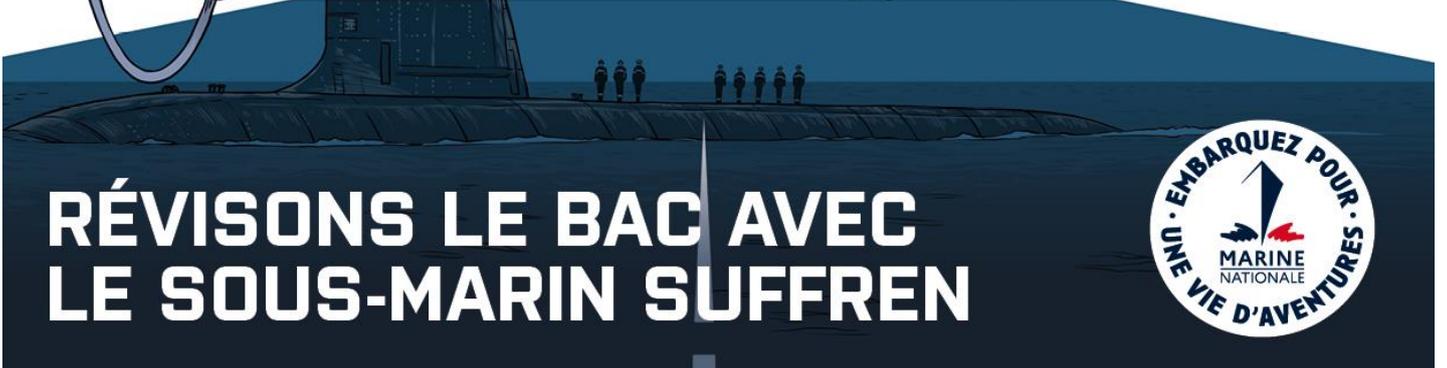


**Baccalauréat général**

Épreuve de spécialité  
de physique-chimie



**RÉVISONN LE BAC AVEC  
LE SOUS-MARIN SUFFREN**



Le *Suffren*<sup>1</sup> est le premier des six sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) de la classe « Barracuda », qui remplace la classe des SNA « Rubis », dont trois sont encore en service. Il a effectué sa première plongée en mer le 28 avril 2020 et a été admis au service le 3 juin 2022.

Avec l'arrivée de cette nouvelle génération, la France dispose de sous-marins modernes parmi les plus performants au monde, capables de naviguer en autonomie pendant plusieurs semaines à quelques centaines de mètres de profondeur.

La conception et la construction de sous-marins nucléaires est une prouesse industrielle dont peu de nations sont capables. En effet, le *Suffren* embarque, dans un espace restreint, une chaufferie nucléaire destinée à la propulsion, des moyens de production d'eau et d'oxygène, des capteurs optiques, acoustiques et électromagnétiques de dernière génération ainsi que des missiles conventionnels à longue portée pouvant détruire des cibles terrestres.

Ce sujet, à destination des élèves de terminale préparant l'épreuve de spécialité Physique-Chimie, est composé de trois exercices dont les parties sont indépendantes. Il ambitionne d'offrir aux élèves un support de révision en leur faisant mieux comprendre le fonctionnement de cet outil complexe.

### **Exercice 1**

Cet exercice permet d'aborder les ondes sonores au travers d'une application à l'acoustique sous-marine :

- La première partie fait appel aux lois de Descartes et aux niveaux d'intensité acoustique. Elle permet d'aborder l'aspect géométrique et énergétique de la propagation du son dans l'eau, et de comprendre comment un sonar actif peut détecter un sous-marin ;
- La seconde partie est une application de la formule de l'effet Doppler pour déterminer le cap, la vitesse et la distance d'un sous-marin hostile, en utilisant uniquement un sonar passif.

### **Exercice 2**

Le second exercice traite de la numérisation de l'information et de la mécanique de Kepler, dans le contexte d'une opération de renseignement :

- La première partie traite de la numérisation d'images infrarouge et en couleur ;
- La seconde partie s'intéresse à la transmission de ces images par un satellite de communication militaire géostationnaire, et permet d'aborder la mécanique de Kepler.

### **Exercice 3**

Le troisième exercice s'intéresse au fonctionnement du sous-marin, et aborde deux sujets principaux :

- Le principe fondamental de la dynamique avec une première partie sur la gestion de la pesée du SNA et l'application du principe d'Archimède ;
- La deuxième partie aborde des notions fondamentales de chimie au travers du traitement du circuit primaire du réacteur nucléaire : conductivité, solubilité et pH.

---

<sup>1</sup> Suffren : se prononce Suffrein et non Suffrène

## Exercice 1 : sonars actifs et passifs

### Partie 1 : détection par un sonar actif

Le *Suffren* effectue un exercice face à une frégate anti-sous-marine. La frégate émet avec son sonar de coque une onde sonore d'une fréquence de 5 kHz et de niveau d'intensité sonore maximal de 220 dB.

