



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Réseau Canopé
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

ÉPREUVE DE SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2019

Durée : 4 heures

Coefficient : 4

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Aucun document autorisé.

CE SUJET COMPORTE TROIS EXERCICES **INDÉPENDANTS** :

PRÉSENTATION GLOBALE DU SUJET	page 2/27
EXERCICE 1 : OPTIQUE	pages 3/27 à 8/27
EXERCICE 2 : MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE	pages 9/27 à 19/27
EXERCICE 3 : ÉLECTRICITÉ	pages 20/27 à 24/27

Documents à rendre et à agraffer avec la copie :

- Document réponse n° 1 (partie optique) page 25/27
- Document réponse n° 2 (partie mécanique) page 26/27
- Documents réponses n^{os} 3 et 4 (partie électricité) page 27/27

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet se compose de 27 pages, numérotées de 1/27 à 27/27.

S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses

BTS TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE	Session 2019
Nom de l'épreuve : Sciences physiques	Code : TPSP
	Page : 1/27

Introduction du sujet (commune aux 3 parties)

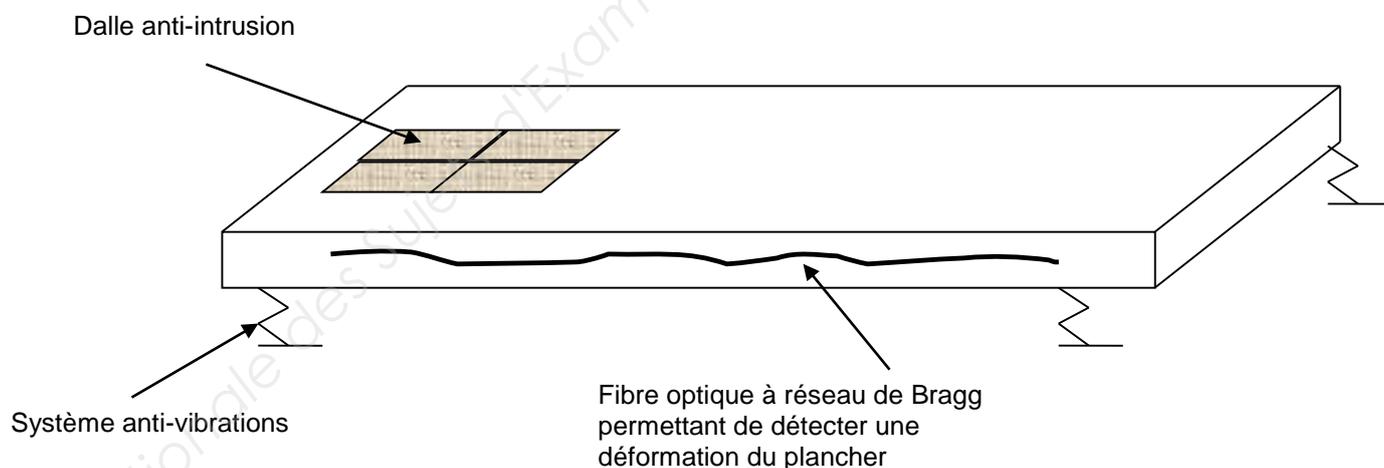
Le plancher intelligent

Des sociétés innovantes proposent des planchers « intelligents » afin de répondre à des besoins d'entreprises ou laboratoires travaillant en environnement sensible comme des Datacenter.

Ce type de plancher permet de se prémunir de nuisances extérieures (vibrations, intrusions...) qui pourraient compromettre le fonctionnement voire la sécurité de ces sites.



Le bureau d'étude dont vous faites partie vous demande de concevoir un prototype schématisé ci-dessous :



L'étude du prototype porte sur 3 aspects :

- Optique pour la fibre optique à réseau de Bragg.
- Mécanique pour le système anti-vibrations.
- Électronique pour les dalles anti-intrusion.

BTS TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE	Session 2019
Nom de l'épreuve : Sciences physiques	Code : TPSP
	Page : 2/27

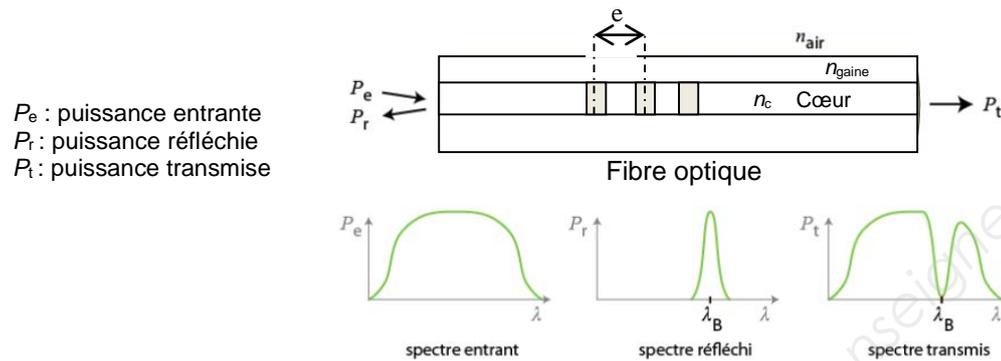
EXERCICE 1 : OPTIQUE (durée conseillée 1 h 20)

Un capteur de type fibre optique à réseau de Bragg est inséré dans le plancher. Ce capteur permet de détecter des contraintes mécaniques exercées sur le plancher pour mesurer une surcharge ou bien une déformation du plancher. Ce capteur permet de réaliser des mesures fiables tout en étant peu sensible aux perturbations électriques.

1. Principe de fonctionnement d'un capteur à réseau de Bragg

Un capteur à réseau de Bragg est constitué d'une fibre optique dont le cœur a subi une modification périodique de son indice. La fibre devient alors un réflecteur sélectif en longueur d'onde (**voir le document 1 ci-dessous**).

Document 1 : Principe du capteur à réseau de Bragg



λ_B : longueur d'onde de Bragg e : pas du réseau de Bragg

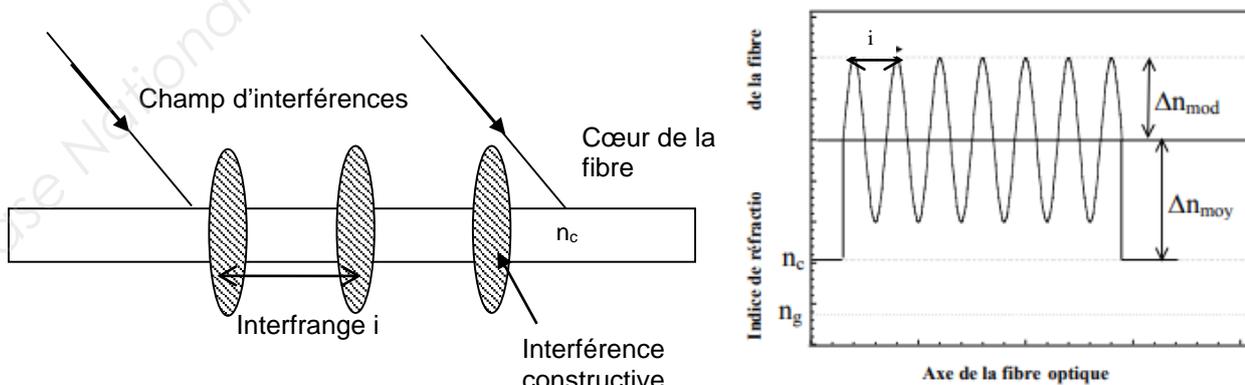
La longueur d'onde de Bragg est telle que $\lambda_B = 2 \cdot n_{\text{moy}} \cdot e$ avec n_{moy} l'indice effectif moyen du cœur de la fibre

Une élongation de la fibre modifie le pas du réseau de Bragg et modifie la longueur d'onde réfléchie par le réseau.

2. Réalisation d'un capteur à réseau de Bragg

Un réseau de Bragg est photo-inscrit dans le cœur de la fibre optique. Pour cela, la fibre optique est placée dans un champ d'interférences lumineuses. Les interférences constructives modifient l'indice du cœur localement de façon périodique (**voir le document 2 ci-dessous**).

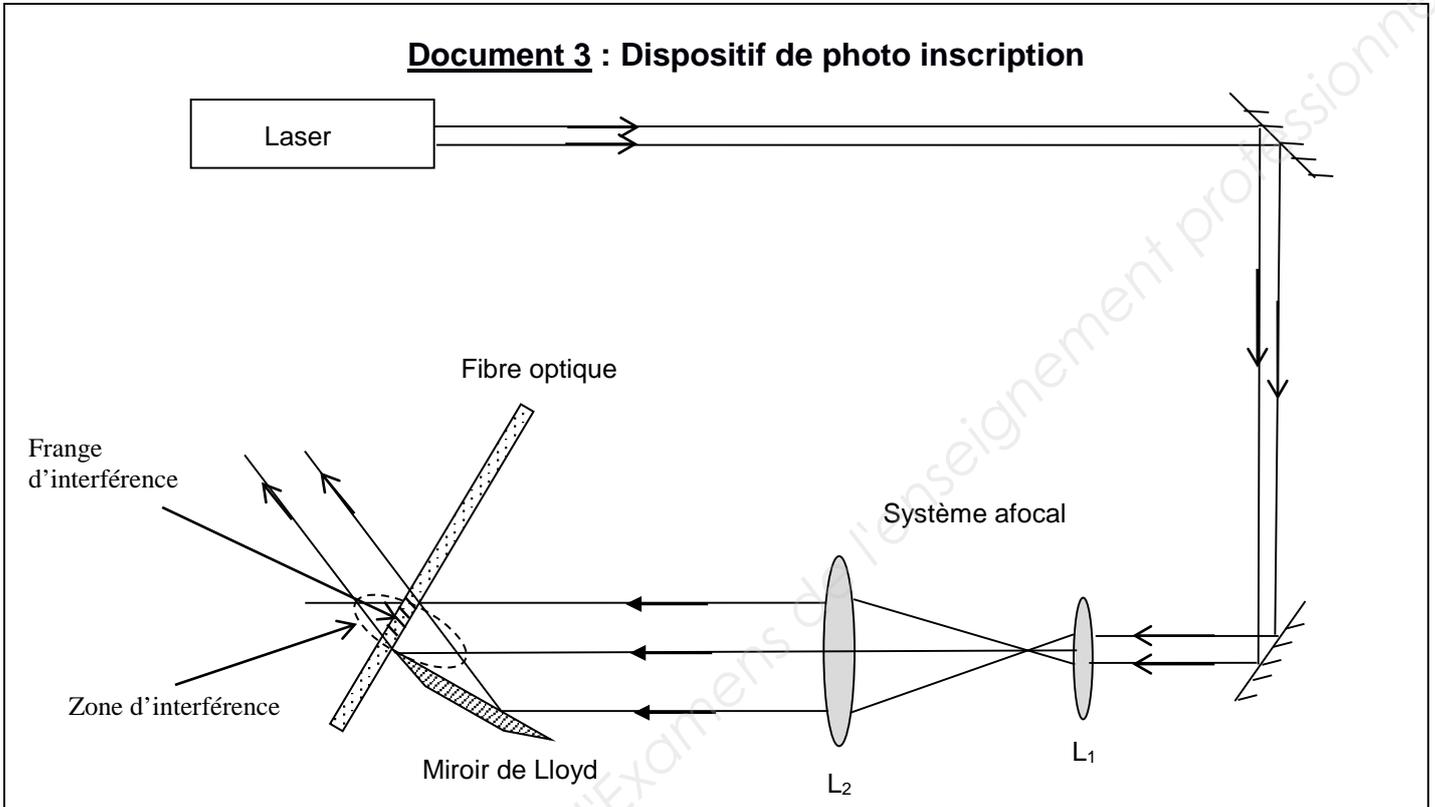
Document 2 : Photo-inscription d'un réseau de Bragg dans une fibre optique



L'exercice comporte deux parties indépendantes.

