

Physique des ondes 3

Interfaces entre deux milieux

Compétences

- ☐ Expliciter des conditions aux limites à une interface pour une onde sonore.
- ☐ Établir les expressions des coefficients de transmission et de réflexion en amplitude de surpression, en amplitude de vitesse ou en puissance dans le cas d'une onde plane progressive sous incidence normale.
- ☐ Relier l'adaptation des impédances au transfert maximal de puissance.
- ☐ Interpréter le vecteur densité de courant surfacique comme un modèle pour décrire un déplacement de charges à travers un domaine d'épaisseur faible devant l'échelle de description.
- ☐ Utiliser les relations de passage des champs magnétique et électrique fournies.
- ☐ Exploiter la continuité de la composante tangentielle du champ électrique pour justifier l'existence d'une onde réfléchie et calculer celle-ci.
- ☐ Établir l'expression du champ électromagnétique de l'onde réfléchie et du vecteur densité de courant surfacique.
- ☐ Calculer le coefficient de réflexion en puissance.
- ☐ Déterminer la pression de radiation à l'aide de l'expression fournie de la force de Laplace.

Entraînements

- ☐ [8.15](#) ☐ [8.16](#) ☐ [8.17](#) ☐ [23.11](#) ☐ [23.12](#) ☐ [23.13](#) ☐ [24.11](#) ☐ [24.12](#)

Exercices

- ☐ [Exercice 1](#) ☐ [Exercice 2](#) ☐ [Exercice 3](#) ☐ [Exercice 4](#) ☐ [Exercice 5](#) ☐ [Exercice 6](#)
☐ [Exercice 7](#)

Devoirs maison

- ☐ DM 1

Résumé du cours

1. Cas des ondes sonores

Lorsque deux fluides non miscibles sont en contact, des ondes sonores peuvent passer d'un à l'autre.

1.1. Conditions aux limites

La condition d'adhérence impose une continuité de la vitesse à l'interface.

continuité de la pression

♥ $\mathcal{L}^1$

La surpression est continue à l'interface

1.2. Réflexion et transmission sur une interface plane

Lorsqu'une onde sonore arrive perpendiculairement à une interface plane, les coefficients de réflexion et de transmission peuvent s'exprimer simplement grâce aux impédances acoustiques des deux milieux.

Coefficients de réflexion et de transmission sur les amplitudes des surpressions et des survitesses

♥ $\mathcal{L}^2$

Hypothèses :

- Une OPPH $\underline{P}_i = P_{i,0}e^{j(\omega t - k_1 x)}$ arrive en incidence normale.
- L'OPPH réfléchi s'écrit $\underline{P}_r = P_{r,0}e^{j(\omega t + k_1 x)}$
- L'OPPH transmise s'écrit $\underline{P}_t = P_{t,0}e^{j(\omega t - k_2 x)}$
- La surface séparant les milieux est plane.
- Les fluides ne sont pas miscibles.

Avec

- $P_{i,0}$ l'amplitude de la surpression de l'OPPH incidente (Pa)
- $P_{r,0}$ l'amplitude de la surpression de l'OPPH réfléchi (Pa)
- $P_{t,0}$ l'amplitude de la surpression de l'OPPH transmise (Pa)
- $v_{i,0}$ l'amplitude de la survitesse de l'OPPH incidente (m s^{-1})
- $v_{r,0}$ l'amplitude de la survitesse de l'OPPH réfléchi (m s^{-1})
- $v_{t,0}$ l'amplitude de la survitesse de l'OPPH transmise (m s^{-1})
- Z_1 l'impédance acoustique du milieu de l'onde incidente (Pa s m^{-1})
- Z_2 l'impédance acoustique du milieu de l'onde transmise (Pa s m^{-1})

$$r_v = \frac{v_{r,0}}{v_{i,0}} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$r_P = \frac{P_{r,0}}{P_{i,0}} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$t_v = \frac{v_{t,0}}{v_{i,0}} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$t_P = \frac{P_{t,0}}{P_{i,0}} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Coefficients de réflexion et de transmission sur les puissances

♥ $\mathcal{L}^3$

Hypothèses :

- Une OPPH $\underline{P}_i = P_{i,0}e^{j(\omega t - k_1 x)}$ arrive en incidence normale.
- L'OPPH réfléchi s'écrit $\underline{P}_r = P_{r,0}e^{j(\omega t + k_1 x)}$
- L'OPPH transmise s'écrit $\underline{P}_t = P_{t,0}e^{j(\omega t - k_2 x)}$
- La surface séparant les milieux est plane.
- Les fluides ne sont pas miscibles.

