E**(M) désigne le vecteur champ électrique au point M.

La calculatrice scientifique est **autorisée**.

Les exercices peuvent être très proches du programme, ou bien demander une lecture attentive de l'énoncé, de la **réflexion**, et parfois des **initiatives** plus importantes. Les questions plus **ouvertes**, suggérant de mettre en place une modélisation, ont un poids important dans le barème.

Cette épreuve comporte 8 pages numérotées de 1 à 8 (page de garde incluse).

**L'ensemble des 3 exercices est noté sur 45 points**

Premier exercice : 14 points sur 45

Deuxième exercice : 17 points sur 45

Troisième exercice : 14 points sur 45

La notation de 45 points sera convertie sur une échelle de 20 points

## Premier exercice : équilibre de l'océan (14 points)

### Première partie : Pression dans les océans (8 points)

On considère l'eau de l'océan comme étant un fluide incompressible de masse volumique moyenne  $\rho = 1,035 \text{ g/mL}$  à température uniforme  $T_0 = 298 \text{ K}$ . On suppose que la pression à la surface de l'océan est  $P_0 = 1013 \text{ hPa}$ . On repère la surface de la mer par la cote  $z_0 = 0$ , l'axe  $(Oz)$  étant orienté vers le bas,  $z$  désignant ainsi la profondeur par rapport à la surface de l'océan. On donne enfin l'accélération de pesanteur  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

1. Sur un schéma représenter les informations du paragraphe ci-dessus.
2. Déterminer, par un raisonnement précis et étayé, quelle est la relation entre pression  $P(z)$  et profondeur  $z$ .
3. Représenter graphiquement la pression en fonction de la profondeur.
4. À quelle profondeur la pression atteint-elle  $10 \text{ bar}$  ?
5. Quelle est la pression au fond de la fosse des Mariannes, située au Sud du Japon et à l'Est des Philippines, fosse la plus profonde connue du globe terrestre, dont le point le plus bas a été mesuré à la profondeur  $10984 \pm 25 \text{ m}$  ? Cette fosse a été explorée dès 1960 par le Suisse Jacques Piccard et le Lieutenant de l'US Navy Don Walsh à bord du bathyscaphe Trieste.

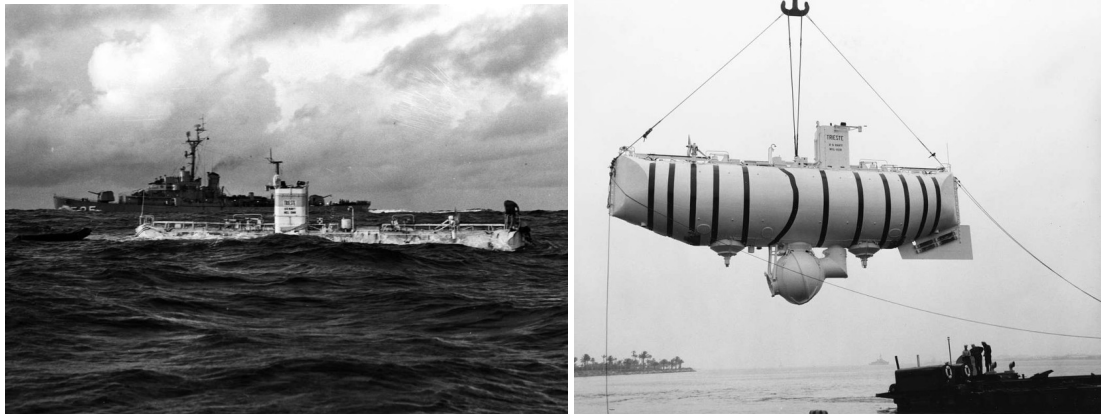


Figure 1 : US Navy Trieste Bathyscaph ; USS Lewis over Marianas Trench, 23 janvier 1960 © public domain

6. Les hypothèses énoncées pour poser le problème sont-elles valides dans le cas présent ? Argumentez votre réponse.

### Deuxième partie : Question ouverte de modélisation : Pression dans l'atmosphère (6 points)

7. On s'intéresse à présent à l'évolution de la pression  $P(z)$  de l'atmosphère en fonction de l'altitude  $z$  : Quelles hypothèses formulez-vous ? En déduire la relation mathématique  $P(z)$  de la pression en fonction de l'altitude dans le cadre des hypothèses que vous avez formulées. Discutez de la validité des hypothèses que vous avez retenues. Vérifiez : quelle est la pression au sommet d'une montagne élevée, telle que l'Everest ou le Mont-Blanc ?

