

# DEVOIR SURVEILLÉ DE PHYSIQUE N°5

**Régime sinusoïdal forcé. Filtrage linéaire.**



L'usage de la calculatrice et de tout dispositif électronique est interdit.

L'énoncé de cette épreuve comporte 8 pages de texte.

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.

Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires (incluant des considérations numériques) qui vous semblent pertinents, même lorsque l'énoncé ne le demande pas explicitement. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.

Certaines questions peu ou pas guidées, demandent de l'initiative de la part du candidat. Leur énoncé est repéré par une barre en marge. Il est alors demandé d'explicitement la démarche, les choix et de les illustrer le cas échéant, par un schéma. Le barème valorise la prise d'initiative et tient compte du temps nécessaire à la résolution de ces questions.

## PROBLÈME I - Etude de filtres électroniques

Les trois parties sont **totalelement indépendantes**.

### Partie A – L'interféromètre Virgo (CCP)

#### DOCUMENT 1 : LES ONDES GRAVITATIONNELLES

Les ondes gravitationnelles déforment l'espace-temps et produisent des forces de telle manière que lors du passage d'une onde gravitationnelle perpendiculaire à un plan contenant des masses parfaitement libres, la distance entre deux masses augmente et diminue alternativement.

L'amplitude d'une telle onde est mesurée par la variation relative de distance entre deux masses libres. La variation absolue est proportionnelle à la distance séparant les masses et est extrêmement faible : mesurée sur la distance de la Terre à la Lune, elle serait de l'ordre de grandeur d'un atome et cent millions de fois plus petite pour des corps séparés de quelques kilomètres.

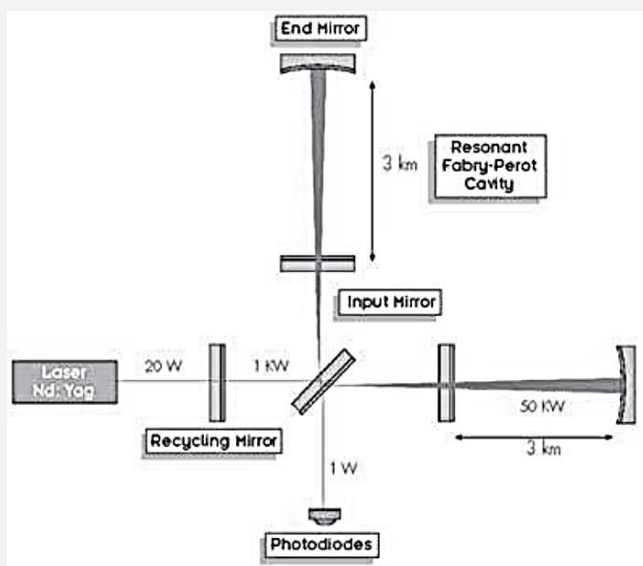
Une variation aussi infime peut cependant être mesurée en utilisant l'interférométrie optique.

#### DOCUMENT 2 : LE SITE DU PROJET VIRGO, À CASCINA, PRÈS DE PISE



#### DOCUMENT 3 : L'INTERFÉROMÈTRE VIRGO

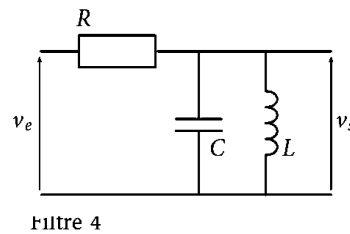
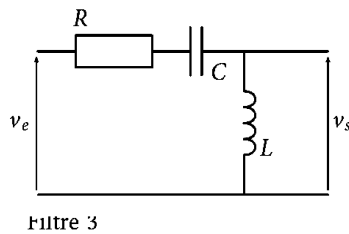
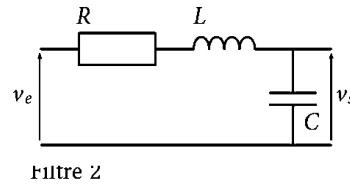
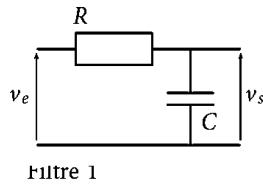
L'interféromètre Virgo est de type Michelson avec deux bras orthogonaux de trois kilomètres de long chacun. Un miroir séparateur divise le faisceau incident dans les bras de l'interféromètre. Dans chaque bras, les réflexions multiples entre les deux miroirs d'une cavité résonance Fabry-Pérot augmentent la distance effective de mesure de 3 à environ 100km et donc la sensibilité dans la même proportion.



Les deux faisceaux provenant des deux bras sont ensuite recombinaés en opposition de phase sur un détecteur en s'annulant de telle façon que, en principe, aucune lumière n'atteint le détecteur. Alors, la très petite variation de phase causée par la variation de distance entre les miroirs se traduit par une très légère variation du flux lumineux, proportionnelle à l'amplitude de l'onde gravitationnelle.

