

## DOCUMENT DE PREPARATION AUX TP D'OPTIQUE 1A

**Vous devez IMPERATIVEMENT étudier ce document AVANT les séances de TP d'optique**

L'optique est la partie de la physique qui étudie les propriétés de la lumière.

### A. Rappels sur la réfraction et la réflexion de la lumière

#### 1) La lumière

La lumière est une onde électromagnétique (c'est à dire un champ magnétique et un champ électrique variables) qui se propage dans le vide à une vitesse constante appelée célérité notée  $c = 3.10^8 \text{ ms}^{-1}$ .

Une lumière monochromatique (d'une seule couleur) peut être caractérisée par trois nombres :

- Sa fréquence  $\nu$  exprimée en Hertz (Hz), qui est la fréquence de variation du champ électrique
- Sa période  $T$  exprimée en seconde (s)  $T = \frac{1}{\nu}$
- Sa longueur d'onde  $\lambda$  exprimée en mètre (m)  $\lambda = \frac{c}{\nu} = c T$

D'après le principe de **FERMAT** : le chemin suivi par la lumière est celui qui prend le moins de temps, il est indépendant du sens de parcours.

De plus dans un milieu homogène la lumière se propage en ligne droite.

Il n'y a pas d'interaction entre deux rayons lumineux, un rayon ne peut pas en dévier un autre.

Dans un milieu transparent la lumière peut se propager moins vite que dans le vide. La vitesse de propagation s'exprime alors à l'aide de la relation suivante:  $v = \frac{c}{n}$

$v$  est la vitesse de la lumière dans le milieu transparent en  $\text{ms}^{-1}$

$c$  est la célérité de la lumière dans le vide en  $\text{ms}^{-1}$

$n$  est l'indice de réfraction qui n'a pas d'unité

L'indice de réfraction est caractéristique de chaque type de milieu transparent il est toujours supérieur ou égal à 1. Dans l'air  $n = 1$  ce qui signifie que la vitesse de propagation est la même que dans le vide.

Dans l'eau par exemple  $n = 1,33$  et dans le verre  $n = 1,5$  donc dans ces milieux la lumière se propage moins vite que dans le vide.

Lorsque l'indice optique d'un milieu dépend de la fréquence de la vibration qui s'y propage, le milieu est appelé milieu dispersif.

Ainsi l'eau est un milieu dispersif qui permet l'observation d'arc-en-ciel.

Le verre est un milieu dispersif pour les ondes lumineuses puisque l'indice du verre pour le bleu est plus grand que l'indice du verre pour le rouge.

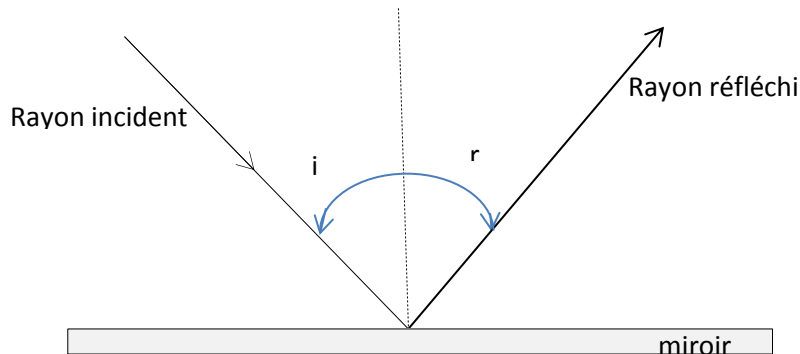
L'air n'est pas un milieu dispersif pour les ondes sonores puisque toutes les fréquences se propagent à la même vitesse (environ  $340 \text{ m.s}^{-1}$ ).

Plus la fréquence de la vibration est grande , plus sa longueur d'onde est petite, plus la vitesse de propagation est faible, plus l'indice du milieu est grand.

## 2) La réflexion

Lois de SNELL-DESCARTES (Descartes : « Je pense donc je suis »)

- le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence
- l'angle de réflexion est égal à l'opposé de l'angle d'incidence  $r = -i$



## 3) La réfraction

Lorsque la lumière passe d'un milieu transparent à un autre elle traverse la surface de séparation appelée dioptre et subit une déviation.

