

## Partie 2 : Sciences physiques

### EXERCICE A – La « méduse » : radar anti-bruit (10 points)

Les motos et scooters sont une cause de nuisances sonores. Il existe deux types de contrôles des nuisances sonores : un contrôle statique et un contrôle dynamique. Ce dernier est en cours d'expérimentation et se base sur un dispositif appelé « méduse » qui permet de mesurer le niveau d'intensité sonore d'un cyclomoteur en circulation.

L'objectif de l'exercice est d'exploiter des mesures de niveaux d'intensité sonore obtenues à l'aide du dispositif « méduse » et de mettre en évidence ses limites de fonctionnement.

#### Données :

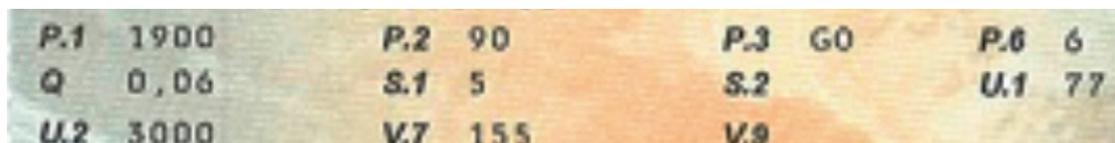
- seuil d'audibilité de l'oreille humaine :  $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  ;
- relation entre le niveau d'intensité sonore  $L$  et intensité sonore  $I$  :  $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$  ;
- l'intensité sonore  $I$  mesurée à une distance  $d$  d'une source sonore ponctuelle est donnée par la relation suivante :

$$I = k \times \frac{1}{d^2} ;$$

- où  $k$  est une constante qui dépend notamment de la puissance de la source ;
- le niveau d'intensité sonore maximal toléré selon la législation française, est de 85 décibels.

#### Première approche : le contrôle statique

La valeur  $U.1$  sur la carte grise d'un cyclomoteur (voir figure 1) correspond à la valeur du niveau d'intensité sonore en décibels (dB) en statique, c'est-à-dire lorsqu'un sonomètre est placé à 50 cm du pot d'échappement du cyclomoteur immobile.



P.1	1900	P.2	90	P.3	G0	P.6	6
Q	0,06	S.1	5	S.2		U.1	77
U.2	3000	V.7	155	V.9			

Figure 1. Extrait d'une carte grise d'un cyclomoteur

**Q1.** Montrer que la valeur, notée  $I_{50}$ , de l'intensité sonore  $I$  à 50 cm du pot d'échappement du cyclomoteur immobile est :  $I_{50} = 5,0 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

**Q2.** Choisir en justifiant, parmi les propositions ci-dessous, celle traduisant l'évolution de l'intensité sonore lorsque l'on double la distance au pot d'échappement ; sa valeur sera notée  $I_{100}$ .

Proposition a.  $I_{100} = I_{50}$

Proposition b.  $I_{100} = I_{50} / 2$

Proposition c.  $I_{100} = I_{50} / 4$

Proposition d.  $I_{100} = I_{50} \times 2$

Proposition e.  $I_{100} = I_{50} \times 4$

**Q3.** Montrer alors que si l'on place un sonomètre à 1 m de distance du pot d'échappement, la valeur du niveau d'intensité sonore est réduite de 6,0 dB.

