Concours blanc sciences physiques

4h

Problème 1 : Instruments de musique et nuisances sonores

(barème sur 40 points)

Après la vue, l'ouïe est le deuxième sens le plus développé chez l'homme, même si de nombreux animaux ont une ouïe beaucoup plus fine que la nôtre. C'est le sens qui nous permet de profiter de la beauté de la musique, de transmettre de nombreuses informations, mais aussi celui qui est agressé par de nombreuses nuisances sonores, au point que cette pollution est reconnue au même titre que celles de l'eau, de l'air, ou la pollution lumineuse.

L'oreille est sensible à l'intensité sonore I définie comme la valeur moyenne de puissance par unité de surface de l'onde sonore reçue par le capteur.

L'oreille humaine peut en moyenne percevoir des sons ayant une intensité sonore supérieure à $I_0 = 10^{-12}$ W.m^{-2}.

Cette intensité sonore minimale notée I_0 est appelée seuil d'audibilité.

Par ailleurs, un son dont l'intensité sonore est très forte peut provoquer une douleur, ainsi qu'une perte d'audition partielle ou totale : on estime en général que le seuil de douleur correspond à une valeur d'environ 10 W.m^{-2}.

L'intensité sonore est additive, c'est-à-dire que si plusieurs sources émettent des ondes sonores alors l'intensité sonore qui en résulte correspond à la somme des intensités sonores de toutes les sources.

Par exemple, si trois sources sonores émettent des ondes d'intensité I_1, I_2 et I_3 en un point donné de l'espace alors, une mesure indiquerait que l'intensité sonore en ce point vaut : $I = I_1 + I_2 + I_3$.

L'intensité sonore perceptible prend des valeurs sur un intervalle extrêmement large qui va de 10^{-12} W.m^{-2} jusqu'à 10 W.m^{-2} soit un facteur de 10^{13} (10 000 milliards !) entre la limite inférieure et la limite supérieure.

Afin d'utiliser une échelle de grandeur plus simple et plus significative on définit l'intensité sonore en décibels comme :

$$I_{dB} = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Nous étudierons plusieurs aspects de l'acoustique musicale : spectre d'un instrument, problèmes pouvant survenir pendant des concerts, isolation acoustique.

On donne les courbes d'audibilité et de douleur de l'oreille humaine sur la figure 1.

Y sont tracées également des courbes isophoniques, qui relient les points de même sensation d'intensité sonore pour l'oreille humaine.

