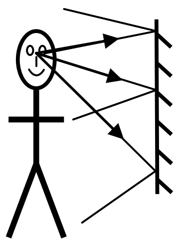
Supplément EXERCICES – OG1 / OG2 – Optique Géométrique – Feuille 1/5

OG1 – Lois de la Réflexion

Exercice 1 : Observer son propre reflet

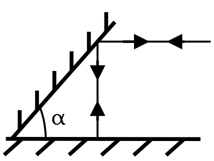
Un homme est debout devant un miroir plan rectangulaire, fixé sur un mur vertical. Son œil est à l = 1,70 m du sol. La base du miroir est à une hauteur h au dessus du sol.

1. Déterminer la hauteur h maximale pour que l'homme voie ses pieds.
2. Comment varie cette hauteur en fonction de la distance d de l'œil au miroir ?
3. Quelle est la hauteur minimale du miroir nécessaire pour que l'homme puisse se voir se voir entièrement, de la tête (1,80m) au pied ?



Exercice 2 : Réflexion sur deux miroirs

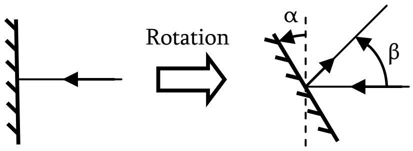
Un système optique est constitué de deux miroirs plans, formant entre eux un angle α, tel qu'un rayon lumineux incident parallèle à l'un des deux miroirs repart en sens inverse (même support) après avoir subi trois réflexions.



1. Que vaut l'angle d'incidence sur le 1er miroir ?
2. En déduire la valeur de l'angle α.

Exercice 3 : Rotation d'un miroir plan

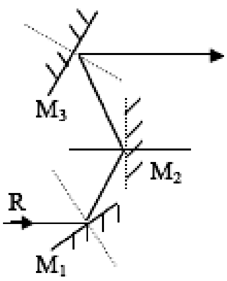
Un rayon lumineux issu d'une source fixe frappe un miroir plan sous incidence normale. On tourne le miroir d'un angle α et on observe une déviation angulaire β du rayon réfléchi.



1. Que vaut l'angle d'incidence i final ?
2. En déduire β en fonction de α.

Exercice 4 : Ensemble de 3 miroirs plan

Un rayon lumineux R se propage dans l'air en se réfléchissant successivement sur 3 miroirs plans M_1, M_2, M_3, perpendiculaires à un plan choisi comme plan de la figure. Les angles d'incidence en I_1 sur M_1 et en I_2 sur M_2 valent tous deux 60° et le rayon I_1I_2 est dans le plan de la figure.

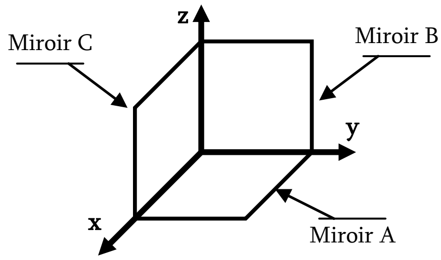


1. Que valent les 2 premières déviations angulaires du rayon ?
2. Quelle doit être l'orientation de M_3 pour que, après les 3 réflexions, le rayon réfléchi définitif ait la même direction et le même sens que le rayon incident R ?

Exercice 5 : Mesure de la distance Terre – Lune

Pour mesurer avec précision la distance de la Terre à la Lune, on émet une impulsion laser depuis la surface de la Terre en direction d'un réflecteur catadioptrique (miroirs) posé sur la Lune, qui renvoie vers la Terre la lumière qu'il reçoit. La mesure du temps écoulé entre l'émission et la réception du signal permet de déterminer la distance Terre – Lune.

1. Le réflecteur posé sur la Lune est un coin de cube, ensemble de trois miroirs plan identiques A, B et C formant les trois faces d'un trièdre rectangle. (Ix, Iy, Iz). Montrer qu'un rayon lumineux émis de la Terre et arrivant sur le coin de cube est renvoyé après trois réflexions respectivement sur les miroirs A, B et C dans la direction exactement opposée, quelle que soit l'orientation du trièdre.



