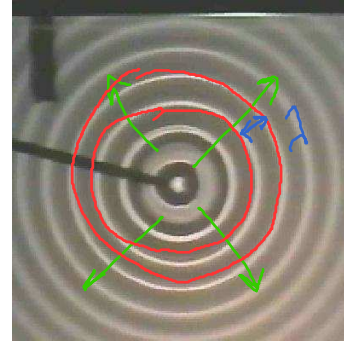
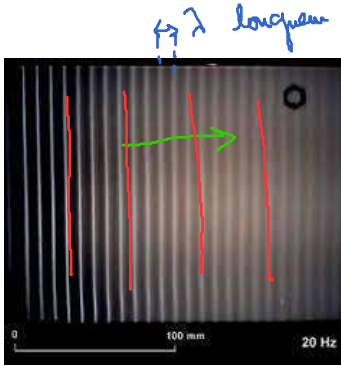


Chap OO2: la différence de marche

I. Notions de surface d'onde

1. Approche intuitive de la notion de surface d'onde

On cherche dans un premier temps à introduire la notion de surface d'onde, on va se reporter pour cela aux ondes mécaniques, notamment aux ondes émises dans une cuve à onde. Dans l'expérience de la cuve à ondes, les zones claires et les zones sombres correspondent à des hauteurs d'eau maximales et minimales.



→ direction
de propagation
des ondes
— surfaces
d'onde

Les surfaces d'onde (ensemble des points où la hauteur d'eau est la même) sont perpendiculaires à la direction de propagation. À gauche les surfaces d'onde sont dites planes, à droite elles sont dites sphériques.

2. Plusieurs définitions d'une surface d'onde

C'est l'ensemble des points atteints au même instant par la lumière issue de la source S.

Ou le temps de parcours entre la source S et les points d'une même surface d'onde est le même pour tous les rayons.

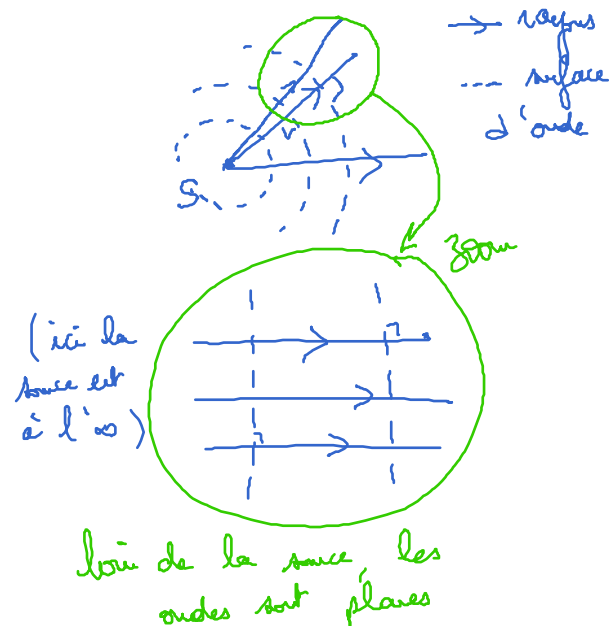
Ou c'est l'ensemble des points qui à tout instant ont la même phase.

3. Deux types d'ondes

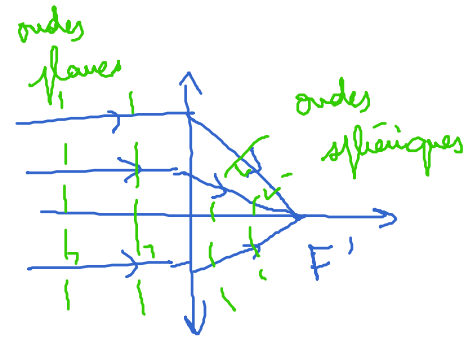
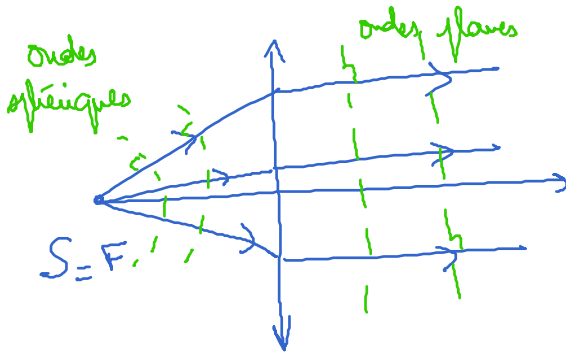
Ondes sphériques: les surfaces d'ondes sont des sphères centrées sur la source