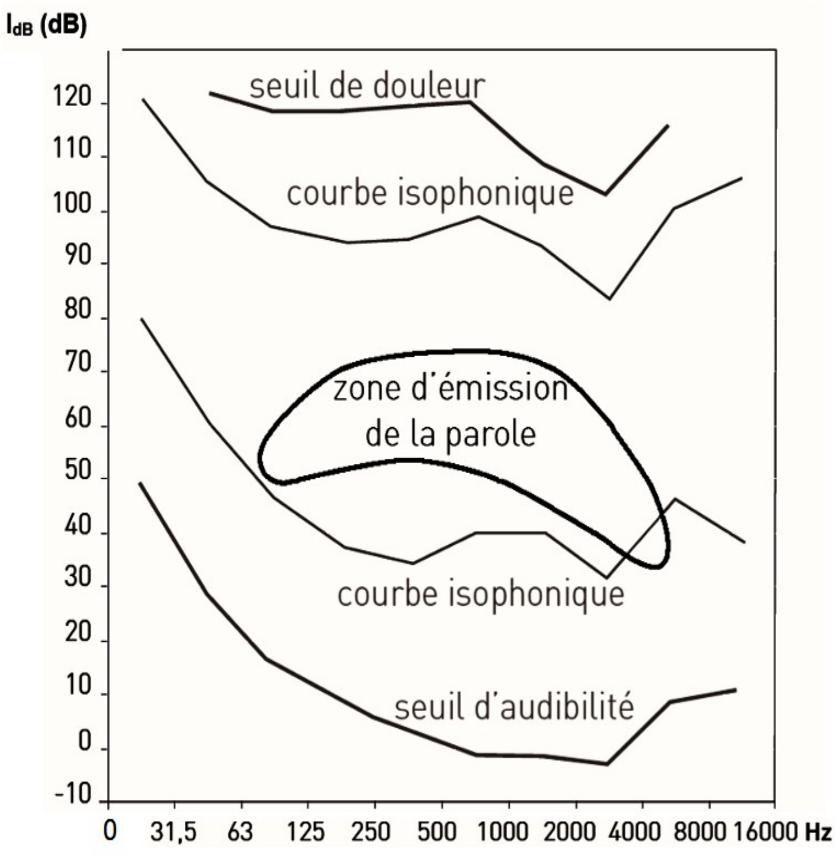


Figure 1 – Courbes de sensibilité de l'oreille humaine
(Intensité sonore en dB en fonction de la fréquence en Hz)

Les deux parties sont globalement indépendantes

Partie 1 : Spectre d'un instrument de musique

1. Quelle est la perturbation à l'origine du son ? Le son correspond-t-il à une onde longitudinale ou transversale ?

2. Une onde sinusoïdale est de la forme : $p(t) = A\cos(\omega t - k\,x)$. pourquoi est-ce une onde progressive ? Dans quel sens se propage-t-elle ? Quelle est sa vitesse de propagation ?

3. Quelle est la différence entre le spectre d'un son créé par un instrument de musique (une flûte par exemple) et le spectre d'un bruit ? On rappelle qu'un bruit est un signal où toutes les fréquences sont présentes. Expliquer pourquoi on peut utiliser les résultats des ondes sinusoïdales pour l'étude du son des instruments.

4. La *figure 2* ci-dessous donne l'acquisition d'un son émis par un violon *(figure 2a)* et son spectre *(figure 2b)*

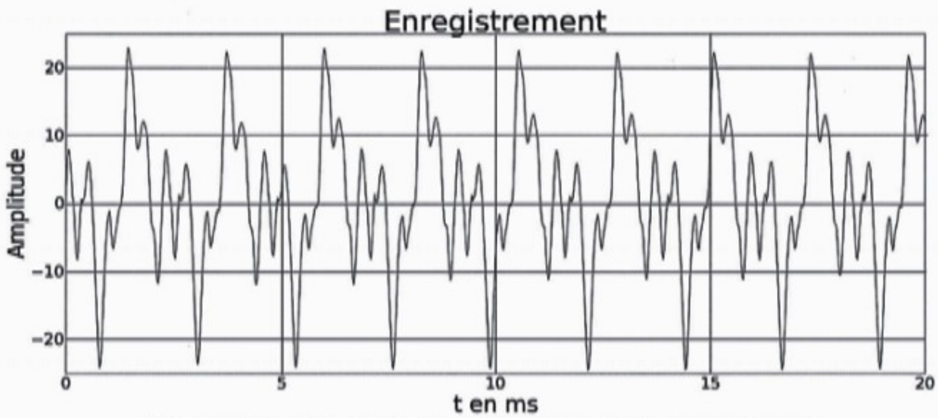


Figure 2.a - Enregistrement d'un son émis par un violon (l'amplitude est graduée en unité arbitraire)

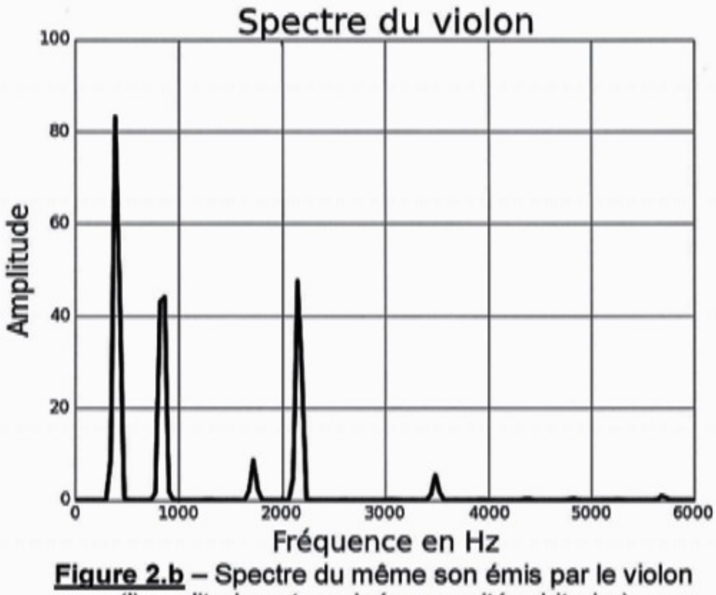


Figure 2.b – Spectre du même son émis par le violon (l'amplitude est graduée en unité arbitraire)

4.1. Mesurer la période et la fréquence de la note à partir de la figure *2a* en expliquant votre démarche. Les résultats sont-ils compatibles entre les deux figures ?