Virgo est sensible aux ondes gravitationnelles dans un large domaine de fréquences allant de 10 à 10000 Hz. Ce domaine correspond aux ondes gravitationnelles émises durant la coalescence des systèmes binaires par la rotation des pulsars ou l'explosion de supernovæ dans la voie lactée et dans les galaxies proches, par exemple dans l'amas de la Vierge (Virgo), d'où l'expérience tire son nom.

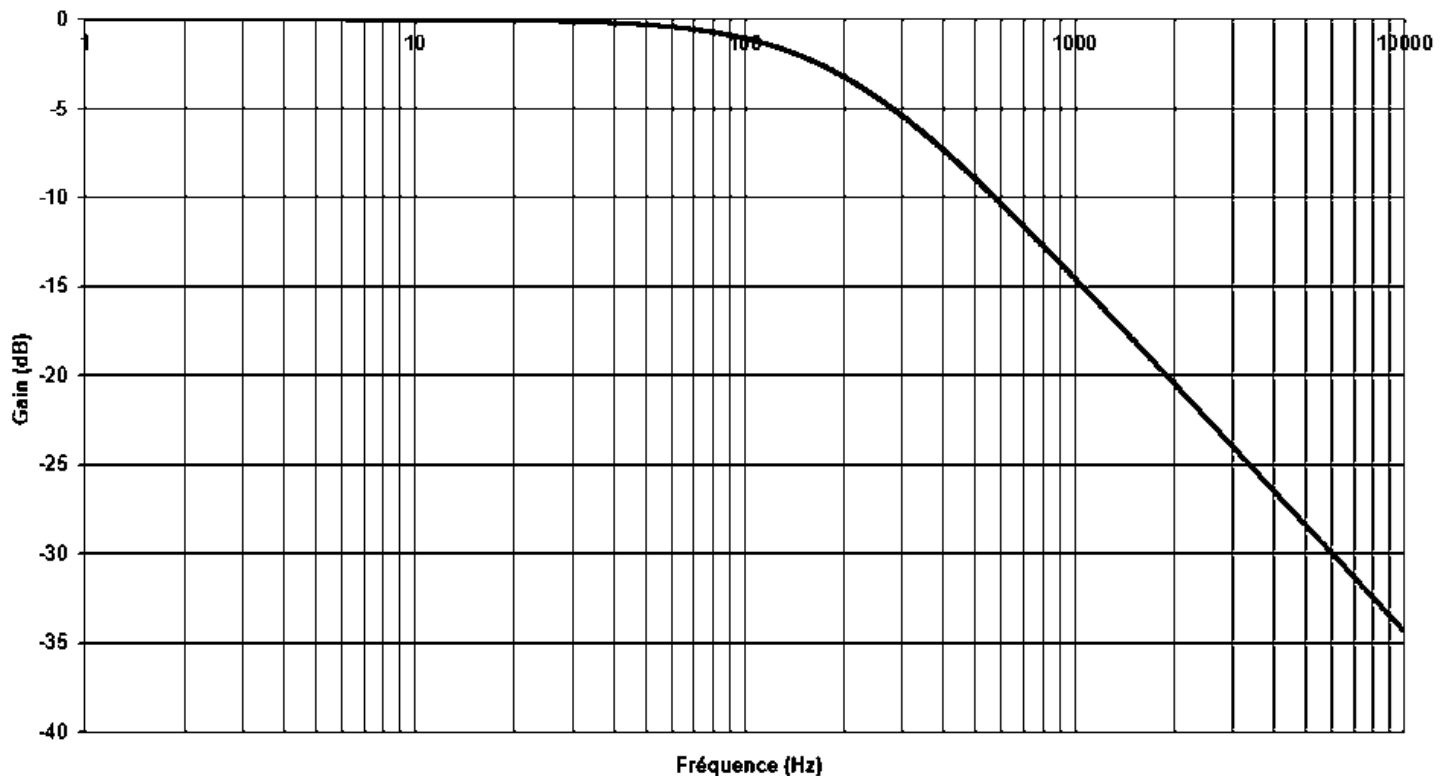
Dans le document 3, il est dit que les deux faisceaux provenant des deux bras sont recombinaés **en opposition de phase**. Ceci est réalisé au moyen d'un dispositif électronique qui, sur l'un des bras du dispositif, convertit le signal lumineux en signal électrique, lui fait traverser l'un des filtres suivants, puis le convertit à nouveau en signal lumineux.



**A.1.** Déterminer **sans aucun calcul** mais en justifiant votre raisonnement, la nature des filtres électriques proposés.

