



Séquence n°2

Des phénomènes atmosphériques spectaculaires : halos et arcs en ciel

Les halos et les arcs en ciel sont des phénomènes atmosphériques parfois observés dans le ciel dans certaines conditions. Cette séquence sera l'occasion d'expliquer ces phénomènes, de rechercher les conditions de leurs manifestations et afin de les mettre en œuvre au laboratoire.



Halos lunaires observés sur notre Dame de Bellecombe



Arc en ciel - Source : Pixabay (auteur : sharonjoy17)



Sous thème 1 - Les halos

Quand les observer, comment les simuler pour mieux les expliquer ?

ACTIVITE 1. À la découverte des halos

- **Objectifs** : découvrir les halos, approcher une première explication de leur apparition.
- **Ressources disponibles** : Site internet dédié et documents
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** : Soigner la visite du site, sans survoler. On demande aux élèves d'élaborer un compte rendu des découvertes, sous forme d'affiches à exposer, et d'un diaporama élaboré en écriture collaborative.

Document 1 : Un article étonnant en introduction. ([©La Gazette du Centre Morbihan, 25/01/21](#))



Le halo lunaire pris par Gracchus Bottin, de chez lui, à St-Jean-Brévelay.

Gracchus Bottin, professeur de physique, domicilié à St-Jean-Brévelay, a immortalisé le halo lunaire qui est apparu samedi 23 janvier 2021 dans le ciel obscurci.

Samedi soir, aux alentours de 21 heures un phénomène magnifique a occupé le ciel nocturne de Rennes à Vannes, en passant par Saint-Jean-Brévelay.

Mais de quoi s'agit-il et comment explique-t-on ce phénomène ?

« En premier lieu, il faut que les conditions météorologiques qui le permettent soient réunies. C'est-à-dire un ciel dégagé avec une légère couverture nuageuse en haute altitude. Les nuages qui contribuent à ce phénomène sont des cirrus positionnés à une altitude de 5 000 à 10 000 mètres. Il faut de surcroît que ce soient des nuages à la fois vaporeux et diffus. Il y a une autre exigence météorologique : celle d'avoir une atmosphère assez froide pour que la vapeur d'eau contenue dans les cirrus puisse se solidifier sous forme cristalline. »

Quant au phénomène lui-même on peut l'expliquer ainsi : « les cristaux de glace qui se sont formés dans les cirrus ont une forme hexagonale (6 côtés) régulière ».

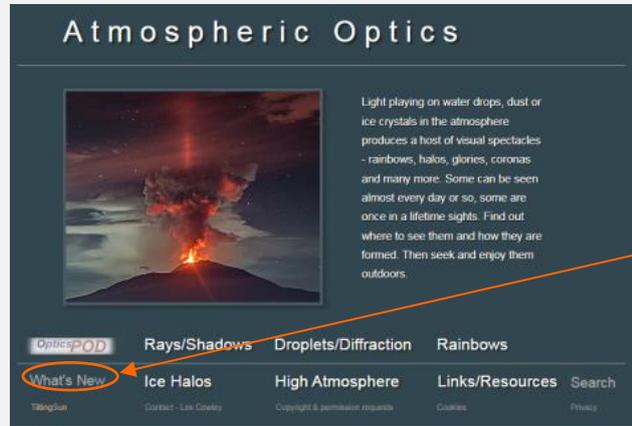
Les cristaux s'alignent les uns par rapport aux autres par le vent et par interactions électrostatiques. On nomme ainsi le phénomène qui fait s'attirer et se repousser les objets électriquement chargés.

La lumière issue de la Lune est déviée selon un angle dépendant de la forme des cristaux de glace. Dans le cas présent, elle est déviée de 22°. C'est le phénomène de réfraction.

Et ainsi, l'observateur, tous ceux qui l'ont vu samedi soir, ont perçu les rayons lunaires réfractés sous la forme d'un cercle.