La figure *3a* ci-après donne les acquisitions de deux sons (émis par une flûte*(a)* et par un harmonium*(b)*) qui correspondent à la même note. La figure 3*b* donne le spectre de ces deux instruments mais ils ont été mélangés

4.2. Attribuer à chaque spectre (1 et 2) son instrument (flûte *(a)* ou harmonium*(b)*) en justifiant ce choix)

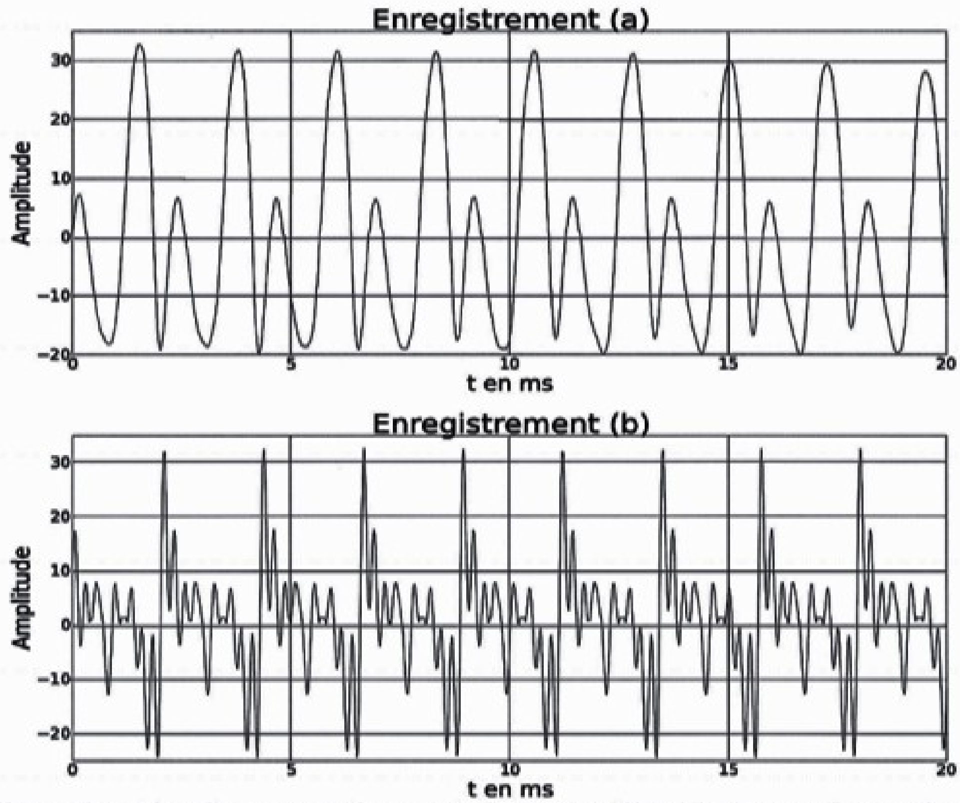


Figure 3.a - Enregistrements de sons émis par une flûte (a) et par un harmonium (b)
(l'amplitude est graduée en unité arbitraire)

