

Rapport du projet Starlight

Florian Knop (39310) - Gatien Bovyn (39189)

24 avril 2015

Table des matières

1	Introduction	5
2	Conventions	6
2.1	Conventions de nommage utilisées	6
2.1.1	Fichiers	6
2.1.2	Classes	6
2.1.3	Variables	7
2.2	Autres conventions	8
3	Présentation générale du projet	9
3.1	Le jeu	9
3.1.1	Le fonctionnement du jeu	9
3.1.2	L'interface	10
3.2	Éditeur de cartes	12
3.2.1	Possibilités de l'éditeur	12
3.2.2	Faiblesses de l'éditeur	12
4	Présentation des différentes classes	13
4.1	Observateur / Observé	13
4.1.1	ObserverInterface	13
4.1.2	Observable	14
4.2	Les classes/namespaces utilitaires	14
4.2.1	MapReader	14
4.2.2	MapWriter	15

4.2.3	Constants	15
4.2.4	Le namespace umath	15
4.2.5	Le namespace uview	15
4.3	Modèle	16
4.3.1	Point	16
4.3.2	Line	16
4.3.3	LineSegment	17
4.3.4	Ellipse	17
4.3.5	Rectangle	17
4.3.6	Element	17
4.3.7	Source	18
4.3.8	Dest	18
4.3.9	Wall	18
4.3.10	Mirror	18
4.3.11	Lens	19
4.3.12	Crystal	19
4.3.13	Nuke	19
4.3.14	Ray	19
4.3.15	Level	20
4.4	Vue	21
4.4.1	ElementView	21
4.4.2	SourceView	21
4.4.3	DestinationView	21
4.4.4	WallView	22
4.4.5	MirrorView	22
4.4.6	LensView	22
4.4.7	CrystalView	22
4.4.8	NukeView	22
4.4.9	RayView	23
4.4.10	MapView	23
4.5	L'éditeur de carte	24

4.5.1	MainEditor	24
4.5.2	Elements	24
4.5.3	Properties	24
4.5.4	PropertiesInterface	24
4.5.5	CrystalProp	25
4.5.6	DestProp	25
4.5.7	LensProp	25
4.5.8	MirrorProp	25
4.5.9	NukeProp	25
4.5.10	SourceProp	25
4.5.11	WallProp	25
5	Les tests	26
6	Les bugs connus	27
7	Conclusion	28
8	Bibliographie	30
9	Annexes	31
9.1	Annexe A : Démarches mathématiques	31
9.1.1	Rotation de segment	31
9.1.2	Trouver l'intersection entre deux droites	33
9.1.3	Trouver l'intersection entre une droite et un segment de droite	34
9.1.4	Trouver l'intersection entre deux segments	35
9.1.5	Trouver la ou les intersection(s) entre une ellipse et une droite	35
9.1.6	Trouver la ou les intersection(s) entre une ellipse et un segment de droite	37
9.1.7	Trouver la ou les intersection(s) entre un rectangle et une droite	37
9.1.8	Trouver la ou les intersection(s) entre un rectangle et un segment de droite	38

9.1.9	Calculer la réflexion d'un rayon	38
9.2	Annexe B : Diagramme des observateurs / observés	40

Chapitre 1

Introduction

Ce document vise à présenter le travail d'analyse et de programmation effectué lors de la réalisation du projet du laboratoire Langage C++ : Starlight.

Ce projet a été réalisé en binôme par Florian Knop, matricule 39310 groupe 2G13, et Gatien Bovyn, matricule 39189 groupe 2G11.

Le programme à concevoir consiste en une implémentation du modèle et d'une interface graphique du jeu baptisé Starlight, puzzle à 2 dimensions basé sur la lumière.

Ce projet a été compilé principalement avec g++ (version 4.8.2 ou supérieure) sous la distribution GNU/Linux Ubuntu (ou une de ses dérivées). La version du framework Qt utilisée est la 5.0.2 ou supérieure. Ce projet a été fait sous QtCreator, IDE OpenSource en version 2.8.1 ou supérieure.

Chapitre 2

Conventions

2.1 Conventions de nommage utilisées

Dans cette section, nous présenterons les différentes conventions utilisées lors de ce projet. Nous avons décidé de reprendre certaines conventions utilisées par la STL (Librairie Standard) tout en utilisant d'autres conventions.

De manière globale, tous les noms de variables, classes, fichiers, etc. sont en anglais.

2.1.1 Fichiers

Les noms de fichiers sont entièrement en minuscules et possèdent les extensions `.h` pour les headers et `.cpp` pour les fichiers sources.

- `nomfichier.h`
- `nomfichier.cpp`

2.1.2 Classes

Les noms des classes commencent par une majuscule à chaque mot. Cette convention est également valable pour les noms d'énumérations et structures.

