

Arc en ciel

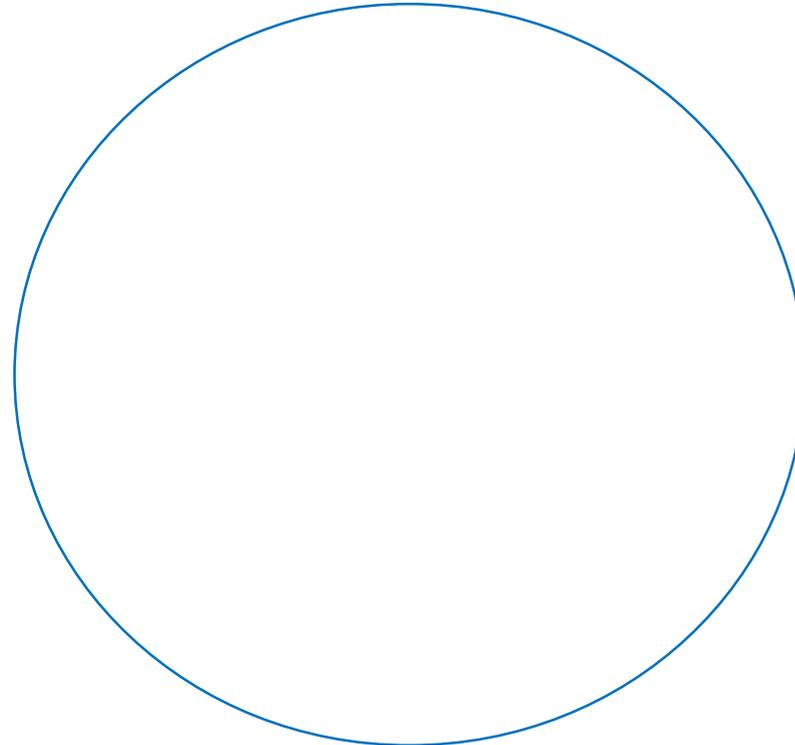
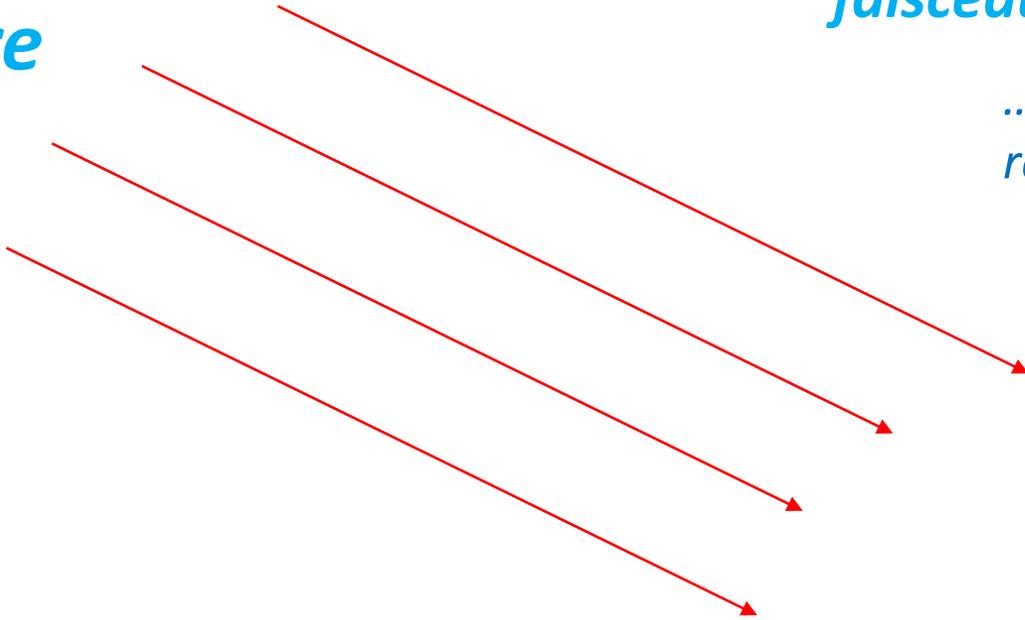
*premières discussions (conditions d'observation, position observateur/pluie/Soleil),
visionnages de films ou de photographies...*

**Lumière
solaire**

**Considérée dans un premier temps comme un
faisceau de rayons parallèles...**

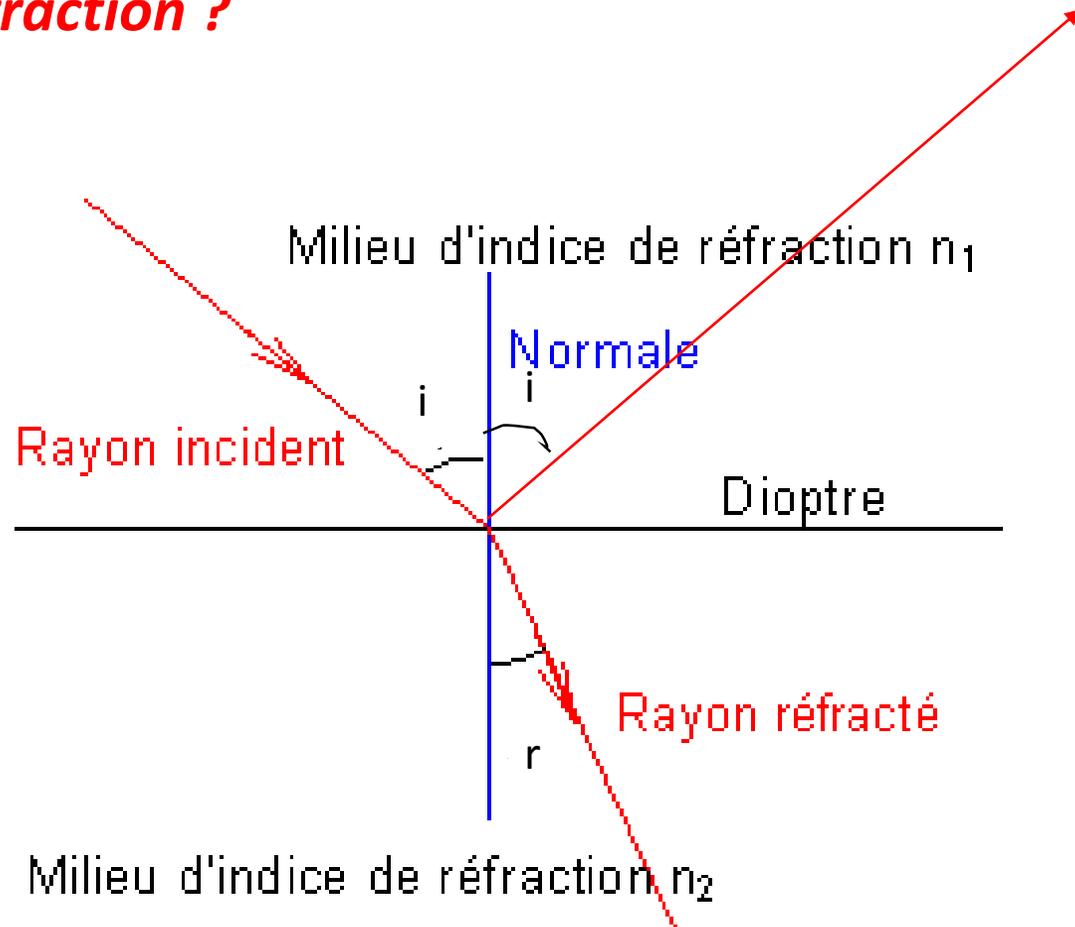
*... Parce qu'arrivant de très loin sur une petite (par
rapport au Soleil) portion de surface terrestre...*

**... La lumière atteint
une goutte de pluie !**



Rappels rapides :

Réfraction ?



