

Réfraction lumineuse

THÉMATIQUE

- Ondes progressives.

CONCEPTS OU NOTIONS ABORDÉS

- Réfraction d'une onde lumineuse.
- Réflexion totale d'une onde lumineuse.

OBJECTIFS DE FORMATION

- Appréhender le trajet d'un rayon lumineux entre deux milieux d'indices différents.
- S'approprier et valider la 2^e loi de Snell-Descartes.

Introduction

Consulter la page éducol associée au thème « [Programmer en physique-chimie](#) ».

Présentation des activités

À la fin d'une séquence sur la réfraction, les élèves réalisent, modifient ou complètent un algorithme, un programme afin de réinvestir les notions acquises sur la réfraction lumineuse et notamment les paramètres dont elle dépend.

Chacune des situations d'apprentissage proposées se reporte à un cahier des charges modifiable suivant les objectifs de l'enseignant. Ces objectifs peuvent être de :

- déterminer la valeur de l'indice de réfraction d'un milieu ;
- calculer un angle de réfraction.

Activité 1 : Algorithme

Avant la réalisation d'un programme, il est nécessaire de prévoir la suite précise des étapes (instructions, comparaisons, opérations, etc.) de manière ordonnée. Cette suite ordonnée d'instructions est un algorithme.

Dans cette approche, chaque élève choisit, en fonction de ses connaissances et compétences, s'il complète un algorithme proposé par l'enseignant ou bien s'il en crée un lui-même « à la main » ou à l'aide d'un logiciel dédié à ce type de tâche.

Le professeur peut aussi proposer un travail collaboratif en répartissant les blocs d'algorithme à travailler (affichage des textes, calcul d'un indice, vérification de l'existence de la réflexion totale, calcul de l'angle de réfraction...).

Pistes de validation et d'expérimentation

Les algorithmes peuvent être échangés entre élèves pour vérifier :

- les emboîtements « cause » et « conséquence » ;
- le listage des données (grandeurs connues et grandeur recherchée) ;
- le repérage des conditions d'application de la relation de Snell-Descartes ;
- l'intervalle de définition des angles i et r ;
- la manipulation de l'expression littérale entre les angles ;
- l'affichage du résultat.

Activité 2 : Simulation

Il s'agit de visualiser le trajet d'un rayon lumineux pour différentes valeurs d'indices de réfraction et valeurs d'angles d'incidence en utilisant des curseurs. Les élèves peuvent aussi modifier des valeurs, écrire des textes d'affichage, des relations, des tests conditionnels, etc.

Pistes de validation et d'expérimentation

- D'une part le programme peut être testé en lui-même par le paramétrage de situations particulières évidentes comme par exemple : si $\hat{i} = 0^\circ$, $\hat{r} = 0^\circ$ quelles que soient les valeurs des indices de réfraction n_1 et n_2 .
- Si $n_1 = n_2$, alors $\hat{i} = \hat{r}$ quelle que soit la valeur de \hat{i} .

D'autre part, avec un dispositif expérimental classique « air/demi-disque de plexiglass[®] » ou « air/demi-disque rempli d'eau », il est possible de valider les valeurs fournies par le programme en les confrontant à celles mesurées expérimentalement.

Activité 3 : Calcul numérique

Il s'agit ici de calculer la valeur d'un angle de réfraction, la valeur de l'angle d'incidence limite pour obtenir un rayon réfracté et/ou la valeur de l'indice de réfraction d'un milieu matériel traversé par le rayon lumineux réfracté (ou incident).

Pour cela, les élèves peuvent utiliser le programme proposé tel quel et y associer des blocs d'instructions, modifier des valeurs, compléter des instructions d'affichage, compléter des relations de calculs, voire réaliser des blocs entiers d'instructions en fonction d'un cahier des charges ou d'un algorithme.

Pistes de validation et d'expérimentation

Les pistes de validation et d'expérimentation sont les mêmes que celles proposées dans l'activité 2 « Simulation ».

LOGICIELS UTILISÉS

- Main (outil biomécanique), stylo, feuille.
- Éditeur graphique de diagramme et d'algorithme comme « [yEd](#) ».
- Logiciel de traitement de texte.
- Logiciel de géométrie dynamique GeoGebra.
- Tableur Calc (LibreOffice par exemple).
- Langage Scratch.
- Langage Python.

COMPÉTENCES INFORMATIQUES TRAVAILLÉES

- Affichage de texte sur l'écran.
- Affectation de valeur à une variable.
- Réalisation d'un calcul.
- Gestion de la conversion degré (utilisé par les élèves) / radian (utilisé par le logiciel).
- Comparaisons de variables.
- Test du type SI {test vrai} ALORS {groupe d'instructions} SINON {groupe d'instructions}.
- Boucle du type RÉPÉTER {groupe d'instructions} JUSQU'À {test vrai} (Scratch).
- Boucle du type WHILE {test vrai} {groupe d'instructions} (Python).

Exemples de contextualisation

- Automatisation du calcul d'un angle de réfraction.
- Identification d'un échantillon liquide ou solide transparent grâce à son indice de réfraction.
- Détermination de la concentration d'un soluté dissous dans un solvant par la mesure de son indice de réfraction (principe du réfractomètre avec la mesure de l'angle limite de réfraction).

De la situation physique au traitement numérique

On utilise ici la 2^e loi de Snell-Descartes : $n_1 \cdot \sin(\hat{i}) = n_2 \cdot \sin(\hat{r})$ reliant les angles d'incidence et de réfraction \hat{i} et \hat{r} aux indices de réfraction n_1 et n_2 de chacun des milieux.