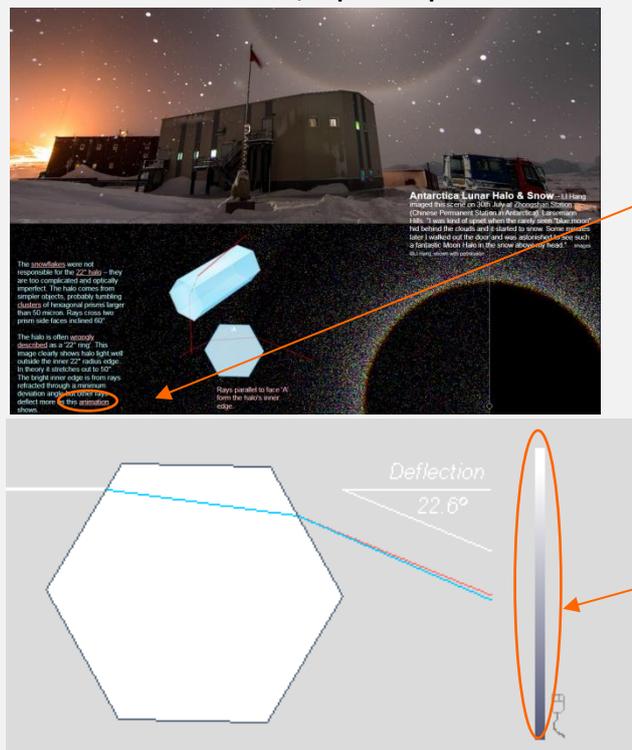


Document 2 : Site « Atmospheric Optics »



1. Connectez-vous sur le site [atmospheric optics](#) ». Ce site collecte des images de halos observés à différents endroits de la planète. Observer les halos photographiés en cliquant sur la rubrique « [What's New](#) / Ice Halos / ».
2. Choisir quelques spécimens, capturer les images en vue de l'exposition.

Document 3 : le halo à 22°, le plus fréquent



1. Pour aller au-delà des observations, cliquer sur le lien suivant : [Antarctic Lunar Halo & Snow](#) puis cliquer sur l'animation.
2. Agir avec la souris sur le curseur à droite pour vérifier que le phénomène de halo donne une déflexion minimale si l'angle vaut 22°. Alors le halo est de type circulaire et peu dispersé.
3. Observer, expliquer grâce à une lecture soignée du texte le sens du nombre « 22 ».
4. Prévoir un schéma explicatif légendé.



Document 4 : cristaux et halos



1. En feuilletant les différentes rubriques proposées à la page en lien avec le bouton ci-contre, expliquer l'existence de différents types de halos.
2. Associer un type de cristal à un type de halos, dans un tableau que l'on ajoute au diaporama ou au panneau d'exposition. Rechercher des photos de halos, leur associer un type, et expliquer leur apparition pour au moins l'un d'entre eux, par un schéma.



Travail à réaliser

Répondre aux différentes questions des documents et élaborer un compte rendu des découvertes, sous forme d'affiches à exposer, et d'un diaporama élaboré en écriture collaborative

ACTIVITE 2. Comment expliquer l'apparition des halos et les modéliser ?

Document 5 : observation de cristaux

Les halos se forment par réfraction(s) et réflexion(s) des rayons lumineux solaires, ou lunaires, dans les cristaux de glace dispersés dans les hautes couches atmosphériques. On va observer ces cristaux à la loupe binoculaire.

Matériel :

- Loupe binoculaire x40
- Pain de glace du commerce, ou boîte peu épaisse remplie de glace
- Boîte de pétri
- Givre le plus dispersé, « aéré » possible

Protocole :

1. Placer un pain de glace sur la loupe, grossissement x40. Préparer la mise au point sur la zone supérieure du pain.
2. Une ½ boîte de pétri sèche a été placée au congélateur la veille, une petite quantité de cristaux de givre sont placés dans la boîte, puis rapidement la boîte est posée sur le pain de glace, et les cristaux observés.
3. Les décrire le plus précisément possible : forme, variété.