$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

Réflexion ?

Angles (d'incidence et de réflexion) égaux

Dans le cadre de notre étude, les deux milieux transparents sont :

L'air ($n_{\text{air}} = 1,00$)

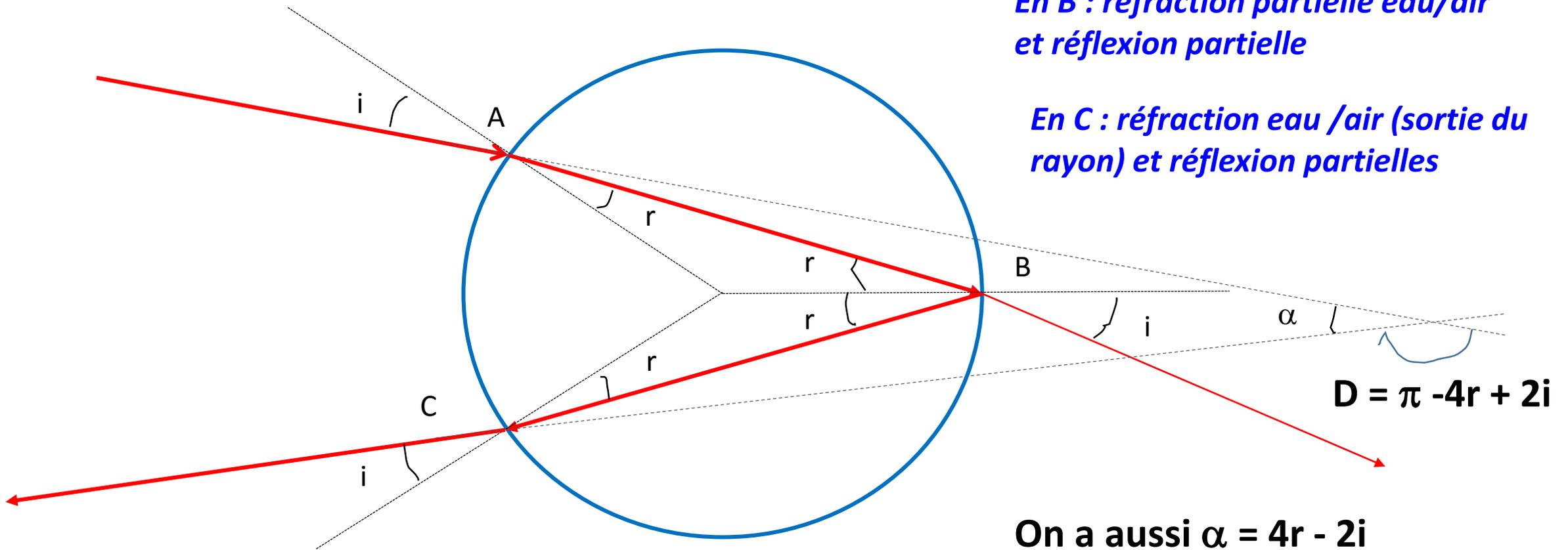
L'eau ($n_{\text{eau}} = 1,33$)

$$\sin i = 1,333 \times \sin r$$

En A : réfraction air / eau

En B : réfraction partielle eau/air
et réflexion partielle

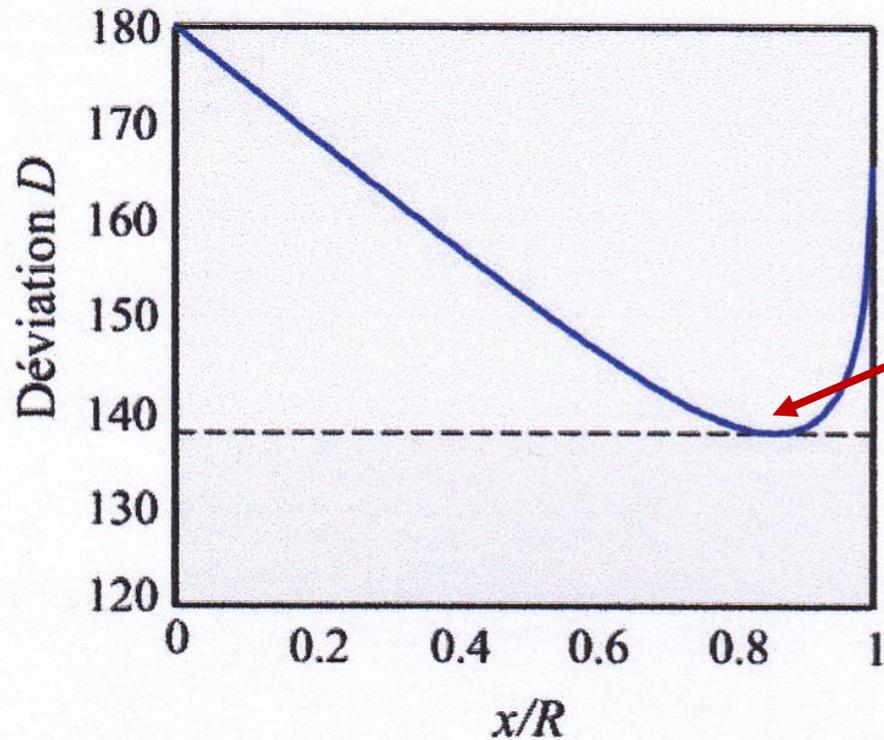
En C : réfraction eau / air (sortie du
rayon) et réflexions partielles



L'angle de déviation globale D dépend toutefois de i ...

I, r et D dépendent du paramètre d'impact (de la lumière sur la goutte) x

(distance perpendiculaire entre la trajectoire d'un rayon et le centre de la goutte)