Les traitements numériques utilisent cette relation et isolent l'indice n_2 , ou l'angle de réfraction \hat{r} en fonction de la grandeur recherchée.

Ce que les élèves doivent retenir

Ces activités permettent de renforcer les apprentissages sur le fait :

- que la propagation est rectiligne dans un même milieu transparent (homogène isotrope) ;
- qu'il peut y avoir réfraction si l'indice de réfraction de chaque milieu transparent est différent et si l'angle d'incidence est inférieur à une certaine valeur dépendante des indices des deux milieux (notion de condition nécessaire mais pas suffisante) ;
- que les angles d'incidence et de réfraction ne sont pas proportionnels (même si cela semble être le cas pour des valeurs suffisamment petites).

Activité 1 : Algorithme

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, ou en fonction du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi.

Exemples de consignes pour les élèves

Programmation (compétence Réaliser)

Réaliser un algorithme qui :

- donne la possibilité de calculer un angle de réfraction ou bien un indice de réfraction ;
- utilise les notations suivantes : i pour l'angle d'incidence, r pour l'angle de réfraction, n_1 pour l'indice du premier milieu (celui du rayon incident) et n_2 pour l'indice du deuxième milieu (celui du rayon réfracté).

Remarque : dans le cas d'un calcul d'angle de réfraction, le programme doit vérifier préalablement si le rayon réfracté existe. Pour ce faire, on peut comparer la valeur de l'angle d'incidence indiquée par l'utilisateur avec celle de l'angle limite d'incidence dans la situation.

Expérimentation numérique et validation de la programmation (compétence Valider)

Valider l'algorithme en utilisant des situations particulièrement simples ou en les comparant avec celles obtenues expérimentalement.

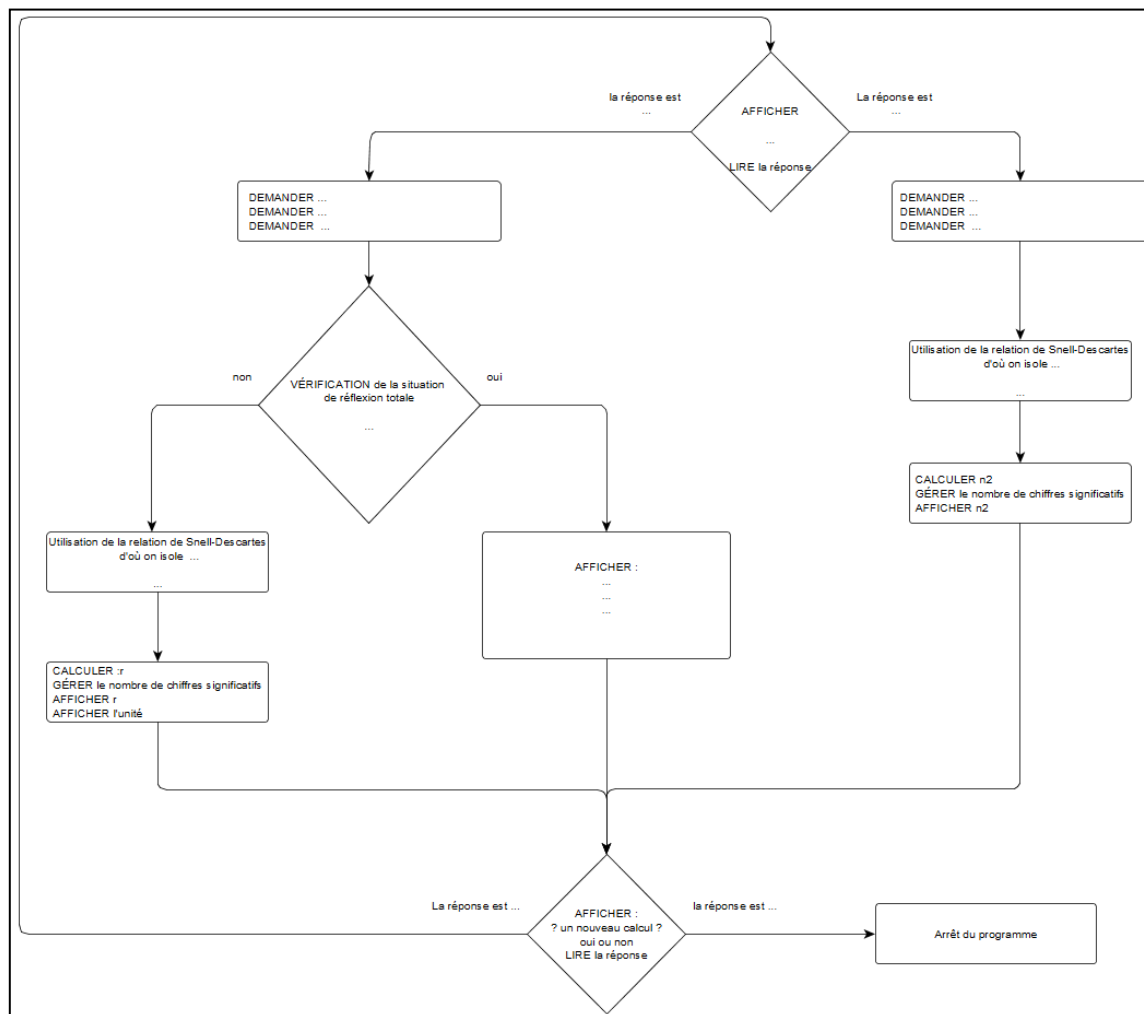
Conclusion (compétence Communiquer)

Communiquer en expliquant l'algorithme aux autres élèves.