La vitesse de propagation du son dans l'eau est appelée célérité et notée  $c$ . Elle dépend de trois facteurs : la température, la pression et la salinité. Les rayons sonores suivent dans l'eau une trajectoire courbe qui peut s'apparenter à de multiples changements de milieu entre couches d'eau de célérité différentes.

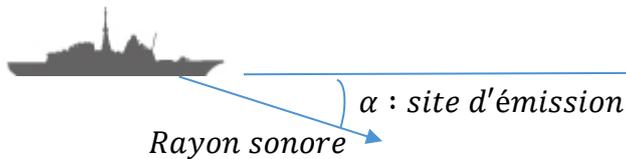


Schéma 1 – Site d'émission d'un rayon acoustique

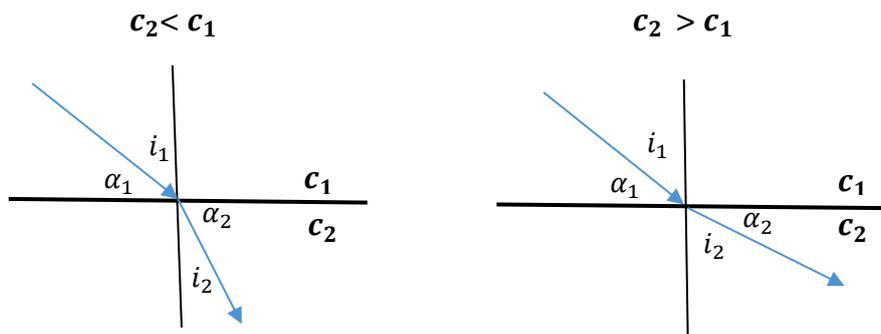


Schéma 2 – Propagation des rayons acoustiques dans des couches d'eau de célérités  $C_1$  et  $C_2$  différentes

- 1) En partant de l'égalité  $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$  avec  $n_i = \frac{c}{c_i}$  l'indice de réfraction, où  $c_i$  est la célérité dans le milieu et  $c$  la célérité dans l'air, et  $i_1$  et  $i_2$  représentent respectivement l'angle d'incidence et de réfraction mesuré par rapport à la normale à la surface de séparation, montrer qu'on peut écrire

$$\frac{\cos(\alpha_1)}{c_1} = \frac{\cos(\alpha_2)}{c_2}.$$

Donnée :  $\sin(x) = \cos(90 - x)$ .

Par itération, tout rayon sonore passant par une immersion  $I_1$  de célérité  $c_{I1}$  avec un angle de rasance  $\alpha_{I1}$  arrivera à une immersion  $I_2$  de célérité  $c_{I2}$  avec un angle de rasance  $\alpha_{I2}$  tel que

$$\frac{\cos(\alpha_{I1})}{c_{I1}} = \frac{\cos(\alpha_{I2})}{c_{I2}}$$

Ainsi, lorsque le gradient de célérité diminue avec l'immersion, les rayons sonores plongent et lorsque celui-ci augmente, les rayons remontent.

Le site d'émission d'un rayon acoustique correspond à l'angle formé entre la surface horizontale de l'eau et la direction d'émission du rayon, c'est l'angle  $\alpha$  du schéma 1 précédent. Ainsi, l'émission du sonar actif de la frégate peut être considérée comme un faisceau de rayons compris entre le rayon émis avec un site  $-10^\circ$  et le rayon émis avec un site nul ( $0^\circ$ ), comme indiqué sur le schéma 3 ci-dessous. Les zones entourées en rouge sont celles où la détection du *Suffren* est géométriquement possible s'il navigue à 100 m. On considère pour cet exercice un profil de célérité linéaire de 0 à 100 m puis de 100 m à 2 500 m.