2. Les différents rayons lumineux issus de l'émetteur sont émis uniformément dans un cône de demi-angle au sommet $\alpha = 2{,}0.10^{-5}$ rad. D'autre part, le faisceau de retour présente une divergence due à la diffraction qui a lieu lors de la réflexion sur le coin du cube. On peut estimer que le demi-angle au sommet du cône de retour est donné par $\alpha' = \lambda/l'$, où l' = 1,0cm est une longueur caractéristique des miroirs du réflecteur.

Données :

- Surface apparente du coin de cube : S = 1,0cm²,
- Surface du récepteur sur la Terre : S' = 1,8cm²,
- Longueur d'onde du laser utilisé : λ = 0,53µm
- Dimension caractéristique des miroirs : l' = 1,0cm
- Distance moyenne Terre – Lune : d = 3,84.10⁵km

2.a) Si n_0 est le nombre de photons émis lors d'une impulsion laser, quel est le nombre de photons reçus par le catadioptre ?

2.b) Quel est le nombre n' de photons reçus en retour par le récepteur sur Terre ?

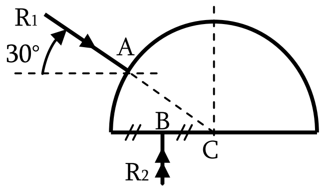
2.c) En déduire l'ordre de grandeur de la fraction de la puissance lumineuse émise depuis la Terre qui est recueillie à son retour dans le récepteur (on néglige dans ces calculs les effets liés à l'atmosphère et les pertes à la réflexion).

2.d) L'énergie d'un photon de longueur d'onde λ est $W=hc/\lambda$, où $h=6{,}62.10^{-34}$J.s est la constante de Planck et $c=3.10^8$m.s^{-1} est le vitesse de la lumière. Le laser émet à chaque impulsion une énergie lumineuse E = 0,3J. Quel est le nombre moyen de photons revenant à chaque impulsion sur la Terre ? Conclure.

OG1 – Lois de la Réfraction

Exercice 6 : Hémicylindre

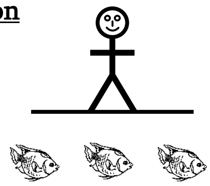
On considère un bloc de verre (indice n = 1,5), de centre O et de rayon R, placé dans l'air d'indice considéré égal à celui du vide. Déterminer les trajets des deux rayons indiqués sur la figure ci-dessous jusqu'à leur sortie du bloc.



Rmq : On pourra faire de même en exercice pour n'importe quel rayon arrivant sur le cylindre.

Exercice 7 : Observation d'un poisson

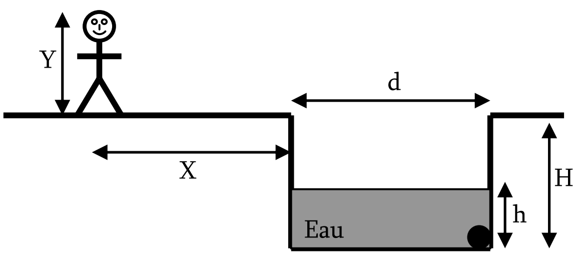
Un pêcheur, dont les yeux sont à 1,60 m au dessus de l'eau, regarde un petit poisson situé à 0,60 m au dessous de l'eau (d'indice n_2 = 1,33) ; les rayons arrivant à ses yeux avec un angle de 15°.



1. A quelle distance le pêcheur voit-il le poisson ?
2. A quelle distance le poisson voit-il le pêcheur ?
3. Et si les rayons parvenant à l'œil du pêcheur sont inclinés de 30° ? De 45° ? De 60° ? Et vertical ? Commenter.