Avec

- I_i l'intensité acoustique de l'OPPH incidente (W m^{-2})
- I_r l'intensité acoustique de l'OPPH réfléchi (W m^{-2})
- I_t l'intensité acoustique de l'OPPH transmise (W m^{-2})
- Z_1 l'impédance acoustique du milieu de l'onde incidente (Pa s m^{-1})
- Z_2 l'impédance acoustique du milieu de l'onde transmise (Pa s m^{-1})

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Lorsque $Z_1 = Z_2$, la puissance transmise est maximale, on dit qu'il y a **adaptation d'impédance**.

APPLICATION

4

Calculer le coefficient de transmission en puissance pour l'interface air-eau. $Z_{\text{air}} = 4 \cdot 10^2 \text{ Pa s m}^{-1}$
 $Z_{\text{eau}} = 1 \cdot 10^6 \text{ Pa s m}^{-1}$.

APPLICATION

5

Montrer que l'énergie est conservée lors de la réflexion et transmission à l'interface.

2. Cas des ondes électromagnétiques

2.1. Courant surfacique

Dans un conducteur ohmique, le champ électrique des ondes électromagnétiques engendre un courant électrique d'après la loi d'Ohm locale. Dans un conducteur ohmique, les ondes électromagnétiques restent en surface et ne pénètrent que de quelques fois la profondeur de peau. Les courants électriques sont donc localisés en surface du conducteur. Lorsque les courants sont répartis à la surface, il est possible de les modéliser par des courants surfacique.

Vecteur densité surfacique de courant



$$I = \int_C \vec{j}_S \cdot d\vec{S}$$

Avec

- I le courant électrique (A)
- $\vec{j}_S$ le vecteur densité surfacique de courant (A m^{-1})

2.2. Relations de passage

Les composantes des champs magnétique et électrique vérifient des relation de passage aux interfaces entre deux milieux.

Relations de passage sur les champs électrique

$$\vec{E}_2 - \vec{E}_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n}_{1 \rightarrow 2}$$

Avec

- $\vec{E}_1$ le champ électrique dans le milieu 1 (V m^{-1})
- $\vec{E}_2$ le champ électrique dans le milieu 2 (V m^{-1})
- σ la densité surfacique de charge de l'interface (C m^{-2})
- ϵ_0 la permittivité diélectrique du vide (F m^{-1})
- $\vec{n}_{1 \rightarrow 2}$ un vecteur unitaire allant du milieu 1 vers le milieu 2 (sans unité)

APPLICATION

6

Que peut-on dire des composantes du champ électrique tangentes à l'interface ?

Relations de passage sur le champ magnétique

$$\vec{B}_2 - \vec{B}_1 = \mu_0 \vec{j}_S \wedge \vec{n}_{1 \rightarrow 2}$$

Avec

- $\vec{B}_1$ le champ magnétique dans le milieu 1 (T)
- $\vec{B}_2$ le champ magnétique dans le milieu 2 (T)
- $\vec{j}_S$ le vecteur densité surfacique de courant (A m^{-1})
- μ_0 la perméabilité magnétique du vide (H m^{-1})
- $\vec{n}_{1 \rightarrow 2}$ un vecteur unitaire allant du milieu 1 vers le milieu 2 (sans unité)

APPLICATION

7

Que peut-on dire de la composante du champ magnétique normale à l'interface ?

2.3. Réflexion sur un métal parfait

Lorsqu'une onde électromagnétique arrive sur un métal parfait, elle se réfléchit.

Onde réfléchie

8

Hypothèses :

- L'onde incidente s'écrit $\vec{E}_i = E_0 e^{j(\omega t - kx)} \vec{e}_y$.
- L'onde arrive en incidence normale et l'interface est en $x = 0$.
- Le métal est parfait.
- L'onde réfléchie est une OPPH $\vec{E}_r = E_{\{0,r\}} e^{j(\omega t + kx)} \vec{e}_y$.