Lois de SNELL-DESCARTES :

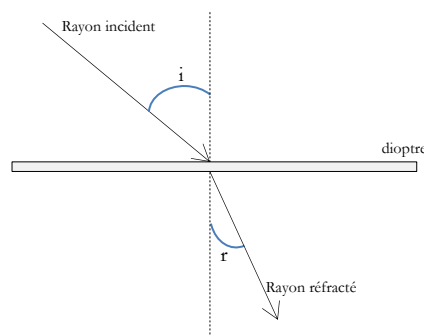
- Lorsque le rayon lumineux passe d'un milieu d'indice de réfraction  $n_1$  à un milieu d'indice de réfraction  $n_2$  alors il existe la relation suivante entre l'angle d'incidence  $i$  et l'angle de réfraction  $r$   

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$$
- Le rayon réfracté appartient au plan d'incidence.

### Conséquences :

Si le premier milieu est plus réfringent que le deuxième, c'est à dire si  $n_1 > n_2$  cela signifie que le rapport des indices est supérieur à 1 et donc  $r > i$  : le rayon réfracté s'éloigne de la normale.

Si le deuxième milieu est plus réfringent que le premier, c'est à dire si  $n_2 > n_1$  cela signifie que le rapport des indices est inférieur à 1 et donc  $r < i$  : le rayon réfracté se rapproche de la normale.

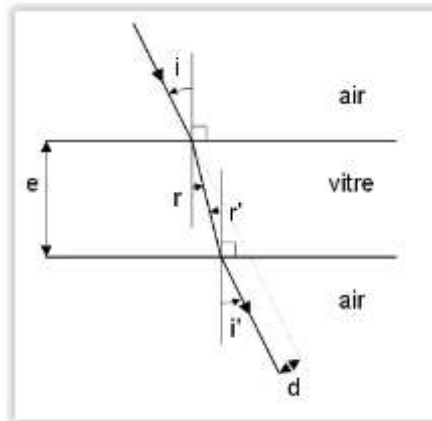


Dans le cas où  $n_2 < n_1$  il existe un angle d'incidence limite noté  $i_{lim} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

correspondant à  $r = 90^\circ$  tel que tout rayon incident arrivant au niveau du dioptre avec un angle supérieur à celui-ci sera totalement réfléchi. C'est ce qu'on appelle le phénomène de réflexion totale.

### Exemple :

Un rayon lumineux n'est pas dévié par un passage à travers une vitre en verre d'épaisseur  $e$  dont les faces sont rigoureusement parallèles.



D'après la loi de la réfraction :  $n_{air} \sin i = n_{verre} \sin r$  et  $n_{verre} \sin r' = n_{air} \sin i'$

Les faces étant parallèles :  $r = r'$  soit  $i = i'$  donc la lumière n'est pas déviée, le rayon incident et le rayon émergent ont la même direction.

## **B. Les lentilles**

Une lentille est constituée d'un matériau transparent limité par deux dioptries dont l'un au moins n'est pas plan. Une lentille est mince si son diamètre est très grand devant son épaisseur. Une lentille mince sphérique a la propriété de changer la direction de propagation de la lumière du fait de la réfraction qui se produit sur chaque dioptre.

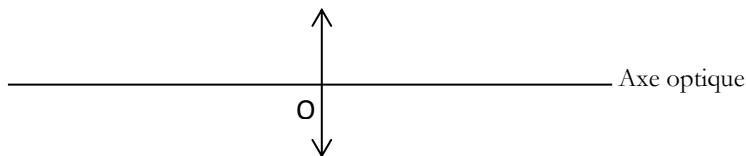
On distingue deux types de lentilles, celles à bords minces et celles à bords épais. Les premières sont convergentes, les secondes sont divergentes.

	vue en coupe	schéma	déviations de la lumière
lentilles convergentes			
lentilles divergentes			

## 1) Les éléments principaux d'une lentille

**L'axe optique** (ou axe principal) : axe orthogonal à la lentille passant par les centres des deux dioptries. C'est un axe de symétrie pour la lentille il est orienté dans le sens de propagation de la lumière.