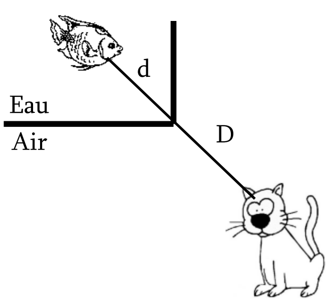
Exercice 8 : Pierre au fond d'une piscine

Un observateur mesurant Y=1,8m est situé à X=4m du bord d'une piscine, de profondeur H=2,5m, et de largeur d=4m. Un caillou est placé au fond de la piscine (voir figure ci-dessous). Calculer la hauteur d'eau minimale pour que l'observateur puisse voir le caillou. L'indice de l'eau est n=1,33.



Exercice 9 : Le poisson double

Un chat se place au coin d'un aquarium, pour y observer un poisson. On suppose que l'angle entre les deux faces de l'aquarium est un angle droit, et que le chat ainsi que le poisson se trouvent sur la bissectrice de cet angle. Le chat observe alors deux fois le même poisson !!!

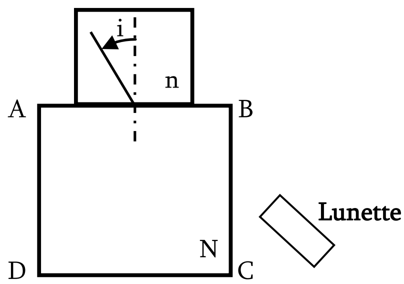


Le chat est à une distance D=50cm du coin de l'aquarium, et le poisson à une distance d de ce coin. L'indice de l'air est n_{air} = 1,00, et celui de l'eau est n_{eau} = 1,33. Le chat voit les deux images du poisson symétriquement par rapport à la bissectrice, sous un angle α = 6°.

1. Représenter le trajet des ayons lumineux issus du poisson qui atteignent l'œil du chat.
2. Déterminer, en fonction de α, l'angle que font les rayons atteignant l'œil du chat avec les normales aux faces de l'aquarium.
3. Déterminer l'angle que font les rayons issus du poisson par rapport à la bissectrice.
4. Calculer la distance d.

Exercice 10 : Réfractomètre à angle limite

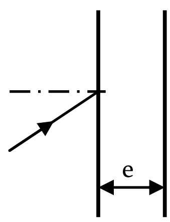
Soit un cube de verre d'indice N, sur lequel on place un échantillon d'indice n < N. En un point I de l'interface entre l'échantillon et le cube, on fait arriver un faisceau incident pouvant prendre toutes les directions possibles. Les rayons lumineux pénètrent dans le cube et on considère ceux qui sortent par la face BC, on les observe à l'aide d'une lunette.



1. A quelle condition obtient-on un rayon émergent par la face BC ?
2. Les conditions précédentes étant réalisées, on observe avec la lunette une limite nette entre une plage sombre et une plage éclairée. Donner l'angle α que fait l'axe de la lunette avec l'horizontale lorsque la lunette pointe cette limite.
3. Montrer que la mesure de l'angle α permet de calculer l'indice n lorsque l'indice N est connu. Pour un cube d'indice N donné, quelles sont les valeurs de n que l'on peut mesurer ?

Exercice 11 : Rayon lumineux traversant une vitre

Un rayon lumineux traverse une vitre d'épaisseur e et d'indice n (l'indice de l'air est pris égal à 1,00), avec un angle d'incidence i.

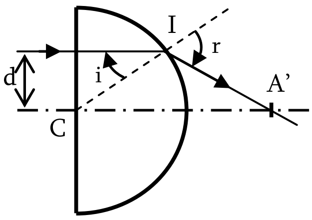


1. Montrer que le rayon ressort de la vitre en conservant la même direction.
2. Pour un angle d'incidence i « petit », exprimer en fonction de n, e et i la déviation latérale d subie par le rayon incident lors de la traversée de la vitre.

.