Exemples d'aides et de réalisations pour la programmation

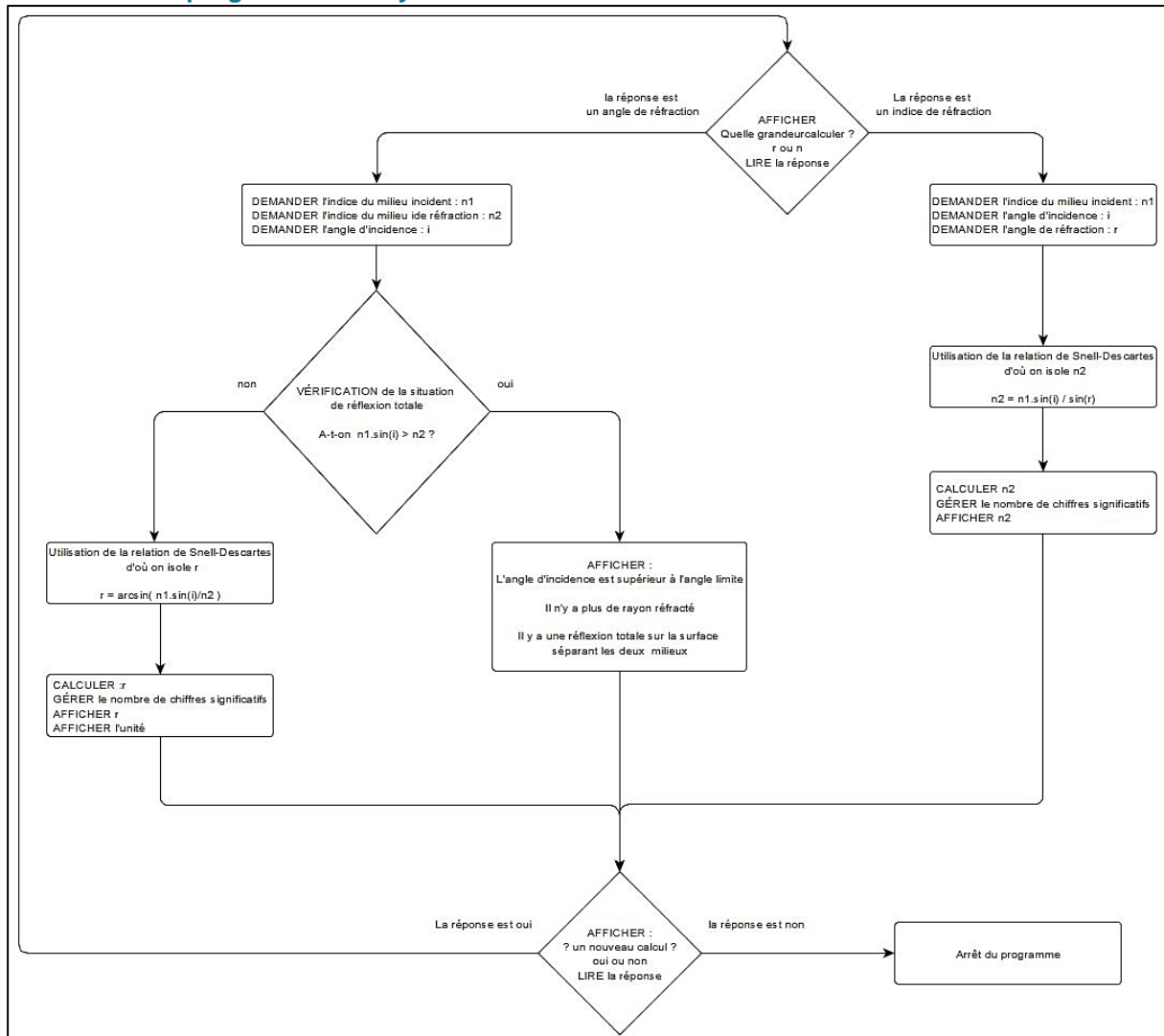
Aides pour la programmation avec le logiciel yEd®

Compléter l'algorithme proposé ci-dessus.



1. Écrire ce que le logiciel doit afficher dans le premier losange pour proposer à l'utilisateur les deux possibilités de calcul.
2. Pour le choix d'un calcul de l'angle de réfraction :
 - indiquer les données que le logiciel doit demander dans le premier rectangle ;
 - écrire la vérification (par comparaison de valeur) que le logiciel doit effectuer dans le losange afin de savoir s'il y a ou non une réfraction ;
 - écrire le calcul de l'angle r dans le bon rectangle et prévoir ce que le logiciel doit afficher en cas d'absence de rayon réfracté, donc en absence de calcul possible pour l'angle r .
3. Pour le choix du calcul de l'indice de réfraction du milieu dans lequel le rayon est réfracté :
 - indiquer les données que le logiciel doit demander dans le premier rectangle ;
 - écrire le calcul permettant de déterminer n_2 dans le rectangle suivant.

Réalisation du programme avec yEd®



Un exemple de réalisation est présent dans le dossier « [Refraction_yEd_Algorithme.zip](#) ».

Activité 2 : Simulation

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, ou en fonction du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi.

Exemples de consignes pour les élèves

Programmation (compétence Réaliser)

Utiliser et modifier la simulation proposée avec Geogebra.

- Ouvrir la simulation proposée avec Geogebra.
- Modifier la valeur de l'angle d'incidence et noter les observations.
- Modifier les valeurs des indices de réfraction et noter les observations.
- Ajuster les bornes des curseurs pour n_1 et n_2 ; par exemple [1;3] ou [1 ; 2].
- Ajuster le pas d'incrémentement d'un curseur associé à l'angle d'incidence ; par exemple à « 0.5° » ou « 0.1° ». Quel effet cela a-t-il ? Y a-t-il un inconvénient si le pas est trop grand ?