Ondes planes: les surfaces d'ondes sont des plans parallèles entre eux

Théorème de Malus: les surfaces d'onde sont perpendiculaires aux rayons lumineux



Les ondes planes et sphériques en optique: rôle des lentilles:



Rq: dans cette situation, on dira que par principe de retour inverse de la lumière, F' se compte comme une source (qui émet des ondes sphériques)

II. Notion de chemin optique

1. Définition

Dans un milieu homogène d'indice n , le temps mis par la lumière pour aller de A à B est $t_{AB} = \frac{AB}{v} = \frac{n \cdot AB}{c}$

C'est le même temps que la lumière aurait mis dans le vide pour parcourir la distance $n \times AB$

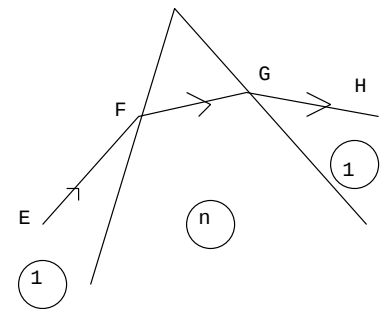
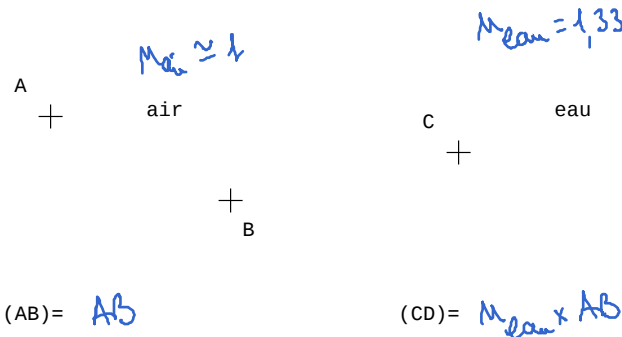
Dans un milieu homogène, le chemin optique entre A et B s'écrit: $(AB) = n \times AB$

Définition: le chemin optique est la distance qu'aurait parcourue la lumière dans le vide pendant l'intervalle de temps où elle a parcouru le rayon AB dans son milieu d'origine.

Soit deux points A et B sur un rayon lumineux, le chemin optique (AB) est défini par $(AB) = \int_A^B n \cdot dl$

Dans un milieu homogène d'indice n le chemin optique (AB) est $(AB) = n \times AB$ valable pour un rayon rectiligne

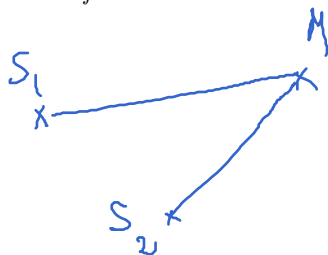
Exemples :



$$(EH) = (EF) + (FG) + (GH) = 1 \times EF + n \times FG + 1 \times GH$$

III. Notion de différence de marche

1. Définition



$$\delta_{2,1}(M) = (S_2M) - (S_1M)$$

cette grandeur mesure le décalage des ondes en mètre

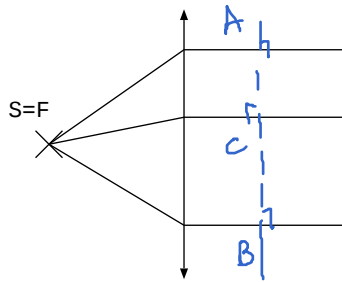
2. Utilisation des surfaces d'onde en optique physique?

Propriété 1 : Le chemin optique est le même pour tout rayon lumineux entre une source et une surface d'onde. On écrit: entre une source et une surface d'onde le chemin optique est constant.

Propriété 2 : Le chemin optique est le même pour tout rayon lumineux entre deux surfaces d'onde. On écrit: entre deux surfaces d'onde, le chemin optique est constant.

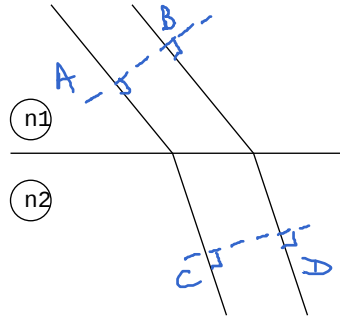
Propriété 3 : Le chemin optique est le même pour tout rayon lumineux entre un objet et son image. On écrit: entre un objet et son image, le chemin optique est constant.