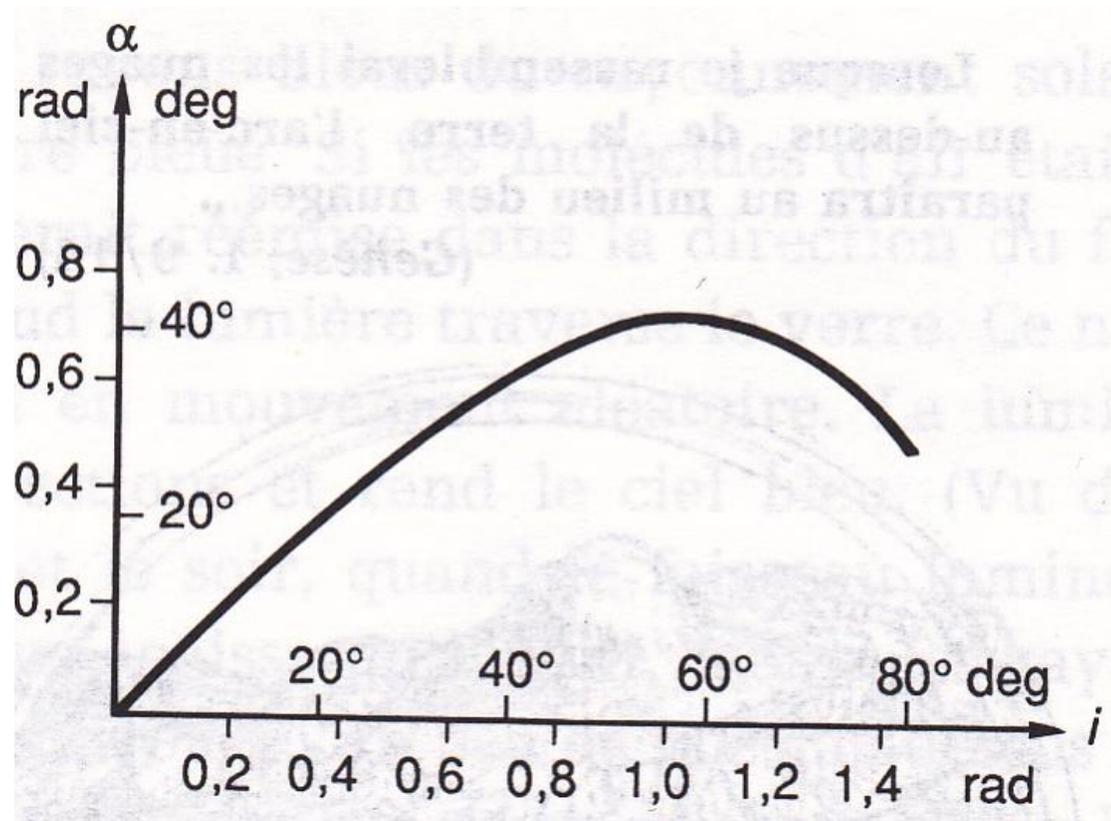


Il y a un minimum, assez aplati, donc :

- Il y a accumulation de rayons lumineux à l'angle de déviation D_{min} , soit beaucoup plus de lumière émergente dans cette direction.

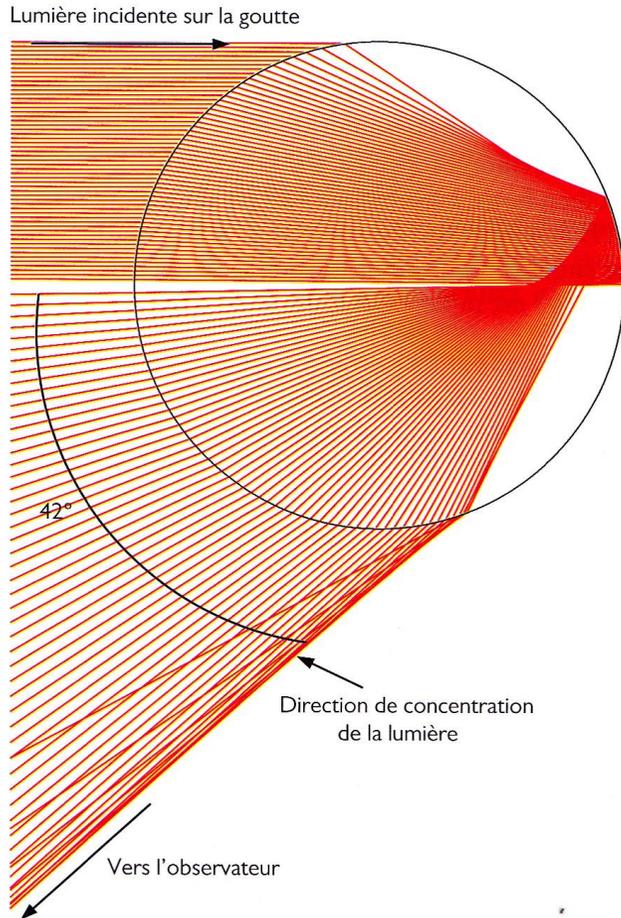
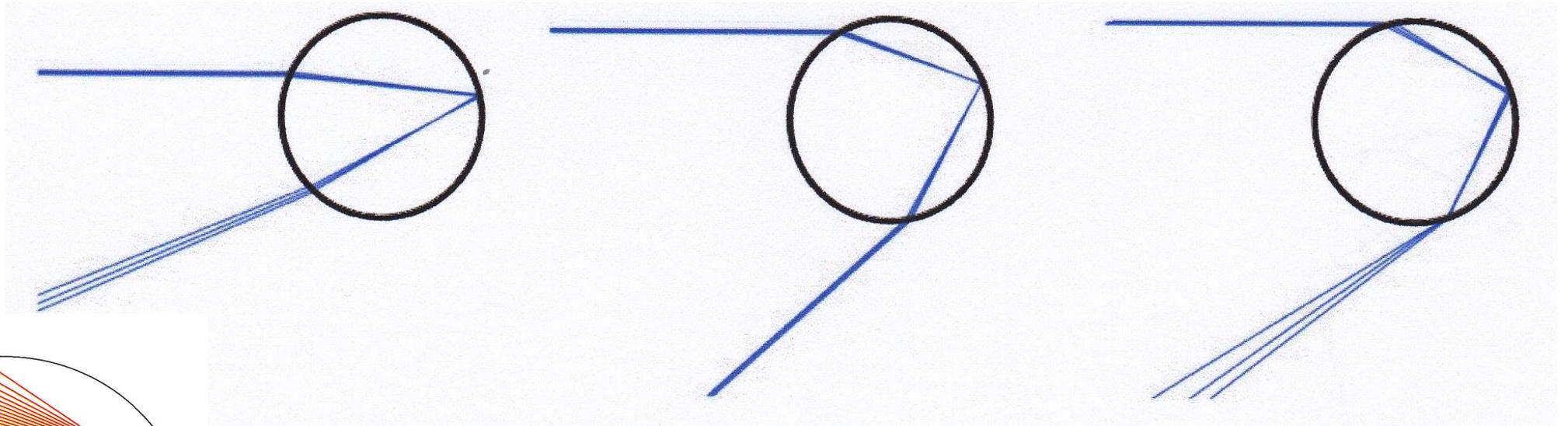
- Parce que, le minimum étant « aplati », il y a beaucoup de valeurs de paramètres d'impact qui correspondent à D_{min} .

Le même résultat peut être présenté sous la forme d'un maximum de la valeur de α en fonction de l'angle i :



De plus :

(direction de la lumière incidente présentée ici horizontalement...)



C'est aussi lorsque $D = D_{min}$ qu'un pinceau de lumière (ensemble de rayons parallèles) ne se disperse pas.

(voir expérience avec un simple prisme...)

Le résultat :
(nous passons les calculs)

$$D_{\min} = 138^{\circ}$$

Alors, deux questions nous viennent immédiatement :

1) Pourquoi observe-t-on un étalement des couleurs ?

2) Pourquoi voit-on un arc (de cercle) en ciel ??

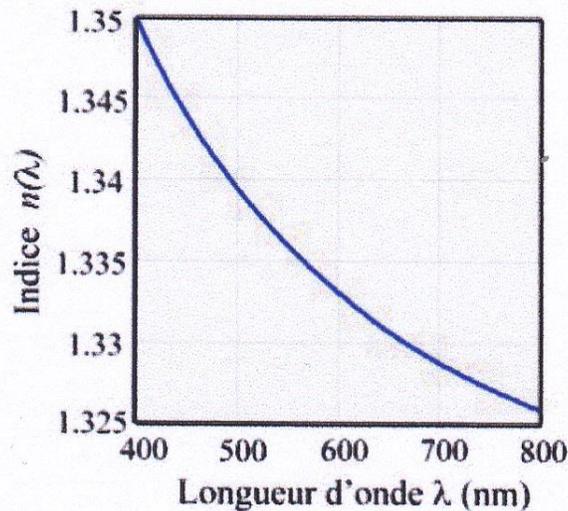
1) Pourquoi observe-t-on un étalement des couleurs ?