Avec

- $\vec{E}_r$ le champ électrique de l'onde réfléchie (V m^{-1})
- E_0 l'amplitude de l'onde incidente (V m^{-1})
- ω la pulsation de l'onde incidente (rad s^{-1})
- k le nombre d'onde de l'onde incidente (rad m^{-1})

$$\vec{E}_r = -E_0 e^{j(\omega t + kx)} \vec{e}_y$$

La réflexion sur un métal parfait est totale.

APPLICATION

9

Exprimer les champs électrique et magnétique réels totaux.

L'onde totale est une onde stationnaire pour laquelle l'interface est un nœud pour $\vec{E}$.

La réflexion de l'onde sur le métal induit un courant à sa surface.

Courant surfacique induit par la réflexion sur un métal parfait

10

Hypothèses :

- L'onde incidente s'écrit $\vec{E}_i = E_0 e^{j(\omega t - kx)} \vec{e}_y$.
- L'onde arrive en incidence normale et l'interface est en $x = 0$.
- Le métal est parfait.

Avec

- $\vec{J}_S$ le vecteur densité surfacique de courant (A m^{-1})
- E_0 l'amplitude de l'onde incidente (V m^{-1})
- μ_0 la perméabilité magnétique du vide (H m^{-1})
- c la célérité de la lumière dans le vide (m s^{-1})
- ω la pulsation de l'onde incidente (rad s^{-1})

$$\vec{J}_S = \frac{2E_0}{\mu_0 c} \cos(\omega t) \vec{e}_y$$

2.4. Coefficient de réflexion en puissance

Il est possible de calculer le coefficient de réflexion en puissance.

Coefficient de réflexion en puissance

11

Hypothèses :

- L'onde incidente s'écrit $\vec{E}_i = E_0 e^{j(\omega t - kx)} \vec{e}_y$.
- L'onde arrive en incidence normale et l'interface est en $x = 0$.
- Le métal est parfait.

Avec

- R le coefficient de réflexion en puissance (sans unité)
- $\vec{\Pi}_r$ le vecteur de Poynting de l'OPPH réfléchie (W m^{-2})
- $\vec{\Pi}_i$ le vecteur de Poynting de l'OPPH incidente (W m^{-2})

$$R =: \frac{\|\langle \vec{\Pi}_r \rangle\|}{\|\langle \vec{\Pi}_i \rangle\|} = 1$$

2.5. Pression de radiation



<https://www.youtube.com/watch?v=fEecdEzgxzA>

La réflexion sur un métal parfait engendre une force surfacique sur lui appelée **pression de radiation**.

Force de Laplace pour un courant surfacique

$$\overrightarrow{\delta F} = \vec{j}_S \wedge \vec{B} dS$$

Avec

- $\overrightarrow{\delta F}$ la force de Laplace exercée sur la surface dS (N)
- $\vec{j}_S$ le vecteur densité surfacique de courant ($A m^{-1}$)
- $\vec{B}$ le champ magnétique (T)
- dS la surface infinitésimale (m^2)

Pression de radiation

12

Hypothèses :

- L'onde incidente s'écrit $\vec{E}_i = E_0 e^{j(\omega t - kx)} \vec{e}_y$.
- L'onde arrive en incidence normale et l'interface est en $x = 0$.
- Le métal est parfait.

Avec

- P la pression de radiation (Pa)
- $\overrightarrow{\delta F}$ la force de Laplace exercée sur la surface dS (N)
- dS la surface infinitésimale (m^2)
- ϵ_0 la permittivité diélectrique du vide ($F m^{-1}$)
- E_0 l'amplitude de l'onde incidente ($V m^{-1}$)

$$P = \left\langle \frac{\|\overrightarrow{\delta F}\|}{dS} \right\rangle = 2\epsilon_0 E_0^2$$

APPLICATION

13

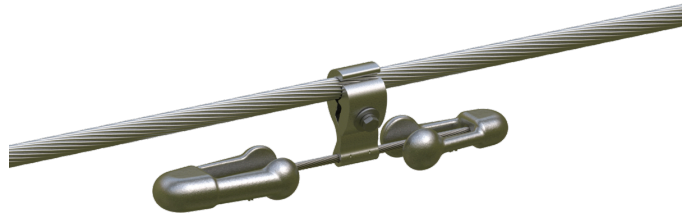
La sonde spatiale IKAROS est le premier prototype utilisant une voile solaire comme moyen de propulsion. Sa voile mesure $173 m^2$. On assimile la lumière du Soleil à une onde électromagnétique monochromatique d'amplitude $600 V m^{-1}$. Calculer la force subie par la sonde.