**A.2.** Etablir les expressions **canoniques** des fonctions de transfert de chacun de ces filtres.

**A.3.** Ci-dessous, on donne le diagramme de Bode (pour le gain uniquement) en fonction de la fréquence  $f$  (en Hz) en échelle semi-log du filtre 1 :



**A.3.1.** Interpréter très précisément les zones rectilignes. On démontrera les valeurs des pentes des asymptotes.

**A.3.2.** Déterminer graphiquement la valeur de  $f_c$  en précisant la méthode utilisée.

**A.3.3.** En déduire l'ordre de grandeur (puissance de 10) de la capacité  $C$  si  $R=1,0k\Omega$ .

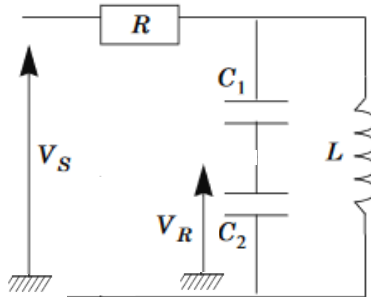
**A.3.4.** Tracer l'allure de  $\varphi(f)$ . On notera les valeurs remarquables.

**A.4.** Déduire des questions précédentes quel(s) filtre(s) peut (peuvent) être utilisé(s) pour réaliser l'opération demandée.

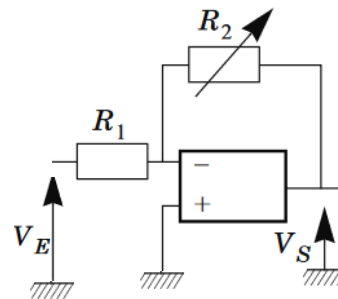
**A.5.** A la sortie du filtre choisi on met en cascade un dispositif amplificateur. Justifier.

## Partie B – Etude de deux filtres (Centrale Supélec)

On considère dans cette partie deux filtres différents (qui seront ensuite mis en cascade dans le sujet de concours, mais on ne traitera pas cette partie dans le DS).  $R_2$  est une résistance variable,  $V_R$  est la tension aux bornes du condensateur de capacité  $C_2$ .



Filtre 1



Filtre 2

### B.1. Etude du filtre 1.

**B.1.1.** Montrer que la fonction de transfert  $\underline{\beta}(j\omega) = \frac{V_R(j\omega)}{V_S(j\omega)}$  s'écrit sous la forme :

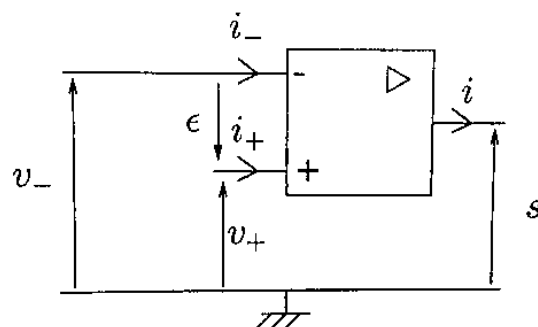
$$\underline{\beta}(j\omega) = \frac{\beta_0}{1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

Identifier la pulsation  $\omega_0$ , le gain maximal  $\beta_0$  et le facteur de qualité  $Q$  en fonction de  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $L$  et  $R$ .

**B.1.2.** Préciser la nature et l'ordre de ce filtre.

**B.1.3.** Tracer l'allure du diagramme de Bode en gain et phase. Justifier l'allure des asymptotes.

**B.2.** Le filtre 2 contient un composant très fréquemment utilisé : l'amplificateur opérationnel (A.O., ou A.L.I., schéma général ci-dessous). On admettra les éléments suivants :



▪ Lorsqu'un A.L.I. est idéal, les intensités des courants d'entrée sont nuls, c'est-à-dire :  $i_+ = i_- = 0$

▪ Lorsqu'un A.L.I. idéal fonctionne en régime linéaire (possible uniquement s'il y a bouclage entre  $v_-$  et  $s$ , c'est-à-dire si la borne - et la sortie sont reliées),  $\epsilon = v_+ - v_- = 0$ , c'est-à-dire :  $v_+ = v_-$

**B.2.1.** Justifier par le schéma de câblage du filtre 2 que l'A.L.I. utilisé peut fonctionner en régime linéaire.

**B.2.2.** On considère que l'A.L.I. utilisé dans le filtre 2 est idéal et fonctionne en régime linéaire. Déterminer la fonction de transfert du filtre 2 :  $\underline{\alpha}(j\omega) = \frac{V_S(j\omega)}{V_E(j\omega)}$ . Quelle est l'intérêt de ce montage ?

### **Partie C – Elimination du bruit (CCP)**

L'étude d'un signal nécessite de supprimer au maximum le bruit parasite lié aux conditions d'acquisition tout en préservant le maximum d'informations.

Lors de l'enregistrement d'un signal à étudier, on constate que celui-ci contient un bruit parasite de fréquence 50 Hz. Proposer un filtre simple permettant d'éliminer précisément ce bruit parasite. On justifiera les valeurs numériques des composants choisis, et on vérifiera bien que le filtre proposé préserve le maximum d'informations.