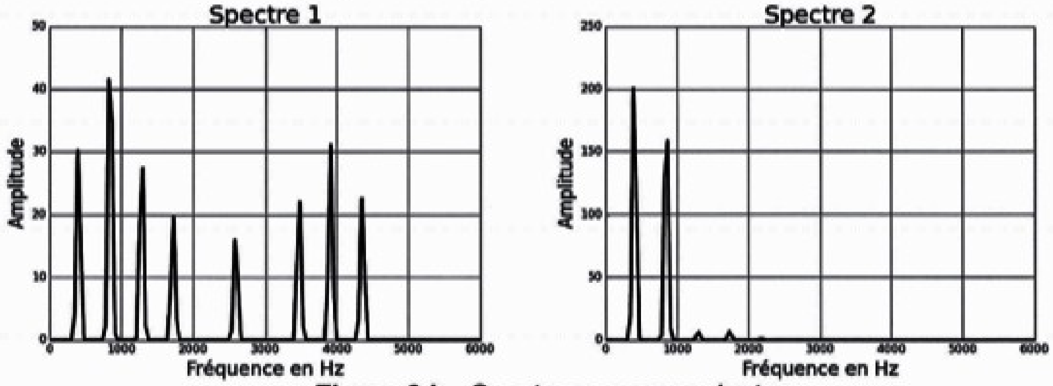


Figure 3.b - Spectres correspondants
(l'amplitude est graduée en unité arbitraire)

Partie 2 : Problèmes à résoudre lors d'un concert et isolation acoustique.

5. Quand l'intensité sonore I double de combien augmente l'intensité en décibel I_{dB} ?

6. Lors d'un concert de piano-chant, le chant du soliste fait 65 dB, tandis que la musique du piano atteint 80 dB. Par conséquent, on n'entend pas le chant du soliste. Le chef de chœur vous demande alors combien il faudrait de chanteurs pour qu'on entende le chant. Répondre à sa question.

Bien sûr, on ne peut pas faire un concert n'importe où n'importe comment : il y a une réglementation sur les nuisances sonores et les pièces doivent être insonorisées. On s'intéresse ici à l'isolation acoustique d'une pièce où des musiciens font leurs répétitions. On prendra $c = 3{,}4.10^2$ $m.s^{-1}$ pour les applications numériques.

On considère les deux instruments ci-contre : une flûte piccolo, de longueur 33 cm et un trombone, dont le tube a une longueur totale de 2,7 m.

Figure 4 – Piccolo (en haut) et trombone (en bas)

7. Estimer la fréquence minimale pour chaque instrument en faisant une analogie avec la corde vibrante. Expliquer pourquoi c'est la fréquence minimale.

8. Les notes les plus jouées de chaque instrument s'étagent sur 2 octaves. Sachant qu'une octave correspond à un doublement de fréquence, déterminer la fréquence maximale de chaque instrument.

On raisonnera désormais avec 125 Hz pour un instrument et 1000 Hz pour l'autre.

9. Quelle est la fréquence adaptée à chaque instrument ?

Les musiciens répètent dans un garage dont toutes les parois sont en parpaing (blocs de béton), la porte du garage ayant été condamnée dès le début des répétitions.

Les voisins s'étant plaints du bruit, une étude acoustique a été réalisée : l'intensité sonore chez les voisins atteint 55 dB pour le piccolo et 60 dB pour le trombone. Or, on peut considérer qu'un bruit est gênant quand il est situé au-dessus de la courbe isophonique la plus basse des deux dans la figure 1.

10. Est-il nécessaire d'effectuer des travaux d'isolation phonique quand c'est la flûte qui est jouée ? Quand c'est le trombone ? Justifier. Quelle atténuation supplémentaire en dB faut-il pour chacun des deux instruments?

Les propriétaires décident de faire des travaux. On leur propose 3 solutions :

- poser un enduit sur les murs en parpaing pour 30 € par m^2
- poser un isolant intérieur : labelrock à 13 €/m^2 ou rockmur à 8 €/m^2
- poser un enduit ET un isolant intérieur.

11. La figure 5 donne le coefficient d'absorption en dB de ces différents revêtements en fonction de la fréquence du son. Quelle est la meilleure solution en termes de coût et d'efficacité si on ne joue que de la flûte dans le garage ? Que du trombone ? Les deux séparément ? Les deux en même temps ?