Immersion (m)	0	100	700	2500
Célérité (m.s <sup>-1</sup> )	1520	1510	1520	1550

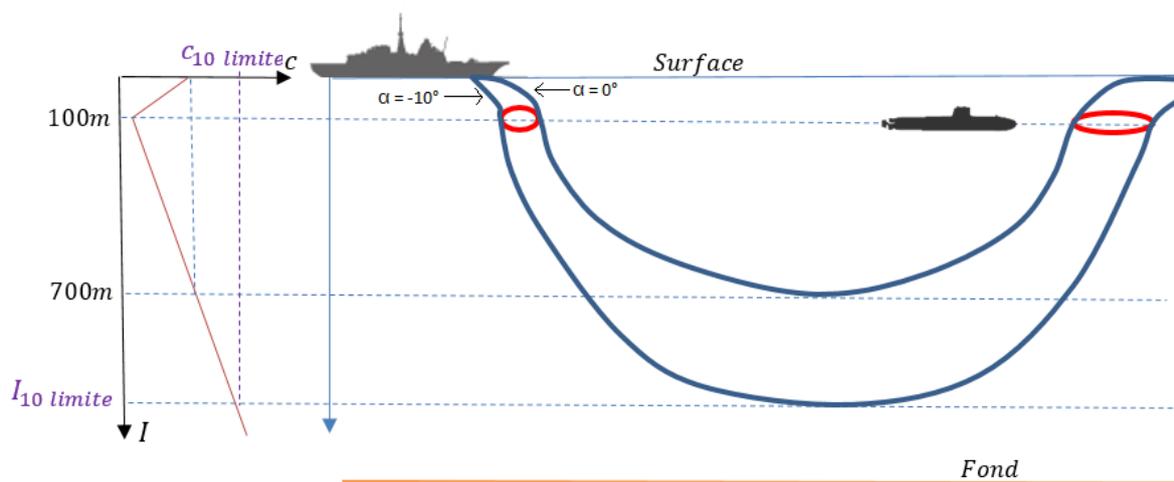


Schéma 3 – Faisceau d'émission de rayons acoustiques d'une frégate entre les sites  $0^\circ$  et  $-10^\circ$

- On définit  $\alpha_0$  la valeur de l'angle du rayon émis avec un site  $0^\circ$  au passage à 100 m et  $\alpha_{10}$  la valeur de l'angle émis avec un site  $-10^\circ$  au passage à 100 m. Donner la valeur de  $\alpha_0$  et  $\alpha_{10}$  et expliquer pourquoi le rayon émis en surface avec un site  $0^\circ$  a une immersion maximale de 700 m.
- Montrer que pour une immersion  $I$  comprise entre 100 m et le fond, la célérité peut s'écrire comme suit :  $c(I) = 1510 + a(I - 100)$  avec  $a = 0.017 \text{ s}^{-1}$ . En vous aidant de la question précédente, déduire l'immersion maximale  $I_{10 \text{ limite}}$  du rayon émis en surface avec le site  $-10^\circ$ .

La cotan est la fonction inverse de la tangente, c'est-à-dire :  $\cotan(x) = \frac{1}{\tan(x)} = \frac{\cos(x)}{\sin(x)}$

Par ailleurs, nous admettons que la distance horizontale entre deux points d'un même rayon est donné par la formule des cotangentes :  $D_{AB} = |X_B - X_A| = |I_B - I_A| \times \cotan\left(\frac{|\alpha_A| + |\alpha_B|}{2}\right)$ , où  $|X_B - X_A|$  est la distance horizontale en mètres entre les points A et B,  $|I_B - I_A|$  la différence d'immersion en mètres entre les points A et B et  $|\alpha_A| + |\alpha_B|$  la somme des deux angles de rasance du rayon aux points A et B.

Cette formule est valable uniquement pour un trajet effectué :

- entre deux points d'un même gradient de célérité ;
- sans annulation de la valeur de l'angle de rasance.

Cette formule ne peut donc être appliquée que sur deux points d'un trajet de même couleur sur le [schéma 4](#) ci-après. Par exemple elle ne peut pas être appliquée entre un point du trajet jaune et un point du trajet bleu.

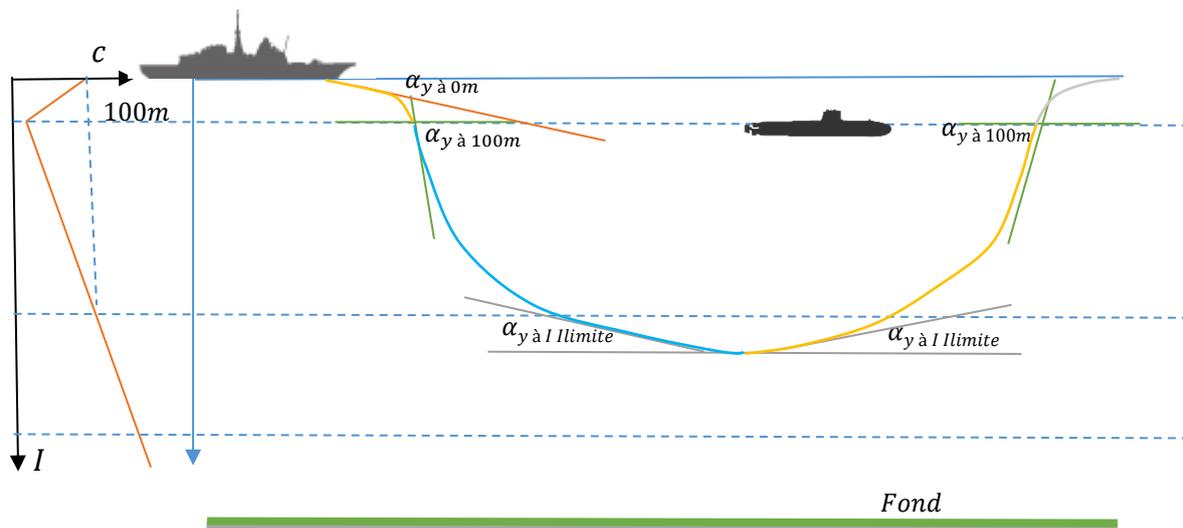


Schéma 4 – Application de la formule des cotangentes au calcul de distances de détection

- 4) Le Suffren navigant à 100 m, à quelles distances la frégate pourrait-elle détecter le Suffren? (ces distances correspondent aux zones entourées en rouge sur le [schéma 3](#)). On ne prendra en compte que les rayons directs, avant réflexion sur la surface.