PARTIE 1 : RÉALISATION DE LA PHOTO-INSCRIPTION DU RÉSEAU

L'entreprise qui conçoit le plancher intelligent souhaite étudier la possibilité de réaliser elle-même des capteurs à réseau de Bragg. Votre travail de technicien au sein du bureau d'étude consiste, dans cette première partie, à mettre en place un système de photo inscription à miroir de Lloyd (**voir document 3 ci-dessous**) en choisissant les différents éléments du dispositif et en procédant aux réglages du système interférentiel.



Le bureau d'étude met à votre disposition deux lasers dont vous trouvez les notices techniques (**document 4 ci-dessous**).

Laser 1

SPECIFICATIONS:
Cylindrical Helium Neon Laser Systems

Beam Characteristics	
Output Wavelength	633 nm
Transverse Mode	TEM ₀₀ (>90%)
M ²	<1.05
Stability Characteristics	
Long-Term Power Drift	± 2% per hour
Pointing Stability	<0.03 mrad after 15 minutes
Amplitude Noise	
rms	<0.5% (30 Hz to 10 MHz)
Operating Characteristics	
Warm-up Time	<15 minutes
Environmental Requirements	
Operating Temperature	-20°C to +40°C
Nonoperating Temperature	-40°C to +80°C
Operating Humidity	0% to 90%, noncondensing
Nonoperating Humidity	0% to 100%
Shock	25 G for 11 msec
Electrical Characteristics	
Input Voltage	100 Vac, 115 Vac or 230 Vac ± 10% (specify)
Input Frequency	50-60 Hz
Safety and Regulatory Compliance	
Regulatory Compliance	CE Compliant (230-Vac only)

Document 4 : Extrait de notices techniques des LASER

Laser 2

INNOVA 300C MOTO FRED		
output power specification	wavelength (nm)	power (W)
	244,0	0,1
Beam parameters	diameter (mm)	
	0,6	

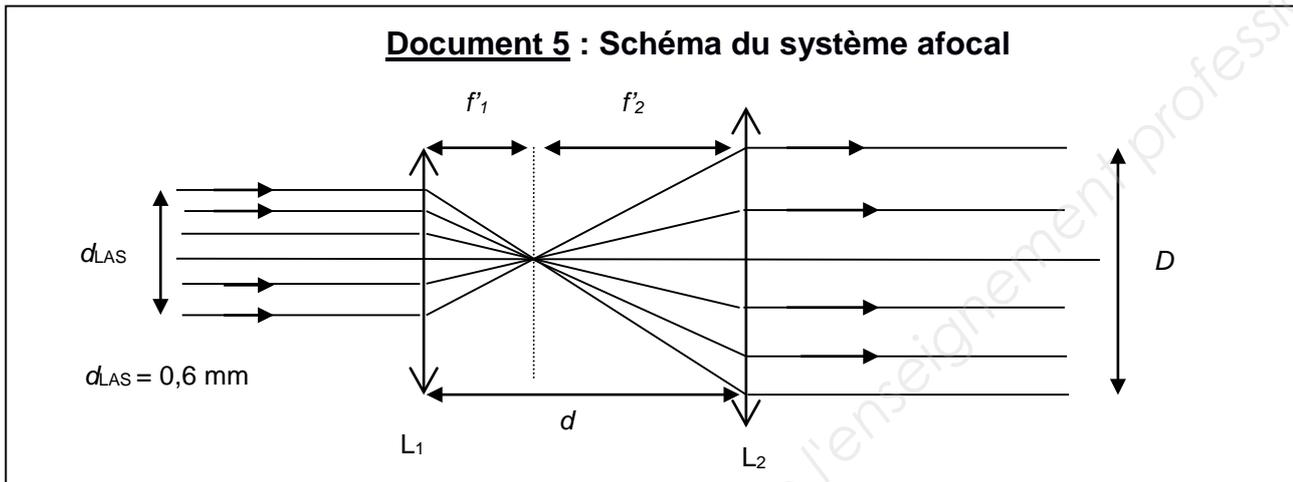
Données : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

L'énergie du photon doit être supérieure à 5 eV pour insoler correctement le cœur de la fibre.

Q1 - À l'aide du **document 4 page 4/27**, déterminer quel laser choisir pour réaliser la photo inscription.

Q2 - Indiquer dans quel domaine de rayonnement électromagnétique émet ce laser.

Le système afocal, constitué de deux lentilles convergentes L_1 et L_2 , permet d'élargir le faisceau LASER de diamètre d_{LAS} afin d'obtenir un faisceau de diamètre D et d'inscrire le réseau de Bragg dans la fibre. Vous chercherez à dimensionner les lentilles utilisées pour réaliser le système afocal.



Q3 - Exprimer le rapport $\frac{D}{d_{LAS}}$ en fonction des distances focales f'_1 et f'_2 (voir le document 5 ci-dessus).

Q4 - Calculer le rapport $\frac{D}{d_{LAS}}$ pour un diamètre D du faisceau égal à 12 mm.

Document 6 : Extrait d'un catalogue de vente de composants optiques

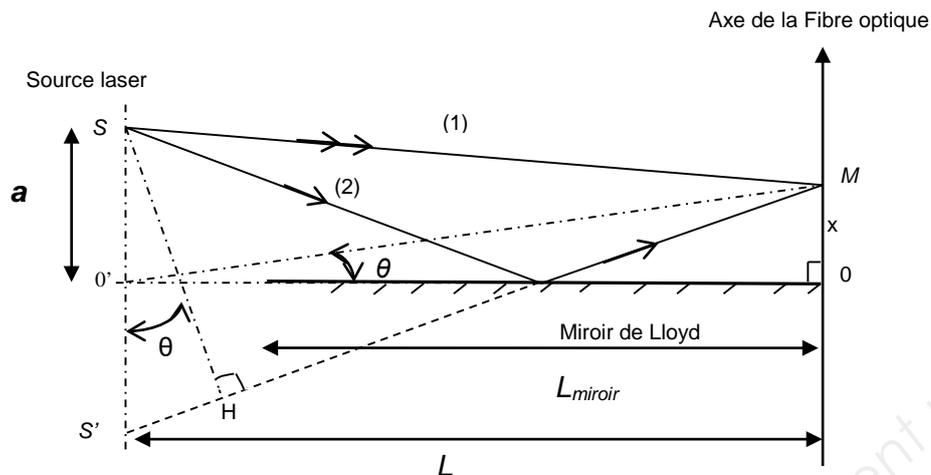
distance focale	Référence
• focale +50 mm	POD 608 630
• focale +100 mm	POD 608 602
• focale +150 mm	POD 608 634
• focale +200 mm	POD 608 603
• focale +250 mm	POD 608 605
• focale +300 mm	POD 608 607
• focale +400 mm	POD 608 638
• focale +500 mm	POD 608 642
• focale +750 mm	POD 608 646
• focale +1000 mm	POD 608 650
• focale -50 mm	POD 608 654
• focale -100 mm	POD 608 610
• focale -150 mm	POD 608 658
• focale -200 mm	POD 608 611
• focale -250 mm	POD 608 612
• focale -500 mm	POD 608 662
Lentille courte focale	Référence
• focale +5 mm	POD 608 615

Source : Ovio

Q5 - En utilisant le **document 6 page 5/27**, choisir deux lentilles (en indiquant leur référence) permettant de réaliser le système afocal sachant que la distance d entre les deux lentilles doit être inférieure à 12 cm.

Les interférences permettant d'insoler le cœur de la fibre sont obtenues par un système interférentiel à miroir de Lloyd dont le schéma est donné dans le **document 7 ci-dessous**.

Document 7 : Interférences par miroir de Lloyd



Les 2 rayons (1) et (2) provenant de la source S interfèrent en M.

Le rayon (2) après réflexion sur le miroir semble provenir d'une source S' image de S par rapport au miroir.

La différence de marche géométrique $\delta_{\text{géo}}$ est égale au segment S'H. La réflexion sur le miroir introduit une différence de marche supplémentaire $\delta = \frac{\lambda}{2}$

On considèrera que $x \ll L$ et $a \ll L$ et l'on pourra appliquer l'approximation des petits angles : $\sin(\theta) \cong \tan(\theta) \cong \theta$

Données : $L = 50 \text{ cm}$ et $L_{\text{miroir}} = 40 \text{ cm}$

Dans cette partie, vous devez régler la position a de la fente source S, par rapport à l'axe du miroir, afin d'obtenir des franges d'interférences dont l'interfrange i vaut $i = 0,122 \text{ mm}$

Q6 - Après avoir tracé la marche de rayons appropriés provenant de la source S, représenter par une surface hachurée sur le **document réponse n° 1 page 25/27 à rendre avec la copie**, le champ d'interférences créé par le miroir de Lloyd

Q7 - À l'aide du **document 7 ci-dessus**, établir une relation entre δ_{geo} , a et θ .

Q8 - À l'aide du **document 7 ci-dessus**, établir une relation entre L , x et θ .

Q9 - Montrer que la différence de marche totale δ s'exprime par la relation $\delta = \frac{2ax}{L} + \frac{\lambda}{2}$

Q10 - Donner l'expression des positions x_p des interférences constructives où p représente l'ordre d'interférence.

Q11 - En déduire que l'interfrange i (distance entre deux franges brillantes voisines) s'exprime par la relation $i = \frac{\lambda L}{2a}$

Q12 - À l'aide de l'étude menée ci-dessus, déterminez la valeur de a afin de régler précisément la position de la source S, on prendra $\lambda = 244 \text{ nm}$.