- Ecrire la relation qui fournit r en fonction de n_1 , n_2 , et \hat{i} : Ici $r_1 = \arcsin(n_1 / n_2 \sin(i))$.
NB : le symbole multiplié « * » entre « n_2 » et « \sin » s'efface quand on valide.
- Écrire le texte associé à l'absence de réfraction.
- Écrire le test conditionnel de l'affichage relatif à l'absence de réfraction.
Ici la condition d'affichage est $i > \arcsin(n_2 / n_1)$.
- Comprendre le codage dans le cas d'une réflexion totale.

Expérimentation numérique et validation de la programmation (compétence Valider)

1. Valider le programme en utilisant des situations particulièrement simples comme par exemple l'égalité des deux indices ou encore un angle d'incidence nul.
2. Valider le programme en mettant en œuvre une expérimentation.

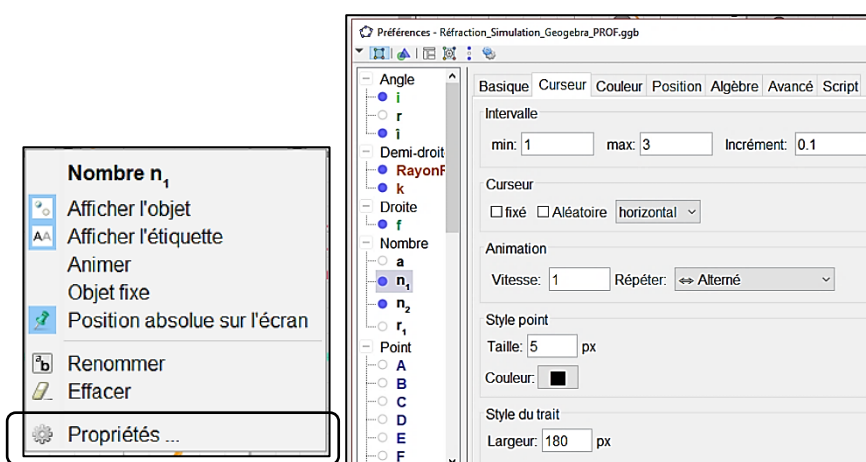
Conclusion (compétence Communiquer)

1. Communiquer en expliquant à quoi chacun des trois curseurs est associé.
2. Communiquer en expliquant l'évolution de la valeur de l'angle du rayon réfracté et de celle du rayon réfléchi quand la valeur de l'angle d'incidence augmente.
3. Communiquer en réalisant une double comparaison entre les angles d'incidence et de réfraction d'une part et entre les deux indices de réfraction des milieux d'autre part.

Exemples d'aides et de réalisations pour la programmation

Aides pour la programmation avec un logiciel de géométrie dynamique (Geogebra®)

Un clic droit sur un objet ouvre une fenêtre contextuelle en bas de laquelle on accède aux « propriétés ».

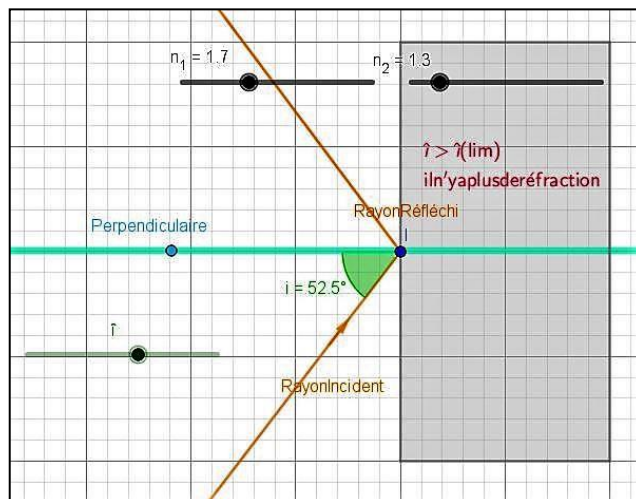
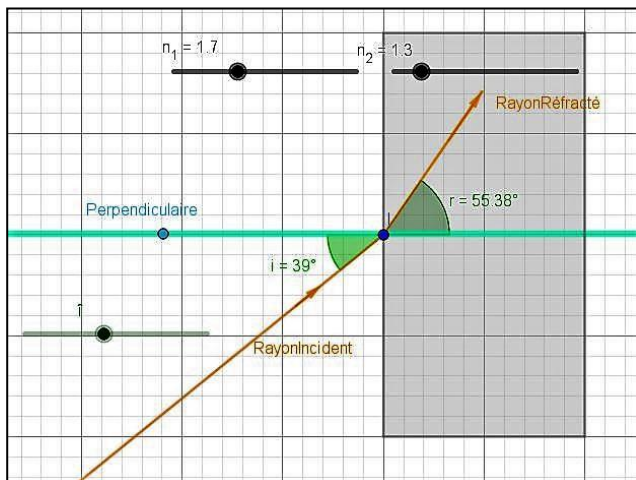
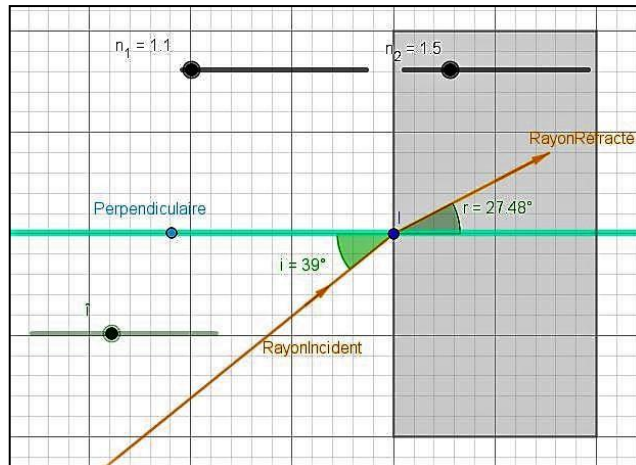


Remarque : il peut être difficile de demander à un élève de programmer avec le logiciel de géométrie dynamique Geogebra, même si ce dernier est souvent utilisé en mathématiques, c'est pourquoi il a plutôt été proposé ici de réaliser des modifications de valeur et des ajustements sur les curseurs, qui n'en sont pas moins très instructives.