On rappelle ici que l'intensité sonore  $I$  reçue en un point est liée à la puissance acoustique  $P$  de la source par la relation  $I = P / S$ , où  $S$  est la surface traversée. En propagation sphérique, on a donc

$$I = \frac{P_{\text{acoustique}}}{4\pi r^2} \quad [W \cdot m^{-2}] \text{ donc } P_{\text{acoustique}} \text{ en W et } r \text{ en m.}$$

où  $r$  est le rayon de la sphère, c'est-à-dire dans notre cas la distance parcourue par l'onde sonore.

- 5) On considère  $I_0$  (intensité sonore de référence) dans l'eau:  $I_0 = 6.5 \cdot 10^{-19} W \cdot m^{-2}$ , correspondant à un niveau de 0 dB. En utilisant la formule du niveau d'intensité acoustique, donner la puissance acoustique de ce sonar (on se considère à 1 m de l'émetteur).

- 6) Le *Suffren* se situe à 30 km de la frégate, dans une zone où la frégate peut potentiellement le détecter. Quel sera le niveau d'intensité sonore mesuré par le *Suffren* si la frégate émet au niveau d'émission maximal de 220 dB ? On considèrera que la propagation a lieu de manière sphérique, les réflexions sur le fond et sur la surface ne rentrent donc pas en compte pour cette approximation.

Le milieu de propagation absorbe une partie de l'énergie de l'onde sonore. Il en résulte que le niveau d'intensité sonore mesuré en un point subit une perte supplémentaire en dB égale à  $b \times r$  où  $b = \frac{0.17f^2}{T+18}$  est un coefficient d'absorption qui dépend de la fréquence  $f$  de l'onde en **kHz** et de la température  $T$  en **°C**. La distance entre la source et le récepteur,  $r$ , s'exprime en **km**.

- 7) Donner l'unité de  $b$  en unités du système international.
- 8) En considérant une température de l'eau de 13 °C, estimer la valeur de la diminution totale du niveau d'intensité sonore en dB dans la situation étudiée (incluant les pertes étudiées à la question 6 et la perte par absorption du milieu :  $b \times r$ ). On nommera cette perte totale  $PT$  dans la suite de l'exercice. En déduire le niveau sonore perçu.

Pour détecter un sous-marin, la frégate émet un signal sonore qui se réfléchit sur la coque du sous-marin. La frégate détectera le sous-marin si le signal reçu est supérieur à un seuil de détection  $SD$ . On admet que le signal reçu par la frégate peut s'écrire  $NE - 2 \times PT + RC + GT - NB$  avec  $NE$  le niveau d'émission du sonar,  $PT$  les pertes dues à la propagation entre la frégate et le sous-marin,  $RC$  l'indice de réflexion sur la coque du *Suffren*,  $GT$  le gain du sonar de coque et  $NB$  le niveau de bruit à la fréquence du sonar. La frégate détectera le sous-marin si le signal reçu est supérieur au seuil  $SD$ .

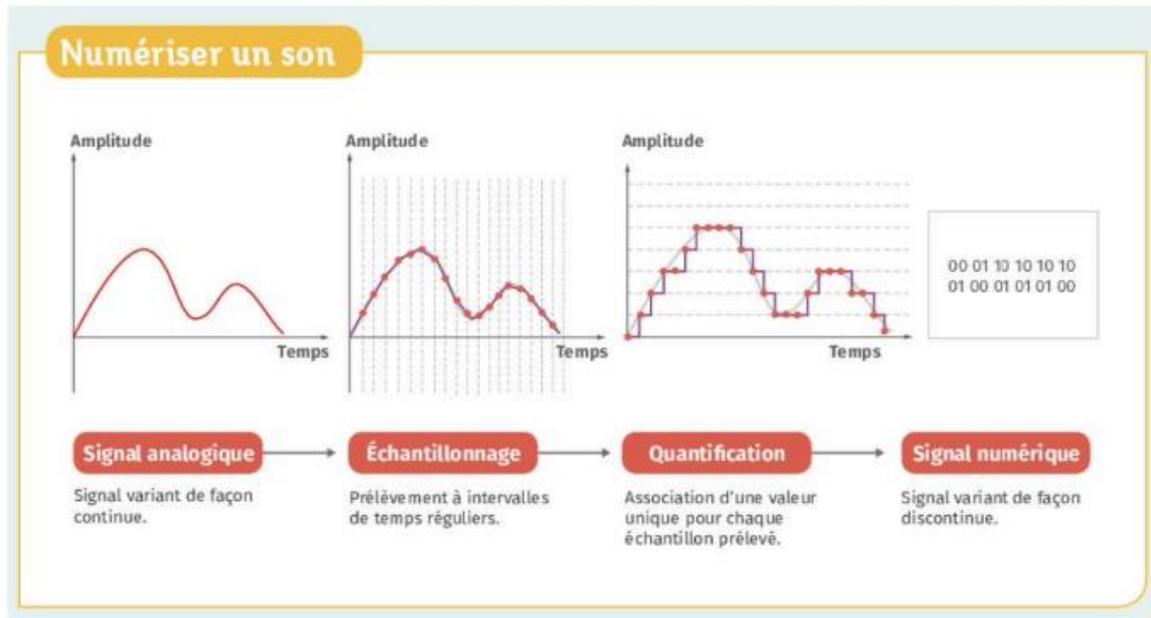
- 9) On considère que  $NE = 220$  dB,  $RC = 10$  dB,  $GT = 25$  dB,  $NB = 40$  dB et  $SD = 30$  dB. Dans ces conditions, la frégate détectera-t-elle le *Suffren* ? Dans le cas contraire, quel devrait être le niveau d'émission minimal de la frégate pour le détecter ? Expliquer pourquoi les pertes  $PT$  sont prises en compte deux fois dans le calcul.