- L'onde lumineuse, polychromatique, est dispersée.

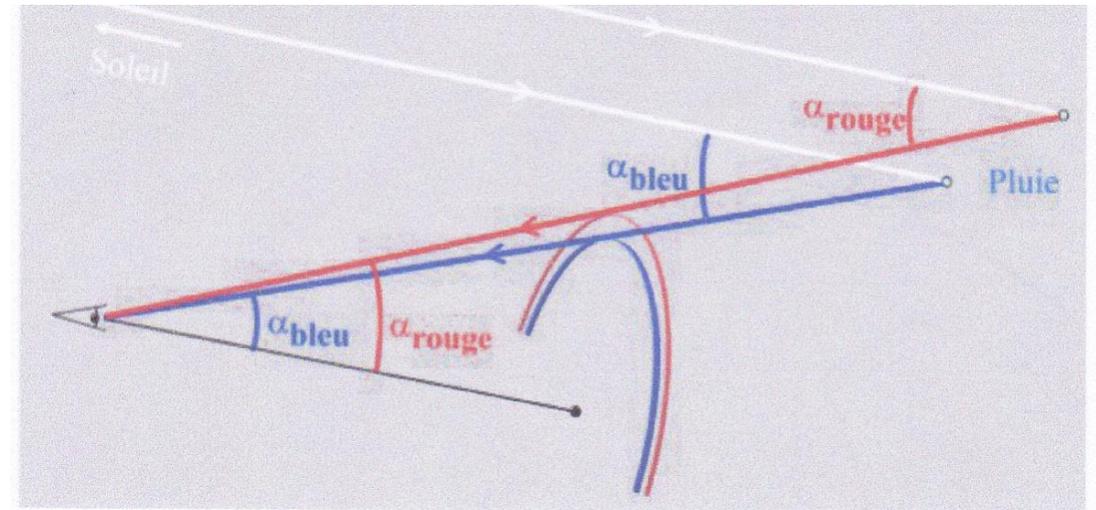
- La célérité des ondes lumineuses dans un milieu matériel (ici, l'eau) dépend de leur fréquence.

- L'indice de réfraction du milieu n'est pas le même selon la fréquence de l'onde.

$$n = \frac{c}{v}$$



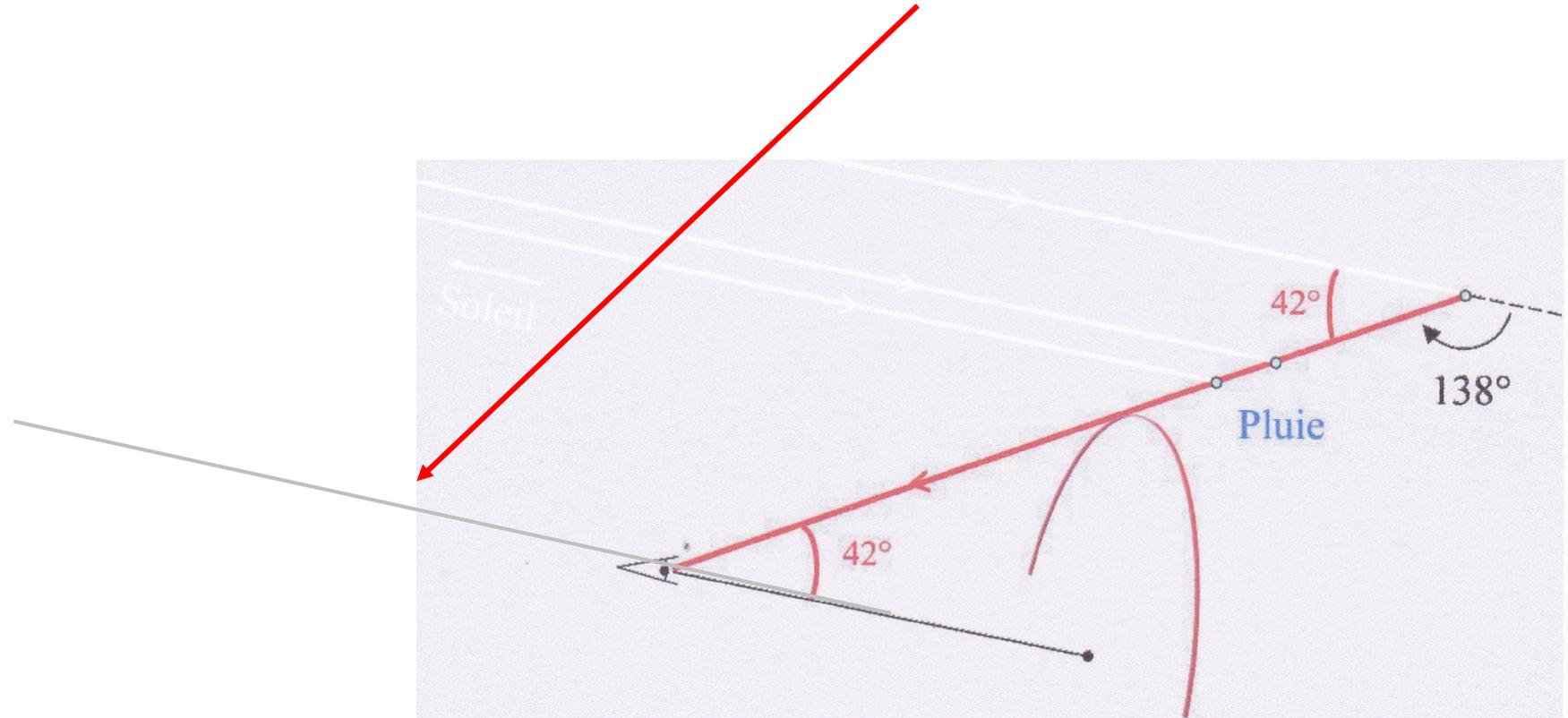
Et D_{\min} varie de 137° pour le rouge à $138,5^\circ$ pour le bleu



(Rappel : $\alpha = \pi - D_{\min}$)