Document 6 : mise en œuvre d'un halo au laboratoire

Matériel :

- Lampe d'un banc optique, diaphragme de diamètre 1 cm.
- Petit cristalliseur aux parois très propres, de hauteur environ égale à 10 cm et de diamètre 20 cm, rempli de solution de chlorure de sodium saturée
- Diaphragme de 4 mm pour observation

Protocole :

1. Placer la lampe de façon à éclairer le cristalliseur dans sa zone centrale.
2. Observer attentivement le contenu du cristalliseur au travers du diaphragme face à la lampe ; il faut aligner lampe, cristalliseur, diaphragme et œil.
3. Quel rôle jouent les cristaux de sel en suspension dans la solution saturée ?
4. Schématiser l'expérience de façon précise, une photo étant délicate à prendre, on pourra décrire le phénomène observé.



Travail à réaliser

Réaliser les expériences des documents 5 et 6 et répondre aux différentes questions.

Quel est le point commun entre les conditions d'observation du halo du document 1 et celles mises en œuvre dans le protocole du document 6 ?

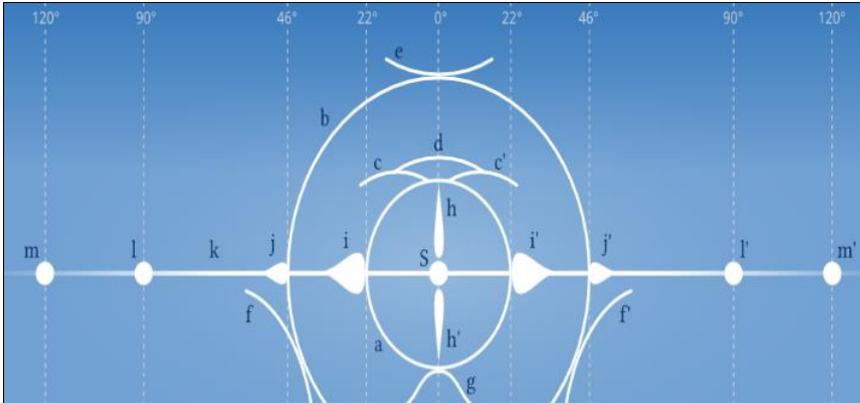
Quelles sont les autres analogies entre les deux halos formés dans l'atmosphère et au laboratoire ?

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Rechercher et organiser l'information en lien avec la consigne	Activités n°1
COM	Présenter un écrit synthétique et cohérent	Activités n°1
	Échanger entre pairs pour mieux s'approprier une notion complexe	Activités n°1
	Décrire avec soin un résultat, à l'aide de schémas, de photos	Activités n°2
REA	Exécuter une tâche en respectant les consignes	Activité n°2



Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux



Source Wikipédia, présentation des différents types de halos

Activité 2

	<p>Halo à 22° ou petit halo</p>	<p>Blanc avec une frange intérieure rouge, décalé de 22° par rapport à la source</p>
	<p>Sun dog</p>	
	<p>Arc circum horizontal</p>	
	<p>Grand halo (b) ou halo à 46°</p>	<p>Décalé de 46° par rapport à la source</p>
	<p>Arcs tangents supérieurs (c et c')</p>	



	Arc supérieur de Parry (d)	
	Arc circum zénithal (e)	
	Colonne lumineuse (h et h')	
	Parhélie de 22°	Faux soleil, tache de couleur à l'horizontal du soleil

Activité 3

L'expérience est probante, mais pas photographiable convenablement. Voici un exemple de résultat. On voyait bien mieux les petits cristaux, de forme cylindrique, hexagonale, parallélépipédique. Voici un exemple de photo prise pendant le tp.

Activité 4

Montage pour la modélisation d'un halo par de l'eau salée.

Direction d'observation du halo

Le résultat ne peut être photographié avec un téléphone, à nouveau, mais on voit bien apparaître un halo, en plaçant l'œil dans la direction indiquée. Il faut intercaler un diaphragme pour ne pas être ébloui. La salle doit être très sombre.

Sources : <https://cloudatlas.wmo.int/en/circumhorizontal-arc.html> et https://fr.wikipedia.org/wiki/Arcs_tangents



Sous thème n°2 : Arcs en ciel

Quand les observer, comment les reproduire pour mieux les expliquer ?