Exercice 12 : Etude d'un dioptre semi-cylindrique

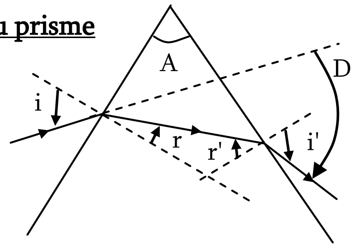
On considère un demi-cylindre en verre de rayon R=5cm et d'indice n=1.50 plongé dans l'air d'indice 1.00. Un rayon lumineux écarté d'une distance d par rapport à l'axe optique arrive sous incidence normale sur la face plane.



1. Exprimer en fonction de i , r er R la distance CA'.
2. En déduire la limite CF' de CA' lorsqu'on se trouve dans les cond. de Gauss (d<<R). que représente le point F' ?
3. Exprimer la valeur max d_0 telle que le rayon émerge du cylindre sans subir de réflexion totale en I. Calculer d_0.

Exercice 13 : Formules du prisme

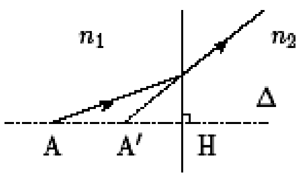
Un rayon incident arrivant sur un prisme d'indice n et d'angle A est dévié en sortie, d'un angle D. Tous les angles sont choisis positifs.



1. Ecrire les lois de la réfraction.
2. Ecrire la relation entre r, r' et A (Attention aux signes)
3. Montrer que $D=|i-r|+|i'-r'|=-(i-r)+(i'-r')$.
4. En déduire l'expression de D en fonction de n et A, dans le cas de petits angles.

Exercice 14 : Dioptre Plan

Un dioptre plan sépare deux MHTI - milieux homogènes (propriétés physiques identiques en tout point), transparents (absence d'absorption), isotropes (propriétés identiques dans toutes les directions de l'espace) – d'indices n_1 et $n_2 < n_1$. Un objet A se trouve dans le milieu d'indice n_1.

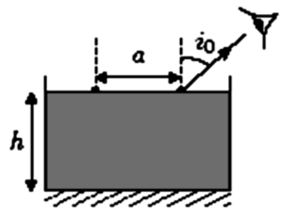


1. Tracer 2 rayons afin de trouver qualitativement la position de l'image A' de A à travers le dioptre (un des rayons sera choisi orthogonal au dioptre).
2. On note H le projeté de A sur le dioptre. Montrer que $\overline{HA'}=\overline{HA}\dfrac{\tan i_1}{\tan i_2}$ (notations habituelles).
3. La position de A' dépend-elle de l'inclinaison i_1 du second rayon incident ? Conclure qu'il n'existe pas de stigmatisme rigoureux dans le cas d'un dioptre plan.
4. Montrer en revanche qu'il y a stigmatisme approché dans les conditions de Gauss puisqu'on a alors la relation de conjugaison (reliant A et A') : $\overline{HA'}=\overline{HA}\dfrac{n_2}{n_1}$
5. L'objet est maintenant étendu et transversal (parallèle au dioptre), il est noté AB. Montrer que l'image A'B' de AB est de même taille que AB. Que vaut alors le grandissement transversal : $\gamma=\dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$?

OG1 – Réflexion et Réfraction

Exercice 15 : Mesure de l'indice d'un liquide

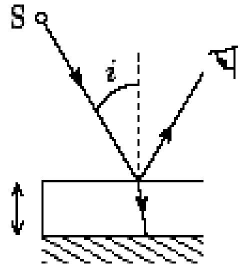
Deux fils parallèles, distants de a, sont maintenus à la surface d'un liquide d'indice n. Le liquide est placé dans une cuve dont le fond est argenté, sur une hauteur h. On observe l'un des fils sous une incidence i_0 donnée et on règle h de manière à ce que l'image de l'autre fil coïncide avec le fil observé.



1. Représenter le trajet du rayon lumineux observé issu de l'autre fil.
2. En déduire l'expression de n en fonction de i_0, a et h.