Exercices

1. 🤖 Amortisseur de Stockbridge

Cet exercice est un problème ouvert. Il nécessite de prendre des initiatives et de faire des choix dans la modélisation. Des approximations et des estimations sont souvent nécessaires pour arriver à une solution.

Les amortisseurs de Stockbridge sont utilisés pour réduire les vibrations dans les câbles dues au vent, notamment ceux des ponts suspendus ou des lignes haute tension. Ils se comportent comme des amortisseurs et exercent une force verticale $F = -\alpha v$ sur le câble où v est la vitesse verticale du câble.



On s'intéresse à un câble en aluminium (de masse volumique 2.7 g cm^{-3}) de section 500 mm^2 sur lequel on veut installer un amortisseur de Stockbridge pour éliminer les vibrations. On suppose que le câble est tendu par une force de 1000 N .

Quel paramètre de l'amortisseur de Stockbridge doit-on choisir pour que les vibrations soient éliminées, c'est -à-dire pour qu'une onde incidente ne donne lieu à aucune onde réfléchie ?

2. Réflexion et transmission entre deux cordes ★

Deux cordes différentes sont reliées en $x = 0$. Celle de gauche, numérotée 1, a une masse linéique μ_1 et celle de droite, numérotée 2, une masse linéique μ_2 . Elles sont tendues sous une tension T .

Une onde se propage dans la corde 1. On observe qu'en $x = 0$, elle donne naissance à une onde réfléchie sur la corde 1 et à une onde transmise sur la corde 2. On modélise ces trois ondes par :

$$\underline{y_{i(x,t)}} = \underline{y_{0,i}} e^{j(\omega_i t - k_i x)}$$

$$\underline{y_{r(x,t)}} = \underline{y_{0,r}} e^{j(\omega_r t + k_r x)}$$

$$\underline{y_{t(x,t)}} = \underline{y_{0,t}} e^{j(\omega_t t - k_t x)}$$

1/ Quelles sont les natures 3 ondes ?

2/ Montrer que les trois pulsations temporelles sont identiques.

3/ En appliquant le théorème de la résultante cinétique sur une portion de corde de longueur 2ε à la jonction, montrer que

$$\forall t \quad \left. \frac{\partial y_1}{\partial x} \right|_{x=0,t} = \left. \frac{\partial y_2}{\partial x} \right|_{x=0,t}$$

où T_1 et T_2 sont les tensions dans les cordes 1 et 2, respectivement.

4/ Définir puis établir les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude r et t , en fonction des célérités c_1 et c_2 dans les cordes.

3. Réflexion et transmission entre deux câbles

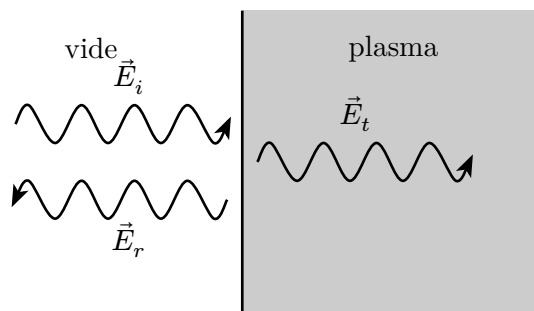
Deux câbles coaxiaux différents, d'impédances caractéristiques Z_1 et Z_2 sont mis bout à bout en $x = 0$. Une onde harmonique est émise dans le câble occupant les abscisses $x < 0$, qui se propage dans le sens des x croissants.

- 1/ Proposer une expression mathématique pour les tensions des ondes incidentes, réfléchies et transmises. On ne supposera **pas** a priori les pulsations identiques.
- 2/ Déterminer les expressions des courants associés en faisant apparaître les impédances caractéristiques des câbles.
- 3/ Quelles sont les 2 conditions aux limites en $x = 0$? En déduire deux relations entre $\underline{u}_{i,0}$, $\underline{u}_{r,0}$ et $\underline{u}_{t,0}$.
- 4/ Définir et établir les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude pour la tension, à la jonction entre les deux câbles. Conclure quant à la nécessité d'assurer une adaptation d'impédance lors de la mise en série de deux câbles coaxiaux.