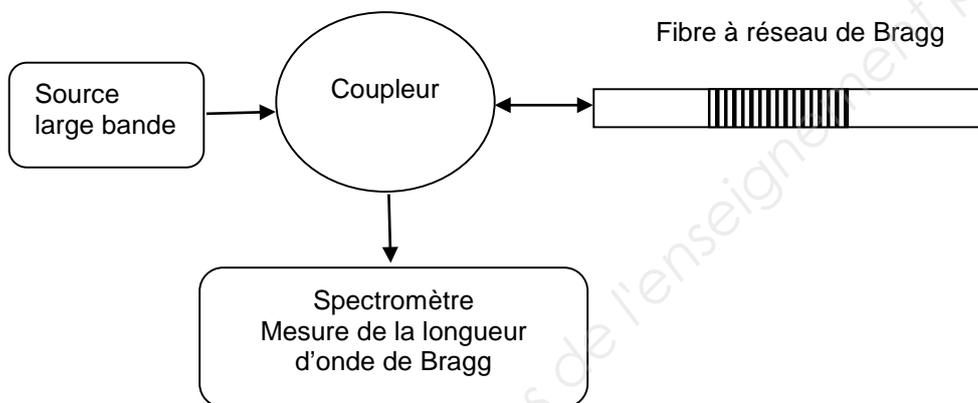
Q13 - En utilisant la construction réalisée sur le **document réponse n° 1 page 25/27 à rendre avec la copie**, déterminer la largeur $L_{\text{interférence}}$ du champ d'interférence au niveau de l'axe de la fibre optique.

PARTIE 2 : MESURE D'ÉLONGATION À L'AIDE D'UN CAPTEUR À RÉSEAU DE BRAGG

Le bureau d'étude disposant d'un spectromètre et ayant fait parallèlement l'acquisition d'une fibre optique à réseau de Bragg, on vous demande de mettre en place un essai de mesure d'élongation de la fibre optique et de vérifier que la valeur de longueur d'onde affichée par le spectromètre correspond à celle attendue après élongation, soit $\lambda'_B = \lambda_B + \Delta\lambda_B$. On rappelle que λ_B correspond à la longueur d'onde de Bragg définie dans le **document 1 page 3/27**.

Le dispositif de mesure est donné dans le **document 8 ci-dessous**. Les caractéristiques du capteur à réseau de Bragg sont données dans le **document 9 ci-dessous**. Le dispositif utilise un spectromètre à fibre dont les caractéristiques sont données dans le **document 10 ci-dessous**. Un extrait des cahiers techniques (voir **document 11 page 8/27**) vous est fourni pour mener l'essai de mesure.

Document 8 : Dispositif de mesure



Document 9 : Caractéristiques du réseau de Bragg



Matériau : silice pure

Longueur de la fibre : $L = 1 \text{ m}$

Indice effectif moyen du coeur $n_{\text{moy}} = 1,51$

Pas du réseau : $e = 215 \text{ nm}$

Longueur d'onde de Bragg $\lambda_B = 2 \cdot n_{\text{moy}} \cdot e$

Document 10 : Caractéristiques du spectromètre AQ6373B YOKOGAWA



Performances :

Plage spectrale : 380-1200 nm

Résolution en longueur d'onde : 4 pm soit 0,004 nm

Document 11 : D'après « cahier technique »

Lorsqu'une force est appliquée longitudinalement sur une fibre optique, la fibre de longueur L subit un allongement ΔL en raison de son élasticité. L'indice du matériau constituant la fibre se trouve modifié par effet photo-élastique.

La variation de la longueur d'onde de Bragg pour la fibre se traduit alors par la relation :

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = 0,78 \times \frac{\Delta L}{L}$$

Lors de l'essai une élongation ΔL de valeur $\Delta L = 50 \mu\text{m}$ est appliquée à la fibre optique. Le spectroscope affiche une raie correspondant à une longueur d'onde de valeur $\lambda_{\text{spectro}} = 649,328 \text{ nm}$. Sans élongation, la longueur d'onde de Bragg mesurée est $\lambda_B = 649,300 \text{ nm}$.

Il incombe au candidat de passer le temps nécessaire à l'élaboration de la réponse à la question suivante. La qualité de la rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisées ainsi que les prises d'initiative même si elles n'aboutissent pas. Il convient donc que celles-ci apparaissent sur la copie.

Q14 - En calculant la valeur de $\Delta\lambda_B$, représentant le décalage de la longueur d'onde de Bragg lors d'une élongation de la fibre de valeur $\Delta L = 50 \mu\text{m}$, valider le résultat obtenu lors de l'essai.

EXERCICE 2 : MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE (durée conseillée 1 h 20)

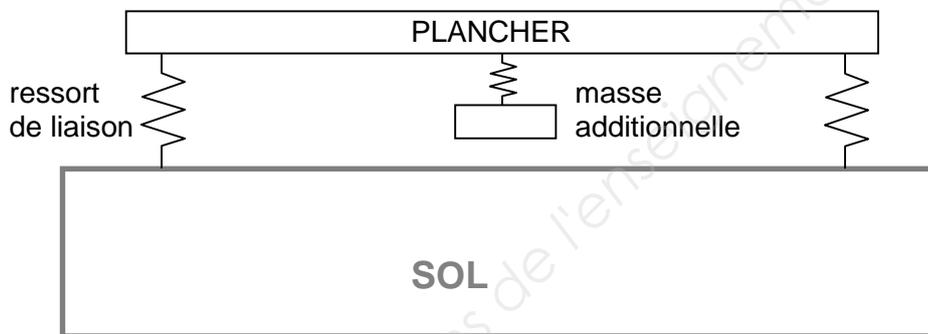
Les différentes parties ainsi que de nombreuses questions au sein de chaque partie sont indépendantes.

Pour atténuer les vibrations en provenance du sol, le plancher intelligent comprend en option un dispositif anti-vibrations.

Si le plancher est fixé au sol, il vibre comme le sol. S'il est relié au sol avec des ressorts de liaison, les vibrations peuvent être atténuées. Le plancher est en quelque sorte « monté sur ressorts ».

Le document 12 ci-dessous donne une représentation schématique du dispositif anti-vibrations.

Document 12 : Représentation schématique du dispositif anti-vibrations



Comme les équipements prévus pour être disposés sur le plancher sont fragilisés lorsqu'ils sont soumis à une gamme de fréquences supérieures à 100 Hz ou à une fréquence précise égale à 7,0 Hz, le cahier des charges prévoit deux conditions à remplir (**voir le document 13 ci-dessous**) pour éviter les effets néfastes des vibrations.

Document 13 : Conditions à remplir par le dispositif

Condition n° 1 : atténuation des vibrations pour des fréquences élevées (fréquences supérieures à 100 Hz).

Condition n° 2 : atténuation des vibrations pour une fréquence demandée par l'utilisateur. Dans le cas présent, cette fréquence est égale à 7,0 Hz.

L'atténuation sera considérée comme satisfaisante si l'amplitude des vibrations est diminuée au minimum d'un facteur 100 ou encore si :

$$\frac{z_m}{z_{Am}} < 0,01 \quad \text{avec : } z_m: \text{amplitude des vibrations au niveau du plancher}$$

z_{Am} : amplitude des vibrations au niveau du sol

Votre travail consiste à déterminer les caractéristiques des ressorts de liaison dans un premier temps (parties 1 et 2) et de la masse additionnelle dans un 2^{ème} temps (partie 3).

POSITION DU PROBLÈME :

On se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen, représenté par le repère $R(O, \vec{e}_x, \vec{e}_z)$ (voir le document 14 page 11/27).

Le plancher est assimilable à un solide (S) de masse M et de centre d'inertie G .

Dans tout le sujet, on considère que (S) est animé d'un mouvement de translation verticale.

Les déplacements du sol et du plancher par rapport à une situation au repos sont notés respectivement $z_A(t)$ et $z(t)$.

Les vibrations du sol sont de nature sinusoïdale. Pour des vibrations de fréquence f , $z_A(t)$ a pour expression :

$$z_A(t) = z_{Am} \cos(2\pi f t + \Psi_A)$$

Le déplacement du plancher $z(t)$, en réponse au mouvement du sol, est de la forme :

$$z(t) = z_m \cos(2\pi f t + \Psi)$$

Les amplitudes z_{Am} et z_m sont des grandeurs positives.

Données :

Masse du plancher, modélisé par le solide (S) : $M = 500$ kg.

Raideur du ressort du dispositif de base : $K = 1,10 \times 10^6$ N.m⁻¹.

Raideur du ressort relié à la masse additionnelle (pour la partie 3) : $k = 0,16 \times 10^6$ N.m⁻¹.

PARTIE 1 : ÉTUDE DU DISPOSITIF DE BASE.

Le dispositif de base est représenté dans le document 14 page 11/27.

En appliquant la relation fondamentale de la dynamique à (S), on obtient l'équation différentielle du mouvement :

$$M \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + K z(t) = K z_A(t)$$

La fonction de transfert obtenue à partir de l'équation différentielle a pour expression :

$$\underline{H}(jf) = \frac{f_0^2}{j^2 f^2 + f_0^2} = \frac{f_0^2}{-f^2 + f_0^2} \quad \text{avec : } f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

On rappelle que le module de la fonction de transfert $|\underline{H}|$ est égal au rapport des amplitudes : $\frac{z_m}{z_{Am}}$ et le gain exprimé en dB est $G = 20 \log|\underline{H}|$.

Les représentations de $|\underline{H}|$ et de $G = 20 \log|\underline{H}|$ en fonction de la fréquence sont données dans le document 15 page 12/27 (graphe n° 1 et graphe n° 2).

On rappelle que la force exercée par le ressort sur (S) a pour expression :

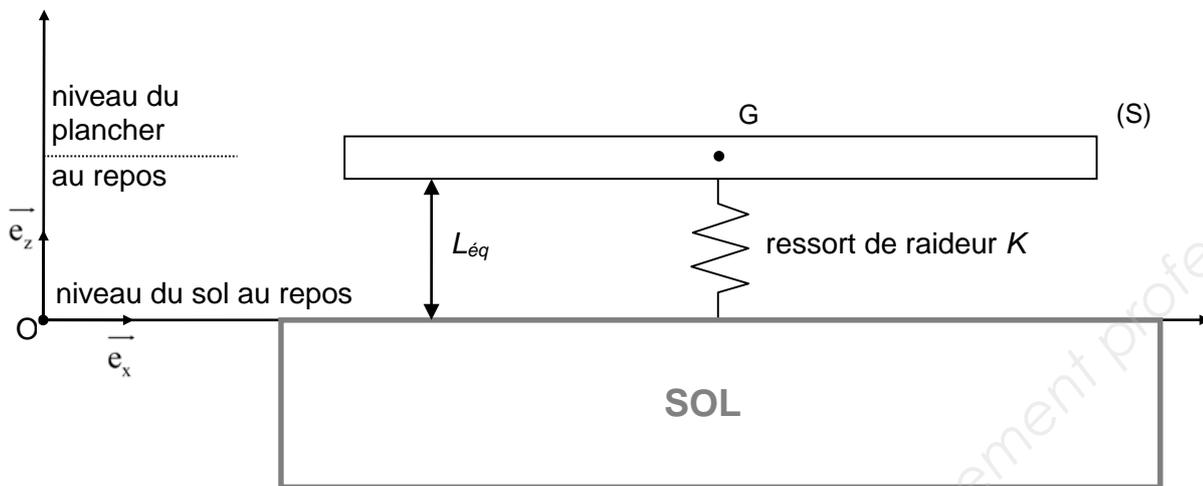
$$\vec{F} = -K(L - L_0)\vec{e}_z \quad \text{avec } \begin{cases} L : \text{longueur du ressort} \\ L_0 : \text{longueur à vide du ressort} \\ K : \text{raideur du ressort} \end{cases}$$

À l'équilibre, le ressort a pour longueur $L_{\text{éq}}$.