Exercice 16 : Double Reflet

Une source lumineuse ponctuelle S est située à une distance x = 1 m de la couche de verre d'indice n = 1,50 et d'épaisseur e = 5 mm protégeant un miroir plan. Un rayon lumineux issu de S arrivant sur la couche de verre avec une incidence i est partiellement réfléchi à la traversée du dioptre air →verre et l'autre partie est réfractée.

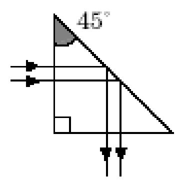


1. Justifier le fait que l'observateur qui regarde dans le miroir sous une incidence i voit 2 images S' et S''. Placer ces sources S' et S'' sur la figure.
2. Exprimer dans les conditions de Gauss la distance S'S'' entre les 2 images, en fonction de e et n. Calculer S'S''

OG1 – Réflexion totale

Exercice 17 : Prisme à réflexion totale

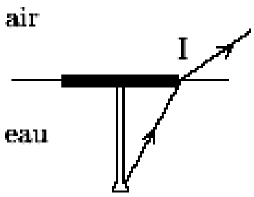
On souhaite que le trajet des rayons lumineux soit le suivant dans un prisme à 45°. Le milieu environnant est l'air d'indice 1,00.



1. Que vaut l'angle d'incidence sur l'hypoténuse ?
2. A quelle condition sur l'indice *n* du prisme la réflexion totale est-elle possible ?

Exercice 18 : Clou planté dans un bouchon

On dispose sur un plan d'eau une rondelle de liège de rayon R et d'épaisseur négligeable au centre de laquelle on a planté un clou de longueur, perpendiculairement à la rondelle. On note n l'indice de réfraction de l'eau, celui de l'air est pris égal à 1,00.



1. Déterminer à partir de quelle longueur limite L_{lim} du clou le rayon issu de la tête du clou et passant par l'extrémité I de la rondelle est totalement réfléchi.
2. Que peut-on alors dire des autres rayons qui arrivent sur le dioptre eau–air ? Que voit l'observateur qui regarde depuis l'air au dessous de la rondelle ?

Exercice 19 : Effet de Gouffre lumineux

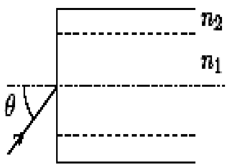
Les plongeurs, lorsqu'ils relèvent la tête vers la surface de l'eau, ont l'impression de voir un « gouffre lumineux », c'est-à-dire un disque lumineux entouré d'obscurité. On donne l'indice de l'air égal à 1,00 et l'indice de l'eau $n = 1{,}33$.

1. Expliquer qualitativement le phénomène grâce à un dessin.
2. Exprimer puis calculer le diamètre angulaire apparent α de ce cône de lumière. Dépend-il de la profondeur à laquelle se trouve le plongeur ?

Exercice 20 : Fibre à saut d'indice

On appelle O.N. = sin θ_{max} l'ouverture numérique de la fibre, où θ_{max} désigne l'angle d'incidence maximal du rayon lumineux (dans l'air) compatible avec le confinement du rayon lumineux à l'intérieur de la fibre.

1. Tracé l'allure du trajet du rayon lumineux, en supposant qu'il reste confiné à l'intérieur du cœur.
2. Quelle est l'ouverture numérique de la fibre à saut d'indice représentée ci-contre ?



OG1 – Quelques Phénomènes

Exercice 21 : Les mirages

On s'intéresse au phénomène de mirage. L'indice de réfraction d'un milieu est une fonction décroissante de la température (à une pression donnée). L'été, dans le désert par exemple, le sol est extrêmement chaud, et chauffe ainsi l'air à son contact. (Se produit aussi sur les routes),

→ Expliquer le phénomène de mirage inférieur observé.

→ Préciser à quelle saison on peut observer en mer des mirages supérieurs.