L'arc en ciel fait partie de ces phénomènes optiques à la fois spectaculaires, esthétiques, et néanmoins couramment observés. Nous allons ici nous intéresser à ces phénomènes, d'un point de vue en observer, en créer et expliquer leur formation.

Partie 1 : Les élèves élaborent un texte collaboratif, qui présente les multiples visions de l'arc en ciel, tant du point de vue mythologique que légendaire. Ils choisissent également des illustrations en vue d'une exposition au sein du lycée, de leurs travaux sur les arcs en ciel, en fin de séquence.

Partie 2 : Les élèves observent, schématisent un arc en ciel produit dans la salle de TP, puis mettent au point une expérience qui permettra la formation d'un arc en ciel dans le parc du lycée.

Partie 3 : Les élèves modélisent la dispersion de la lumière dans une goutte d'eau et découvrent alors les notions de physique inhérentes : réfraction, réflexion, et dispersion de la lumière blanche.

Partie 4 : Les élèves organisent une exposition qui rende compte de leurs découvertes.

PARTIE 1 : Une écriture collaborative autour des visions sur l'arc en ciel.

Les élèves doivent produire un écrit collaboratif, en amont de la première séance. Les consignes techniques sont en ligne, dans l'ENT.

- **Objectifs :** regards croisés, entre sciences et littérature, histoire, sociologie, travail d'équipe possible...
- **Matériel :** espace de travail collaboratif : texte collaboratif et plan dédié au postage des illustrations.
- **Ressources disponibles :** internet, ressources du CDI, bibliothèque personnelle...
- **Remarques sur les attentes :** ne pas oublier de citer les sources des documents utilisés

ACTIVITÉ 1 : Élaboration d'une liste à la Prévert...

Il s'agit d'élaborer un texte qui présente les multiples visions de l'arc en ciel, tant du point de vue mythologique que légendaire. Chaque texte doit être composé d'une dizaine de lignes maximum, il doit présenter une vision de l'arc en ciel, qu'elle soit mythique ou légendaire.

Les textes seront placés dans deux catégories : mythes, légendes.

On donne à chaque présentation un titre, qui fournit le lieu, la période concernée, le peuple associé.

ACTIVITÉ 2 : Quelques illustrations d'arcs en ciel...

Chaque élève fournit une illustration de son choix d'un arc en ciel : couverture de livre, d'album pour enfants, œuvre picturale, sculpture, photo, de façon à construire une « collection » d'arcs en ciel.



Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Rechercher et organiser l'information en lien avec la consigne	Activités n°1 et 2
COM	Présenter un écrit synthétique et cohérent	Activités n°1 et 2
	Échanger entre pairs	Activités n°1 et 2

PARTIE 2 : Les conditions à réunir pour former un arc en ciel ?

Les élèves vont observer, schématiser un arc en ciel produit dans la salle. Sa modélisation va permettre de découvrir la dispersion de la lumière blanche par une « lentille-cylindre ».

Les élèves vont enfin mettre au point les conditions à réunir pour son observation, lister le matériel nécessaire à sa réalisation en extérieur, à l'image du phénomène naturel. Un film sera réalisé et monté quand les conditions météo seront réunies.

ACTIVITÉ 1 : Observation et schématisation d'arcs en ciel en classe.

- **Objectifs :** obtenir un arc en ciel dans une salle de classe, le modéliser
- **matériel :** un projecteur diapos, un grand écran sur pied à roulettes, un ballon de 2 L rempli d'eau
- **Explicitation** des consignes, des attentes ; **taches possibles :** Les élèves observent l'expérience et la schématisent. L'expérience est préparée par l'enseignant. Le ballon rempli d'eau a pour contenance 2 L, le projecteur diapos doit être puissant.

Travail à réaliser

1. Observer l'expérience réalisée par le professeur.
2. Schématiser le dispositif utilisé.
3. Reproduire les arcs en ciel observés sur le mur en vue de l'exposition.