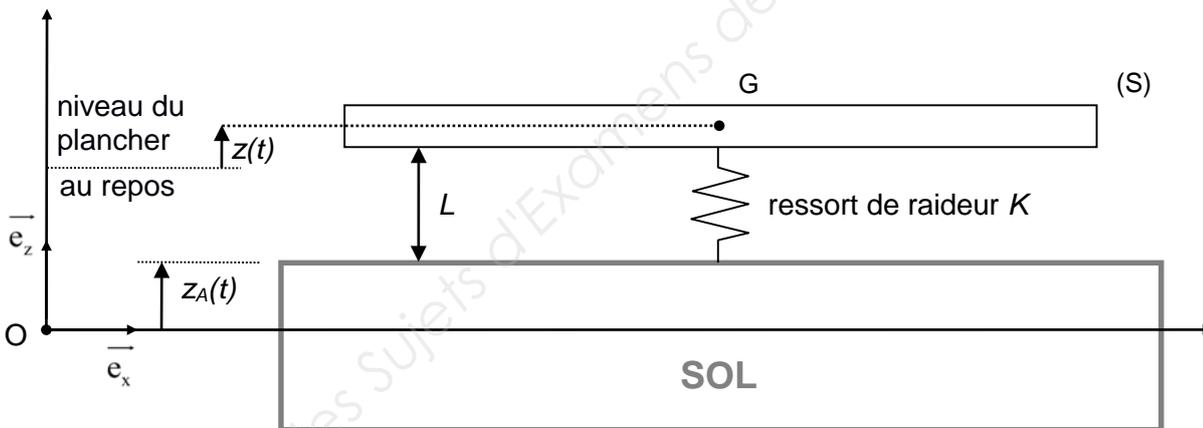
BTS TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE	Session 2019
Nom de l'épreuve : Sciences physiques	Code : TPSP
	Page : 10/27

Document 14 : Dispositif de base

Situation au repos



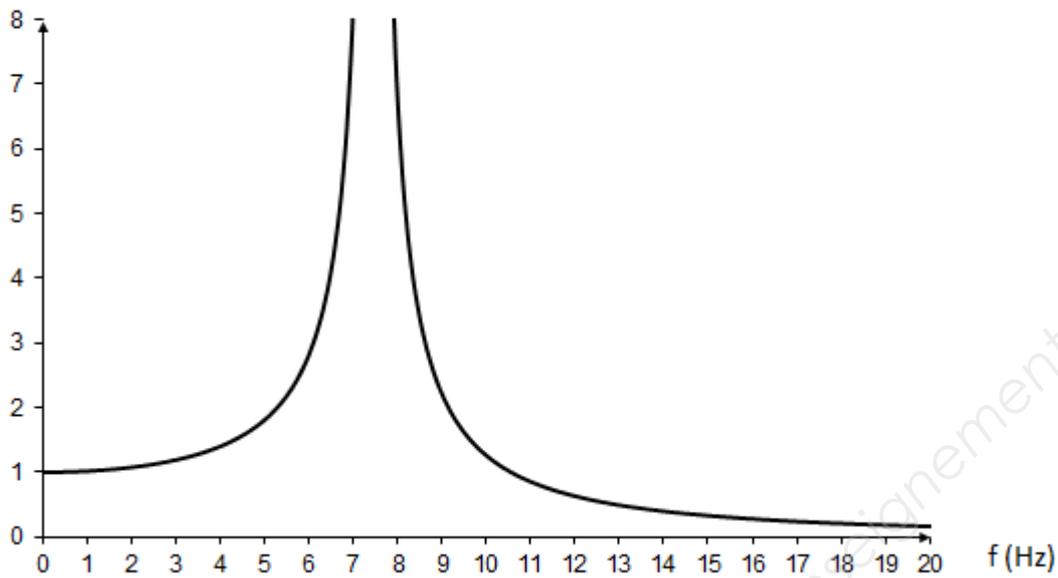
Situation à l'instant t



Document 15 : Représentations de $|H|$ et de G pour le dispositif de base

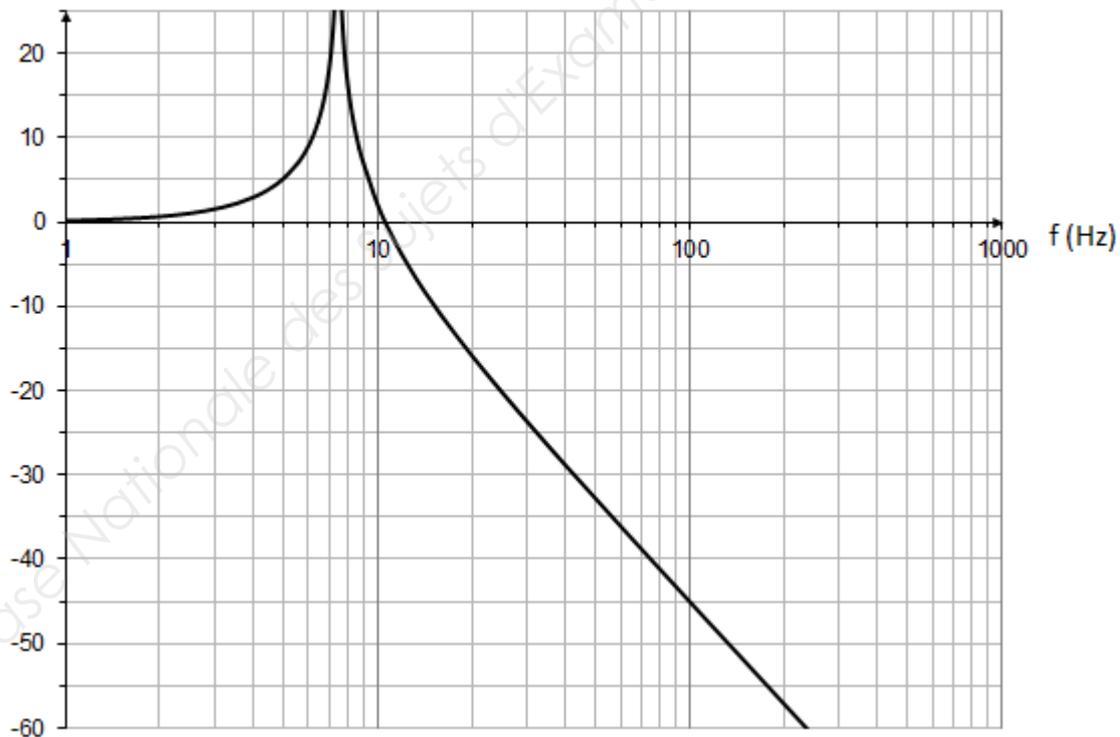
Graphe n° 1

$|H| = z_m / z_{Am}$



Graphe n° 2

G (dB)



Q15 - Le plancher ou solide (S) est soumis à 2 forces :

- Son poids \vec{P} avec $\vec{P} = M \times \vec{g}$
- La force exercée par le ressort \vec{F}

Sachant que le ressort est en permanence en compression, représenter schématiquement les deux forces \vec{P} et \vec{F} sur le **document réponse n° 2 page 26/27 à rendre avec la copie**.

Même si la représentation est schématique, elle tiendra compte avec précision du point d'application, de la direction et du sens des forces.

Q16 - On note \vec{a} l'accélération du plancher ou du solide (S).

En appliquant la relation fondamentale de la dynamique (ou 2^{ème} loi de Newton) au solide (S), on obtient une relation vectorielle qui sera notée (1). Écrire cette relation.

Q17 - En projetant la relation (1) suivant l'axe $(0, \vec{e}_z)$, on obtient la relation (2) entre $\frac{d^2 z(t)}{dt^2}$, M , g , K , L et L_0 . Écrire cette relation.

Q18 - En projetant la relation (1) suivant l'axe $(0, \vec{e}_z)$ dans le cas où le système est au repos, on obtient la relation (3) entre M , g , K , $L_{\text{éq}}$ et L_0 . Écrire cette relation.

Q19 - À partir des relations (2) et (3), obtenir l'équation différentielle du mouvement :

$$M \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + K z(t) = K z_A(t).$$

Pour cela, on pourra exprimer la longueur du ressort L en fonction de $L_{\text{éq}}$, z et z_A .

Q20 - Calculer la valeur de f_0 dont la définition est donnée **page 10/27**.

Q21 - Indiquer ce qui différencie les échelles sur les axes des abscisses des graphes n° 1 et n° 2 **du document 15 page 12/27**.

Q22 - Indiquer le nom du phénomène qui se produit lorsque $f = f_0$.

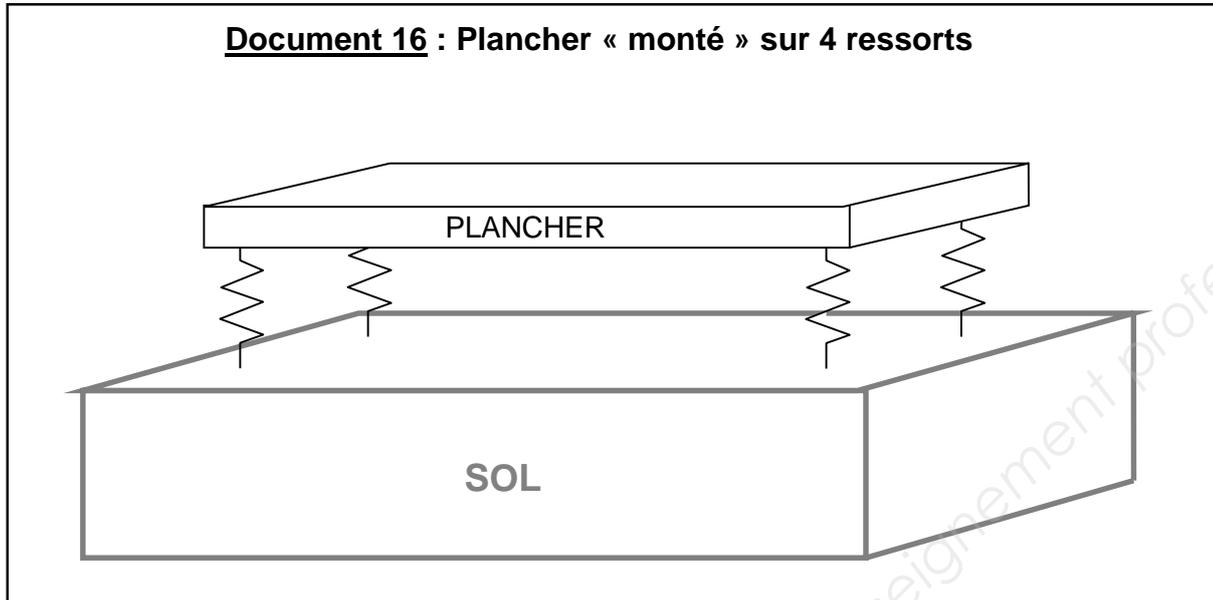
Q23 - À partir des graphes du **document 15 page 12/27**, déterminer la valeur du gain G pour $f = 100$ Hz. La condition n° 1 précisée dans le **document 13 page 9/27** est-elle satisfaite ? Justifier votre réponse.