## Partie 2 : Elaboration en lutte anti-sous-marine.

Le *Suffren* effectue un exercice de lutte anti-sous-marine contre un sous-marin de classe "Rubis" au large de Toulon : le *Perle*. Il mesure la fréquence du *Perle* à l'aide de son antenne linéaire remorquée (sonar « tracté » muni d'hydrophones).

Le principe de l'échantillonnage, au programme de première, est rappelé avec le schéma ci-dessous.

Pour rappel,  $f(Hz) = \frac{1}{T(s)}$  :



- 1) (programme de 1<sup>ère</sup>) Le signal sonore émis par le *Perle* est un signal analogique. Enregistré par les hydrophones, il est échantillonné puis quantifié. Quel est l'intérêt de la numérisation ? Qu'est-ce que l'échantillonnage ?
  
- 2) (programme de 1<sup>ère</sup>) Quel est le pas d'échantillonnage sur une plage de tension allant de -2 V à 2 V, sachant que le signal est encodé sur 8 bits ?
  
- 3) Expliquer en quelques lignes en quoi consiste l'effet Doppler.

Le *Suffren* navigue à 8 nd<sup>2</sup> et est en route au nord (000), on dit alors que le cap du *Suffren* est 000. A 14h00, le *Suffren* détecte le *Perle* dans le nord-est. L'opérateur sonar annonce: "Le *Perle* azimut<sup>3</sup> 045, fréquence mesurée 301.2 Hz"! Ici, cela signifie que l'angle *GB* du [schéma 5](#) vaut  $GB = 45^\circ$ .

<sup>2</sup> 1 nœud = 1 mille nautique/heure = 1.852 km/h. Il s'agit de l'unité utilisée par les navires.

<sup>3</sup> L'azimut, déterminé par rapport au nord, correspond à la valeur de l'angle entre le nord (000) et la position du bateau détecté.

### Conventions pour l'exercice:

- Nous appelons ici le *Suffren* "lanceur" et le *Perle* "but"
- Le cap lanceur (KL) est l'angle entre le vecteur lanceur et le nord. Le cap but (KB) est l'angle entre le vecteur but et le nord. Dans le cadre de cet exercice,  $KL = 000^\circ$ .
- VL représente la vitesse du lanceur (*Suffren*) en nœuds, et VB la vitesse du but (*Perle*) en nœuds.
- La radiale lanceur (RL) est la projection de la vitesse lanceur (*Suffren*) sur la droite de gisement<sup>4</sup>. La radiale but (RB) est la projection de la vitesse but (*Perle*) sur la droite de gisement. Nous notons radiale totale la somme des vitesses radiales ( $RT = RL + RB$ ). Par convention, RL est positive si le lanceur se rapproche du but et négative s'il s'en éloigne. De même, RB est positive si le but se rapproche du lanceur et négative s'il s'en éloigne.
- La latérale lanceur (LL) est la projection de la vitesse lanceur (*Suffren*) sur la perpendiculaire de la droite de gisement. La latérale but (LB) est la projection de la vitesse but (*Perle*) sur la droite de gisement. Nous notons latérale totale la somme des vitesses latérales ( $LT = LL + LB$ ).