→ Et en quelle saison peut-on voir le plus loin ?

Exercice 22 : Ciel bleu et coucher de soleil rouge

Un objet est visible car il émet ou réfléchit de la lumière qui parvient jusqu'à notre œil. Mais ce phénomène dépend en général de la longueur d'onde de la lumière considérée, d'où les différences de couleur (un objet absorbant toute la lumière nous apparaît noir, alors qu'un objet réfléchissant tout nous apparaît blanc, avec tous les intermédiaires possibles constituant toutes les couleurs visibles).

→ La journée, le ciel est bleu. Pourquoi ? On cherchera à expliquer le comportement des molécules de l'air vis-à-vis de la couleur du soleil.

→ La nuit, le ciel est noir. Pourquoi ?

→ Lorsque le soleil se couche, sa lumière nous apparaît plus rouge que dans la journée. Expliquez.

Exercice 23 : Soleil Vert

Lorsque l'horizon est bien dégagé et les conditions climatiques favorables, on peut apercevoir, au coucher du soleil, une lumière verte intense, observée juste au moment où le soleil passe sous l'horizon (définie par la tangente à la Terre passant par les yeux de l'observateur). On parle de rayon vert.

→ Pouvez-vous expliquer ce phénomène ?

Exercice 24 : Effets chromatiques (CCP)

Lors de l'impact de la lumière sur un objet quelconque, on peut considérer globalement qu'une unité de puissance du rayonnement incident se divise en quatre fractions dépendant en général de la longueur d'onde λ :

→ $R(\lambda)$ par réflexion spéculaire (comme sur un miroir)

→ $D(\lambda)$ par réflexion diffuse (diffusion ds toutes les directions)

→ $A(\lambda)$ par absorption dans le matériau

→ $T(\lambda)$ par transmission (après réfraction)

De telle sorte que $R(\lambda) + D(\lambda) + A(\lambda) + T(\lambda) = 1$.

La partie absorbée est en général convertie sous une forme d'énergie non visible : thermique, électrique, chimique, biologique (chez les végétaux, elle actionne le processus de photosynthèse).

1. Une bonne réflexion spéculaire nécessite un bon poli optique. En estimant que pour réaliser un tel poli, les aspérités superficielles doivent être, pour le moins, inférieures au dixième de la longueur d'onde la plus courte, quelle doit être – pour le visible – la dimension maximale de ces aspérités ?
2. Quel est l'aspect visuel d'un objet parfaitement absorbant pour toutes les longueurs d'onde ? Une plante verte utilise-t-elle l'intégralité des radiations vertes dans son développement ?
3. Un tissu bleu est examiné à la lumière d'un néon ne contenant pas de radiations bleues. Décrire son apparence visuelle. Justifier la réponse.
4. Le modèle de l'électron élastiquement lié, excité par une onde lumineuse plane, progressive, harmonique, appliqué aux particules présentes dans l'atmosphère terrestre, permet de montrer que le flux lumineux diffusé est proportionnel à la puissance 4 de la fréquence de l'onde. Expliquer alors la couleur bleue du ciel et la couleur rouge du soleil couchant.

Exercice 25 : Arc en Ciel (CCP)

Partie A : Questions préliminaires

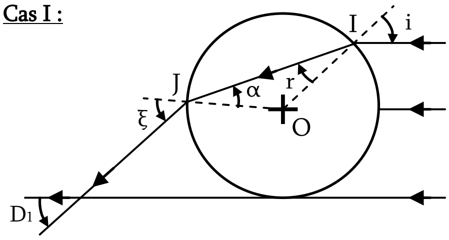
1. Rappeler la loi de Snell-Descartes pour la réfraction, lorsqu'un rayon passe de l'air (d'indice unité) à un milieu d'indice n, en notant i l'angle d'incidence et r l'angle de réfraction.
2. Exprimer la dérivée $\frac{dr}{di}$ exclusivement en fonction de l'indice n, et du sinus de l'angle d'incidence i (sin i).
3. Exprimer, en fonction de i et de r, la valeur de la déviation du rayon lumineux, déviation définie par l'angle entre la direction incidente et la direction émergente, orientées dans le sens de propagation.
4. Exprimer aussi, à l'appui d'un schéma, la déviation d'un rayon lumineux dans le cas d'une réflexion.