**Le centre optique O** : est situé à l'intersection de la lentille et de l'axe optique

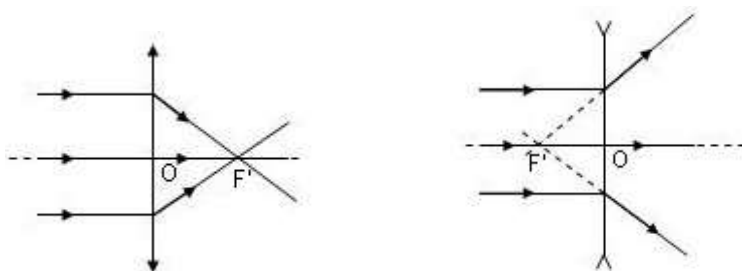


Propriété : Tout rayon incident passant par le centre optique d'une lentille n'est pas dévié

### Le foyer principal image F' :

Il est situé après la lentille si elle est convergente et avant celle-ci si elle est divergente à une distance appelée distance focale image et notée  $f' = \overline{OF'}$

Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge d'une lentille convergente en passant par le foyer image  
Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge d'une lentille divergente en semblant issu du foyer image

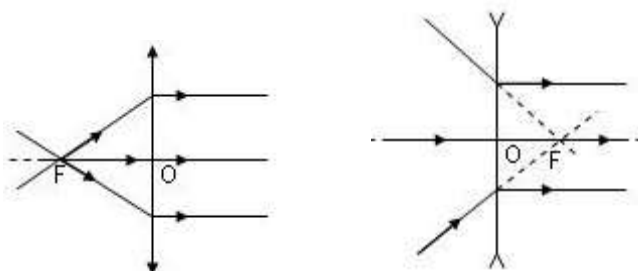


### Le foyer principal objet F :

Il est situé avant la lentille si elle est convergente et après celle-ci si elle est divergente à une distance appelée distance focale objet et notée  $f = \overline{FO} = -f'$

F et F' sont symétriques par rapport à O.

Tout rayon incident passant par le foyer objet émerge d'une lentille convergente en étant parallèle à l'axe optique.  
Tout rayon incident dont les prolongements se coupent au foyer objet émerge d'une lentille divergente en étant parallèle à l'axe optique.



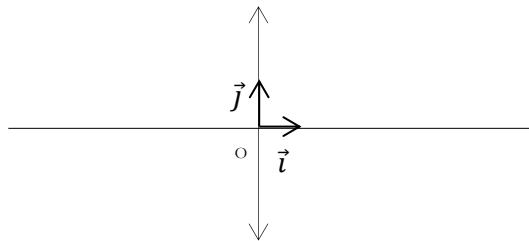
Dans le cas d'une lentille convergente les rayons lumineux passent effectivement par les foyers F et F', ces points sont **réels**.

Dans le cas d'une lentille divergente les rayons lumineux ne passent pas par les foyers F et F', ces points sont **virtuels**.

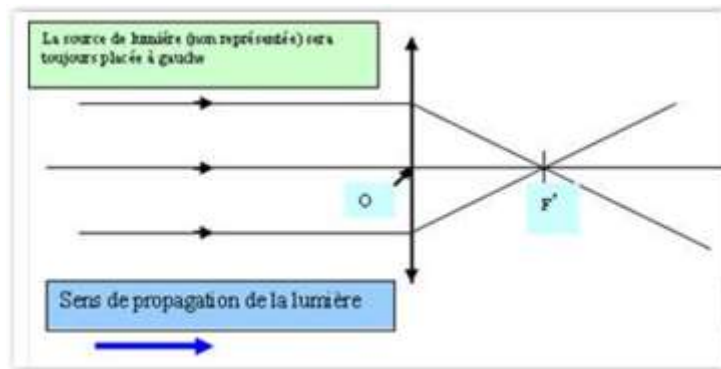
Mesure algébrique :

**!!! ATTENTION Source d'erreurs fréquentes !!!**

Pour repérer quantitativement la position des objets et des images sur l'axe optique, on utilise un repère orthogonal (O, x, y) dont l'axe (Ox) coïncide avec l'axe optique et dont le centre est le centre optique de la lentille.



La direction de propagation de la lumière impose le sens positif de l'axe optique. Par convention, sur les schémas, la source de lumière est placée à gauche.