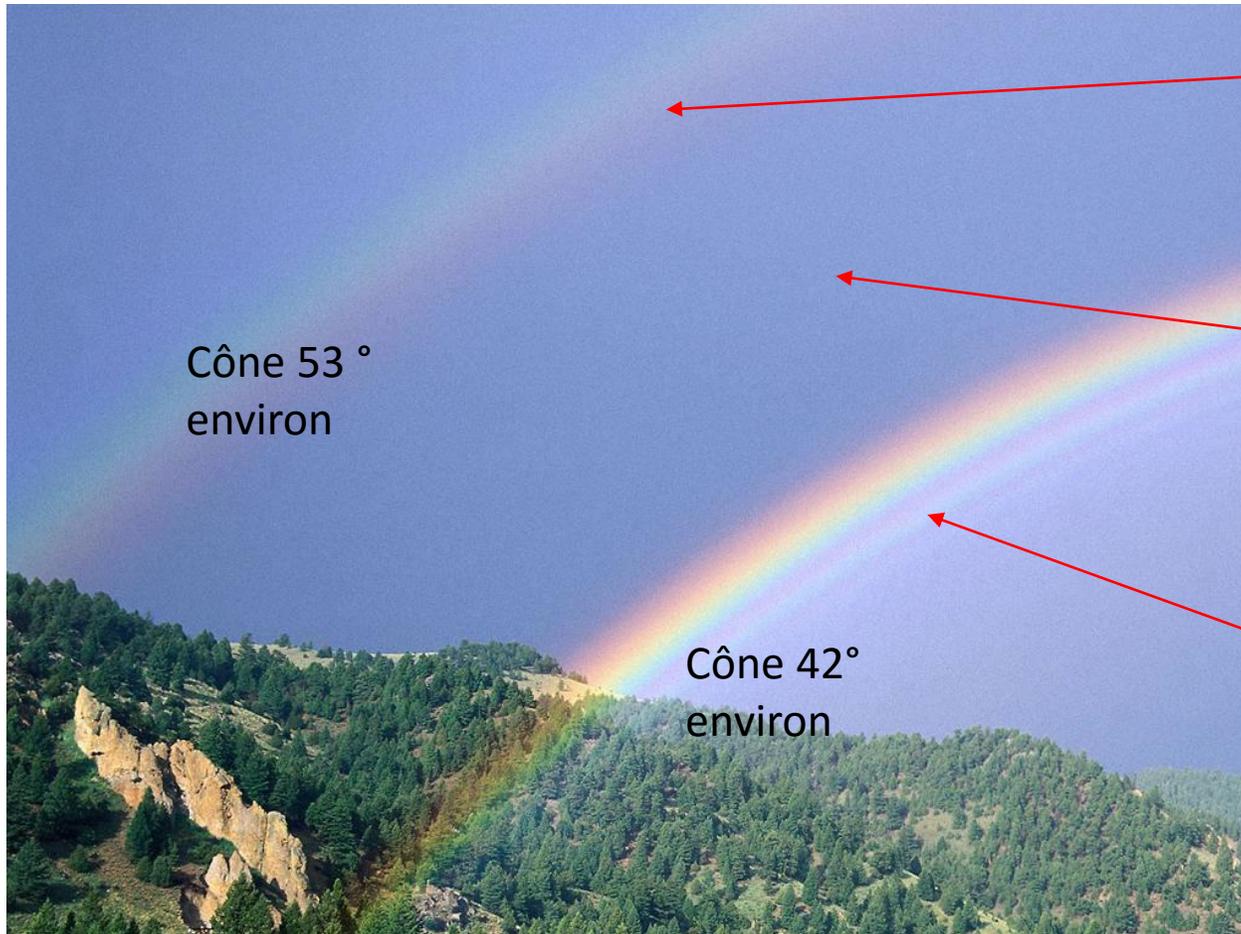
2) Pourquoi voit-on un arc (de cercle) en ciel ??

Parce que la situation est invariante autour de l'axe Soleil-œil !



Pourquoi l'arc en ciel secondaire est-il « à l'envers » ?

(rouge en bas, bleu en haut)



Pourquoi est-il moins lumineux ?

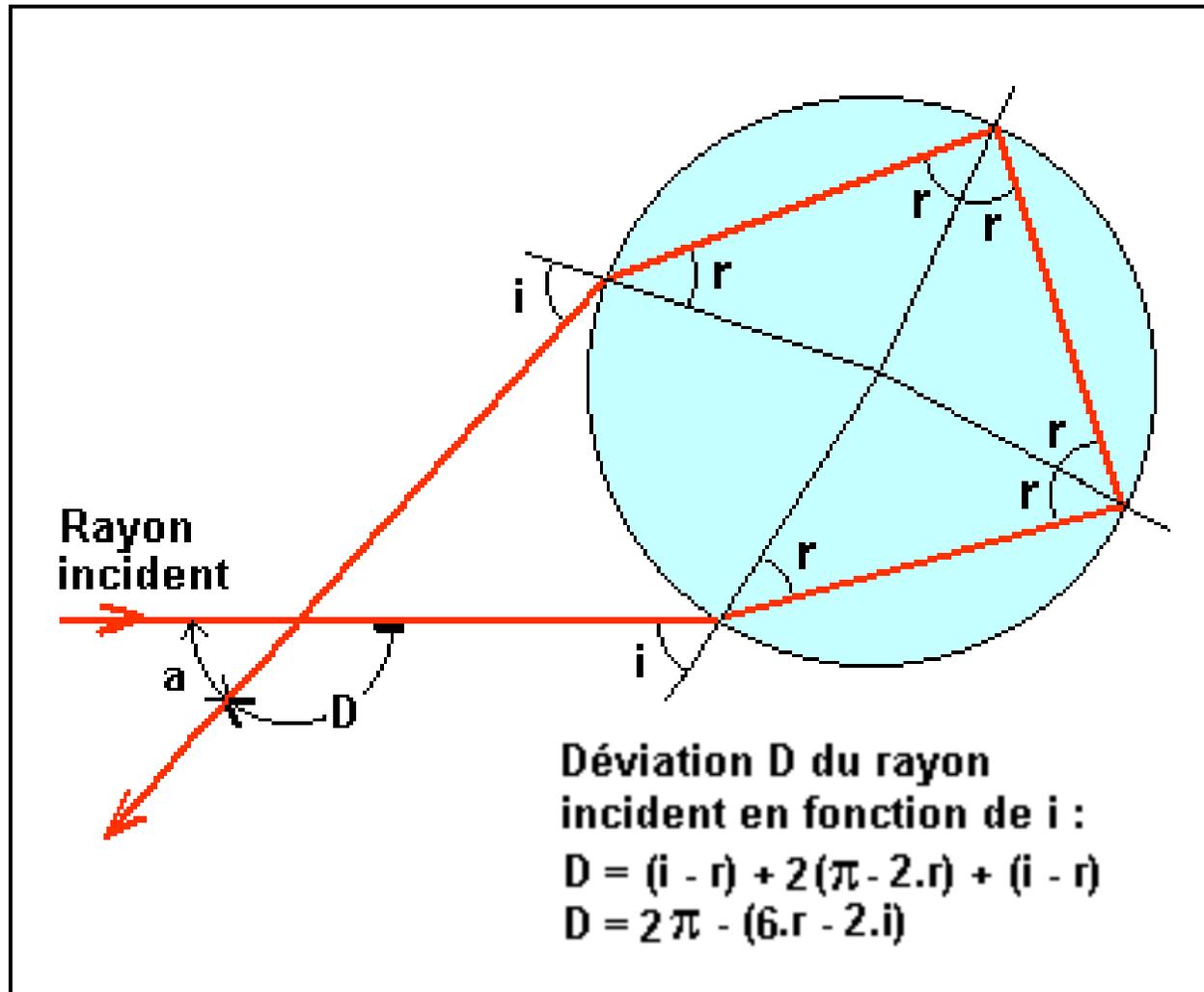
Là, c'est plus sombre,
non ?

Et ça ? On dirait des
franges d'interférences...