Exemple de réalisation avec Geogebra

Algèbre

- $A = (0, 2.75)$
- $B = (0.04, -6.74)$
- $\text{Perpendiculaire} = (-10.95, 0.05)$
- $I = (0, 0)$
- $i = 52.5^\circ$
- $E = (-5.58, 0)$
- $p = (-3.4, -4.43)$
- $i = 52.5^\circ$
- $k: 4.43x - 3.4y = 0$
- $F = (-2.4, -3.13)$
- $\text{RayonIncident} = \begin{pmatrix} 0.99 \\ 1.3 \end{pmatrix}$
- $n_1 = 1.2$
- $a = 1$
- $n_2 = 1.4$
- $r_1 = 0.75$
- $G = (8.63, 0)$
- $G' = (6.33, 5.87)$
- $r = 42.84^\circ$
- $C = (0, 10)$
- $D = (0, -10)$
- $H = (10, -10)$
- $J = (10, 10)$
- $j = 10$
- $h = 20$
- $d = 10$
- $c = 20$
- $q1 = 200$
- $\text{RayonRéfracté} = 8.63$
- $K = (0, 0)$
- $L = (3.99, 4.87)$
- $v = \begin{pmatrix} 6.33 \\ 5.87 \end{pmatrix}$
- $f: y = 0.05$
- $\text{texte1} = "i > i(\text{lim})"$
- $\text{iln'yaplusderéfraction}"$
- $P = (-3.4, 4.53)$
- $\text{RayonRéfléchi: } -4.53x - 3.4y = 0$



Un exemple de réalisation est présent dans le dossier « [Refraction_Geogebra.zip](#) ».

Activité 3 : Calculs numériques

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, ou en fonction du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi.

Exemples de consignes pour les élèves

Programmation (compétence Réaliser)

1. En connaissant la valeur d'un angle d'incidence ainsi que celles des indices de réfraction des deux milieux matériels traversés, **concevoir** un programme qui permettra de prévoir l'angle de réfraction d'un rayon lumineux à condition qu'il n'y ait pas de réflexion totale.
2. Au cours de la programmation ne pas oublier :
 - de penser à la conversion des angles ($^{\circ} \leftrightarrow \text{rad}$) ;
 - de penser à ajuster le nombre de chiffres affichés dans les cellules « résultats » ;
 - d'utiliser une fonction conditionnelle, du type : = SI (TEST ; action si test VRAI ; action si test FAUX).

Expérimentation numérique et validation de la programmation (compétence Valider)

1. Valider votre programme en le confrontant aux valeurs obtenues lors d'une expérimentation.
2. Valider votre programme en choisissant un angle d'incidence nul, ou avec des indices de réfraction identiques pour les deux milieux, ou bien encore avec un angle d'incidence supérieur à l'angle limite de réfraction.

Conclusion (compétence Communiquer)

Communiquer en expliquant le programme aux autres élèves.

Exemples d'aides et de réalisations pour la programmation

Aides pour la programmation avec un tableur (Excel®)

Utiliser les indications et remarques regroupées dans les deux encadrés présents sur la feuille de calcul pré-remplie ci-dessous afin d'y compléter les cellules vides pour que le programme calcule l'angle de réfraction d'un rayon à condition qu'il n'y ait pas de réflexion totale.

Ce programme utilisera la valeur de l'angle d'incidence ainsi que celles des indices de réfraction des deux milieux matériels traversés.