Une mesure algébrique est notée  $\overline{AB}$ , sa valeur est  $\overline{AB} = x_B - x_A = -\overline{BA}$

Une mesure algébrique peut donc être positive ou négative.

Si le foyer principal image F' est situé 0,10 m en arrière de la lentille on a  $\overline{OF'} = x_{F'} - x_O = 0,10 - 0 = 0,10 \text{ m}$

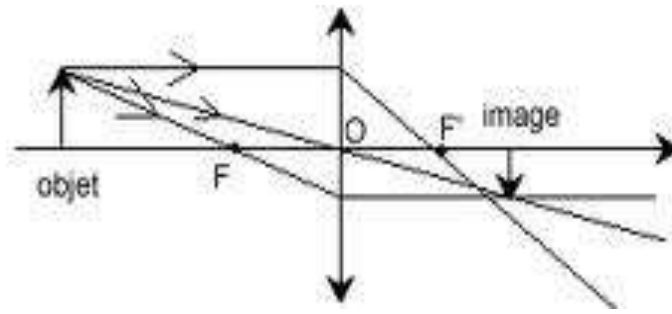
Le foyer principal objet F est alors situé 0,10 m en avant de la lentille et  $\overline{OF} = x_F - x_O = -0,10 - 0 = -0,10 \text{ m}$

**La vergence** : elle est définie par  $C = \frac{1}{f}$  et s'exprime en dioptries ( $\delta$ ) ou  $\text{m}^{-1}$  avec  $f$  en  $\text{m}$

## 2) Construction de l'image d'un objet

L'image d'un objet est construite en traçant les trajets des rayons particuliers issus des points de cet objet :

- un rayon passant par le centre optique n'est pas dévié
- un rayon parallèle à l'axe optique émerge en passant par le foyer image
- un rayon passant par le foyer objet émerge parallèle à l'axe optique



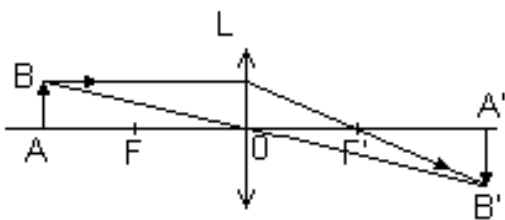
L'image obtenue possède 3 caractéristiques principales :

- réelle / virtuelle
- droite / renversée
- agrandie / diminuée

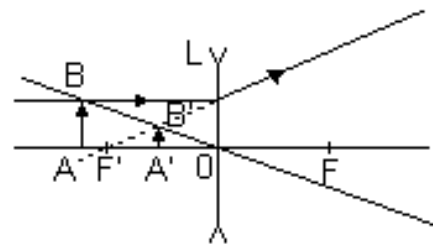
Si les rayons lumineux se coupent réellement, l'image est réelle, elle peut être vue sur un écran.

Si les rayons se coupent dans leur prolongement, l'image est virtuelle, elle ne peut être observée qu'en regardant au travers de la lentille.

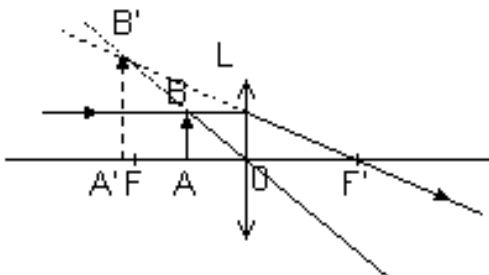
Différents cas sont possibles : on pose  $p = \overline{AO}$  et  $p' = \overline{OA'}$



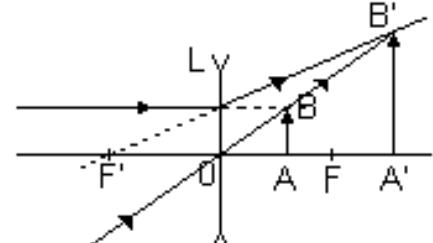
AB objet réel  
A'B' image réelle  $p < 0; p' > 0$



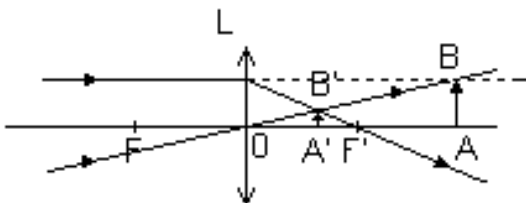
AB objet réel  
A'B' image virtuelle  $p$  et  $p' < 0$