4. Réflexion et transmission sur un plasma

Une onde plane progressive monochromatique de pulsation ω , polarisée rectilignement suivant $\vec{e}_z$, se propage dans le sens des x croissants avec le vecteur d'onde $\vec{k} = k\vec{e}_x$. Elle arrive sous incidence normale sur le plasma de densité électronique N . L'interface vide-plasma a pour équation $x = 0$, le plasma occupe le demi-espace $x > 0$.

On étudie le champ transmis $\vec{E}_t = \underline{E}_{t,0} e^{i(\omega t - k_p x)} \vec{e}_z$ dans le plasma et le champ réfléchi $\vec{E}_r = \underline{E}_{r,0} e^{i(\omega t + kx)} \vec{e}_z$ connaissant le champ incident $\vec{E}_i = \underline{E}_0 e^{i(\omega t - kx)} \vec{e}_z$.



- 1/ Déterminer la conductivité complexe du plasma $\underline{\gamma}$ à la pulsation ω en fonction de N , e , m_e et ω .
- 2/ Montrer que la densité volumique de charges est nulle dans le plasma.
- 3/ Établir l'équation de dispersion dans le plasma en posant $\omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{m\varepsilon_0}}$.

Dans les questions suivantes, on suppose que $\omega > \omega_p$.

- 4/ En déduire l'indice optique n du plasma défini par $n = \frac{c}{v_\varphi}$ où v_φ est la vitesse de phase.
- 5/ Déterminer les champs magnétiques $\vec{B}_i$, $\vec{B}_r$ et $\vec{B}_t$ associés aux trois champs électriques.

Les champs magnétique et électrique sont continus à l'interface vide / plasma.

- 6/ En utilisant la continuité des champs à l'interface, exprimer $\underline{E}_r$ et $\underline{E}_t$ en fonction de $\underline{E}_0$ et de n .
 - 7/ Définir et déterminer les coefficients de réflexion et de transmission en puissance R et T . Que vaut leur somme ?
- Dans toute la suite, on se place dans le cas $\omega < \omega_p$.
- 8/ Déterminer le nombre d'ondes complexe $\underline{k}_p$ dans le plasma.
 - 9/ En utilisant la continuité des champs à l'interface, exprimer $\underline{E}_{r,0}$ et $\underline{E}_{t,0}$ en fonction de $\underline{E}_0$.

10/ Déterminer le coefficient de réflexion en puissance R et le coefficient de transmission en puissance T .

5. 😊 J'explique à mon grand-père : L'Échographie

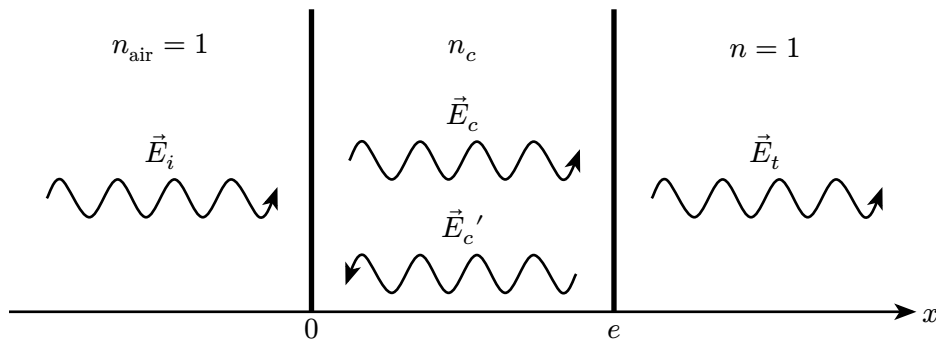
Le but de cet exercice est de vous faire expliquer un concept/phénomène avec des mots simples et courants (pas de vocabulaire technique ou scientifique) à une personne de votre entourage. Tachez de faire simple et court, utilisez des analogies avec des choses connues. Vous pouvez vous inspirer de Ma thèse en 180 secondes. Profitez-en pour prendre des nouvelles !

Les échographies sont des technique d'«imagerie médicale utilisant des ondes sonores pour visualiser l'intérieur du corps humain. Elles sont utilisées pour examiner les organes internes, les tissus mous et les vaisseaux sanguins.

Comment fonctionnent les échographies ?