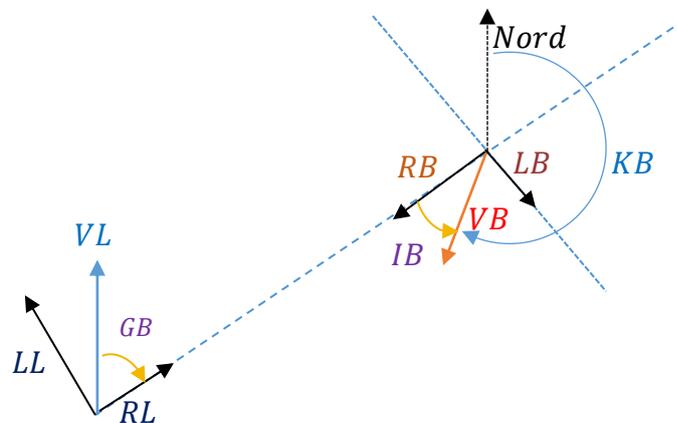


Schéma 5 – Schéma représentant les éléments du « lanceur » (*Suffren*) et du « but » (*Perle*).

La formule de l'effet Doppler peut s'écrire :  $f_r = f_e \left(1 + \frac{RT}{c}\right)$  avec  $c$  la vitesse du son dans l'eau en nœuds,  $f_r$  la fréquence mesurée par le lanceur (fréquence reçue) et  $f_e$  la fréquence rayonnée par le but (fréquence émise).

4) Donner les formules de RL, RB, LL et LB en fonction des données VL, VB, IB et GB.

5) Calculer RL. Sachant que la fréquence émise par le *Perle* est de 299.9Hz, quelle est sa vitesse radiale RB ?

L'oreille d'or n'arrive pas à déterminer à l'écoute le nombre de tour d'hélice par minute, l'empêchant ainsi de connaître la vitesse VB du *Perle*. Cependant, en faisant certaines hypothèses, l'étude de l'environnement permet de déterminer que le *Perle* devrait être détecté à une distance de **5 000 m**.

<sup>4</sup> Le gisement correspond à l'angle formé entre l'axe du sous-marin, appelé ligne de foi, et la direction du but détecté, ici le *Perle*. Dans notre cas, le gisement et l'azimut sont confondus car le *Suffren* est en route au nord (000).

On admet que le défilement  $\omega$ , exprimé en degré par minute, est lié à LT par la formule  $D = 1.77 \times \frac{LT}{\omega}$   
où D est en km.

- 6) Donner la valeur de LL à 14h00. Sachant qu'à 14h00 le *Perle* est dans l'azimut 045 et qu'à 14h02 il se trouve dans l'azimut 051, ce qui donne un défilement  $\omega$  de 3 °/minute, quelle est la valeur de LB à 14h00 ?
- 7) Calculer l'inclinaison du but, IB sur le [schéma 5](#), à 14h00.
- 8) En traçant un schéma similaire au [schéma 5](#), et en y faisant figurer l'azimut et l'inclinaison IB du, en déduire le cap du *Perle*, KB, à 14h00.

## **Exercice 2 : Recueil de renseignement à l'immersion périscopique**

### **Partie 1 : prise de photographies**

Le *Suffren* effectue une mission de renseignement pour lequel il doit prendre des photographies d'un navire suspecté d'être impliqué dans du trafic d'armes. Pour cela, le *Suffren* utilise une caméra thermique.

Données du détecteur	Type de détecteur	Matrice à plan focal
	Plage spectrale	6 $\mu\text{m}$ – 12 $\mu\text{m}$
	Résolution	640 x 512 pixels
Stockage des images	Type de stockage d'image	Carte SD
	Format des fichiers	JPEG standard
	Nombre maximal d'images	5 000 images RVB

La loi de Wien permet de déterminer la longueur d'onde correspondant au maximum d'émission d'un corps incandescent à partir de sa température de surface selon la formule :

$$\lambda_{\text{max}} \times T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m.K (on rappelle que } 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K).}$$

- 1) Vérifier que la plage spectrale de la caméra est adaptée, sachant que la température des cheminées du navire d'intérêt peut atteindre 200 °C et que les températures extérieures de la zone peuvent atteindre au minimum -20 °C.
- 2) Sur la photographie en niveaux de gris, chaque pixel est codé sur 8 bits. Calculer, en octets, la taille de cette image. Quelle serait la taille de cette même image si elle était prise de jour, en couleur ?

### **Partie 2 : transmission de données par satellite**

Ces photographies sont transmises par le satellite de communication militaire géostationnaire Syracuse 3B (S3B), utilisé par les sous-marins pour communiquer avec la terre. Ce satellite, assimilé à une masse ponctuelle  $m$  de 250 kg décrit une orbite circulaire à altitude  $h$  dans le plan de l'équateur.

- 1) Les images sont transmises vers la terre à l'aide d'une antenne de communication par satellite avec un débit de 256 ko/s. Combien de temps prendra la transmission de 20 images RVB ?
- 2) Montrer que le mouvement du satellite S3B est circulaire uniforme dans un référentiel géocentrique supposé galiléen.

Un satellite géostationnaire est un satellite immobile par rapport à la Terre. Sa période de révolution  $T$  est donc égale à la période de rotation de la Terre sur elle-même.