23

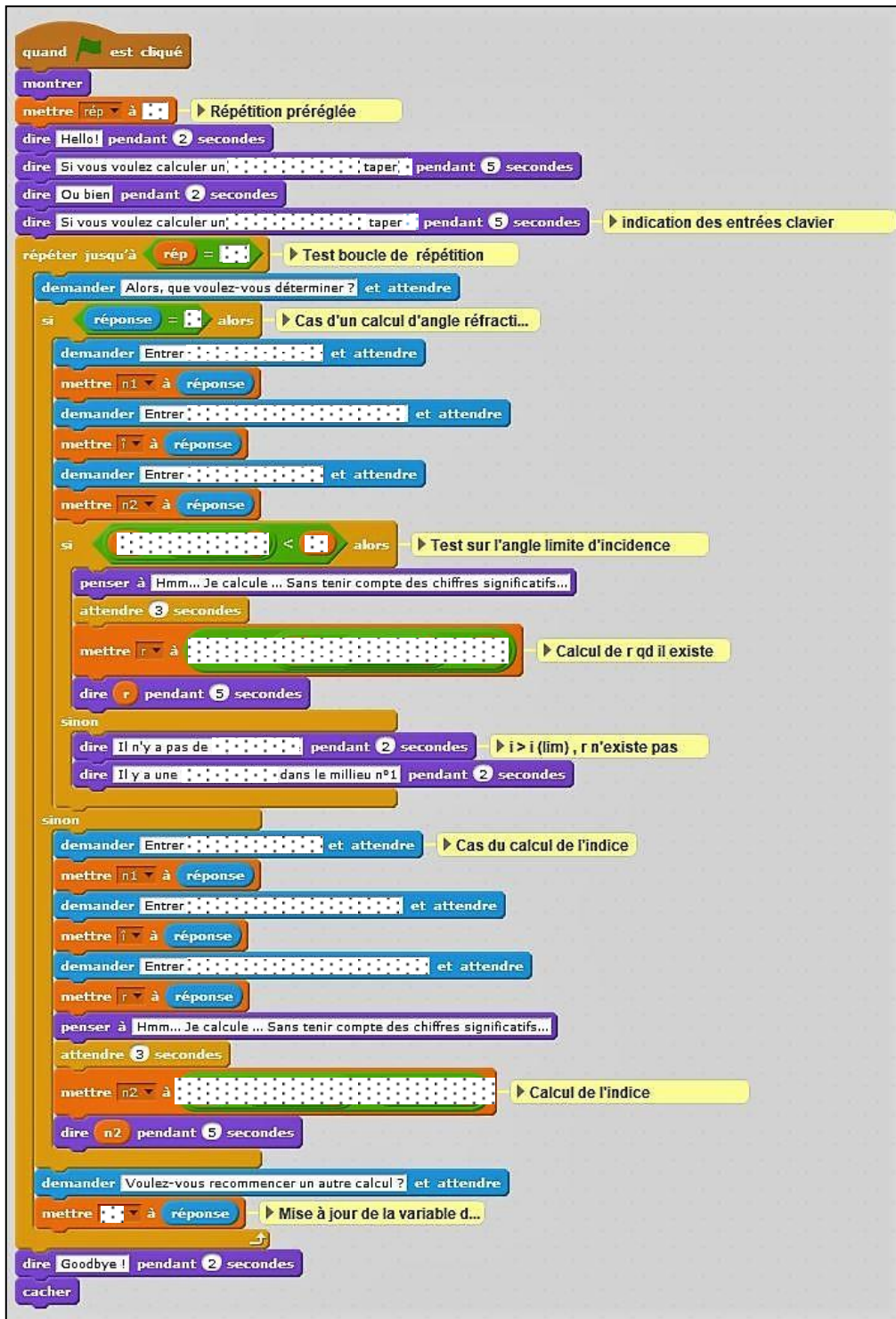
Exemple de réalisation avec Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2				REFRACTION en CLASSE de SECONDE UTILISATION DE LA LOI DE SNELL-DESCARTES							REMARQUES			
3														
4				indice de réfraction du premier milieu sans unité		indice de réfraction du deuxième milieu sans unité								
5				1,40		1,20								
6				Angle d'incidence limite en degré										
7				59,0										
8														
9				Angle d'incidence en degré de 0° à 90°		Angle de réfraction en degré								
10				56,5		76,5								
11														
12														
13														
14														
15														
16				D6 un nombre à entrer		F6 un nombre à entrer								
17														
18														
19				D9 un calcul conditionnel i (lim)										
20														
21				D13 un nombre à entrer		F13 un calcul conditionnel ^r								
22														
23														

Un exemple de réalisation est présent dans le dossier « [Refraction_Tableur.zip](#) ».

Aides pour la programmation avec Scratch

1. Dans le programme ci-dessous, repérer les rectangles en pointillés : .
2. En utilisant les indications écrites en noir sur fond jaune, compléter les rectangles en pointillés afin que le programme remplisse les tâches indiquées dans les consignes.
3. Dans cette proposition, les notations des variables sont :
 i = angle d'incidence, r = angle de réfraction, i_{lim} = angle d'incidence limite ;
 $n1$ = indice du 1^{er} milieu (celui du rayon incident) ;
 $n2$ = indice du 2^e milieu (celui du rayon réfracté) ;
 $rep1$ = réponse au choix du calcul de $n2$ ou bien r ;
 $rep2$ = réponse à la demande de recommencer un autre calcul.



```

quand est cliqué
montrer
mettre rep à 0
dire Hello! pendant 2 secondes
dire Si vous voulez calculer un, taper, pendant 5 secondes
dire Ou bien pendant 2 secondes
dire Si vous voulez calculer un, taper, pendant 5 secondes
répéter jusqu'à rep = 0
  demander Alors, que voulez-vous déterminer? et attendre
  si réponse = alors
    demander Entrer, et attendre
    mettre n1 à réponse
    demander Entrer, et attendre
    mettre i à réponse
    demander Entrer, et attendre
    mettre n2 à réponse
    si réponse < alors
      penser à Hmm... Je calcule ... Sans tenir compte des chiffres significatifs...
      attendre 3 secondes
      mettre r à 
      dire r pendant 5 secondes
    sinon
      dire Il n'y a pas de pendant 2 secondes
      dire Il y a une dans le milieu n1 pendant 2 secondes
    sinon
      demander Entrer, et attendre
      mettre n1 à réponse
      demander Entrer, et attendre
      mettre i à réponse
      demander Entrer, et attendre
      mettre r à réponse
      penser à Hmm... Je calcule ... Sans tenir compte des chiffres significatifs...
      attendre 3 secondes
      mettre n2 à 
      dire n2 pendant 5 secondes
  demander Voulez-vous recommencer un autre calcul? et attendre
  mettre à réponse
  dire Goodbye! pendant 2 secondes
  cacher
  