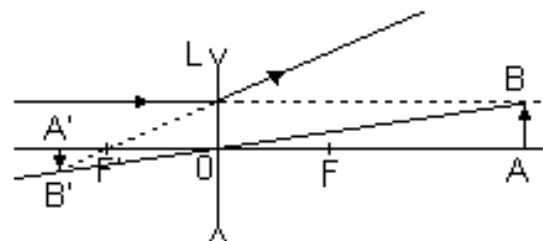
AB objet réel  
A'B' image virtuelle  $p$  et  $p' < 0$



AB objet virtuel  
A'B' image réelle  $p$  et  $p' > 0$



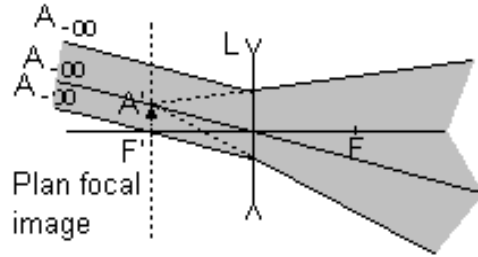
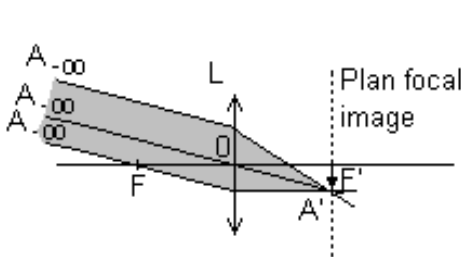
AB objet virtuel  
A'B' image réelle  $p$  et  $p' > 0$



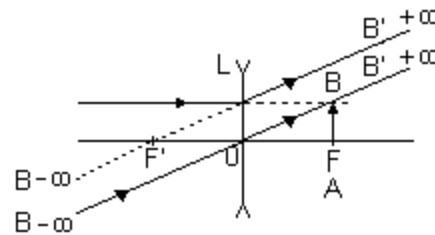
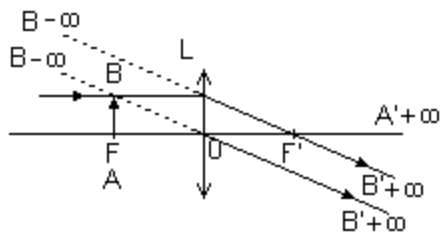
AB objet virtuel  
A'B' image virtuelle  $p > 0; p' < 0$

Deux cas sont particuliers :

- L'image d'un objet situé à l'infini se situe dans le plan focal image (les rayons qui arrivent de l'infini sont parallèles).



- L'image d'un objet situé dans le plan focal objet se forme à l'infini.



→ Entraînez-vous à construire des images sur du papier millimétré.

### 3) Formules de conjugaison

On considère un objet AB et son image A'B'

Relation de Descartes	$C = \frac{1}{OF'} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA}$	grandissement $\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB}$
Relation de Newton	$\overline{FA} \times \overline{F'A'} = f \cdot f' = -f'^2$	grandissement $\gamma = \frac{-\overline{F'A'}}{f'} = -\frac{f}{\overline{FA}}$

### 4) Association de lentilles

Soient deux lentilles minces  $L_1$  et  $L_2$  de distances focales  $f_1$  et  $f_2$  placées dans l'air de façon à ce que leurs axes optiques coïncident.

On pose :  $e = \overline{O_1O_2}$  et  $\Delta = \overline{F'_1F_2}$  (intervalle optique)

Le système optique ainsi obtenu possède une distance focale  $f'$  définie par  $f' = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$

Le foyer objet F de ce système optique est tel que tout rayon incident arrivant sur la lentille  $L_1$  en passant par F émerge de la lentille  $L_2$  parallèlement à l'axe optique.

De même le foyer image  $F'$  est tel que tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de la lentille  $L_2$  en passant par  $F'$ .