Q24 - La condition n° 2 précisée dans le **document 13 page 9/27** est-elle satisfaite ? Justifier votre réponse.

PARTIE 2 : CHOIX D'UN MODÈLE DE RESSORT.

En fait, avec le dispositif de base, le plancher est « monté » sur 4 ressorts identiques de raideur k' , disposés aux 4 extrémités du plancher comme illustré sur le **document 16 ci-dessous**.

Le **document 17 page 15/27** fournit des informations sur les associations de ressorts.



Q25 - Donner la relation entre k' et K pour que les 4 ressorts de raideur k' soient équivalents au ressort unique de raideur K de la **PARTIE 1**.

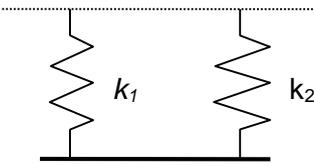
Q26 - Calculer la valeur de k' sachant que $K = 1,10 \times 10^6 \text{ N.m}^{-1}$.

Q27 - Identifier dans l'extrait du catalogue présenté dans le **document 18 page 15/27** le modèle de ressorts qui convient le mieux.

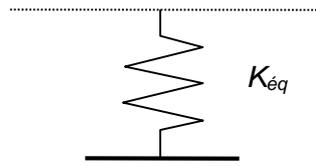
Pour cela, indiquer la référence du modèle retenu parmi les 4 références proposées.

Document 17 : Associations de ressorts

En parallèle

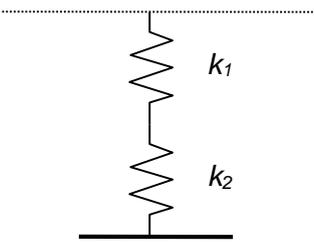


Ressorts de raideur k_1 et k_2

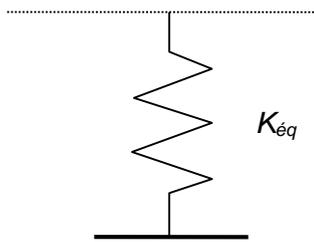


Ressort équivalent de raideur $K_{\text{éq}} = k_1 + k_2$

En série



Ressorts de raideur k_1 et k_2



Ressort équivalent de raideur $K_{\text{éq}}$ avec $\frac{1}{K_{\text{éq}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

Document 18 : Modèles de ressorts

Document obtenu à partir de données fournies dans le catalogue ECKOTECH

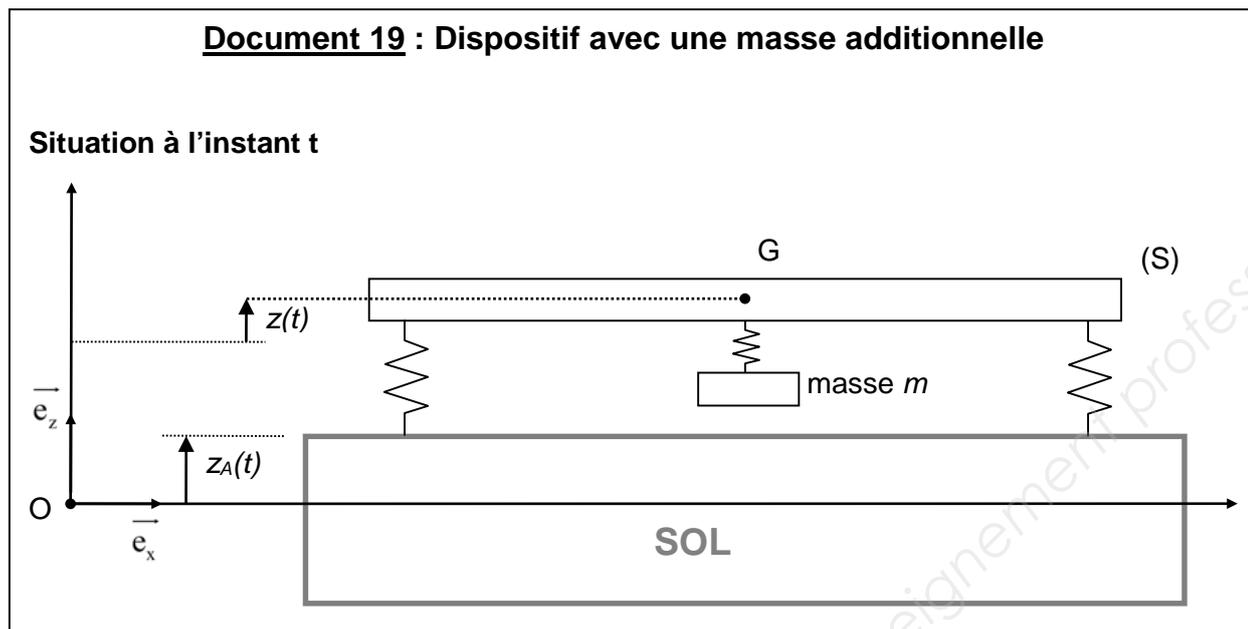
RESSORTS



RÉFÉRENCE	CHARGE kg	FLÈCHE mm	CONSTANTE DE RIGIDITÉ kg / cm	CONSTANTE DE RAIDEUR OU RAIDEUR N / m
N 151 BB	150	13 ± 2	115,38	113188
N 251 BB	250	13 ± 2	192,31	188656
N 351 BB	350	13 ± 2	269,23	264115
M750	750	18 ± 2	416,67	408753

PARTIE 3 : AJOUT DE LA MASSE ADDITIONNELLE.

Pour obtenir le dispositif anti-vibrations, on ajoute au dispositif de base une masse m suspendue à un ressort de raideur k ($k = 0,16 \times 10^6 \text{ N.m}^{-1}$) comme représenté sur le **document 19 ci-dessous**.



En présence d'une masse additionnelle, la fonction de transfert se trouve modifiée et a pour nouvelle expression :

$$\underline{H}(jf) = \frac{(-f^2 + f_1^2) f_0^2}{(-f^2 + f_1^2) \left(-f^2 + f_0^2 + \frac{m}{M} f_1^2\right) - \frac{m}{M} f_1^4} \quad \text{avec : } f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \quad \text{et} \quad f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

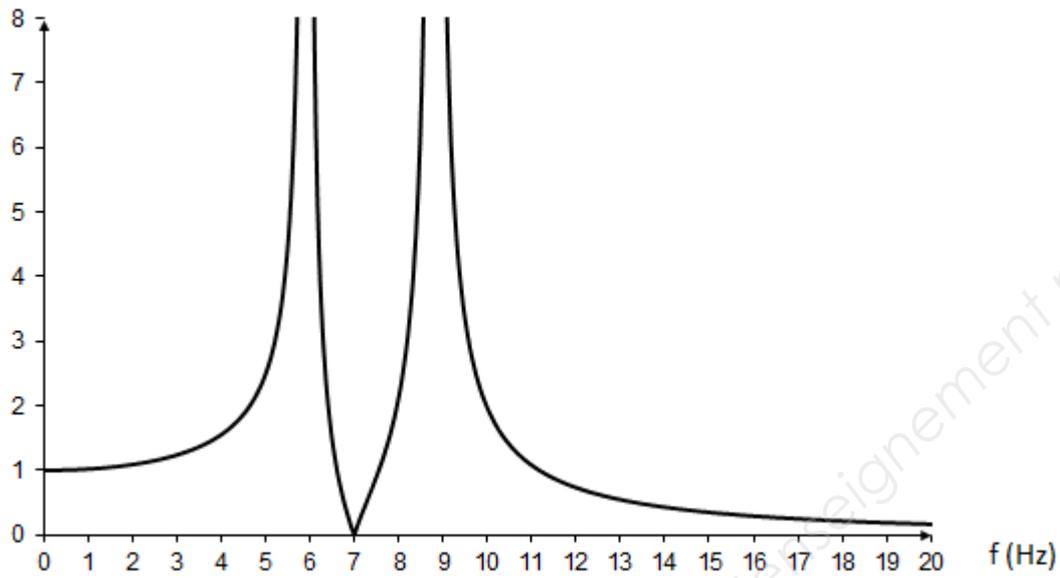
On rappelle que le module de la fonction de transfert $|\underline{H}|$ est égal au rapport des amplitudes : $\frac{Z_m}{Z_{Am}}$ et le gain exprimé en dB à $G = 20 \log |\underline{H}|$.

Les représentations de $|\underline{H}|$ et de $G = 20 \log |\underline{H}|$ en fonction de la fréquence sont données dans le **document 20 page 17/27** (graphe n° 3 et graphe n° 4).