## Deuxième exercice : mesure d'une température (17 points)

### Première partie : Représentation schématique des capteurs, analyse et définitions (10 points)

Un capteur peut être considéré comme un système qui considère en entrée une grandeur à mesurer (= le mesurande) et en sortie une grandeur électrique ou physique reflet de ce mesurande. Ainsi, on peut donner la représentation schématique suivante (cf. *figure 2*) :

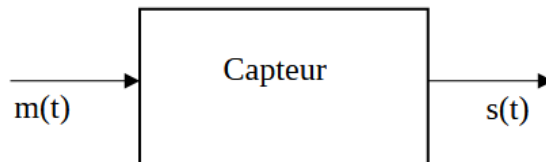


Figure 2 : représentation schématique d'un capteur

Connaître le fonctionnement du capteur consiste bien souvent à trouver une relation entre mesurande  $m(t)$  et sortie  $s(t)$ , ce peut être une équation algébrique, une équation différentielle, linéaire ou non...

Un capteur sera particulièrement pertinent lorsque, dans la gamme de mesure considéré pour le mesurande  $m$ , la sortie  $s(t)$  sera particulièrement *sensible* aux variations du mesurande  $m(t)$ .

On donne le schéma représentant un thermomètre à mercure (*figure 3*)

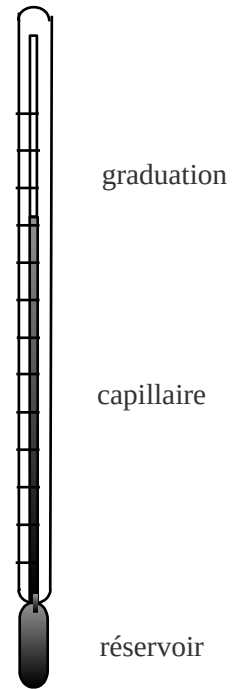


Figure 3: schéma d'un thermomètre à mercure

8. Donner la représentation schématique de ce thermomètre, sur le modèle de la *figure 2*. Quelles sont, dans ce cas, la grandeur d'entrée et la grandeur de sortie ?
9. Quel phénomène physique relie ces deux grandeurs pour le thermomètre à mercure ?
10. Quel est l'intérêt d'avoir un capillaire fin ?
11. Quelle relation mathématique pourriez-vous donner entre la grandeur de sortie et la grandeur d'entrée pour ce thermomètre à mercure ?
12. Proposez, sous forme de graphique, le lien  $s(e)$  qui existe entre la grandeur de sortie  $s$  et la grandeur d'entrée  $e$ , pour le thermomètre à mercure (un tel graphique est appelé « caractéristique statique » du capteur).
13. Comment traduiriez-vous graphiquement la sensibilité de ce capteur ? Et mathématiquement ?
14. Si la grandeur de sortie du capteur est non seulement sensible au mesurande  $m$ , mais aussi à d'autres grandeurs  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , on pourra écrire une relation algébrique du type  $s = s(m, x_1, x_2, \dots, x_N)$ . Comment définiriez-vous mathématiquement la sensibilité de la grandeur de sortie aux différentes grandeurs d'influence  $x_1, x_2, \dots, x_N$  ?

15. Quelles pourraient être les grandeurs d'influence dans le cas du thermomètre à mercure, utilisé dans un contexte de mesure météorologique en extérieur ?
16. Souhaite-t-on que la sensibilité soit grande ou petite vis-à-vis des grandeurs d'influence  $x_1$ ,  $x_2$ , ... $x_N$  ? Comment procède-t-on en météo pour que cela soit le cas ?

Un autre type de thermomètre, utilisé actuellement dans le réseau de mesure de Météo-France, est la sonde Pt100, constitué d'un long fil de platine dont la résistance  $R(\text{Ohm})$  varie en fonction de la température  $T(^{\circ}\text{C})$  selon la loi mathématique :  $R=100 + 0,39T$  (figure 4).



Figure 4: photo d'une sonde Pt100

17. Pour la sonde de température Pt100, donner le schéma équivalent similaire à la figure 2.
18. Représenter la courbe caractéristique  $s$  en fonction de  $m$  de ce capteur.
19. Quelle est la sensibilité de ce capteur ?
20. Identifiez-vous des grandeurs d'influence pour ce capteur ?