Illustration des propriétés:



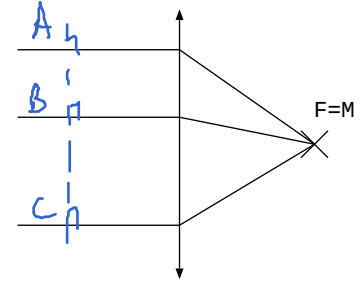
$$(SA) = (SB) = (SC)$$

le chemin optique entre une source et une surface d'onde est constant



$$(AC) = (BD)$$

le chemin optique entre deux surfaces d'onde est constant

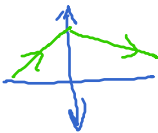


$$(AM) = (BM) = (CM)$$

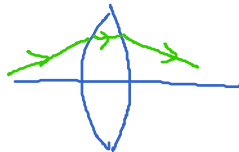
M se comporte comme une source par principe de retour inverse de la lumière et entre la source M et la surface d'onde ABC le chemin optique est constant

Attention: les lentilles

représentation simplifiée



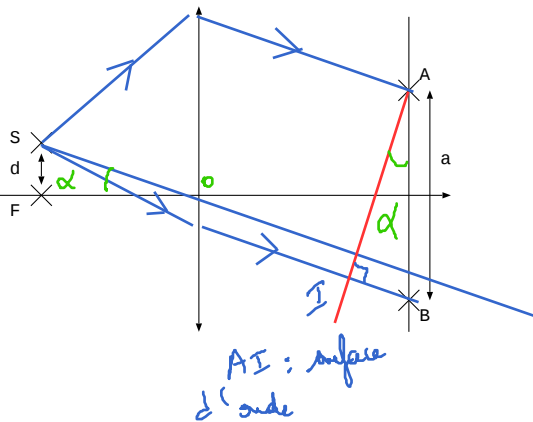
en toute rigueur



! on ne trace jamais de surface d'onde sur les lentilles: les rayons sont faux au voisinage des lentilles

3. Exemples de calculs de différence de marche

Cas 1 : construire les rayons lumineux SA et SB et calculer $(SB) - (SA)$ en fonction de d , a et f' .



$$\delta = (SB) - (SA)$$

pour simplifier cette différence on maximise ou utilise la surface d'onde la + loin de S

$$\delta = (SI) + (IB) - (SA) = (IB) = l \times IB$$

$(SA) = (SI)$ car entre une source et une surface d'onde le chemin optique est constant

$$\sin \alpha = \frac{d}{f'} \quad \left(\begin{array}{l} \text{triangle} \\ SFO \end{array} \right) \quad \tan \alpha = \frac{IB}{AB} = \frac{IB}{a} \quad \left(\begin{array}{l} \text{triangle} \\ AIB \end{array} \right)$$

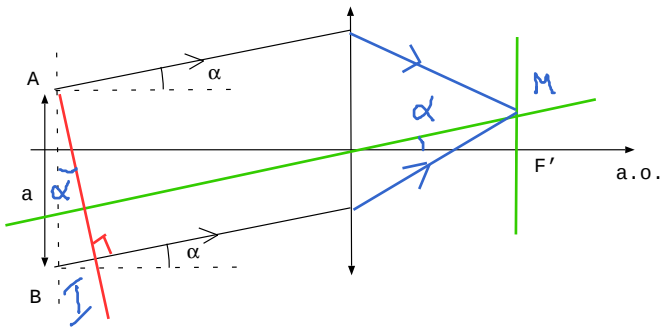
$$\sin \alpha \approx \alpha$$

$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{d}{f'} = \frac{IB}{a}$$

(condition de Gauss)

$$\delta = \frac{ad}{f'}$$

Cas 2 : construire le point M , point d'intersection des rayons lumineux qui sont issus de A et B . Calculer $(BM) - (AM)$ en fonction de α et a puis en fonction de $x = F'M$, a et f' .



$$\delta = (BM) - (AM)$$

M se compte comme une source par principe de retour inverse de la lumière (entre on utilise la surface d'onde la + loin de la source M pour simplifier au maximum)

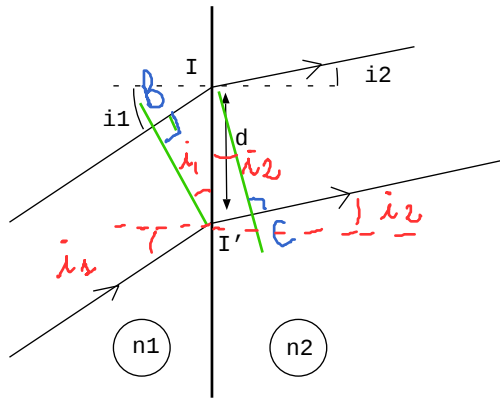
$$\delta = (BI) + \cancel{(IM)} - \cancel{(AM)} \\ = 1 \times BI$$

entre la source S et la surface d'onde AI le chemin optique est constant

triangle AIB : $\sin \alpha = \frac{BI}{AB} = \frac{BI}{a} \approx \alpha$ (conditions de Gauss)

donc $\delta = a\alpha$

Cas 3 : construire les plans d'onde passant I (pour la lumière réfractée) et I' (pour la lumière incidente). Utiliser le fait que le chemin optique est constant entre deux surfaces d'onde pour retrouver les lois de Descartes à la réfraction sur un dioptr.