Document 20 : Représentations de $|H|$ et de G pour le dispositif avec une masse additionnelle

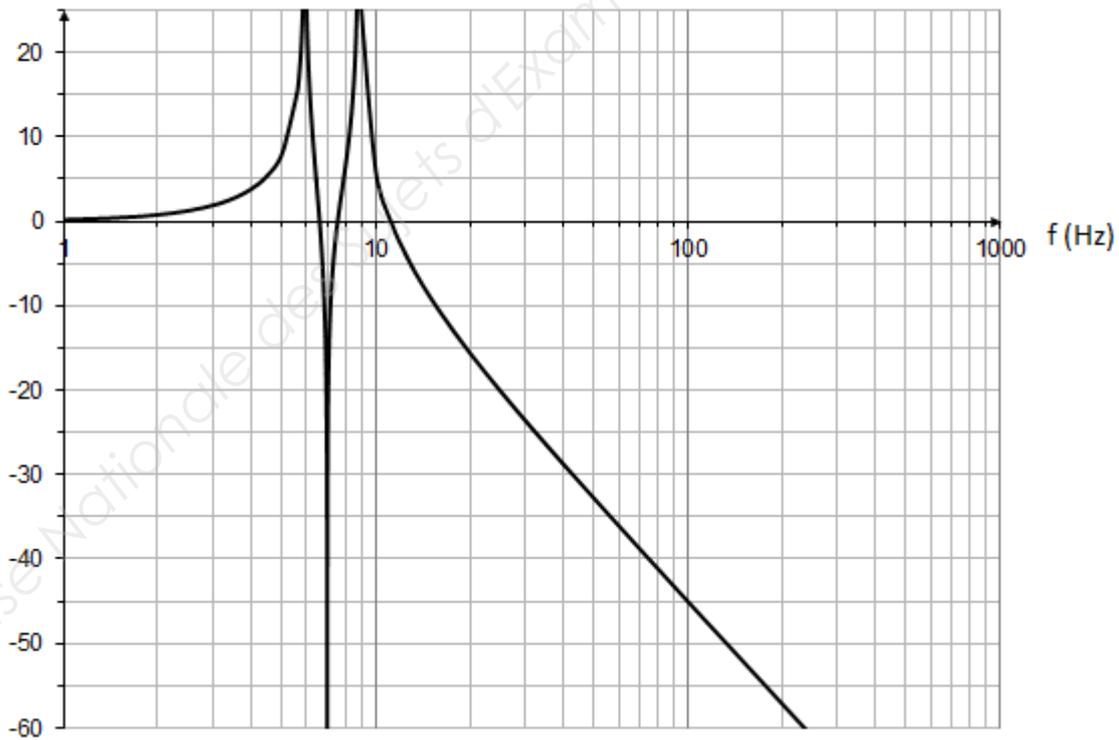
Graphe n° 3

$$|H| = z_m / z_{Am}$$



Graphe n° 4

G (dB)



Q28 - La valeur de la masse m est déterminée de façon à vérifier : $f_1 = 7,0$ Hz.

Déterminer la valeur de m .

Q29 - Que vaut z_m lorsque $f = f_1$?

Le phénomène observé en $f = f_1$ est parfois appelé phénomène d'antirésonance (ou encore étouffeur de vibrations). Cette dénomination vous paraît-elle appropriée ? Justifier votre réponse.

Q30 - La condition n° 1 précisée dans le **document 13 page 9/27** est-elle satisfaite ? Justifier votre réponse.

Q31 - La condition n° 2 précisée dans le **document 13 page 9/27** est-elle satisfaite ? Justifier votre réponse.

Q32 - Si l'on tient compte des forces de frottements qui s'exercent sur le plancher, on obtient de nouvelles représentations pour $|H|$ et $G = 20 \log |H|$.

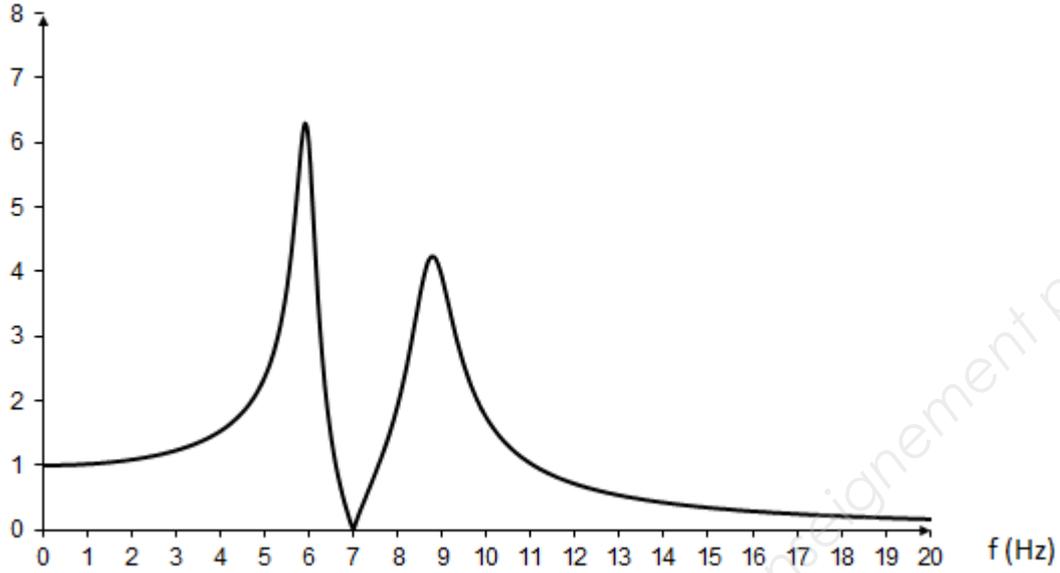
Ces représentations sont données dans le **document 21 page 19/27** (graphe n° 5 et graphe n° 6). La prise en compte des forces de frottements change-t-elle les conclusions des questions **Q30** et **Q31** ? Justifier votre réponse.

Q33 - Expliquer pourquoi les graphes n° 5 et n° 6 du **document 21 page 19/27** sont plus « réalistes » que les graphes n° 3 et n° 4 du **document 20 page 17/27**.

Document 21 : Représentations de $|H|$ et de G pour le dispositif avec une masse additionnelle et la prise en compte des forces de frottements

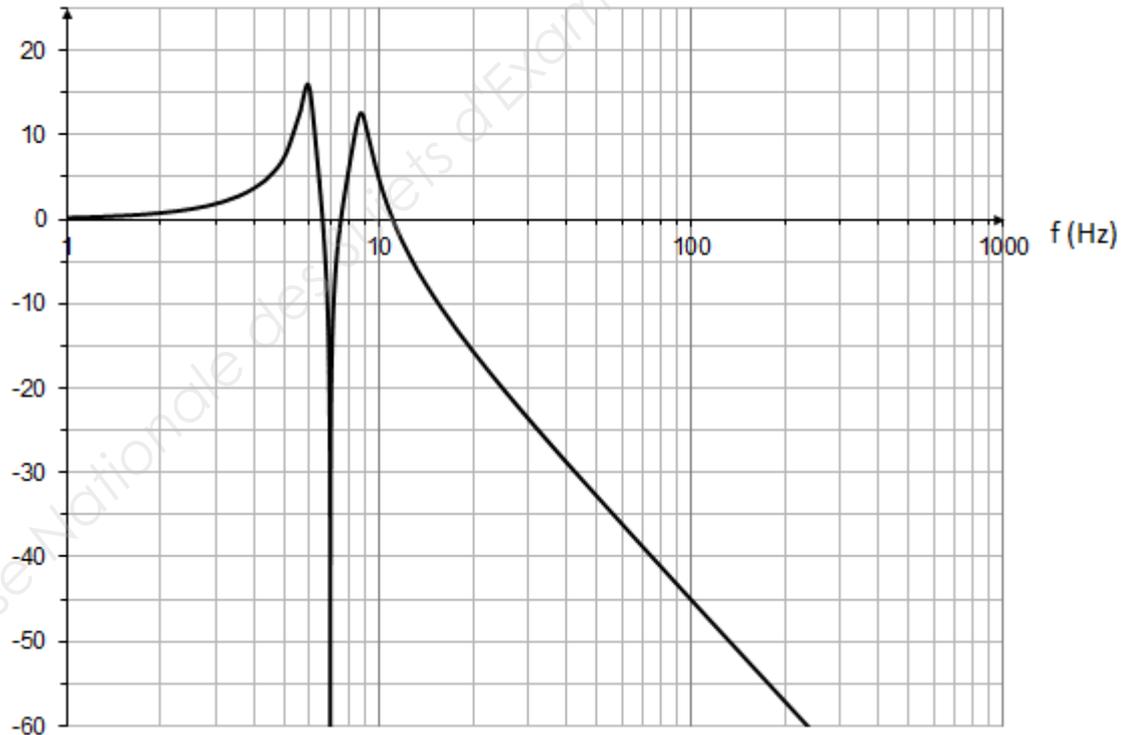
Graphe n° 5

$$|H| = z_m / z_{Am}$$



Graphe n° 6

G (dB)

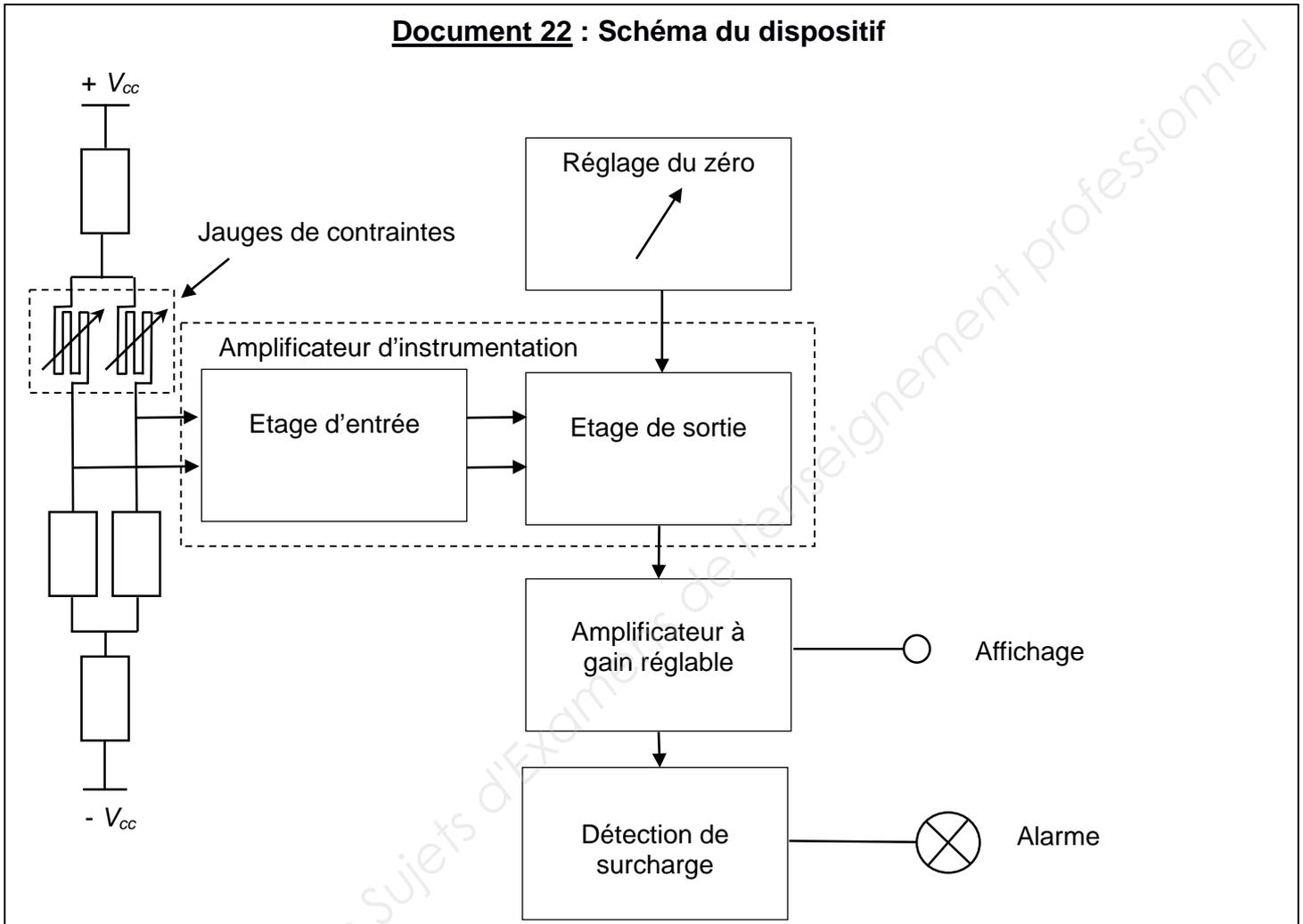


EXERCICE 3 : ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1 h 20)

Pour équiper le plancher intelligent d'un système anti-intrusion, il vous est demandé de développer un prototype assurant la détection de masse m d'un intrus.