Partie B : Etude de l'arc-en-ciel

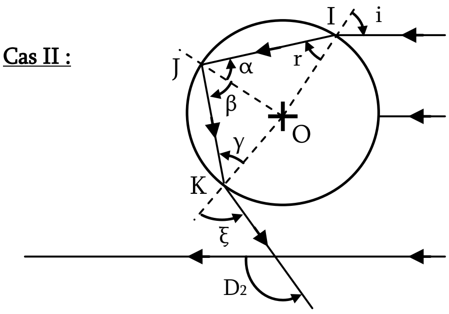
Lorsque le soleil illumine un rideau de pluie, on peut admettre que chaque goutte d'eau se comporte comme une sphère réceptionnant un faisceau de rayons parallèles entre eux. Cela revient à considérer le soleil comme un objet ponctuel à l'infini. Une goutte d'eau quelconque, représentée par une sphère de centre O et de rayon R, est atteinte par la lumière solaire sous des incidences variables, comprises entre 0° et 90°. Son indice, pour une radiation donnée, sera noté n, tandis que celui de l'air sera pris égal à 1.

1. On recherche, dans un premier temps, les conditions pour que la lumière émergente, issue d'une goutte d'eau, se présente sous forme d'un faisceau de lumière parallèle. Pour cela, on fait intervenir l'angle de déviation D de la lumière à travers la goutte d'eau, mesuré entre le rayon émergent et le rayon incident. Cet angle de déviation D est une fonction de l'angle d'incidence i. Exprimer la condition de parallélisme des rayons émergents en la traduisant mathématiquement au moyen de la dérivée $\frac{dD}{di}$.
2. On considère les trois cas suivants, représentés sur la figure ci-dessous : lumière directement transmise (I), transmise après une réflexion partielle à l'intérieur de la goutte (II), transmise après deux réflexions partielles à l'intérieur de la goutte (III).

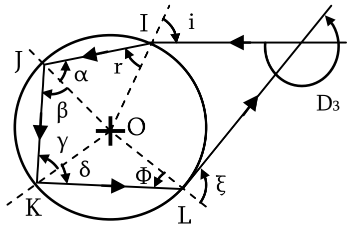
Cas I :



Cas II :



Cas III :



2.a) Donner les expressions, en fonction de i ou de r, des angles α, β, γ, δ, Φ, et ξ.

2.b) En déduire, en fonction de i et de r, les angles de déviation D_1, D_2 et D_3.

2.c) Rechercher ensuite, si elle existe, une condition d'émergence d'un faisceau parallèle, exprimée par une relation entre le sinus (sin i) et l'indice n de l'eau.

3. Le soleil étant supposé très bas sur l'horizon, normal au dos de l'observateur, montrer que celui-ci ne pourra observer la lumière transmise que si la goutte d'eau se trouve sur deux cônes d'axes confondus avec la direction solaire et de demi-angles au sommet $\theta_2 = \pi - D_2$ (justification de l'arc primaire) et $\theta_3 = D_3 - \pi$ (justification de l'arc secondaire).
4. Les angles θ_2 et θ_3 dépendent de l'indice de l'eau, on observe un phénomène d'irisation dû au fait que cet indice évolue en fonction de la longueur d'onde. Calculer ces angles pour le rouge et le violet, sachant que pour le rouge l'indice vaut 1,3317, tandis que pour le violet il est égal à 1,3448. En admettant que l'observateur se trouve face à un rideau de pluie, dessiner la figure qui apparaît dans son plan d'observation en notant la position respective des rouges et des violets.