ACTIVITÉ 2 : Produire un arc en ciel dans le parc du lycée

- **Objectifs :** les élèves doivent produire un arc en ciel au lycée et organiser l'enregistrement d'un film réalisé au lycée.
- **Matériel :** la liste est à fournir
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles :** Il faut utiliser l'expérience proposée en classe (activité 1) et de ses connaissances personnelles pour mettre au point, de façon collective, une expérience en extérieur pour produire un arc en ciel. Quand les conditions seront réunies, il faudra filmer l'expérience de façon pertinente, puis monter un petit film qui présente cette expérience : conditions opératoires, description du résultat, et qualité de la prise de vue seront les critères de réussite.

Travail à réaliser

4. Fournir la liste du matériel nécessaire à l'obtention d'un arc en ciel semblable à ceux observés dans le ciel.
5. Préciser les conditions de l'expérience pour qu'elle soit performante.
6. Se préparer à filmer l'expérience, prévoir le scénario.
7. Réaliser le montage du film avec un logiciel dédié (Movie Maker®, Activepresenter®...)

Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux



Activité 1	<p>L'écran placé à l'arrière montre un arc primaire, mais aussi un arc secondaire.</p> <p>Il est à noter que les arcs sont inversés par rapport aux arcs célestes car la goutte d'eau est « géante » et sert à obtenir toutes les couleurs attendues : l'arc primaire est à l'extérieur, et les couleurs sont aussi inversées. Aucun complément démonstratif n'est proposé aux élèves.</p>				
	<p>Schéma et photos de l'expérience :</p> <table border="1"><tr><td data-bbox="263 504 750 996"></td><td data-bbox="750 504 1468 996"></td></tr><tr><td data-bbox="263 996 750 1014">Schéma</td><td data-bbox="750 996 1468 1014">Matériel utilisé</td></tr></table>			Schéma	Matériel utilisé
Schéma	Matériel utilisé				
	<table border="1"><tr><td data-bbox="263 1086 869 1355"></td><td data-bbox="869 1086 1468 1355"></td></tr><tr><td data-bbox="263 1355 869 1400">Vue d'ensemble des deux arcs projetés au tableau</td><td data-bbox="869 1355 1468 1400">Détail des arcs en ciel primaire et secondaire</td></tr></table>			Vue d'ensemble des deux arcs projetés au tableau	Détail des arcs en ciel primaire et secondaire
Vue d'ensemble des deux arcs projetés au tableau	Détail des arcs en ciel primaire et secondaire				
Activité 1	<p>Exemple de dessin produit par les élèves</p>				



Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Reproduire un phénomène naturel de façon à s'approprier les conditions de son obtention	Activité n°2
ANA	Planifier des tâches : mise en scène du film Choisir, élaborer et justifier un protocole	Activité n°2
REA	Schématiser une expérience de façon précise	Activité n°1

PARTIE 3 : Comment expliquer l'apparition d'un arc en ciel en physique ?

Les élèves vont modéliser la réfraction-réflexion de la lumière dans une goutte d'eau et s'approprier les notions de physique associées : « réfraction, réflexion, dispersion ».

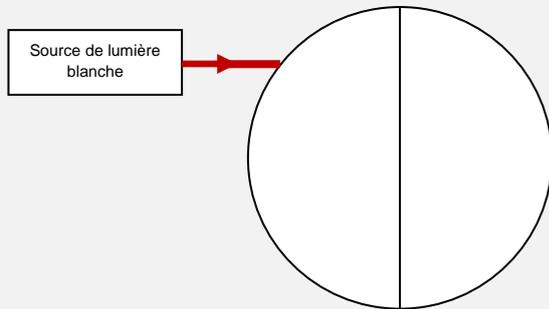
ACTIVITÉ 1 : Comment modéliser la dispersion de la lumière par une goutte d'eau ?