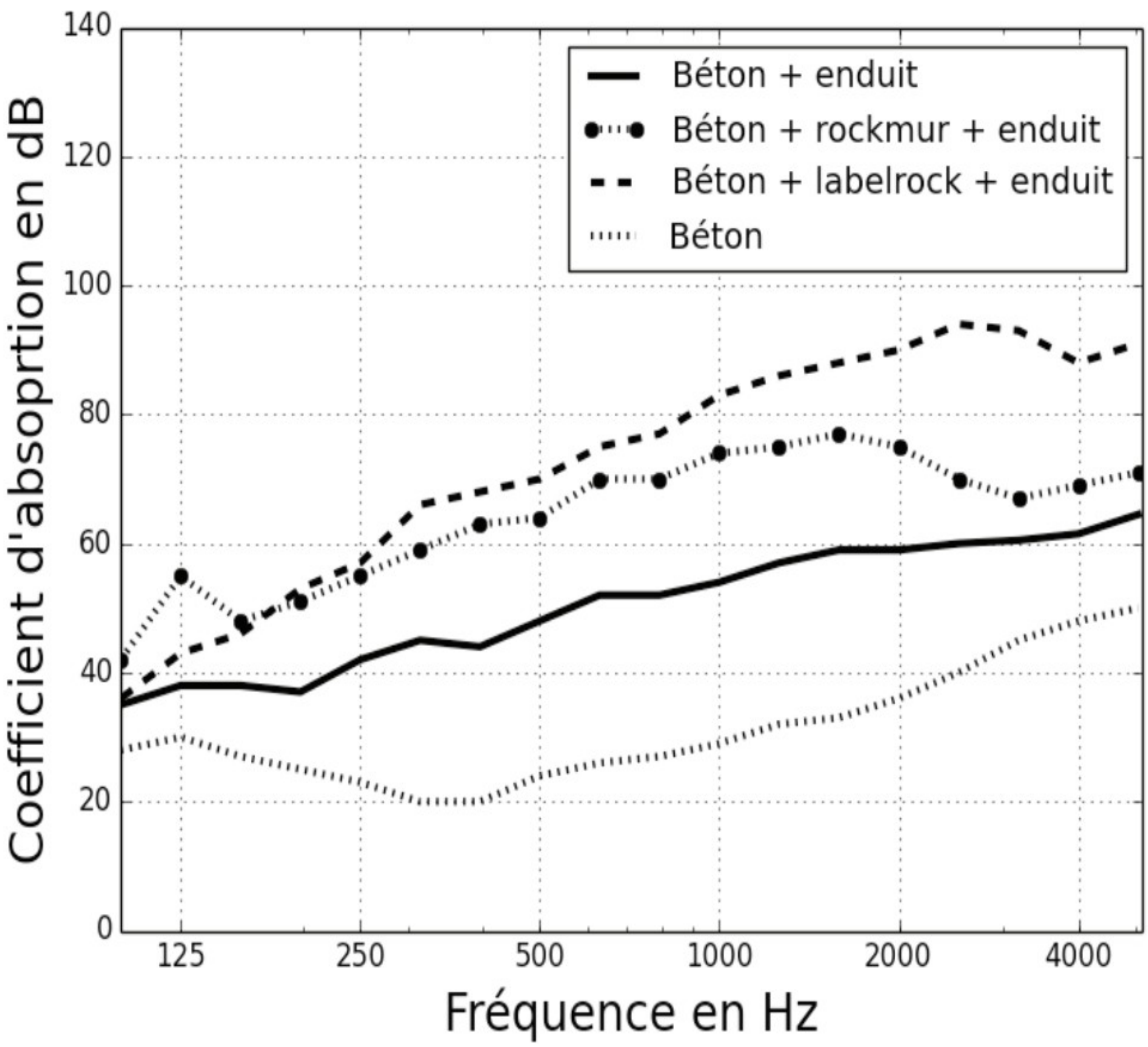


Figure 5 - Coefficient d'absorption en dB en fonction de la fréquence

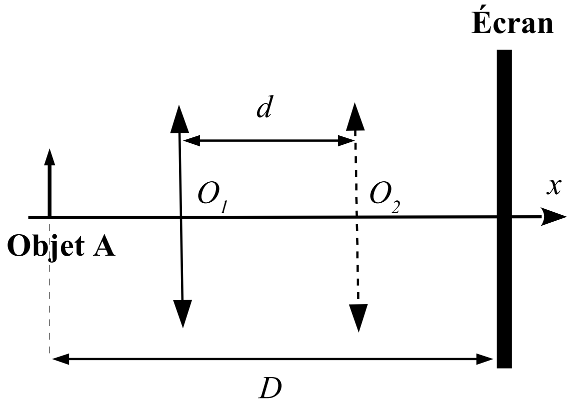
Problème 2 : Focométrie *(barème sur 35 points)*

