LYCÉE D'EXCELLENCE
MOHAMMED VI
LEM6 - CASABLANCA

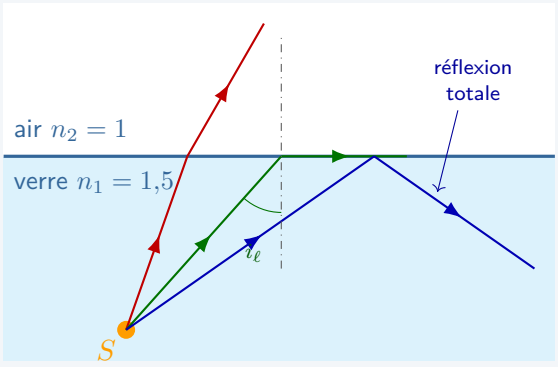
Classes préparatoires aux grandes écoles
MPSI — Physique-chimie
Année 2026-2027

FICHE RÉSUMÉ

01 OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Approximation de l'optique géométrique

Sources lumineuses et indice — Rayon lumineux — Lois de Snell-Descartes — Réflexion totale — Fibre optique — Prisme



> *La nature agit toujours par les voies les plus courtes.*
>
> — Pierre de Fermat, lettre à Cureau de la Chambre (1662)

physionova
physionova.academy

Pr. CHARIFI
professeurcharifi@gmail.com

Simulation associée sur **PhysioNova**
« Réfraction et réflexion totale »

O1 — Fiche résumé

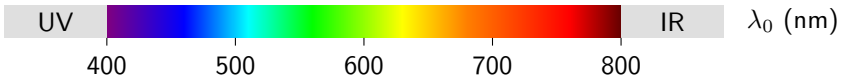
L'essentiel en trois phrases

Lorsque les obstacles et ouvertures sont **grands devant la longueur d'onde**, on néglige la diffraction et la lumière se propage le long de **rayons lumineux**, rectilignes dans un milieu homogène. À la traversée d'un dioptre, les rayons obéissent aux **lois de Snell-Descartes** : $r = i_1$ pour la réflexion, $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ pour la réfraction, avec possibilité de **réflexion totale** vers un milieu moins réfringent. Ces lois suffisent à comprendre la fibre optique (guidage par réflexion totale) et le prisme (déviation, dispersion, mesure d'indice).

I La lumière : sources, spectre et indice

Définition — Onde lumineuse, spectre visible R

- La lumière est une onde électromagnétique (aspect ondulatoire) transportée par des photons (aspect corpusculaire, Q1). Dans le vide elle se propage à $c \simeq 3{,}00 \times 10^8\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.
- Une onde **monochromatique** est caractérisée par sa fréquence ν, **indépendante du milieu**, ou par sa longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = c/\nu$.
- Domaine **visible** : $400\,\mathrm{nm} \lesssim \lambda_0 \lesssim 800\,\mathrm{nm}$, du violet au rouge ; en deçà l'ultraviolet, au-delà l'infrarouge.



Source	Spectre	Exemples, caractéristiques
Incandescence	continu (lumière blanche)	Soleil, filament de tungstène ($\simeq 2800\,\mathrm{K}$) ; déborde dans l'UV et l'IR
Lampe spectrale	discret : spectre de **raies**	vapeur de Hg, Na, H excitée par décharge ; doublet jaune du sodium $589{,}0$ et $589{,}6\,\mathrm{nm}$
Laser	quasi monochromatique	très directif et intense ; He-Ne : $\lambda_0 = 632{,}8\,\mathrm{nm}$ (rouge)
DEL	bande de largeur $\sim 30\,\mathrm{nm}$	éclairage, signalisation

Modèle de la source ponctuelle monochromatique : source de dimensions négligeables émettant une seule longueur d'onde ; on s'en approche avec un laser, ou une lampe spectrale munie d'un filtre et d'un petit diaphragme.

Milieu t.l.h.i. et indice optique R

Un milieu est **transparent** (pas d'absorption), **linéaire**, **homogène** (mêmes propriétés en tout point) et **isotrope** (mêmes propriétés dans toutes les directions). La lumière s'y propage à la vitesse $v < c$:

$$n = \frac{c}{v} \geqslant 1 \qquad \lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{\lambda_0}{n} \qquad n(\lambda_0) = A + \frac{B}{\lambda_0^2} \ \text{(loi de Cauchy)}$$

Un milieu dont l'indice dépend de λ_0 est **dispersif** ; pour les verres, $n_{\text{violet}} > n_{\text{rouge}}$.

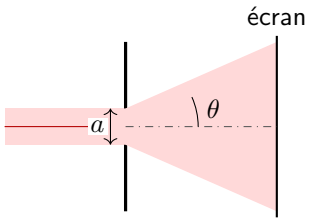
II L'approximation de l'optique géométrique

Diffraction R

Une onde de longueur d'onde λ traversant une ouverture de taille a s'étale dans un cône de demi-angle

$$\theta \sim \frac{\lambda}{a}$$

Si $a \gg \lambda$, $\theta \to 0$: la diffraction est négligeable.