```

Exemple de réalisation avec Scratch

The Scratch script is designed to calculate the angle of refraction or reflection based on user input. It starts with a 'when green flag is clicked' event, followed by a 'show' block and a 'set reply to' block set to 'oui'. It then displays a series of messages: 'Hello!', 'If you want to calculate an ANGLE of refraction type r', 'Or bien', and 'If you want to calculate an INDICE of refraction type n'. A 'repeat until' loop is set to 'reply = non'. Inside the loop, it asks 'Alors, que voulez-vous déterminer?' and waits. A 'if' block checks if 'reply = r'. If true, it asks for 'indice du milieu n°1', 'angle d'incidence dans le milieu 1', and 'indice du milieu n°2', storing them in variables n1, i, and n2. It then checks the condition $n1 * \sin(i) < n2$. If true, it thinks 'Hmm... Je calcule ... Sans tenir compte des chiffres significatifs...', waits 3 seconds, sets 'r' to $\text{asin}(\sin(i) * n1 / n2)$, and says 'r' for 5 seconds. If false, it says 'Il n'y a pas de rayon réfracté' and 'Il y a une réflexion totale dans le milieu n°1' for 2 seconds each. If the initial 'if' is false, it asks for 'indice du milieu n°1', 'angle d'indice dans le milieu n°1', and 'angle de réfraction dans le milieu n°2', storing them in n1, i, and r. It then thinks 'Hmm... Je calcule ... Sans tenir compte des chiffres significatifs...', waits 3 seconds, sets 'n2' to $n1 * \sin(i) / \sin(r)$, and says 'n2' for 5 seconds. After the loop, it asks 'Voulez-vous recommencer un autre calcul?', sets 'reply' to the answer, and says 'Goodbye!' for 2 seconds before 'hide'.

```
quand le drapeau vert est cliqué
montrer
mettre répl à oui
dire Hello! pendant 2 secondes
dire Si vous voulez calculer un ANGLE de réfraction taper r pendant 5 secondes
dire Ou bien pendant 2 secondes
dire Si vous voulez calculer un INDICE de réfraction taper n pendant 5 secondes
répéter jusqu'à rép = non
  demander Alors, que voulez-vous déterminer? et attendre
  si réponse = r alors
    demander Entrer l'indice du milieu n°1 et attendre
    mettre n1 à réponse
    demander Entrer l'angle d'incidence dans le milieu 1 et attendre
    mettre i à réponse
    demander Entrer l'indice du milieu n°2 et attendre
    mettre n2 à réponse
    si n1 * sin de i < n2 alors
      penser à Hmm... Je calcule ... Sans tenir compte des chiffres significatifs...
      attendre 3 secondes
      mettre r à asin de n1 * sin de i / n2
      dire r pendant 5 secondes
    sinon
      dire Il n'y a pas de rayon réfracté pendant 2 secondes
      dire Il y a une réflexion totale dans le milieu n°1 pendant 2 secondes
  sinon
    demander Entrer l'indice du milieu n°1 et attendre
    mettre n1 à réponse
    demander Entrer l'angle d'indice dans le milieu n°1 et attendre
    mettre i à réponse
    demander Entrer l'angle de réfraction dans le milieu n°2 et attendre
    mettre r à réponse
    penser à Hmm... Je calcule ... Sans tenir compte des chiffres significatifs...
    attendre 3 secondes
    mettre n2 à n1 * sin de i / sin de r
    dire n2 pendant 5 secondes
  demander Voulez-vous recommencer un autre calcul? et attendre
  mettre répl à réponse
  dire Goodbye! pendant 2 secondes
cacher
```

Un exemple de réalisation est disponible dans le dossier « [Refraction_Scratch.zip](#) ».

Aides pour la programmation avec Python

1. Repérer les endroits où l'expression « **À COMPLÉTER** » est écrite dans le script proposé.

```
import math as m
from math import *
import numpy as np
from numpy import *

print ("-----")
print ("")
print (" À COMPLÉTER ")
print (" A COMPLÉTER ")
print ("")

rep1 = "oui"
while rep1 == "oui" :
    print ("-----")
    print (" A COMPLÉTER ")
    print (" A COMPLÉTER ")
    rep2 = input ()

    if rep2 == "indice" :
        print ("-----")
        print ("Indiquer la valeur de la mesure de l'angle d'incidence en ° et la valeur de l'indice du milieu associé")
        rep_i,rep_n1 = input ().split (" ")
        i=float (rep_i)
        n1=float (rep_n1)

        print ("Indiquer maintenant la valeur de la mesure de l'angle de réfraction")
        rep_r = input ()
        r=float (rep_r)

        n2 = A COMPLÉTER
        print ("L'indice du milieu du rayon réfracté vaut : ",n2)
        print ("Merci d'ajuster vous-mêmes le nombre de chiffres significatifs")

    else :
        print ("-----")
        print ("Indiquer la valeur de l'indice du milieu associé au rayon incident ainsi que la valeur de l'angle d'incidence en °")
        rep_n1,rep_i = input ().split (" ")
        n1=float (rep_n1)
        i=float (rep_i)

        print ("Indiquer la valeur de l'indice du milieu du rayon réfracté")
        rep_n2 = input ()
        n2=float (rep_n2)

        if n1>n2 :
            i_lim = A COMPLÉTER
            if A COMPLÉTER :
                print ("L'angle d'incidence doit être inférieur à ",i_lim)
                print ("Il n'y a pas de rayon réfracté")
                print ("L'angle de réflexion totale vaut ",i,"°")
            else :
                print ("L'angle de réfraction vaut ", A COMPLÉTER , "°")
                print ("Veuillez vous charger d'ajuster le nombre de chiffres significatifs")
        else :
            print ("L'angle de réfraction vaut ", A COMPLÉTER , "°")
            print ("Merci d'ajuster vous-même le nombre de chiffres significatifs")

    print ("-----")
    print ("Voulez-vous à nouveau utiliser ce programme? oui/non")
    rep1=input ()
```

Présentation du programme

Indication des deux entrées clavier pour choisir le calcul d'un indice ou d'un angle de réfraction

Calcul associé à l'indice de réfraction du milieu n°2

Calcul associé à l'angle d'incidence limite

Condition de réflexion totale

Calcul associé à l'angle de réfraction

2. Remplacer les différentes parties du texte « **À COMPLÉTER** » par du code afin que le programme remplisse les tâches indiquées dans les consignes.