- 3) Établir les expressions de la vitesse  $v$  et de la période  $T$  du satellite en fonction de son altitude  $h$ . En déduire l'altitude du satellite. Données :

- masse de la terre  $M_T = 5,98 \times 10^{24}$  kg
- rayon de la terre  $R_T = 6,37 \times 10^6$  m
- constante de gravitation  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  m.kg<sup>-1</sup>.s<sup>-2</sup>
- période de rotation de la terre sur elle-même  $J_s = 8,62 \times 10^4$  s

4) Bonus : Selon vous, en quoi la base Kourou est-elle intéressante pour la mise à poste de tels satellites et quel est l'intérêt des satellites géostationnaires pour les communications des sous-marins?

### Exercice 3 : fonctionnement du sous-marin

#### Partie 1 : gestion de la pesée

On considère que les forces qui s'appliquent à un sous-marin en plongée en route rectiligne sont :

- le poids  $\vec{P}$  du sous-marin ;
- la poussée d'Archimède  $\vec{\pi}$ , opposée au poids du volume d'eau déplacé ;
- les frottements hydrodynamiques  $\vec{f}$  ;
- la poussée du propulseur  $\vec{p}_p$  .

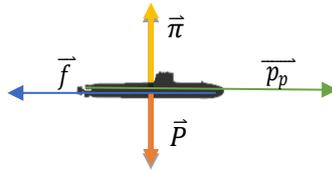
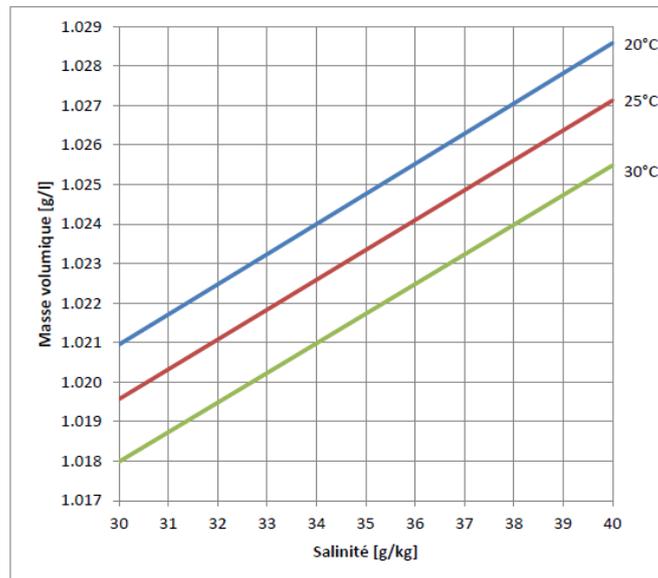


Schéma 6 – Forces s'appliquant à un sous-marin en plongée en route rectiligne.

- 1) A l'aide de la deuxième loi de Newton, définir la condition pour que le sous-marin soit « bien pesé », c'est-à-dire qu'il parvienne à maintenir son immersion en étant à l'arrêt (vitesse nulle) ?

La coque du sous-marin se dilate ou se contracte avec la pression hydrostatique, ce qui modifie son volume. De plus, la masse d'un volume d'eau donné varie avec la température et la salinité conformément à l'abaque ci-dessous.