## Deuxième approche : le contrôle dynamique



Figure 2. Fonctionnement du dispositif « méduse ». <https://www.leparisien.fr/>

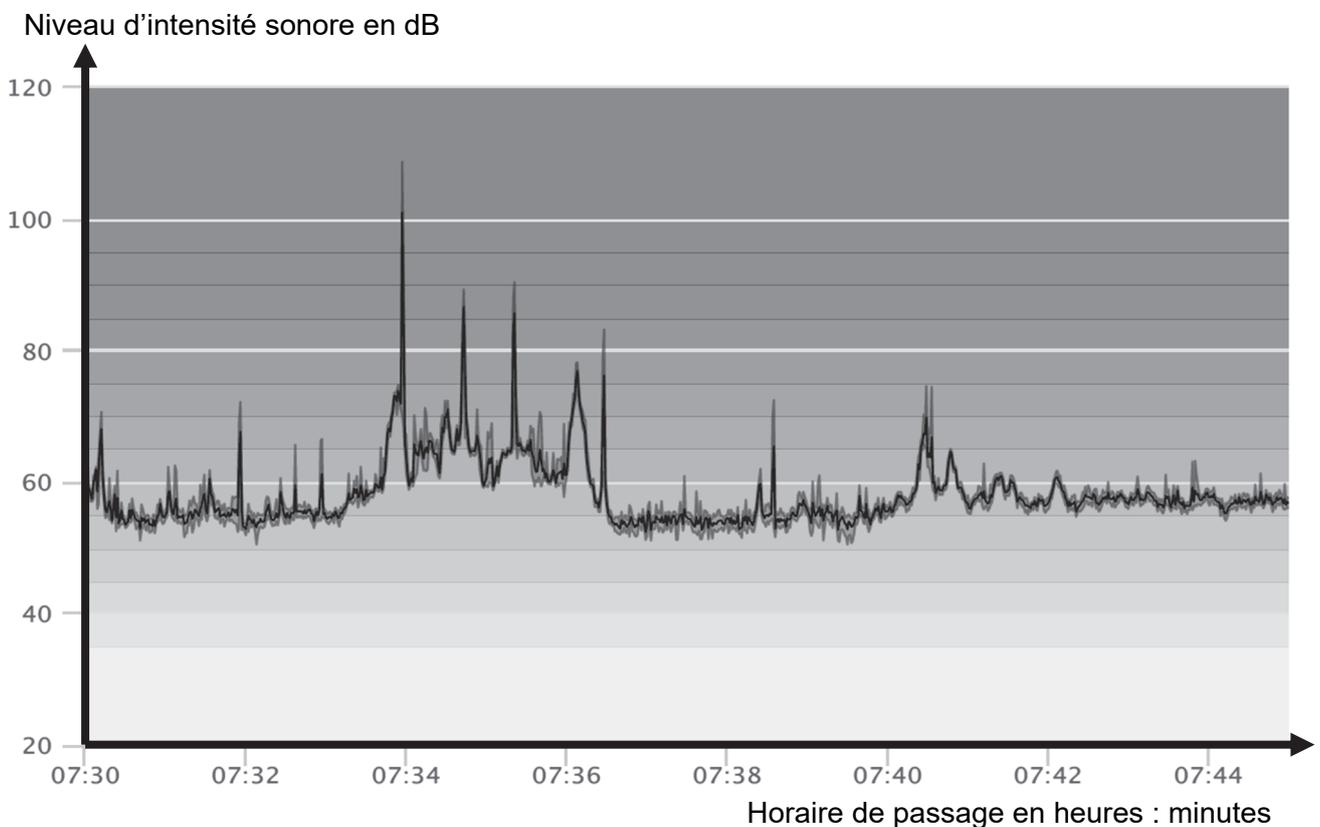


Figure 3. Niveau d'intensité sonore enregistré par un dispositif « méduse », rue de l'Espérance à Paris en matinée (22 février 2022). <https://monquartier.bruitparif.fr/hebdoscope>

**Q4.** Indiquer le nombre de véhicules en infraction en donnant pour chacun d'eux une estimation de l'heure de passage.

Un groupe de motards traverse une commune équipé d'un dispositif « méduse ». Ils disposent du même modèle de moto et roulent tous à  $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Une première moto passe devant le dispositif « méduse » qui mesure un niveau d'intensité sonore  $L_m = 78 \text{ dB}$ . Quelques instants plus tard, un groupe de motards s'approche du dispositif « méduse ».

**Q5.** Déterminer le nombre de motos qui peuvent passer simultanément devant le dispositif sans dépasser le niveau d'intensité sonore maximal toléré.

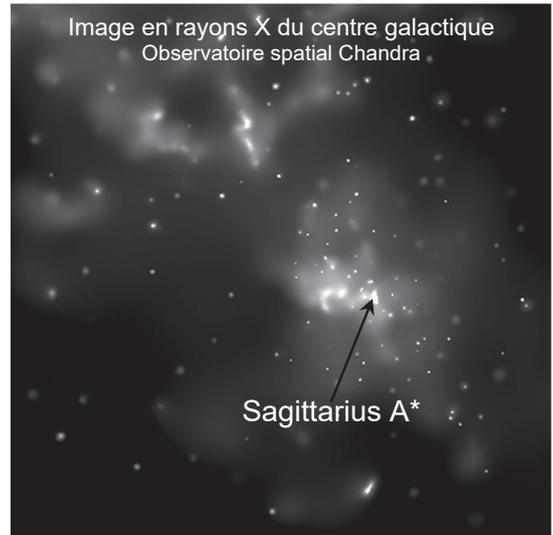
**Q6.** Émettre une critique quant à la fiabilité du dispositif « méduse ». Justifier l'intérêt de la caméra embarquée pour confirmer la réponse à la question 4.

## EXERCICE B – Sagittarius A\* (10 points)

Sagittarius A\* (Sgr A\*) est une source intense d'ondes radios localisée au centre de la Voie Lactée et associée à la présence d'un trou noir super massif à environ 26 000 années-lumière du Système solaire.

On utilisera la notation Sgr A\* pour désigner ce trou noir d'environ 4,3 millions de masses solaires situé au centre de notre galaxie. Ce trou noir est l'objet attracteur d'un amas stellaire : une douzaine d'étoiles connues sont en orbite autour de ce trou noir et leur observation régulière a permis de bien connaître leurs caractéristiques.

Les mesures de la masse de Sagittarius A\*, notée  $M_{A^*}$ , évoluent. Une mesure en 2002 exploitant l'orbite de l'étoile la plus proche de Sgr A\* donnait une masse de  $3,7 \pm 1,5$  millions de masses solaires. La dernière en date réalisée par l'exploitation des observations du télescope ESO-VLT en 2021 donne  $4,30 \pm 0,01$  millions de masses solaires.