Vos recherches initiales vous ont conduit à retenir une solution basée sur le principe d'un système de pesage à jauges de contrainte dont le schéma fonctionnel est donné dans le **document 22 ci-dessous**.

Document 22 : Schéma du dispositif



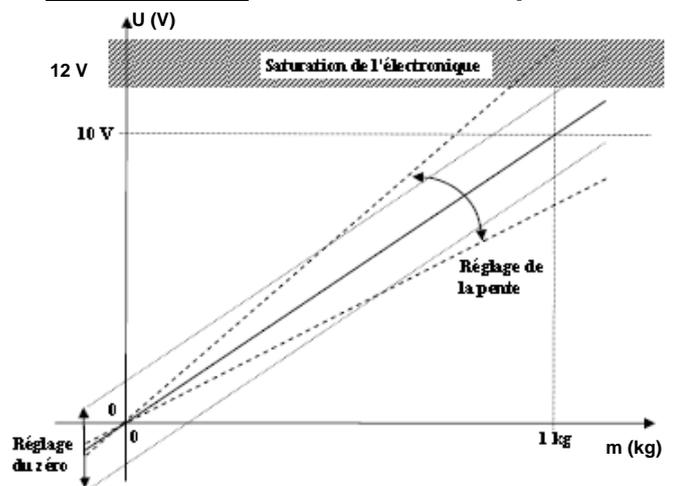
On souhaite obtenir une relation linéaire entre une tension mesurée et une masse m conformément au **document 23 ci-contre**.

Un premier réglage permet d'ajuster le zéro pour obtenir une proportionnalité entre la masse et la tension obtenue, un deuxième réglage permet d'ajuster la pente.

Au-delà de 12 V, l'électronique peut saturer ce qui risque d'entraîner une indication fautive au niveau de l'afficheur.

De manière à pallier ce dysfonctionnement, un indicateur de surcharge (visuel ou sonore) est ajouté au montage.

Document 23 : Linéarité du dispositif



Tous les amplificateurs différentiels intégrés ADI (appelés aussi amplificateurs opérationnels) sont idéaux et alimentés en $\pm V_{cc} = \pm 15 \text{ V}$.

Les différentes parties de cet exercice sont indépendantes.

PARTIE 1 : ÉTUDE DU CONDITIONNEMENT DES JAUGES.

Le dispositif permet de mesurer une variation de masse causée par une intrusion.

<p>Document 24 : Schéma du dispositif</p>	<p>Document 25 : Principe de fonctionnement d'une jauge de contrainte</p> <p>Une jauge de contrainte est un capteur de type résistif. Sous l'action d'une contrainte, elle subit une déformation (allongement ou rétrécissement) engendrant une variation de sa résistance.</p> <p>Au repos (sans contrainte), sa résistance est $R_j = R$. Soumise à une déformation, sa résistance varie de ΔR et devient $R_j = R \pm \Delta R$ selon qu'elle est en extension ou en compression.</p> <p>Des jauges de contrainte de résistance au repos $R = 120 \Omega$ sont utilisées et collées sous la dalle sur laquelle seront posées différentes masses simulant l'intrusion.</p> <p>Mesurer une déformation nécessite la mesure précise de très petites variations de la résistance. Pour mesurer ces variations, les jauges de contrainte sont utilisées dans une configuration en pont avec une source d'excitation de tension comme présenté dans le document 24 ci-contre.</p>
--	---

Q34 - Indiquer sur le **document réponse n° 3 page 27/27 à rendre avec la copie**, en cochant la case correspondante, le nom du pont de mesures utilisé dans le dispositif.

Données : $+ V_{cc} = + 15 \text{ V}$, $- V_{cc} = - 15 \text{ V}$, $R_5 = R_6 = 820 \Omega$ dites résistances de chute, R_{j1} et R_{j2} sont les résistances des jauges.

Q35 - Montrer que le signal de sortie du pont U_{out} dépend de la tension d'excitation $U_{exc} = V_A - V_D$ et des résistances R_{j1} , R_{j2} , R_3 et R_4 selon la relation :

$$U_{out} = \left[\frac{R_4}{(R_{j2} + R_4)} - \frac{R_3}{(R_{j1} + R_3)} \right] U_{exc}.$$

Q36 - Sans déformation, le pont est dit équilibré. La valeur de la tension de sortie du pont, U_{out} est nulle. Déterminer la relation entre les résistances R_{j1} et R_{j2} des jauges et les résistances R_3 et R_4 pour respecter cette condition.

Q37 - Donner les valeurs des résistances de jauges R_{j1} et R_{j2} au repos.

Q38 - Compte tenu de valeur des résistances R_{j1} et R_{j2} au repos déterminer la relation entre les résistances R_3 et R_4 .

En se basant sur le principe de fonctionnement d'une jauge exposée dans le **document 25 page 21/27** utilisant un pont à deux jauges et en choisissant $R_{j1} = R_{j2} = R_3 = R_4$, on obtient :

$$U_{out} = \frac{2 R \times \Delta R}{4R^2 - (\Delta R)^2} U_{exc}$$

Q39 - Montrer que si $\Delta R \ll R$, la tension de sortie du pont est proportionnelle à la variation relative $\frac{\Delta R}{R}$ et peut s'écrire sous la forme : $U_{out} = k \frac{\Delta R}{R}$ où k est un paramètre à identifier en précisant son unité.

Q40 - En déduire, dans le cas d'une déformation introduisant une variation relative $\frac{\Delta R}{R}$ des jauges de 0,4 %, la valeur de la tension U_{out} disponible en sortie du pont avec une tension d'excitation $U_{exc} = 2 \text{ V}$.

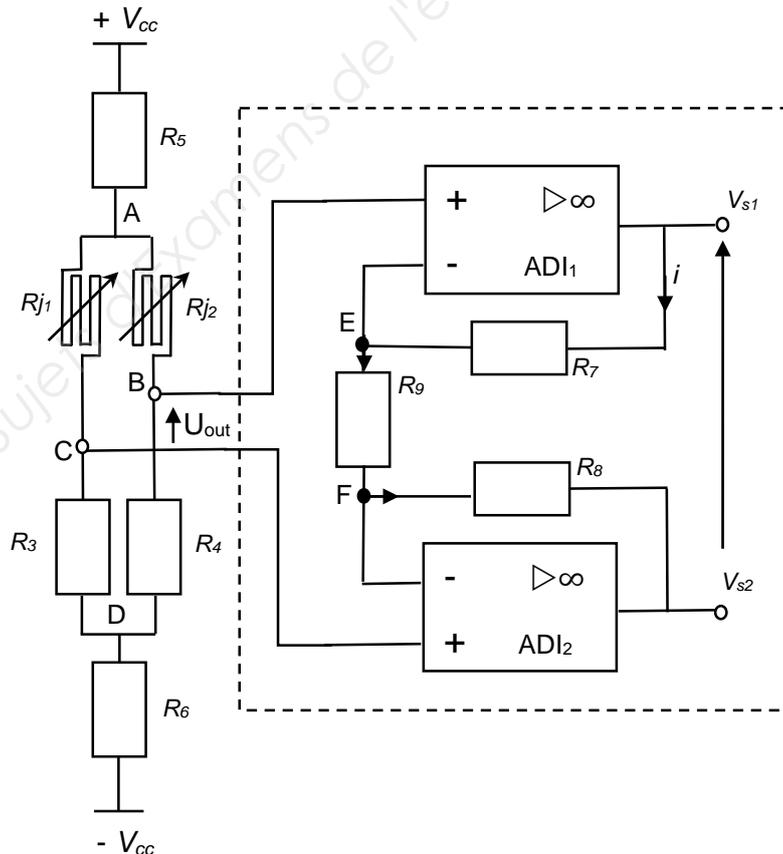
PARTIE 2 : ÉTUDE DE L'ÉTAGE D'ENTRÉE DE L'AMPLIFICATEUR D'INSTRUMENTATION.

Pour être appréciable la tension de sortie du pont $U_{BC} = U_{out}$ doit être amplifiée. On utilise pour cela un amplificateur d'instrumentation dont le premier étage, réalisant une première amplification différentielle, est fourni dans le **document 26 ci-dessous**.

Document 26 : Étage d'entrée de l'amplificateur d'instrumentation

Données :

$R_{j1} = R_{j2} = R_3 = R_4 = 120 \Omega$
 $R_7 = R_8$



La tension de sortie différentielle s'exprime sous la forme : $V_{s1} - V_{s2} = A_1(V_E - V_F)$ où $V_E - V_F$ correspond à U_{out} tension de sortie du pont.

Q41 - Exprimer la différence de potentiel $V_E - V_F$ en fonction de R_9 et i .

Q42 - Exprimer la différence de potentiel $V_{s1} - V_{s2}$ en fonction de R_9, R_7, R_8 et i .

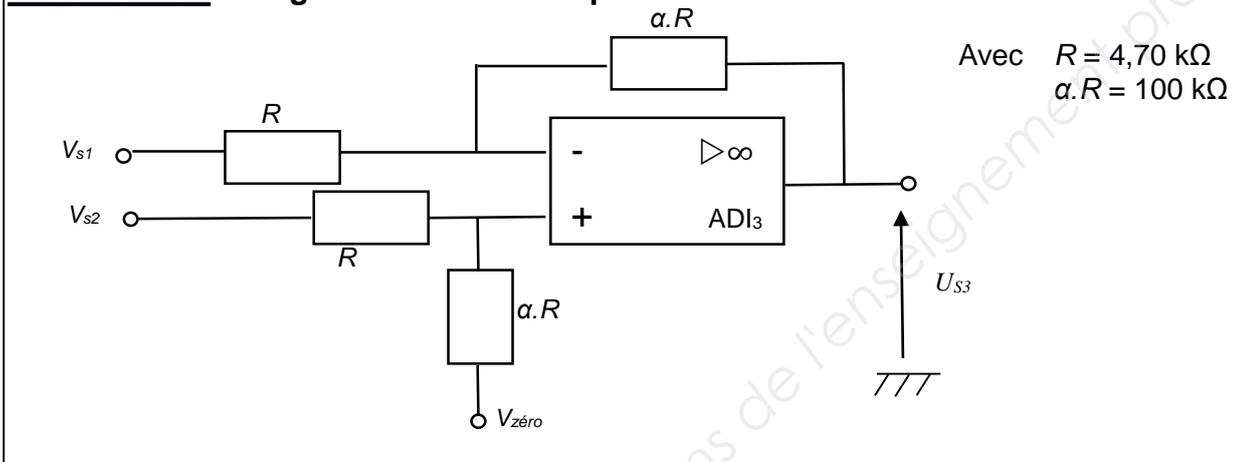
Q43 - Montrer que l'amplification A_1 a pour expression $A_1 = \frac{R_7 + R_8 + R_9}{R_9}$.