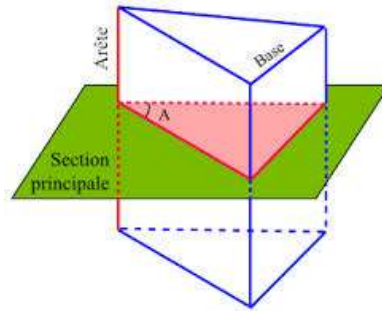
On peut montrer que :  $\overline{F_1 F} = -\frac{f_1^2}{\Delta}$  et  $\overline{F'_2 F'} = \frac{f_2^2}{\Delta}$

Relation de Gullstrand :  $C_{eq} = C_1 + C_2 - \frac{e}{n} C_1 C_2$  ( $n$  étant l'indice du milieu séparant les deux systèmes optiques)

Remarque : si les deux lentilles sont accolées,  $e$  est nul et on a :  $C_{eq} = C_1 + C_2$

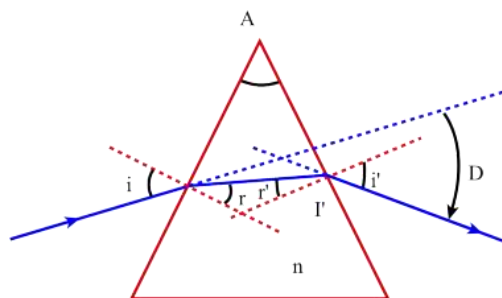
## C. Le prisme

On appelle prisme, en optique, un milieu transparent limité par deux faces planes non parallèles. Ces deux faces, appelées faces utiles du prisme, forment un dièdre d'angle  $A$  ;  $A$  est l'angle du prisme ; l'arête du dièdre est l'arête du prisme. La base du prisme est la face opposée à l'arête. Un plan de coupe perpendiculaire à l'arête du prisme est appelé plan de section principale. Par la suite, nous limiterons notre étude aux rayons situés dans un plan de section principale.



### 1) Déviation de la lumière par un prisme

La figure ci-dessous représente le cheminement d'un rayon lumineux monochromatique incident dans le plan de section principal.



D'après la loi de Descartes le rayon lumineux transmis par le prisme appartient aussi à ce plan.

Si  $n$  est l'indice du prisme (avec  $n > 1$  dans le domaine visible), les lois de Snell-Descartes imposent les deux relations suivantes :

$$\sin i = n \sin r \quad \text{et} \quad \sin i' = n \sin r'$$



D'autre part, dans le triangle IKP nous voyons que  $\pi - A + r + r' = \pi$  soit  **$A = r + r'$**

Tandis que dans le triangle ILI' nous avons  $\pi - D + (i - r) + (i' - r') = \pi$

où D est la déviation du prisme, définie comme étant l'angle entre le rayon incident et le rayon transmis.

Nous avons donc :  **$D = i + i' - A$**

Remarques :

- La déviation D est une fonction des trois variables i, n et A
- $i > r$  et  $i' > r'$  donc  $(i + i') > (r + r')$  donc  $D > 0$
- 

A et i étant constants, si n croît alors r diminue car  $\sin i = n \sin r$ , r' augmente car  $A = r + r'$  et i' augmente car  $\sin i' = n \sin r'$  donc D augmente. La déviation croît avec l'indice du prisme.

## 2) Condition d'émergence

Pour qu'un rayon émerge du prisme il faut que :  $A \leq 2 i_{lim}$

et que  $i_0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}$  avec  $i_0 = \arcsin[n \sin(A - i_{lim})]$

Dans le cas contraire, il y a réflexion totale sur la face de sortie du prisme.

En TP on utilise des prismes dont l'angle vaut typiquement  $60^\circ$ , ce qui correspond pour un indice du verre  $n = 1.5$  à  $i_0 = 28^\circ$

## 3) Dispersion de la lumière

L'indice de réfraction n dépend de la longueur d'onde de la lumière visible, il augmente lorsque la longueur d'onde diminue c'est le phénomène de dispersion. Le prisme disperse (décompose) la lumière blanche en ses différentes radiations monochromatiques pour constituer le spectre lumineux.

D'autre part la déviation croît avec l'indice de réfraction donc elle augmente quand la longueur d'onde diminue : les radiations de courte longueur d'onde sont les plus déviées (le bleu est plus dévié que le rouge).