### Seconde partie : Question ouverte de modélisation (7 points)

21. Pensez-vous que, pour la sonde Pt100 comme pour le thermomètre à mercure, la réponse  $s(t)$  à une variation de la grandeur d'entrée  $e(t)$  soit immédiate ?  
Comment modéliseriez-vous un tel problème ?  
Quel(s) principe(s) (au programme de physique) mettriez-vous en œuvre ?  
Écrire la (les) équation(s) correspondante(s).  
Dans le cas où la température de l'air fluctuerait rapidement en passant brusquement d'une valeur  $T_1$  à une valeur  $T_2 > T_1$ , comment cela se traduirait sur la réponse  $s(t)$  ?  
Une résolution mathématique et une représentation graphique commentée sont bienvenues.

### Troisième exercice : Ondes (14 points)

Important : les questions 24., 27., 29. et 30. proposent des calculs qui, s'ils ne sont pas effectués, ne sont pas bloquants pour les questions qui suivent.

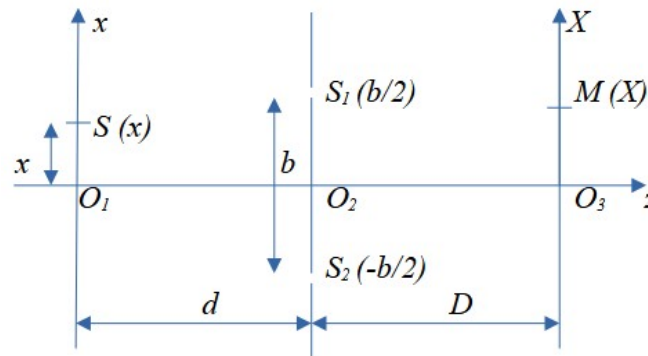
22. Rappeler ce que sont les ondes planes progressives monochromatiques. Sont-elles représentées nécessairement par un vecteur ou un scalaire ? Donnez des exemples de telles ondes. Quelle représentation mathématique pouvez-vous leur donner ? (pour cette dernière question, choisissez un exemple d'onde autre qu'électromagnétique)

On considère dans la suite une onde électromagnétique monochromatique dont le champ électrique au point  $M$  est issu d'une source unique  $S$  :  $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)}$  avec  $\mathbf{r} = \mathbf{SM}$  et  $t$  le temps.

23. Comment appelle-t-on les grandeurs  $\omega$  et  $\mathbf{k}$  ? Quelles sont leurs unités ? Cette onde est-elle plane ? Progressive ?

24. Quel lien a-t-on entre l'intensité moyenne de l'onde en  $M$  et l'amplitude du champ électrique ? Vous pourrez pour cette question, au choix, soit passer par des calculs détaillés, soit expliciter la trame du raisonnement.

Cette onde électromagnétique vient éclairer deux fentes  $S_1$  et  $S_2$  selon le schéma ci-dessous :



25. Comment s'appelle ce dispositif ? Que permet-il de mettre en évidence ?

26. Pourquoi est-ce important que les sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$  soient éclairées par la même source principale  $S$  ?

27. On se place dans la représentation scalaire de la lumière, les ondes en  $S$ ,  $S_1$  et  $S_2$  sont de la forme  $s(t) = s_0 \cos(\omega t)$ ,  $s_1(t) = s_1 \cos(\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r}_1 - \omega t)$  et  $s_2(t) = s_2 \cos(\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r}_2 - \omega t)$ . Expliciter les vecteurs  $\mathbf{r}_1$  et  $\mathbf{r}_2$  puis les produits scalaires  $\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r}_1$  et  $\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r}_2$  ; simplifier ces expressions lorsque  $d \gg b$  et  $d \gg |x|$ . (On remarquera aussi que  $s_1 \approx s_2$ )

28. A quelle condition les sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$  sont-elles en phase ?

29. En déduire l'amplitude de l'onde en M, avec les hypothèses  $d \gg b$  et  $d \gg |x|$
30. En déduire que l'intensité en M s'écrit  $I(M) = \frac{1}{2} I_{max} (1 + \cos(\frac{2\pi}{\lambda})(\frac{bx}{d} + \frac{bX}{D}))$
31. Qu'appelle-t-on frange centrale ?
32. Que se passe-t-il si on augmente le nombre de sources secondaires  $S_1, S_2 \dots S_N$  régulièrement espacées d'une même distance  $b$  ? Comment appelle-t-on ce type de dispositif ? Quelle est l'allure de la figure de diffraction qui apparaît ?
33. Si ces sources secondaires, éclairées par une même source S monochromatique, émettent des ondes toutes en phase, quelle sera la direction privilégiée pour l'émission de l'onde ?
34. Comment procéder pour modifier la direction privilégiée pour l'émission de l'onde ?
35. Comment procède-t-on en optique géométrique pour diriger un faisceau d'onde dans une direction bien précise ?