- **Objectifs** : modéliser la dispersion par la goutte d'eau, observer arcs en ciel primaire et secondaire et schématiser la situation.
- **Matériel** : deux demi-cylindres en plexiglas aimantés accolés, posés sur une feuille blanche, source de lumière blanche.
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** : La goutte d'eau est modélisée par un système de deux disques accolés. Cela permet de modéliser ce qu'il se passe dans un plan vertical à l'intérieur de la goutte d'eau. Les élèves observent l'expérience, modifient l'angle d'incidence en modifiant l'incidence du faisceau lumineux. Ils observent les deux dispersions possibles, correspondant aux arcs en ciel primaire et secondaire. Ils schématisent successivement ces deux situations, en couleur.



Document 1 : Expérience à réaliser

Schéma/illustration



Protocole

1. Réaliser l'expérience schématisée ci-contre : éclairer par un fin pinceau de lumière blanche un point de la lentille modélisant la goutte d'eau : les deux hémicylindres sont maintenus bien serrés avec un peu d'adhésif.
2. En déplaçant lentement la source de lumière autour de la lentille, obtenir successivement les deux « arcs en ciel ».
3. Compléter le schéma en représentant en couleur ces deux chemins possibles pour le faisceau de lumière blanche, qui mènent aux arcs en ciel primaire ou secondaire ; le schéma devra être précis et de grande taille.

Travail à réaliser

Pour comprendre les phénomènes mis en jeu on utilise un dispositif de deux disques accolés qui modélise ainsi ce qu'il se passe dans un plan vertical au sein de la goutte d'eau.

Réaliser le protocole expérimental du document 1.

ACTIVITÉ 2 : Quelles sont les lois physiques qui expliquent ces phénomènes ?

Objectifs : les élèves découvrent la loi de Descartes pour la réflexion, ils retravaillent la loi de Descartes pour la réfraction de façon à interpréter la dispersion de la lumière par une goutte d'eau.

Matériel : laser vert, ballon à fond rond accroché à une potence, et rempli aux deux tiers d'eau, écran blanc.

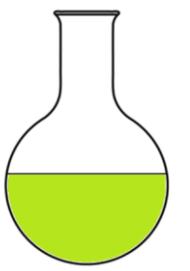
Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles : une première expérience est réalisée au bureau, elle consiste à envoyer un faisceau laser vert sur un ballon rempli d'une solution de fluorescéine, de façon à observer réfraction et réflexion lumineuses. Les élèves, rendent compte de la situation en complétant le schéma fourni, formulent des définitions précises pour les termes suivants : réflexion lumineuse, réfraction.

La suite de l'activité est menée avec un simulateur qui permet de comprendre le phénomène de réflexion.

Le simulateur permet également d'étudier l'influence de la couleur dans le phénomène de réfraction tout ceci pour interp^r

Document 2 : expérience à illustrer

Schéma/illustration

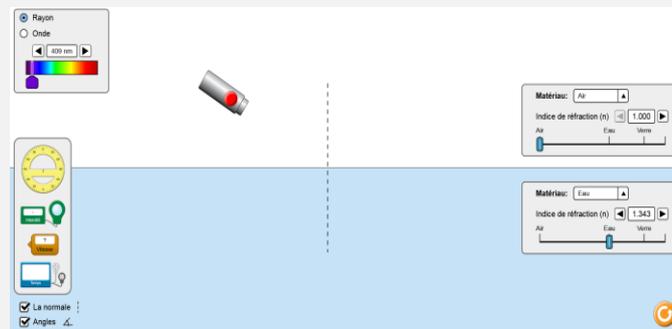


1. Insérer une photo de l'expérience de bureau proposée.
2. Compléter le schéma ci-contre, ou la photo, avec les rayons lumineux observés, en couleur.
3. À quels endroits observe-t-on un changement de direction du rayon lumineux ?
4. À l'aide des explications fournies, trouver les définitions des termes suivants : réfraction, réflexion et dispersion lumineuses.