NASA/CXC/Caltech/M.Muno et al

Sources : wikipedia, chandra.harvard.edu, Astronomy & Astrophysics, ESO

### Données :

- constante gravitationnelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  ;
- masse solaire :  $M_S = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$ .

On désire, à partir des informations orbitales des étoiles, évaluer la masse  $M_{A^*}$  de Sgr A\*.

Contrairement aux autres étoiles de l'amas stellaire, l'étoile nommée S1 a la particularité d'avoir une orbite quasi-circulaire ; on assimilera donc sa trajectoire à un cercle de rayon  $R$ , centré sur Sgr A\*. On suppose que la seule action qui agit sur l'étoile S1 est l'attraction gravitationnelle exercée par Sgr A\*.

L'étude se fait dans un référentiel supposé galiléen. Sgr A\* est l'origine du repère dans lequel on suit le mouvement du système étudié S1. Les axes de ce repère pointent vers des étoiles lointaines.

**Q1.** Représenter sans souci d'échelle Sgr A\* et S1 en indiquant la force d'attraction gravitationnelle agissant sur S1. Indiquer sur la figure le repère de Frenet ( $S1, \vec{u}_T, \vec{u}_N$ ), et le vecteur vitesse  $\vec{v}$  de S1.

**Q2.** En appliquant la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération de l'étoile S1 en fonction notamment de  $G, M_{A^*}$  et  $R$ .

**Q3.** Justifier que dans l'approximation d'un mouvement circulaire, la norme du vecteur vitesse de S1 dans le référentiel de Sgr A\* est constante.

**Q4.** Donner l'expression de la norme  $v$  du vecteur vitesse de l'étoile S1 en fonction de  $G$ , de  $M_{A^*}$  et de  $R$  la distance entre l'étoile S1 et Sgr A\*.

**Q5.** En exploitant l'expression de la norme du vecteur vitesse et en notant  $T$  la période de S1 autour de Sgr A\*, démontrer que la troisième loi de Kepler pour ce mouvement circulaire peut s'écrire :

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M_{A^*}}$$

À l'aide d'un programme écrit en langage Python et des mesures du spectrographe SINFONI installé sur le ESO-VLT, on obtient le graphique de la figure 1 qui représente pour cinq étoiles connues de l'amas stellaire autour de Sgr A\*, la variation du carré de la période de révolution, notée  $T$ , en fonction du cube du demi grand axe de la trajectoire noté  $a$ .

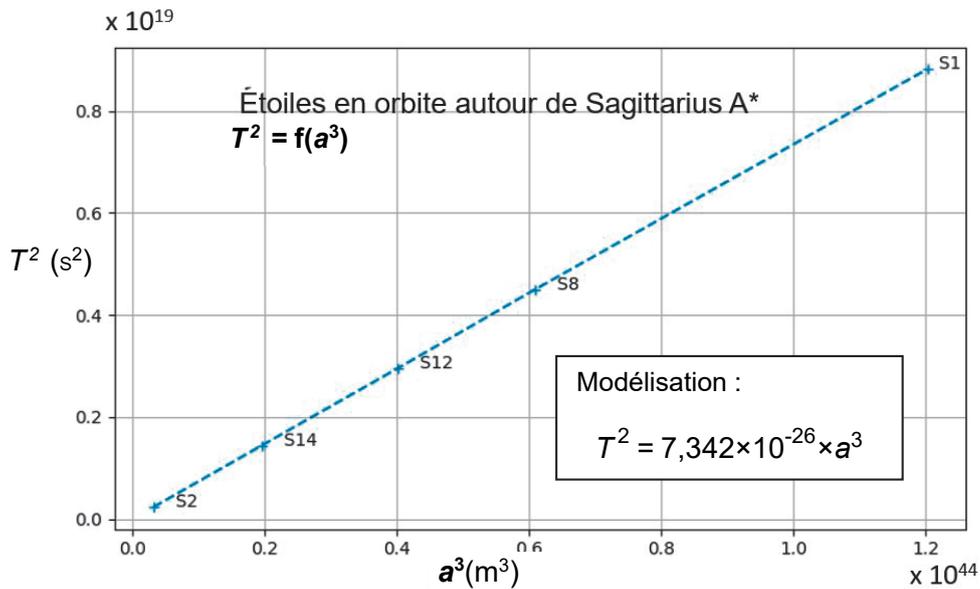


Figure 1. Étoiles en orbite autour de Sagittarius

- Q6.** L'expression de la loi de Kepler dans le cas du mouvement quasi-circulaire de S1 a été établie ci-dessus. Discuter de sa généralisation aux orbites non circulaires des autres étoiles de l'amas stellaire.
- Q7.** Déterminer à l'aide des questions précédentes la valeur de la masse  $M_{A^*}$  de Sgr A\*. Commenter le résultat.