Le radar à synthèse d'ouverture (en anglais synthetic-aperture radar ou SAR) est un dispositif constitué d'un grand nombre d'antennes disposées en damier. Ce SAR est capable d'émettre une onde extrêmement directive en alimentant de façon juste les antennes qui le composent (en mode émission) ou bien d'écouter les ondes électromagnétiques qui lui parviennent d'une direction donnée (en mode réception). De tels radars sont très utilisés dans les domaines militaires, aéronautique, spatial.

36. Quel lien faites-vous entre le SAR et les questions précédentes ?



Figure 5 : les quatre Auxiliary Telescope du VLT / ESO © ESO licence CC BY 4.0

Dans cette dernière partie, on s'intéresse à l'interféromètre du Very Large Telescope au Chili (VLT, au sein de l'ESO – European Southern Observatory) ; il permet à partir de quatre télescopes dont les miroirs ont un diamètre de 8m, d'obtenir les performances d'un télescope dont le miroir aurait un diamètre 16m (voir *figure 5* et *figure 6*).

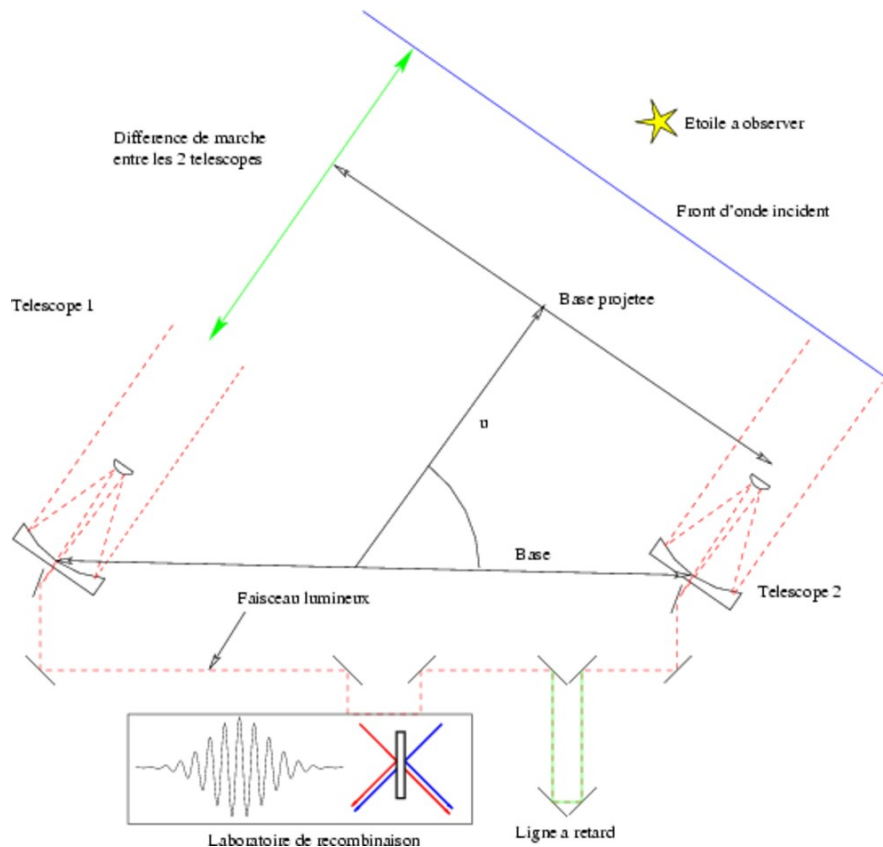


Figure 6 : schéma de principe de l'interféromètre optique. Tiré de l'article Very Large Telescope de l'édition française de Wikipedia © CC BY 2.5

37. Quelle peut être utilité de la ligne à retard, présentée *figure 6* ?

38. Connaissez-vous des instruments météorologiques qui utilisent des antennes multiples pour mesurer à distance certains paramètres météorologiques ?

**Fin du sujet**

**Cette page est volontairement vierge.**