Document 3 : Simulation à réaliser pour découvrir la loi de Descartes autour de la réflexion

Schéma/illustration



1. Démarrer la **simulation suivante**.
2. Dans la page d'accueil, choisir « outils complémentaires », cocher « angles ». Quand on appuie sur le bouton du laser, les rayons lumineux s'affichent, et on peut changer les angles en plaçant la souris sur le laser.
3. Identifier le rayon réfléchi, et ne s'intéresser qu'à ce dernier dans la suite.
4. Faire varier la nature des matériaux utilisés (eau, air, verre, etc.) pour observer les conséquences sur la réflexion.
5. Faire varier la couleur de la lumière utilisée, pour observer les conséquences sur la réflexion.
6. Faire une synthèse collective des résultats, lors d'un temps commun.

Mise en commun

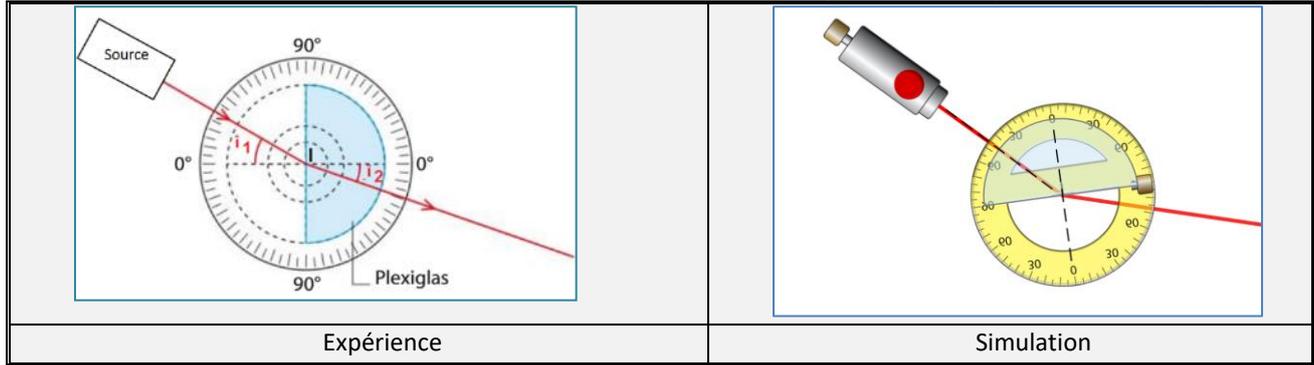
Dresser le bilan collectif de cette simulation : loi de la réflexion et caractéristiques qualitatives.

Expérience 4 : de la réfraction à la dispersion

Matériel

- Demi-disque aimanté en plexiglas
- Source lumineuse envoyant un faisceau lumineux
- Alimentation de la source (12 V =)
- Fils de connexion
- Double rapporteur métallique
- **Outil de simulation** pour la réfraction

1. Placer l'hémicylindre selon le schéma ci-contre. On rappelle que le faisceau de lumière blanche doit pointer I, le centre du disque, de façon précise. Quand on tourne lentement le disque de 360°, observe-t-on un arc en ciel avec ce demi cylindre ? Commenter, illustrer les observations par des photos.
2. Recommencer par simulation, dans le cas de figure ci-dessous.
3. Modifier alors la longueur d'onde (couleur) de la lumière utilisée et relever les angles de réfraction. Que constate-t-on quant à la valeur des angles réfractés en fonction de la longueur d'onde choisie ?
4. Vérifier ces résultats par application de la loi de Descartes pour la réfraction. On choisira $n_{2\text{air}}^{\text{violet}} \approx n_{2\text{air}}^{\text{rouge}} \approx 1,00028$.
 - 4.1. $\hat{i}_1 = 45^\circ$, $n_{1\text{eau}}^{\text{violet}} = 1,33485$ avec $\lambda_{\text{violet}} = 400 \text{ nm}$
 - 4.2. $\hat{i}_1 = 45^\circ$, $n_{1\text{eau}}^{\text{rouge}} = 1,32562$ avec $\lambda_{\text{rouge}} = 650 \text{ nm}$
7. Présenter les calculs avec soin, et on donnera le résultat pour \hat{i}_2 avec 4 chiffres significatifs !