6. 🖥️ Traitement antireflet

On réalise un traitement antireflet sur un verre d'indice de réfraction $n = 1.5$ en déposant une couche d'indice optique $n_c \in]1, n[$ et d'épaisseur e de l'ordre de la centaine de nm. Le but de ce traitement est d'annuler la réflexion à dans l'air pour la longueur d'onde $\lambda = 500$ nm (longueur d'onde pour laquelle l'œil est le plus sensible).



Les 4 ondes sont des OPPH de même fréquence :

$$\begin{cases} \vec{E}_i = \underline{E}_{i,0} e^{i(\omega t - k_i x)} \\ \vec{E}_c = \underline{E}_{c,0} e^{i(\omega t - k_c x)} \\ \vec{E}'_c = \underline{E}'_{c,0} e^{i(\omega t + k_c x)} \\ \vec{E}_t = \underline{E}_{t,0} e^{i(\omega t - k_t x)} \end{cases}$$

Les champs électrique et magnétique sont continus à chacune des deux interfaces.

L'objectif de cet exercice est de déterminer l'épaisseur e et l'indice optique n_c de la couche anti-reflet.

1/ Donner l'expression de l'indice optique en fonction de la vitesse de phase et de la célérité de la lumière dans le vide. En déduire les expressions de k_i , k_c et k_t en fonction de n , n_c , ω et de la célérité de la lumière dans le vide.

2/ Déterminer les champs magnétiques associés à chacune des ondes.

3/ En utilisant la continuité des champs, établir un système de 4 équations reliant les amplitudes $\underline{E}_{i,0}$, $\underline{E}_{c,0}$,

$\underline{E}'_{c,0}$ et $\underline{E}_{t,0}$. Mettre ce système sous la forme $M \begin{pmatrix} \underline{E}_{i,0} \\ \underline{E}_{c,0} \\ \underline{E}'_{c,0} \\ \underline{E}_{t,0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ où M est une matrice 4×4 à déterminer.

4/ Donner une solution de l'équation $M \begin{pmatrix} \frac{E_{i,0}}{E_{c,0}} \\ \frac{E_{c,0}}{E_{c,0'}} \\ \frac{E_{t,0}}{E_{c,0}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$. En déduire que pour que le traitement antireflet fonctionne, il faut que $\det(M) = 0$.

5/ La fonction `np.linalg.det` de la bibliothèque `numpy` permet de calculer le déterminant d'une matrice. Écrire une fonction `D(e,n)` qui renvoie le déterminant de la matrice M en fonction de e et n_c .

Pour résoudre numériquement l'équation $D(e, n_c) = 0$, on peut utiliser la fonction `root` de la bibliothèque `scipy.optimize` qui permet de trouver les racines d'une fonction.

La fonction dont `root` doit trouver les racines doit prendre en argument un tableau `numpy` de réels et renvoyer un tableau `numpy` de réels.

On définit la fonction

```
1 def f(X):
2     e, nc = X
3     d = D(e, nc)
4     return [d.real, d.imag]
```

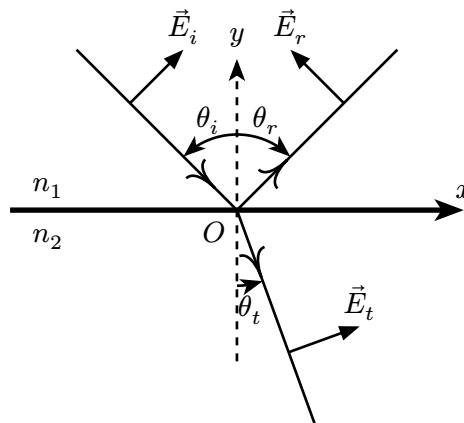
6/ Expliquer pourquoi la fonction `f` est adaptée pour être utilisée avec la fonction `root` de `scipy.optimize`.

On trouve une solution avec les instructions suivantes :

```
1 from scipy.optimize import root
2 solution = root(f, [1e-7, 1.3]) # on fournit une estimation initiale pour e et nc
3 print(solution.x)
```

7. Angle de Brewster ★★

On étudie une OPPh électromagnétique polarisée rectilignement qui arrive sur une interface entre deux milieux d'indices de réfraction n_1 et n_2 . Cette onde incidente donne naissance à une OPPh réfléchie et une OPPh transmise.