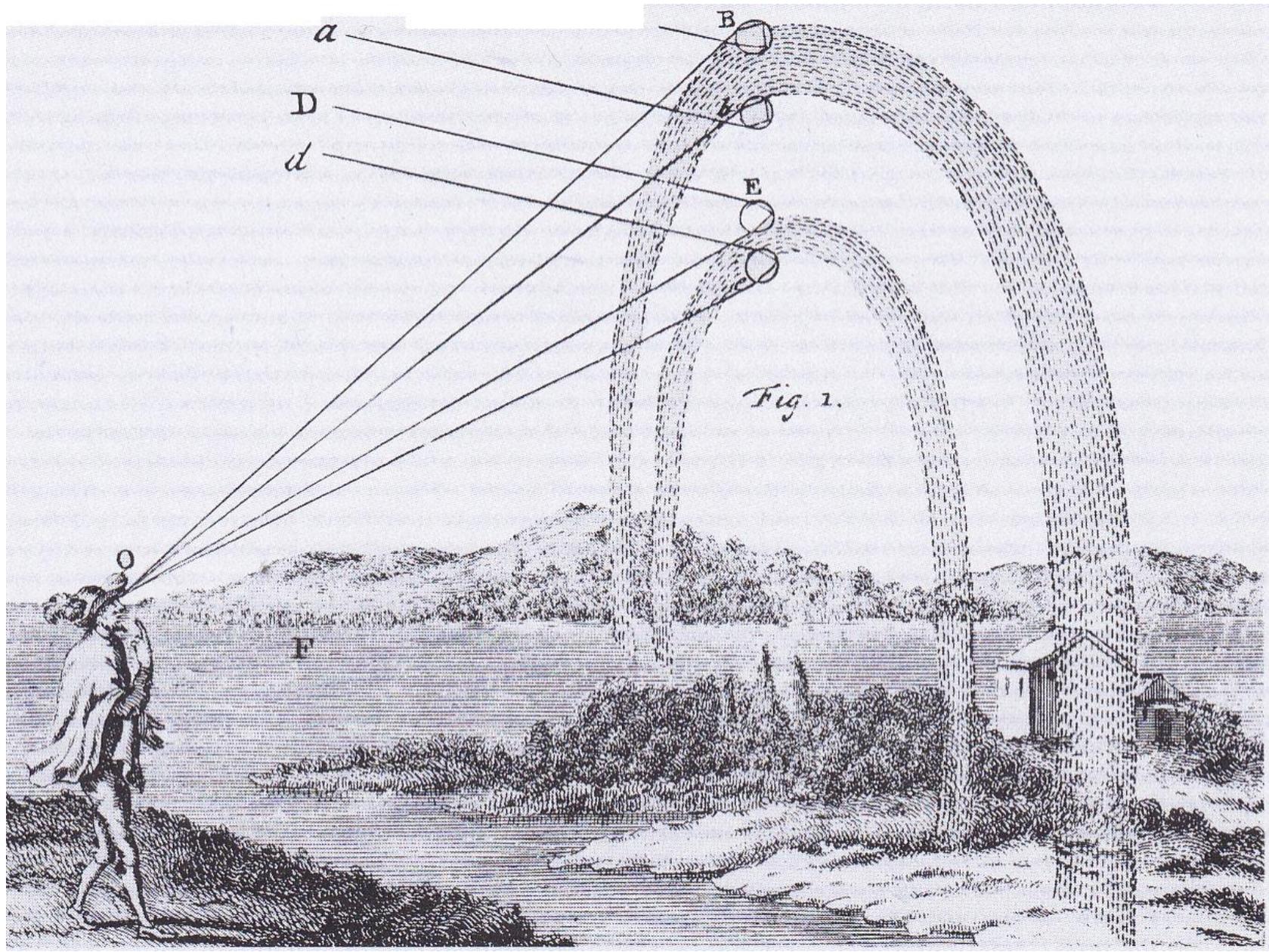
L'arc en ciel tertiaire, où se forme-t-il ?

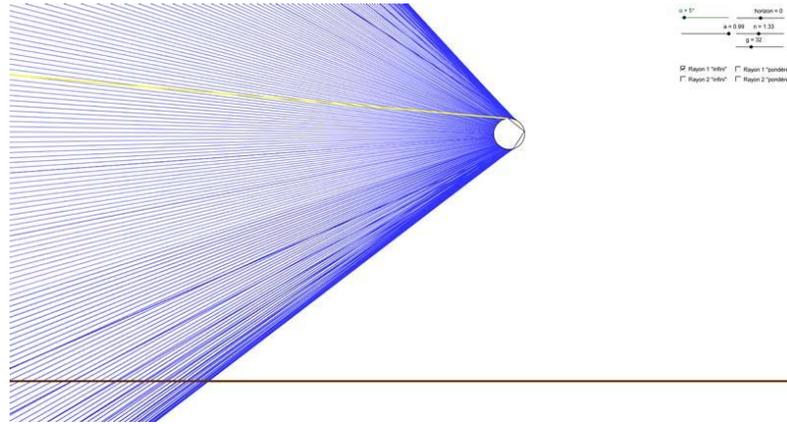
Peut-on voir l'arc en ciel à n'importe
quelle heure de la journée ?

Aide pour expliquer le retournement de l'arc en ciel secondaire :

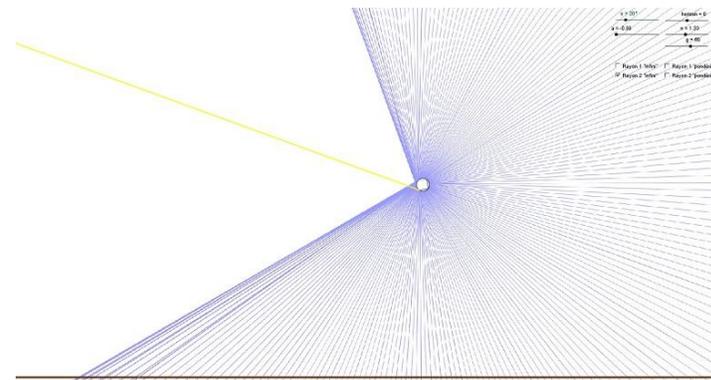


Explication ???



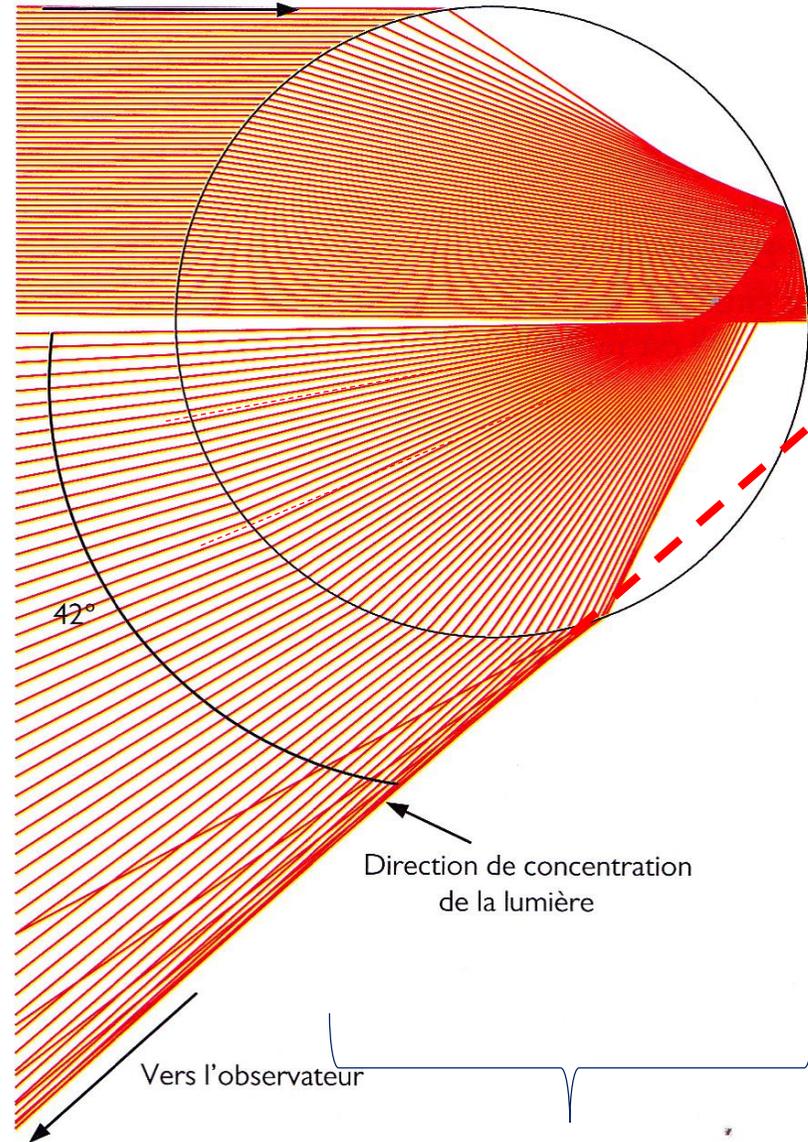


Primaire



secondaire

Lumière incidente sur la goutte



Bande rouge de l'arc
en ciel primaire vue ici

*Pour l'observateur, ces
rayons semblent
provenir d'en dessous
de l'arc primaire*