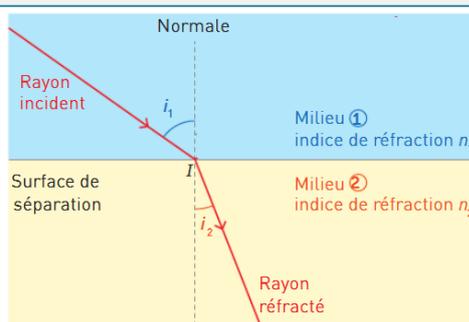
Document 4 : la loi de Descartes pour la réfraction, rappel

Les angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2 sont reliés par la relation :

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

avec n_1 et n_2 les indices de réfraction des milieux ① et ② (nombres sans dimension).

Ces indices caractérisent le milieu de propagation. Dans le cas de l'air et du vide, n vaut 1,00.



En partant de ces résultats d'expérience, de simulation, et des calculs, dresser le bilan collectif de cette simulation : qu'est-ce que la dispersion de la lumière blanche, comment justifier son apparition et quels sont les conditions nécessaires pour l'observer ?

Bilan final :

Expliquer l'apparition de l'arc en ciel dans l'activité 1, et justifier la difficulté à l'observer dans l'activité 2. Il faudra tracer le chemin suivi par la lumière dans la goutte d'eau. Pour prolonger l'activité, présenter la bande sombre d'Alexandre : lieu, justification physique.

Ce qu'il faut savoir faire :

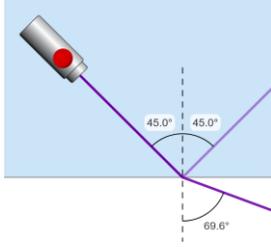
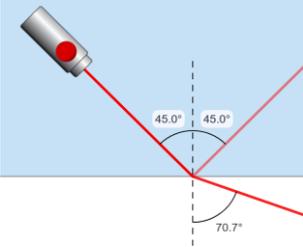
Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Reproduire un phénomène naturel de façon à s'appropriier les conditions de son obtention	Activités 1 et 2
ANA	Choisir les conditions d'une simulation, d'un protocole	Activité n°2
REA	Schématiser une expérience de façon précise	Activité n°2



Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux

Activité 1	Photos générale de l'expérience, zoom sur les arcs en ciel primaire et secondaire obtenus		
Activité 2			
	Expérience 2 : Expérience de bureau pour poser le vocabulaire de la réfraction, réflexion.		
Simulation 3 : Découverte de la loi pour la réflexion par la simulation			
La nature des milieux, la couleur de la lumière n'ont pas d'incidence sur les angles observés.			
Deux cas de réflexion, en variant la longueur d'onde du faisceau. Le milieu incident est « air », le milieu provoquant la réflexion « verre »		Cas de réflexion sur l'eau	
Expérience 4			
Simulation 5			
Eau → Air Longueur d'onde violette 400 nm »	Eau → Air Longueur d'onde rouge 650 nm	Calculs	



		$n_{1\text{ eau}}^{\text{violet}} \times \sin \hat{i}_1 = n_{2\text{ air}}^{\text{violet}} \times \sin \hat{i}_2$ $1,33485 \times \sin 45 = 1,00028 \times \sin \hat{i}_2$ $\hat{i}_2 = 70,668^\circ$ $n_{1\text{ eau}}^{\text{rouge}} \times \sin \hat{i}_1 = n_{2\text{ air}}^{\text{rouge}} \times \sin \hat{i}_2$ $1,32562 \times \sin 45 = 1,00028 \times \sin \hat{i}_2$ $\hat{i}_2 = 69,569^\circ$
---	---	---

PARTIE 4 : Et si on communiquait autour de nos découvertes ?

Les élèves doivent monter une exposition autour de leurs travaux : ce travail se fera au CDI, avec un prêt possible de matériel du laboratoire : modélisation de l'arc en ciel.

- **Objectifs** : communication de ses acquis, travail d'illustration efficace et pédagogique, travail d'équipe.
- **Matériel** : ordinateur pour projection du film réalisé, planches d'exposition...
- **Ressources disponibles** : internet, ressources du CDI, photos et vidéos des expériences réalisées...
- **Remarques sur les attentes** : ne pas oublier de citer les sources des documents utilisés