Remarque : il est également possible de demander simplement aux élèves d'exécuter un programme déjà existant et de repérer son avancement le long des lignes et des blocs de code ou de retrouver l'algorithme associé au programme qui est proposé.

Exemple de réalisation avec Python

```
Refraction_OK.py
1 import math as m
2 from math import *
3 import numpy as np
4 from numpy import *
5
6 print("-----")
7 print("")
8 print ("Programme d'utilisation de la relation de Snell-Descartes")
9 print ("associée à la réfraction lumineuse")
10 print("")
11
12 repl = "oui"
13 while repl == "oui" :
14
15     print("-----")
16     print("Pour calculer un indice de réfraction alors taper indice")
17     print("Pour calculer un angle de réfraction taper angle")
18     rep2 = input()
19
20     if rep2 == "indice" :
21         print("-----")
22         print ("Indiquer la valeur de la mesure de l'angle d'incidence en ° et la valeur de l'indice du milieu associé")
23         rep_i,rep_n1 = input().split(" ")
24         i=float(rep_i)
25         n1=float(rep_n1)
26
27         print ("Indiquer maintenant la valeur de la mesure de l'angle de réfraction")
28         rep_r = input()
29         r=float(rep_r)
30
31         n2 = n1*sin(i/180*pi)/sin(r/180*pi)
32         print ("L'indice du milieu du rayon réfracté vaut : ",n2)
33         print ("Merci d'ajuster le nombre de chiffres significatifs")
34
35     else :
36         print("-----")
37         print ("Indiquer la valeur de l'indice du milieu associé au rayon incident ainsi que la valeur de l'angle
38 d'incidence en °")
39         rep_n1,rep_i = input().split(" ")
40         n1=float(rep_n1)
41         i=float(rep_i)
42
43         print ("Indiquer la valeur de l'indice du milieu du rayon réfracté")
44         rep_n2 = input()
45         n2=float(rep_n2)
46
47         if n1>n2 :
48             i_lim = m.asin(n2/n1)/pi*180
49
50             if i > i_lim :
51                 print ("L'angle d'incidence doit être inférieur à ",i_lim)
52                 print ("Il n'y a pas de rayon réfracté")
53                 print ("L'angle de réflexion totale vaut ",i,"°")
54             else :
55                 print("L'angle de réfraction vaut ", m.asin(n1*sin(i/180*pi)/n2)/pi*180,"°")
56                 print ("Veuillez vous charger d'ajuster le nombre de chiffres significatifs")
57         else :
58             print ("L'angle de réfraction vaut ", m.asin(n1*sin(i/180*pi)/n2)/pi*180,"°")
59             print ("Merci d'ajuster le nombre de chiffres significatifs")
60     print("-----")
61     print("Voulez-vous à nouveau utiliser ce programme? oui/non")
62     repl=input()
```

Un exemple de réalisation est disponible dans le dossier « [Refraction_Python.zip](#) ».

```

import math as m
from math import *
import numpy as np
from numpy import *

print ("-----")
print ("")
print ("Programme d'utilisation de la relation de Snell-Descartes")
print ("associée à la réfraction lumineuse")
print ("")

rep1 = "oui"
while rep1 == "oui" :
    print ("-----")
    print ("Pour calculer un indice de réfraction alors taper indice")
    print ("Pour calculer un angle de réfraction taper angle")
    rep2 = input ()

    if rep2 == "indice" :
        print ("-----")
        print ("Indiquer la valeur de la mesure de l'angle d'incidence en ° et la valeur de l'indice du milieu associé")
        rep_i,rep_n1 = input ().split (" ")
        i=float (rep_i)
        n1=float (rep_n1)

        print ("Indiquer maintenant la valeur de la mesure de l'angle de réfraction")
        rep_r = input ()
        r=float (rep_r)

        n2 = n1*sin(i/180*pi)/sin(r/180*pi)
        print ("L'indice du milieu du rayon réfracté vaut : ",n2)
        print ("Merci d'ajuster vous-même le nombre de chiffres significatifs")

    else :
        print ("-----")
        print ("Indiquer la valeur de l'indice du milieu associé au rayon incident ainsi que la valeur de l'angle d'incidence en °")
        rep_n1,rep_i = input ().split (" ")
        n1=float (rep_n1)
        i=float (rep_i)

        print ("Indiquer la valeur de l'indice du milieu du rayon réfracté")
        rep_n2 = input ()
        n2=float (rep_n2)

        if n1>n2 :
            i_lim = m.asin(n2/n1)/pi*180

            if i > i_lim :
                print ("L'angle d'incidence doit être inférieur à ",i_lim)
                print ("Il n'y a pas de rayon réfracté")
                print ("L'angle de réflexion totale vaut ",i,"°")
            else :
                print ("L'angle de réfraction vaut ", m.asin (n1*sin(i/180*pi)/n2)/pi*180 , "°")
                print ("Veuillez vous charger d'ajuster le nombre de chiffres significatifs")
        else :
            print ("L'angle de réfraction vaut ", m.asin(n1*sin(i/180*pi)/n2)/pi*180,"°")
            print ("Merci d'ajuster vous-même le nombre de chiffres significatifs")

    print ("-----")
    print ("Voulez-vous à nouveau utiliser ce programme? oui/non")
    rep1=input ()

```