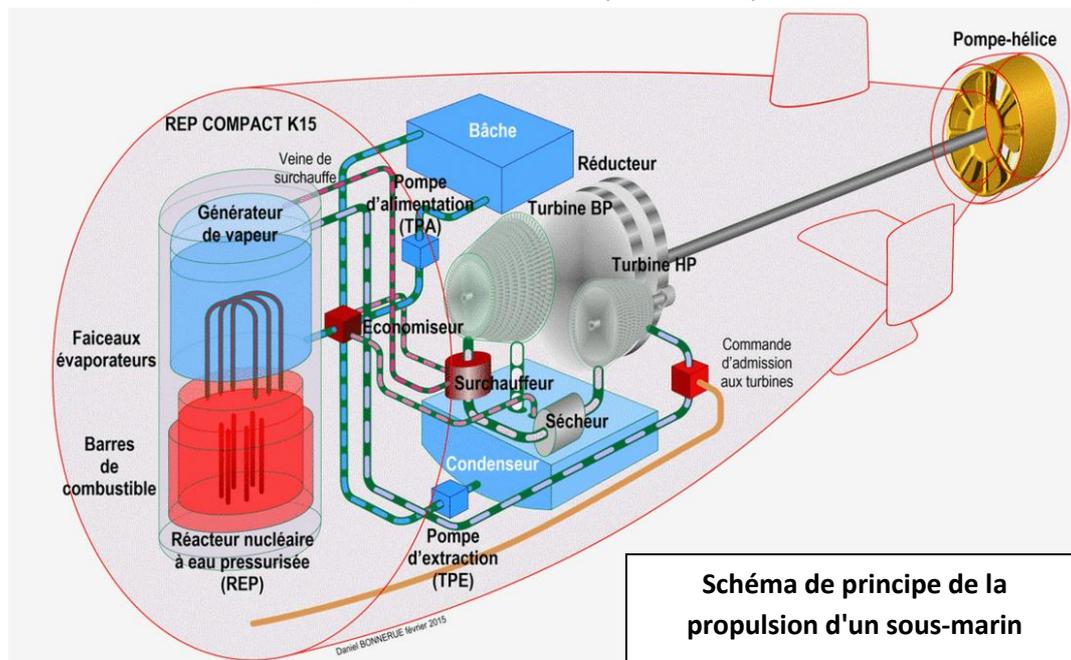


Le sous-marin dispose de capacités d'eau qui peuvent être remplies ou vidées pour faire varier son poids : cela s'appelle un mouvement d'eau, le sous-marin « admettant » de l'eau pour remplir ses caisses et « pompant » de l'eau pour les remplir.

- 2) Dans les trois cas suivants, indiquer le mouvement d'eau qu'il est nécessaire d'effectuer (« admettre » de l'eau ou « pomper » de l'eau) :
- Augmentation de la salinité
  - Diminution de la T °C
  - Contraction de la coque
- 3) Le *Suffren* navigue à une immersion de 20 m (immersion périscopique) et est bien pesé pour une eau à 25 °C. Il déplace alors 3 996 m<sup>3</sup> et évolue dans une zone où la salinité est de 37 g/kg. Après avoir transmis les images de sa mission de renseignement, il descend à 100 m. Il déplace alors 3 995 m<sup>3</sup>, du fait de la contraction de la coque avec la pression hydrostatique (perte d'1 m<sup>3</sup> de volume). Devra-t-on remplir ou vider les capacités d'eau ? et de combien de litres en considérant que la température à 100 m est de 20 °C et que la salinité est identique à 100 m et 20 m ?

## Partie 2 : chimie du réacteur

Le réacteur nucléaire embarqué fournit l'énergie requise pour faire fonctionner le sous-marin. Il est composé d'un circuit primaire en contact avec le combustible nucléaire (en rouge sur le schéma) qui réchauffe un circuit secondaire (en bleu) où circule la vapeur d'eau qui fait tourner les turbines.



Afin de garantir un fonctionnement optimal du réacteur, il est nécessaire de contrôler régulièrement la qualité de l'eau circulant dans le circuit primaire et de la traiter, afin d'éviter les phénomènes de corrosion et d'activation. Pour cela, le circuit primaire, d'une capacité de 24 000 L, est traité à la lithine LiOH.

La lithine est une base forte, qui se dissocie **entièrement** dans l'eau en ions lithium Li<sup>+</sup> et en ions hydroxyde HO<sup>-</sup>.

Le traitement est ajusté de manière à avoir un pH = 9,5 à 25 °C. On considère que le fluide primaire ne contient que de l'eau et de la lithine.

Les conductivités ioniques molaire (à 25 °C en  $\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$ ) sont les suivantes :

- $\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) = 35,0$  ;
- $\lambda(\text{HO}^-) = 19,8$  ;
- $\lambda(\text{Li}^+) = 3,9$  ;
- $\lambda(\text{Na}^+) = 5,0$  ;
- $\lambda(\text{Cl}^-) = 7,6$ .

On rappelle que la conductivité  $\sigma$  d'une solution est liée aux conductivités molaires ioniques  $\lambda_i$ , aux concentrations  $[X_i]$  des ions qui la composent et à leur nombre de charge en valeur absolue  $|z_i|$  par la loi de Kohlrausch:  $\sigma = \sum |z_i| \cdot \lambda_i \cdot [X_i]$ , ou  $\sigma$  est en  $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $\lambda_i$  en  $\text{S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$  et  $[X_i]$  en  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$ .

1) Afin d'obtenir le pH souhaité, déterminer la concentration des ions oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$  dans le fluide primaire. En déduire les concentrations molaires des ions hydroxyde  $\text{HO}^-$  et ions lithium  $\text{Li}^+$ .

Données :

- $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HO}^-] = 10^{-14}$  ;
- $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- $M(\text{Li}) = 7,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

2) Quelle masse de lithine est nécessaire pour réaliser le traitement et obtenir le pH souhaité ?

3) Quelle est la valeur de conductivité de ce fluide primaire ?

L'eau du primaire est polluée par 2 L d'eau de mer. On considère que l'eau de mer ne contient que du chlorure de sodium  $\text{NaCl}$  à la concentration  $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ .

4) Quel est le PH du fluide pollué ?

5) En considérant que la concentration en ions lithium et hydroxyde varie de manière négligeable après la pollution, quelle est la valeur de conductivité du fluide pollué ?

Données :

- $M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- $M(\text{Cl}) = 35,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- 



Pour en savoir plus sur les sous-marins et les sous-mariniers :