Définition — Rayon lumineux, approximation de l'optique géométrique R

Lorsque les dimensions des obstacles et ouvertures rencontrés sont très grandes devant λ, la lumière se propage le long de courbes appelées **rayons lumineux**, orthogonales aux surfaces d'onde et portant l'énergie lumineuse. Un rayon isolé est un **modèle** : on ne peut pas l'isoler en diaphragmant, à cause de la diffraction ; on observe des **faisceaux**.

Les trois principes R

1. **Propagation rectiligne** dans un milieu homogène et isotrope.
2. **Indépendance des rayons** : les rayons n'interagissent pas entre eux.
3. **Retour inverse** : le trajet suivi par la lumière ne dépend pas du sens de parcours.

Remarque

Chemin optique et principe de Fermat. $(AB) = \int_A^B n\,\mathrm{d}\ell = c\,t_{AB}$; la lumière suit un trajet pour lequel (AB) est stationnaire (le plus souvent minimal). Les lois de Snell-Descartes s'en déduisent. Dans un milieu d'indice variable, les rayons se courbent vers les indices croissants : c'est l'origine des **mirages**.

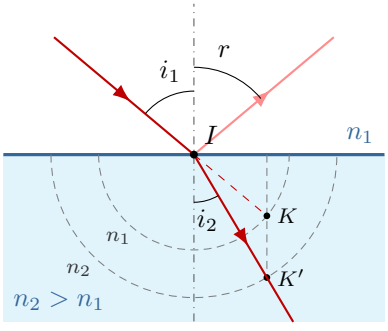
III Lois de Snell-Descartes

Lois de Snell-Descartes R

Au point d'incidence I d'un dioptre séparant les milieux d'indices n_1 et n_2, les angles étant comptés **par rapport à la normale** :

1. rayons réfléchi et réfracté sont dans le **plan d'incidence** (rayon incident + normale) ;
2. **réflexion** : $r = i_1$;
3. **réfraction** :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$



Construction du rayon réfracté (cercles de rayons proportionnels à n_1 et n_2) : le prolongement du rayon

incident coupe le cercle n_1 en K ; la parallèle à la normale passant par K coupe le cercle n_2 en K' ; le rayon réfracté est IK' (les projections sur le dioptre valent $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$).

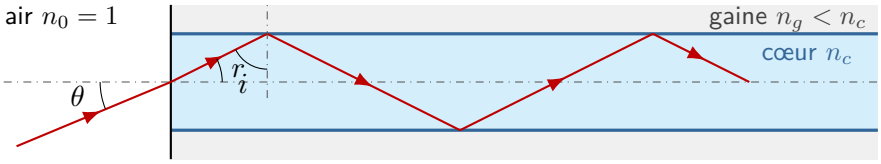
Réfraction limite et réflexion totale R D

- $n_2 > n_1$ (milieu 2 plus réfringent) : $i_2 < i_1$, le rayon se **rapproche** de la normale et existe toujours ; pour $i_1 \to \pi/2$, $i_2 \to i_\ell = \arcsin(n_1/n_2)$ (**réfraction limite**).
- $n_2 < n_1$ (milieu 2 moins réfringent) : $i_2 > i_1$, le rayon **s'écarte** de la normale ; il n'existe que si $i_1 \leqslant i_\ell$, avec

$$\sin i_\ell = \frac{n_2}{n_1} \qquad (\text{toujours } \arcsin(n_{\text{petit}}/n_{\text{grand}}))$$

Pour $i_1 > i_\ell$, toute la lumière est réfléchie : **réflexion totale** (sans perte).

IV La fibre optique à saut d'indice



Cône d'acceptance et dispersion intermodale R D

Entrée : $\sin\theta = n_c \sin r$; sur l'interface cœur-gaine, $i = \frac{\pi}{2} - r$; guidage si $\sin i = \cos r \geqslant n_g/n_c$. D'où l'**ouverture numérique** et, sur une longueur L, l'écart entre le rayon axial ($t_{\min} = n_c L/c$) et le rayon limite ($t_{\max} = n_c^2 L/(n_g c)$) :

$$\text{ON} = \sin\theta_a = \sqrt{n_c^2 - n_g^2} \qquad \Delta t = \frac{n_c L}{c}\,\frac{n_c - n_g}{n_g}$$

Une impulsion brève s'élargit de Δt : deux impulsions espacées de T ne restent distinctes que si $T > \Delta t$, d'où un débit limité à $\sim 1/\Delta t$. Compromis : indices proches $\Rightarrow$ bon débit mais faible ON.