$(BI) = (I'C)$ soit $n_1 BI = n_2 I'C$
entre deux surfaces d'onde les chemins optiques sont identiques ou $\neq$ respect

triangle BII' : $\sin i_1 = \frac{BI}{d}$

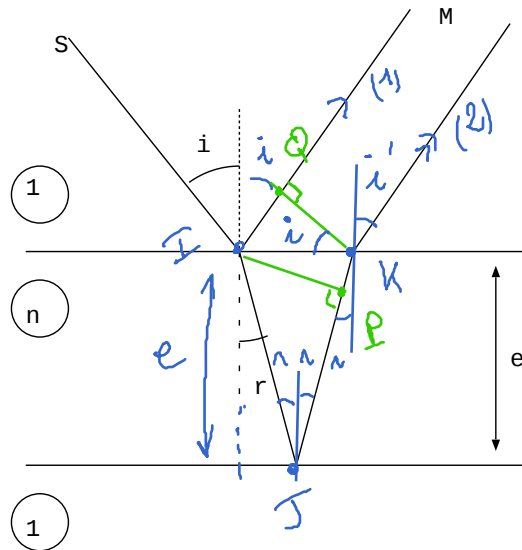
triangle ICI' : $\sin i_2 = \frac{I'C}{d}$

ainsi $n_1 BI = n_2 I'C$ donc $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

cohérent avec les lois de Descartes

Cas 4 : Montrer que les deux rayons sortants sont parallèles entre eux. Ils vont donc interférer en un point M à l'infini.

Calculer la différence de marche entre les deux rayons issus de S et qui vont interférer en M à l'infini.



Loi de Descartes

$$\begin{aligned} \text{en } I: \sin i &= n \sin r \\ \text{en } K: n \sin r &= \sin i' \end{aligned} \Rightarrow i = i'$$

les rayons sortants en I et K sont parallèles, ils vont interférer à l'infini en M

$$\delta(M) = (SM)_2 - (SM)_1$$

par la démon, on peut utiliser soit la surface d'onde IP soit la surface d'onde KQ

Avec IP : $\delta(M) = (\cancel{SI}) + (IJ) + (JP) + (\cancel{PM}) - (\cancel{SI}) - (\cancel{IM})$

par principe de retour inverse de la lumière, M se compte comme une source, entre la source M et la surface d'onde IP , le chemin optique est constant: $(IM) = (PM)$

$$\delta(M) = n IJ + JP \quad \cos r = \frac{e}{IJ} \text{ soit } IJ = \frac{e}{\cos r}$$

triangle IJP : $\cos 2r = \frac{JP}{IJ}$ soit $JP = IJ \cos 2r = \frac{e \cos 2r}{\cos r}$

$$\boxed{\delta(M) = n \frac{e}{\cos r} \left(1 + \cos 2r \right) = 2ne \cos r}$$

Identité: $\cos 2r = 2 \cos^2 r - 1$

Avec QK : $\delta(M) = (\cancel{SI}) + (IJ) + (JK) + (\cancel{KM}) - (\cancel{SI}) - (IQ) - (\cancel{QM})$

entre la source M et la surface d'onde QK , le chemin optique est constant

$$\delta(M) = n IJ + n JK - IQ = 2n IJ - IQ$$

on a: $\cos r = \frac{e}{IJ}$ soit $IJ = \frac{e}{\cos r}$

$\tan r = \frac{IK}{e}$ soit $IK = e \tan r$

$\sin i = \frac{IQ}{IK}$ soit $IQ = IK \sin i$

$$\delta(M) = 2n \frac{e}{\cos r} - \frac{e \tan r \sin i}{\frac{\sin r}{\cos r}} = \frac{2e}{\cos r} \left[n - \sin r \sin i \right] = \frac{2ne}{\cos r} \left(1 - \sin^2 r \right)$$

$\boxed{\delta(M) = 2ne \cos r}$