- `Classe`
- `NomClasse`
- `NomStruct`
- `NomEnumeration`

2.1.3 Variables

Variables de classe

Les noms des variables de classes sont en minuscules, les mots sont séparés par un underscore et le nom est suffixé par un underscore.

- `variable_`
- `nom_variable_`

Cette convention est également valable pour les variables d'une structure.

Variables locales

Les noms des variables locales respectent les mêmes conventions que les variables de classe, à la seule exception qu'ils ne sont pas suffixés par un underscore.

- `variable`
- `nom_variable`

Constantes

Les noms des constantes sont entièrement en majuscules et les mots sont séparés par des underscores.

- `CONSTANTE`
- `NOM_CONSTANTE`

Méthodes

D'une manière générale, les noms de méthodes sont en minuscules et séparés par des underscores.

Getters

Le nom d'un getter (accesseur en lecture de variable de classe/structure) est égal au nom de la variable de classe sans l'underscore final.

- Variable : `variable_` — Getter : `variable()`
- Variable : `nom_var_` — Getter : `nom_var()`

Setters

Le nom d'un setter (accesseur en écriture de variable de classe/structure) est égal au nom de la variable sans l'underscore final préfixé de `set`.

- Variable : `variable_` — Setter : `set_nom_var()`

Autres méthodes

Les autres méthodes possèdent les mêmes conventions que celles énoncées ci-dessus.

- `methode()`
- `nom_methode()`

Éléments d'une énumération

Les éléments d'une énumération suivent les mêmes conventions que celles des constantes énoncées ci-dessus.

2.2 Autres conventions

- Les méthodes qui override une méthode d'une super-classe possèdent le mot-clé `override`.
- Les pointeurs prennent une notation comme ceci : `NomClasse * nom_obj`.
- Les références prennent une notation comme ceci : `NomClasse& nom_obj`.
- Les getters et setters sont déclarés `inline`.
- La documentation se fait comme suit :

```
/**
 * Description de la methode.
 * @param param1 description param1.
 * @param param2 description param2.
 * @throw exception cas du lancement
 *           de l'exception.
 * @return description de ce que la
 *         methode retourne.
 */
```

Tout non respect des conventions dans notre projet est bien sur non intentionel.

Chapitre 3

Présentation générale du projet

Cette section décrit les objectifs principaux et secondaires effectués lors de la réalisation de ce projet. Toutes les classes utilisées sont décrites dans la section suivante.

Le projet fini ouvre sur un menu principal permettant de jouer à Starlight, de voir les règles du jeu, d'accéder à l'éditeur de carte ou de simplement quitter.

3.1 Le jeu

Le projet permet de jouer à Starlight en important sa propre carte de jeu au format .lv1 qu'il est possible de créer soi-même grâce à l'éditeur de carte (cf. « Éditeur de cartes »).

Il est nécessaire de préciser que le jeu part du principe que la carte fournie est sans erreur. Une carte fournie avec erreur produira donc un arrêt immédiat de l'application.

3.1.1 Le fonctionnement du jeu

Le but du jeu est de déplacer un rayon provenant d'une source lumineuse pouvant être allumée ou éteinte vers une destination à l'aide de miroirs plans amovibles réfléchissant la lumière. La lumière possède une longueur d'onde comprise dans le spectre de lumière visible.

En addition avec leur déplacement, les miroirs peuvent tourner autour d'un point de pivot. Ce déplacement et cette rotation se font tout en restant dans certaines limites si celles-ci ont été définies à la création du miroir.

Une gestion des collisions a également été implémentée pour éviter que les miroirs déplacés ne heurtent les autres éléments de la carte. De ce fait, la carte de jeu fournie par Mr. Absil a légèrement été modifiée pour éviter que les miroirs ne se trouvent dans les murs à la création du niveau et qu'il soit donc impossible de les déplacer par la suite.

La carte peut aussi posséder des cristaux qui modifient la longueur d'onde du rayon les traversant, ainsi que des lentilles laissant passer la lumière d'un certain intervalle de longueur d'onde. La couleur de la lumière est donc modifiée selon la longueur d'onde du rayon lumineux.

Et pour finir, la carte peut être munie de bombes qui terminent et font perdre instantanément la partie si celles-ci sont touchées par un rayon lumineux.

3.1.2 L'interface

L'interface graphique du jeu Starlight a été réalisée sous Qt (en version 5.0.2 ou supérieure). Il s'agit ici d'une interface simple et minimaliste permettant d'effectuer la fonction de base demandée : jouer.

La fenêtre de jeu possède également des menus permettant de :

- **Quitter**
- **Revenir au menu principal**
- **Charger une carte**
- **Quitter la carte**
- **Voir les règles du jeu**

Les raccourcis clavier permettant d'accéder aux fonctions citées ci-dessus sont dépendants du système d'exploitation utilisé.