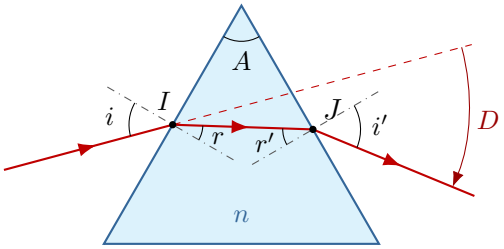
V Le prisme

Formules du prisme R D

Prisme d'angle au sommet A, d'indice n, dans l'air, rayon dans la section principale :

$$\sin i = n \sin r \qquad \sin i' = n \sin r'$$
$$A = r + r' \qquad D = i + i' - A$$

D : déviation, toujours **vers la base**. Émergence possible seulement si $r' \leqslant i_\ell = \arcsin(1/n)$, d'où $A \leqslant 2i_\ell$.



Minimum de déviation, petit angle, dispersion R

- Quand i varie, D passe par un minimum D_m unique. Par retour inverse, (i, i') et (i', i) donnent la même déviation : au minimum $i = i'$, $r = r' = A/2$, d'où la mesure de l'indice au goniomètre :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+D_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

- Prisme de petit angle sous incidence faible : $D \simeq (n-1)A$, indépendante de i.
- n dépendant de λ_0 (Cauchy), D aussi : le violet est plus dévié que le rouge, le prisme **décompose** la lumière blanche (spectroscope).

★ À retenir

Situation	Relation	Commentaire
Milieu t.l.h.i.	$n = c/v,\ \lambda = \lambda_0/n$	ν conservée d'un milieu à l'autre
Diffraction	$\theta \sim \lambda/a$	négligeable si $a \gg \lambda$
Dioptre	$r = i_1, \quad n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$	angles comptés depuis la normale
Réflexion totale	$i_1 > i_\ell = \arcsin(n_2/n_1)$	seulement si $n_1 > n_2$
Fibre	$\mathrm{ON} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2},\ \Delta t = \frac{n_c L}{c}\frac{n_c - n_g}{n_g}$	débit $\lesssim 1/\Delta t$
Prisme	$A = r + r',\ D = i + i' - A,\ n = \frac{\sin\frac{A+D_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$	minimum pour $i = i'$

Ordres de grandeur

Indices : air $1{,}000\,3 \simeq 1$; eau $1{,}33$; verres $1{,}5$ à $1{,}7$; diamant $2{,}42$. Angles limites vers l'air : eau $48{,}8°$; verre ($n = 1{,}5$) $41{,}8°$; diamant $24{,}4°$. Fibre $n_c = 1{,}50$, $n_g = 1{,}48$: $\mathrm{ON} = 0{,}24$ ($\theta_a \simeq 14°$), $\Delta t/L \simeq 68\,\mathrm{ns}\cdot\mathrm{km}^{-1}$. Prisme $A = 60°$, $n = 1{,}5$: $D_m \simeq 37{,}2°$.

VI Méthodes et pièges

☞ Méthode — Résoudre un problème de rayons M

1. Faire un **grand schéma** : dioptres, normales en pointillés, angles repérés par rapport aux normales.
2. Écrire Snell-Descartes à **chaque** dioptre traversé ; exploiter la géométrie (angles alternes-internes, somme des angles d'un triangle, $i = \frac{\pi}{2} - r$ dans une fibre, $A = r + r'$ dans un prisme).
3. Pour une condition de réflexion totale : écrire la loi de la réfraction avec $i = \pi/2$ dans le milieu le **moins** réfringent, puis traduire « $i \geqslant i_\ell$ » sur l'angle d'entrée.
4. Vérifier : tout sinus calculé doit être $\leqslant 1$; contrôler les cas limites ($n_1 = n_2$, incidence normale).

✗ Attention, erreurs fréquentes

- Les angles se mesurent par rapport à la **normale**, jamais par rapport au dioptre.
- La réflexion totale n'existe que vers un milieu **moins** réfringent ($n_2 < n_1$).

- La fréquence ν est conservée à la traversée d'un dioptre ; c'est la longueur d'onde qui change ($\lambda = \lambda_0/n$). La « couleur » est liée à ν (ou à λ_0).
- Dans la formule du minimum de déviation, l'angle au sommet A et D_m doivent être dans la même unité ; ne pas oublier les demi-angles.
- Un rayon isolé n'existe pas : réduire indéfiniment un diaphragme élargit le faisceau (diffraction).

Savoir-faire : je coche quand je sais

- ☐ Je connais les types de sources (spectre continu, de raies, laser) et le domaine visible.
- ☐ Je sais relier n, v, λ, λ_0 et énoncer la loi de Cauchy.
- ☐ Je sais énoncer les conditions de validité de l'optique géométrique et ses trois principes.
- ☐ J'énonce les lois de Snell-Descartes et je construis un rayon réfracté.
- ☐ J'établis la condition de réflexion totale et l'angle limite.
- ☐ J'établis l'ouverture numérique et la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.
- ☐ J'établis les formules du prisme et j'exploite le minimum de déviation pour mesurer un indice.