42°

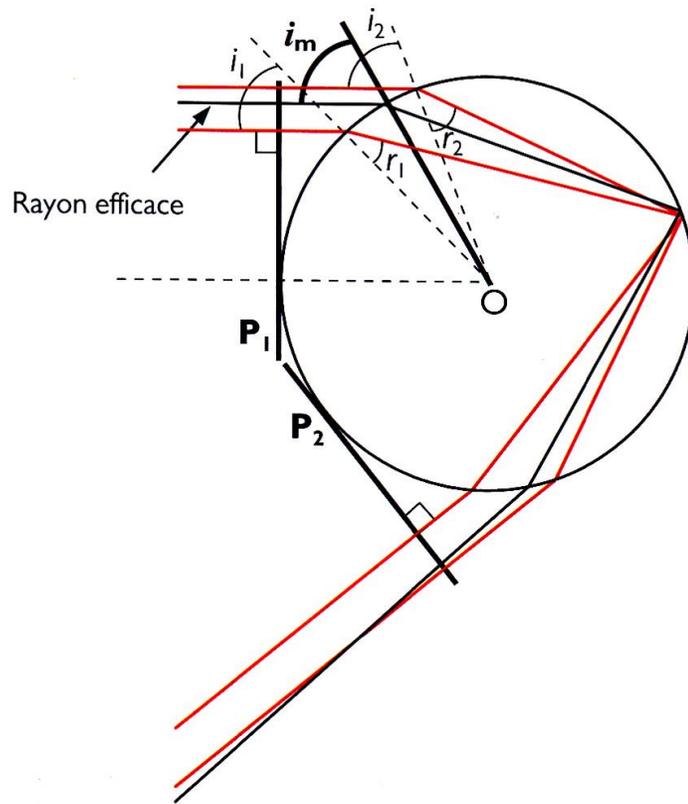
Direction de concentration
de la lumière

Vers l'observateur

*« rien » ne semble venir
d'au dessus...*

La bande sombre ?

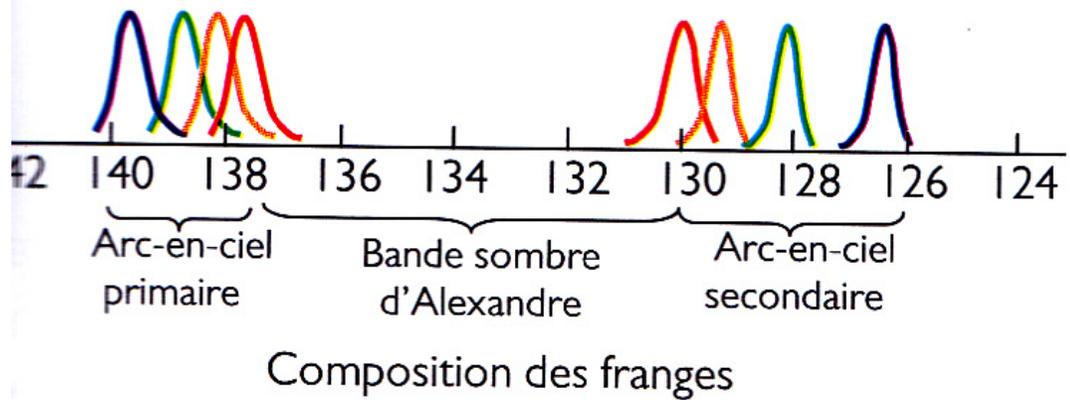
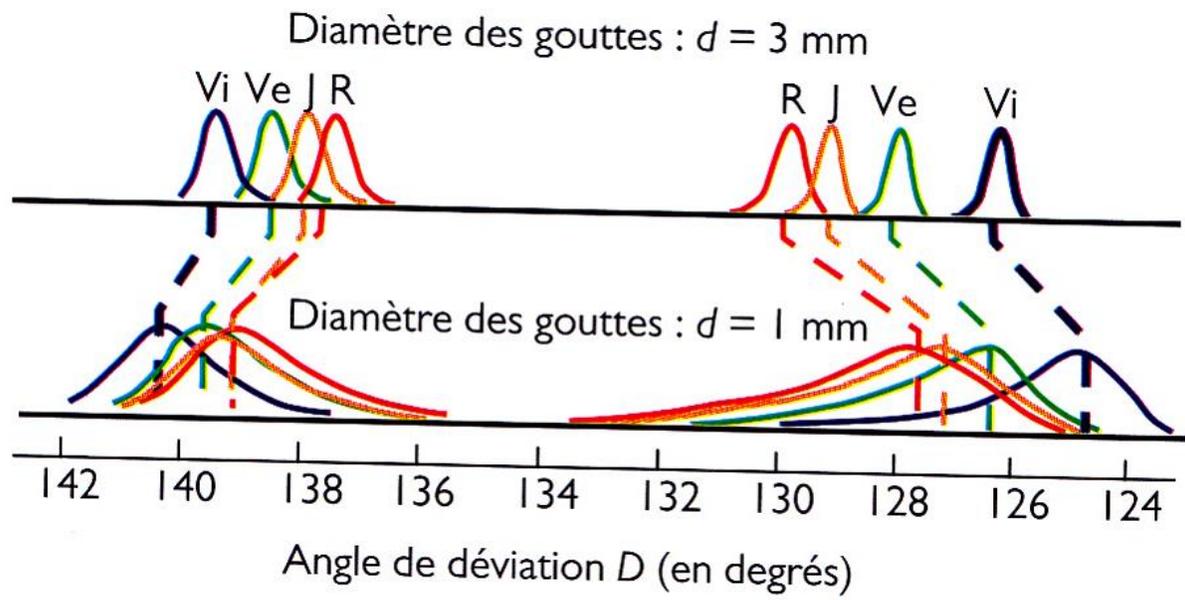
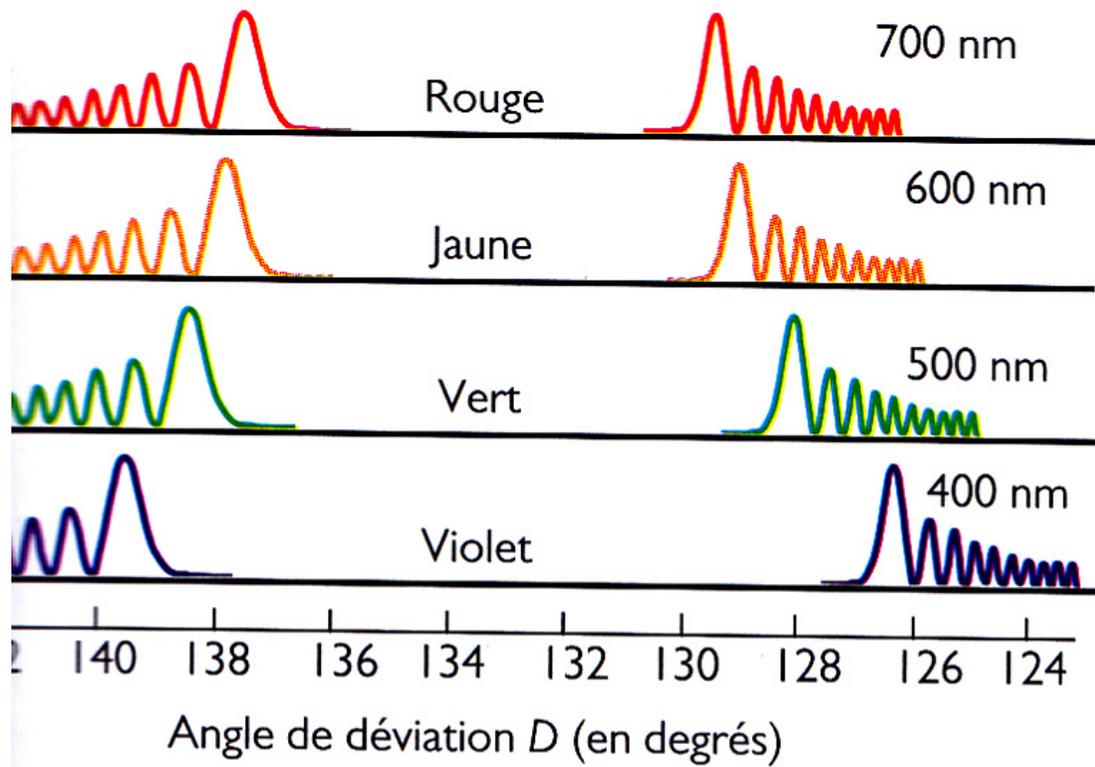
Les interférences à l'intérieur de l'arc primaire : Les arcs surnuméraires