Formules utiles pour l'optique : formules de conjugaison de Descartes

Soit un objet AB orthogonal à l'axe optique et tel que A est un point de l'axe optique . Si A'B' est son image par la lentille supposée mince de centre O :

- Les distances **algébriques** $\overline{OA}$ et $\overline{OA'}$ sont données par la relation : $\dfrac{1}{\overline{OA'}}-\dfrac{1}{\overline{OA}}=\dfrac{1}{f'}$
- Les dimensions **algébriques** $\overline{AB}$ et $\overline{A'B'}$ sont données par le grandissement transversal: $G_T=\dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}=\dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

Chaque question s'accompagne d'un choix de réponses. Il faudra indiquer la réponse choisie après une justification rigoureuse.



A l'aide d'une lentille mince convergente (L) de distance focale image $f'=20\,cm$, on forme l'image $A'B'$ d'un objet AB sur un écran situé à une distance D = 1 m de l'objet. En déplaçant la lentille, on trouve deux positions O_1 et O_2 pour le centre optique O de (L) qui donnent une image nette sur l'écran (cf. figure ci-contre).

On pose : $\overline{OA}=x$ et $\overline{OA'}=x'$.

1) Exprimer $\overline{AA'}$ en fonction de x et x'. En utilisant la relation de Descartes, déterminer le polynôme dont x est la racine.

2) Déterminer l'expression littérale de la distance $d=O_1O_2$ qui sépare ces deux positions en fonction de D et *f'* puis indiquer la bonne réponse parmi le choix proposé.

A) $d=447\,mm$ ***B)*** $d=192\,mm$ ***C)*** $d=58\,mm$ ***D)*** $d=352\,mm$

3) Calculer le grandissement transversal G_t de l'image correspondant a chacune de ces deux positions de la lentille puis indiquer la ou les bonne(s) réponse(s) parmi le choix proposé.

A) $G_t=-2,62$ ***B)*** $G_t=-0,79$ ***C)*** $G_t=-0,38$ ***D)*** $G_t=-1,27$

4) La lentille précédente est remplacée par une lentille convergente L_a de distance focale image f'_a inconnue. Les deux positions de la lentille qui donnent une image nette sur l'écran sont séparées par une distance d_a = *600mm*. Calculer f'_a puis indiquer la bonne réponse parmi le choix proposé.

A) $f'_a=100\,mm$ ***B)*** $f'_a=260\,mm$ ***C)*** $f'_a=90\,mm$ ***D)*** $f'_a=160\,mm$

5) On remplace L_a par une nouvelle lentille convergente L_b placée entre l'objet et l'écran. On règle la position de l'écran de façon à ce qu'il n'existe plus qu'une seule position pour laquelle L_b donne une image nette de l'objet (d = 0). On mesure alors une distance D = 1200 mm entre l'objet et son image. En déduire la distance focale image f'_b de cette lentille puis indiquer la bonne réponse parmi le choix proposé.

A) $f'_b=150\,mm$ ***B)*** $f'_b=300\,mm$ ***C)*** $f'_b=120\,mm$ ***D)*** $f'_b=200\,mm$

6) Calculer, dans ces conditions, le grandissement transversal G_{tb} de l'image puis indiquer la bonne réponse parmi le choix proposé .

A) $G_{tb}=-3$ ***B)*** $G_{tb}=-0,5$ ***C)*** $G_{tb}=-1$ ***D)*** $G_{tb}=-2,3$

7) On remplace L_b par une nouvelle lentille convergente L_c placée entre l'objet et l'écran. On impose différentes valeurs de la distance D et on relève, pour chaque valeur de D les deux positions y_{O_1} et y_{O_2} qui permettent d'obtenir une image sur l'écran. On obtient le tableau de mesures expérimentales ci-contre.

D (cm)	y_{O_1} (cm)	y_{O_2} (cm)
150, 0	49, 4	150, 6
140, 0	50, 1	140, 4
130, 0	50, 5	130, 1
125, 0	50, 9	124, 5
120, 0	51, 4	119, 1
110, 0	52, 1	107, 6
100, 0	53, 4	96, 0
90, 0	55, 7	84, 2

Proposer une méthode reposant sur une régression linéaire pour déterminer la distance focale image f'_c .

Effectuer cette régression linéaire et en déduire f'_c .

Critiquer les résultats obtenus.