À l'interface, la composante du champ électrique tangente à l'interface et la composante du champ magnétique normale à l'interface sont continues.

On note $\underline{E}_i$, $\underline{E}_r$ et $\underline{E}_t$ les amplitudes complexes des champs électriques de l'onde incidente, réfléchie et transmise respectivement.

On suppose que les ondes incidente, réfléchie et transmise ont la même pulsation. On fait également l'hypothèse que les ondes sont polarisées dans le plan d'incidence.

1/ Montrer que les amplitudes complexes vérifient

$$\begin{cases} \cos(\theta_i) \underline{E}_i + \cos(\theta_r) \underline{E}_r = \cos(\theta_t) \underline{E}_t \\ n_1 \cos(\theta_i) \underline{E}_i - n_1 \cos(\theta_r) \underline{E}_r = n_2 \cos(\theta_t) \underline{E}_t \end{cases}$$

2/ En déduire l'expression de l'amplitude complexe des ondes réfléchie et transmise en fonction de l'amplitude complexe de l'onde incidente, des indices de réfraction et des angles d'incidence, de réflexion et de transmission.

Dans la suite, on s'intéresse à l'angle d'incidence pour lequel l'onde réfléchie est d'amplitude nulle. Cet angle est appelé angle de Brewster.

3/ Montrer qu'à l'angle de Brewster, on a

$$\begin{cases} \cos^2(\theta_t) = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cos^2(\theta_i) \\ \sin^2(\theta_t) = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \sin^2(\theta_i) \end{cases}$$

4/ En déduire que l'angle de Brewster vérifie la relation

$$\sin^2(\theta_i) = \frac{n_2^2}{n_1^2 + n_2^2}$$

5/ En déduire l'expression de l'angle de Brewster en fonction des indices de réfraction n_1 et n_2 :

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

On envoie de la lumière non polarisée sur l'interface à un angle d'incidence égal à l'angle de Brewster.

6/ Expliquer pourquoi la lumière réfléchie est polarisée rectilignement.

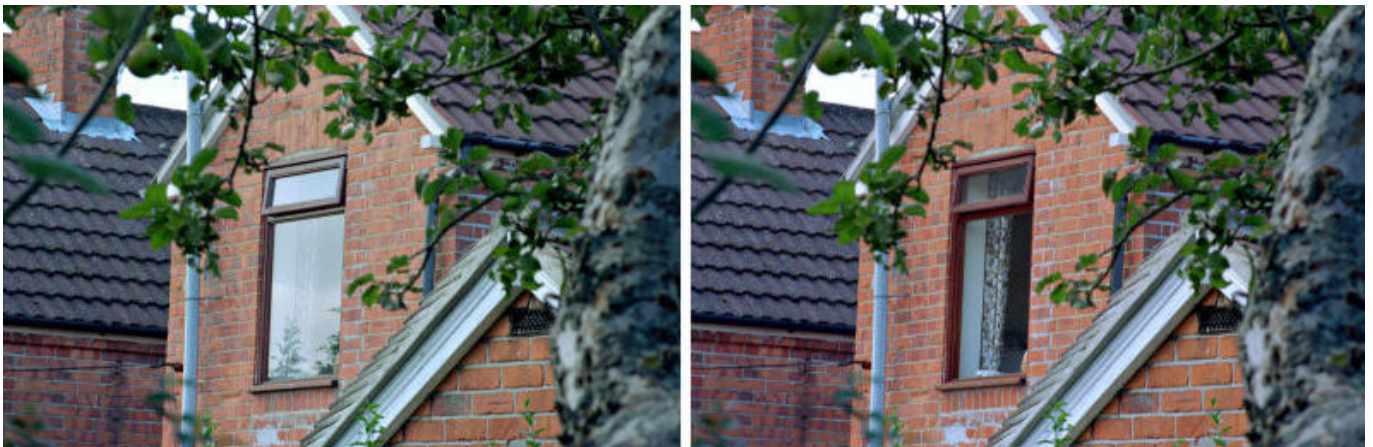


Fig. 5. – Sur la photo de gauche, aucun filtre n'est présent sur l'objectif de l'appareil photo. Sur la photo de droite, un filtre polarisant est présent sur l'objectif de l'appareil photo.

7/ Quelle est la direction du filtre polarisant sur la photo de droite ? Justifier votre réponse.