Interférences possibles, « à l'infini » (dans l'œil de l'observateur) entre des rayons émergeant de la goutte parallèles entre eux...



Cela suppose donc peut-être une petite discussion sur la dimension et la forme des gouttes d'eau responsables de l'observation de l'arc en ciel...



La zone sombre entre arcs primaire et secondaire :

La bande sombre d'Alexandre

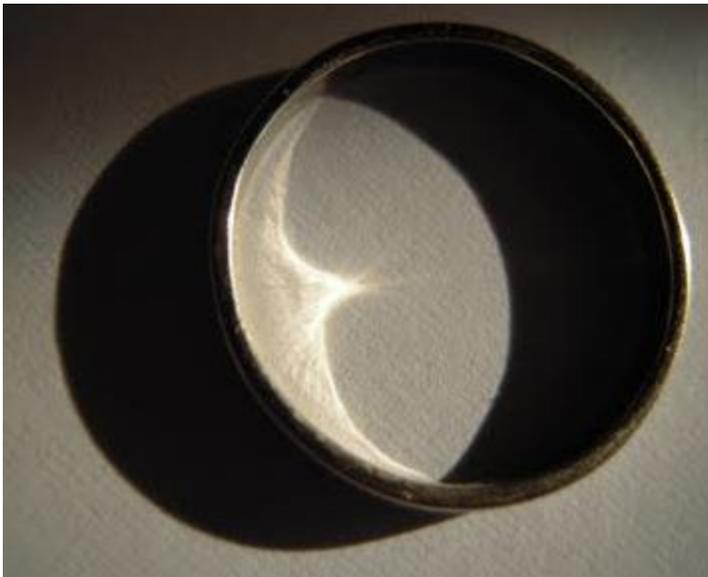
« Dans cette bande absence de rayons réfractés »

- « ***Dans cette zone, il n'y a que des rayons réfléchis au premier contact*** » (discussion...)

(cette précision n'explique pas vraiment la baisse d'intensité lumineuse)

Suppléments :

- 1835 Potter (théorie des courbes caustiques pour justifier la brusque chute de luminosité)



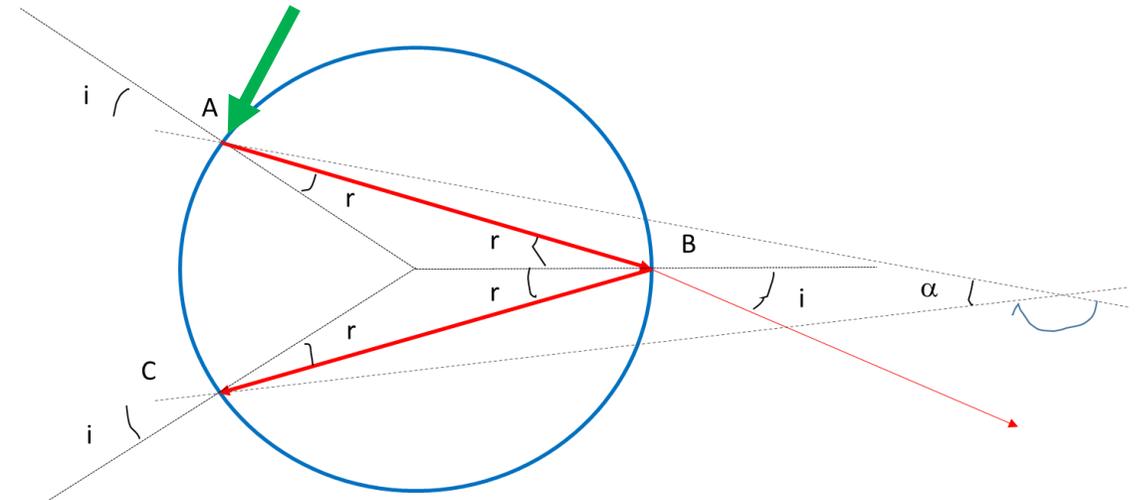
- 1838, Airy (se basant sur les théories de Huygens et de Fresnel tente de déterminer cette brusque variation)
- Maxwell, à partir de la théorie électromagnétique de la lumière donne une formulation mathématique précise : il calcule l'interaction d'une onde plane avec une sphère homogène.
- Lord Rayleigh à la fin du XIX siècle propose une solution par une série infinie de termes appelés ondes partielles.
- ...

Ce qui n'a pas été pris en compte :

Le fait que le faisceau de lumière solaire arrivant sur la goutte n'est pas rigoureusement constitué de rayons tous parallèles entre eux...

L'ensemble des rayons solaires qui pénètrent dans la goutte en A constituent un cône d'ouverture angulaire $0,5^\circ$...

Qui s'ajoutent aux $1,4^\circ$ de dispersion entre le rouge et le violet au minimum de déviation pour l'arc en ciel primaire...



Autres remarques :

- Tous les calculs proposés ou évoqués ne font intervenir que des angles...

Rien ici ne permet donc de déterminer à quelle distance de l'observateur se trouve l'arc en ciel.

- Pourquoi l'arc en ciel n'est-il plus visible si l'inclinaison des rayons solaires dépasse 41° ?

A quelles heures de la journée a-t-on le plus de chances de voir un arc en ciel ?

D'où peut-on voir un arc en ciel même si les rayons solaires arrivent avec une inclinaison supérieure à 41° ?

D'où peut-on voir un arc en ciel complet (le cercle entier) ?

Comment connaître rapidement la direction anti-solaire lorsque l'on regarde un arc en ciel ?

Bibliographie :

- « Optique » Sylvain Houard
- « Lumière, cours 4 » université Paris 7 2011-2012
- « La physique au quotidien » Itsvan Berkès