Q44 - Calculer la valeur à donner à R_9 afin d'obtenir une amplification $A_1 = 21$ avec $R_7 = R_8 = 10 \text{ k}\Omega$.

PARTIE 3 : ÉTUDE DE L'ÉTAGE DE SORTIE DE L'AMPLIFICATEUR D'INSTRUMENTATION.

Pour compenser le décalage induit par la masse de la dalle et amplifier la différence $V_{s1} - V_{s2}$, on utilise l'amplificateur différentiel donné dans le **document 27 ci-dessous** qui constitue l'étage de sortie de l'amplificateur d'instrumentation, qui dans ce montage fonctionne en régime linéaire.

Document 27 : Étage de sortie de l'amplificateur d'instrumentation



Q45 - En utilisant les données du **document 27 ci-dessus**, retrouver la valeur du coefficient α .

Q46 - Montrer que lorsque $V_{zéro}$ est relié à la masse, la tension de sortie U_{s3} peut se mettre sous la forme $U_{s3} = A_2 (V_{s2} - V_{s1})$ et montrer que le coefficient d'amplification A_2 vaut approximativement 21,3.

La seule masse de la dalle, sous laquelle sont fixées les jauges, entraîne une légère déformation de celles-ci. Cela introduit un décalage de la tension de sortie U_{offset} .

L'expression de la tension de sortie devient alors :

$$U_{s3} = A_2 (V_{s2} - V_{s1}) + U_{offset} \quad \text{avec} \quad U_{offset} = -A_1 \cdot A_2 \cdot k \frac{\Delta R}{R} \quad \text{et} \quad k = 1 \text{ V}$$

Q47 - Calculer la valeur de la tension U_{offset} si la masse de la dalle introduit une variation relative $\frac{\Delta R}{R}$ égale à 0,4 %.

En pratique, on compense cette tension de décalage en sortie en imposant une valeur adéquate à $V_{zéro}$.

PARTIE 4 : DISPOSITION DES CAPTEURS.

Il incombe au candidat de passer le temps nécessaire à l'élaboration de la réponse à la question suivante. La qualité de la rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisées ainsi que les prises d'initiative même si elles n'aboutissent pas. Il convient donc que celles-ci apparaissent sur la copie.

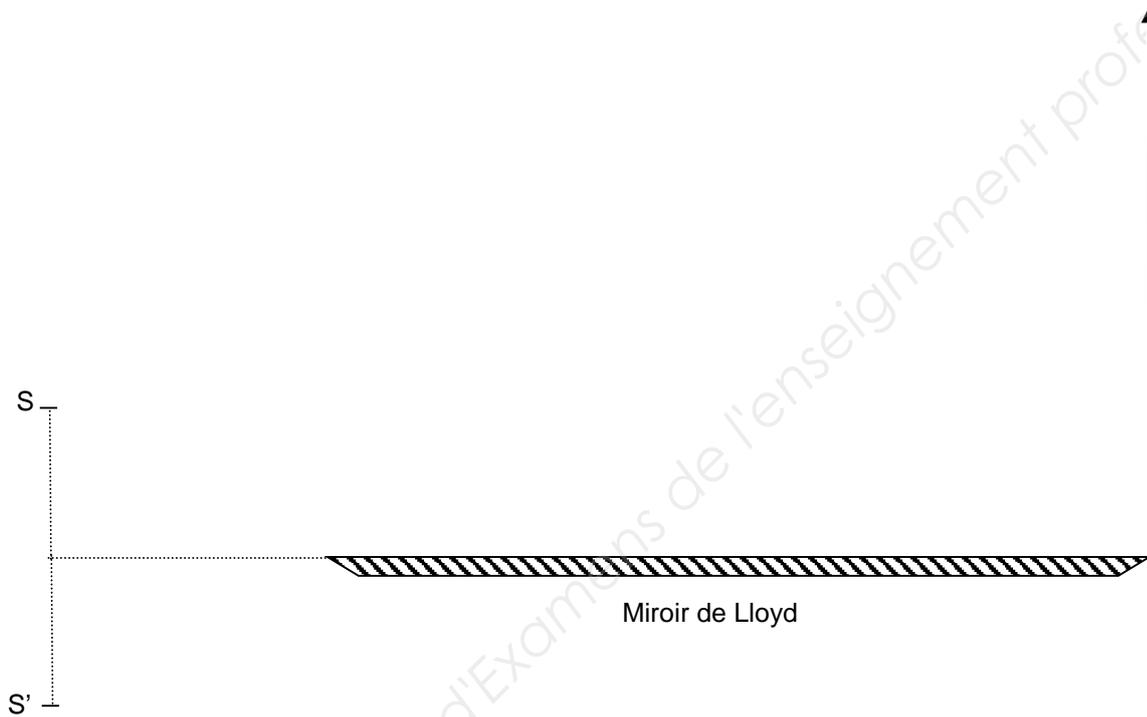
Il est prévu dans le système d'anti-intrusion de placer plusieurs capteurs au mètre carré sous les dalles de plancher pour avoir une couverture de protection optimale.

Les dalles classiques employées pour les planchers intelligents sont des dalles 50 cm x 50 cm. La documentation technique produite par le bureau d'étude préconise une répartition de 36 capteurs au mètre carré.

Q48 - Proposer une répartition des capteurs à placer sur une dalle permettant une couverture optimale en cas d'intrusion puis placer les capteurs sur le **document réponse n° 4 page 27/27 à rendre avec la copie.**

DOCUMENT RÉPONSE N° 1 : PARTIE OPTIQUE
À RENDRE AVEC LA COPIE

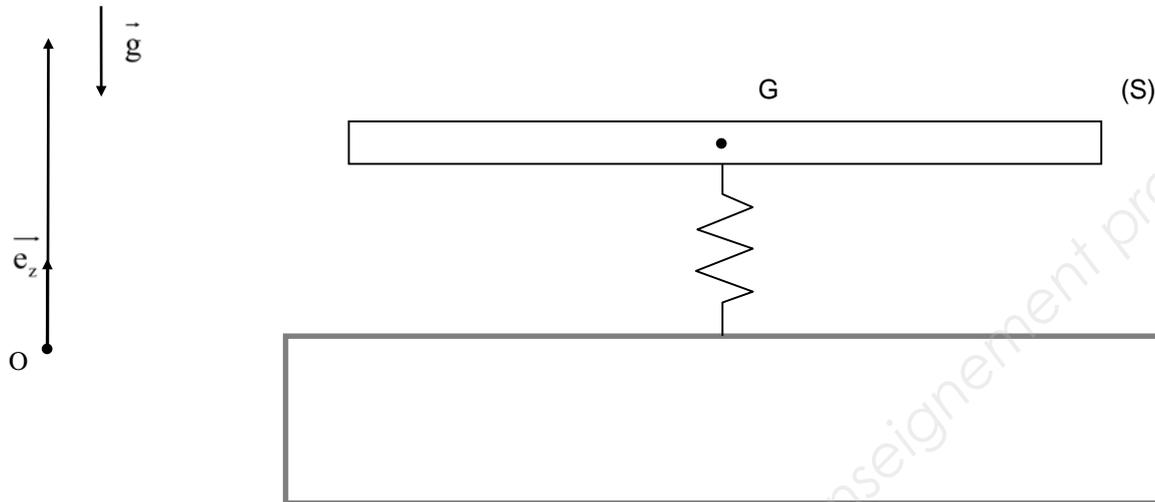
Q6 - Représentation du champ d'interférences



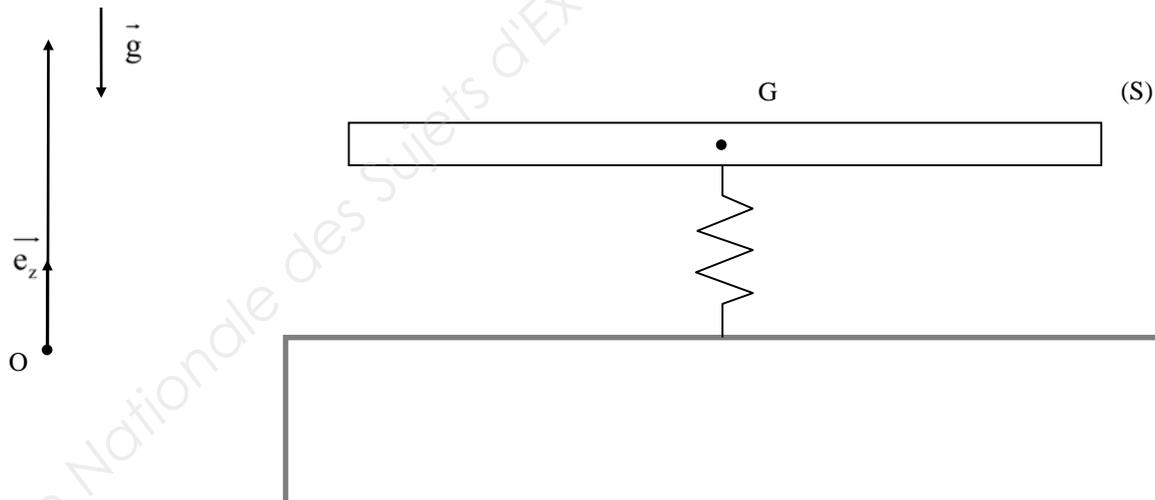
DOCUMENT RÉPONSE N° 2 : PARTIE MÉCANIQUE
À RENDRE AVEC LA COPIE

Q15 -

Représentation de \vec{P}



Représentation de \vec{F}



DOCUMENT RÉPONSE N° 3 : PARTIE ÉLECTRICITÉ
À RENDRE AVEC LA COPIE

Q34 - Cocher la case correspondant au nom du pont :

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> pont de diodes | <input type="checkbox"/> pont de Wheatstone |
| <input type="checkbox"/> pont diviseur de courant | <input type="checkbox"/> pont de Graetz |
| <input type="checkbox"/> pont diviseur de tension | <input type="checkbox"/> pont de Wien |

DOCUMENT RÉPONSE N° 4 : PARTIE ÉLECTRICITÉ
À RENDRE AVEC LA COPIE

Q48 - Proposer une répartition possible des capteurs sur **une seule** dalle, sachant que la répartition sur 1 m² doit être homogène et correspondre au cahier des charges.