Les miroirs sont sélectionnés en utilisant un double clic gauche. Si un troisième clic s'ensuit, les limites de déplacement du pivot s'affichent sous la forme d'un rectangle bleu.

Les miroirs peuvent être déplacés et tournés au clavier en utilisant les touches :

- **Z** pour déplacer vers le haut
- **S** pour déplacer vers le bas
- **Q** pour déplacer vers la gauche
- **D** pour déplacer vers la droite
- **Flèche directionnelle gauche** pour tourner dans le sens anti-horloger
- **Flèche directionnelle droite** pour tourner dans le sens horloger
- **Shift +** une des touches citées ci-dessus pour se déplacer / tourner plus vite

Des sons ont été ajoutés lorsque la source est allumée ou éteinte, lorsqu'une bombe a été touchée et lorsque la destination est atteinte.

Faiblesses de l'interface

L'interface ne permet pas de déplacer les miroirs à la souris, mais seulement au clavier. Le rectangle bleu affichant les limites du miroir s'affiche après un 3e clic plutôt que lors de la sélection du miroir.

Les sons ajoutés qui ont été cités ci-dessus ne s'activent pas toujours. Par exemple lorsque la source est allumée et éteinte très vite. Il se peut également que la source n'émette simplement pas de son.

3.2 Éditeur de cartes

L'éditeur de carte a été conçu sur base du modèle et des vues existants. Il reprend tous les éléments disponibles dans un niveau du jeu Starlight.

3.2.1 Possibilités de l'éditeur

Au lancement de l'éditeur, il est possible de charger un niveau existant ou d'en créer un nouveau en personnalisant sa taille. Celle-ci ne peut être changée par la suite.

Une fois chargé/créé, il est alors possible d'ajouter de nouveaux éléments dans le niveau (mur, miroir, lentille, cristal, bombe). Comme prévu par l'énoncé, une seule source et une seule destination peuvent être incluses. Dès lors, celles-ci sont créées en même temps que le niveau et il n'est pas possible de les supprimer. Il n'est également pas possible de supprimer les murs extérieurs au niveau.

Tous les éléments ont la possibilité d'être modifiés à tous niveaux, les setters appropriés ayant été ajoutés dans les classes du modèle. Il est au minimum possible de déplacer tous les éléments, soit par le panel droit qui offre la possibilité de modifier un objet, soit par l'utilisation du clavier (Z pour le monter, S pour descendre, Q pour le translater sur la gauche et D pour une translation vers la droite).

Les propriétés sont normalement toutes vérifiées par le modèle pour éviter de donner des données incohérentes. Un message d'erreur s'affiche donc dans l'éditeur avec la liste des propriétés ne respectant pas les conditions du modèles quand l'utilisateur entre des données incohérentes.

Une fois le niveau adapté, il est possible de le sauvegarder au format `.lvl`. La classe `MapWriter` a été écrite pour l'occasion, qui permet de sauver dans un fichier un niveau, comme `MapReader` permet de le lire.

Certaines options ont été désactivées dans l'éditeur pour rendre l'édition plus agréable, notamment la gestion des collisions, les bruits et autres événements spéciaux.

3.2.2 Faiblesses de l'éditeur

Les déplacements ne se font que au clavier, ce qui peut s'avérer parfois difficile.

La gestion dynamique des déplacements ne se fait que dans un sens, si l'on déplace un objet à l'aide du clavier ses propriétés dans le panel de droite seront automatiquement modifiées. Cependant, il faudra utiliser le bouton « Appliquer » du panel de droite afin que les changements effectués à cet endroit entrent en application.

Chapitre 4

Présentation des différentes classes

Dans cette section, nous allons décrire les différentes classes composant ce projet. L'implémentation du projet est divisée entre la partie modèle et la partie vue ainsi qu'une partie classes utilitaires. Elle est également basée sur le design pattern « Observateur / Observé » comme demandé dans les consignes.

4.1 Observateur / Observé

Le design pattern Observateur / Observé a été implémenté à l'aide de deux classes :

- **ObserverInterface** qui représente l'observateur.
- **Observable** qui représente l'observé.

Pour plus d'informations sur les classes observées et observatrices, se référer à « l'Annexe B » de ce document.

4.1.1 ObserverInterface

La classe **ObserverInterface** est suffixée par **Interface** puisqu'il s'agit d'une interface (pas au sens C++ car celui-ci ne possède pas la notion d'interface) car cette classe ne possède que des méthodes **virtual** pures qui sont donc obligées d'être redéfinies dans une classe héritant de celle-ci. Cela définit donc parfaitement la notion d'interface.

Cette classe possède une méthode **notify(...)** qui est appelée à chaque fois qu'une classe observée lance une notification (cf. « Observable »).

4.1.2 Observable

La classe **Observable** représente l'observé. Celle-ci possède une liste (**vector**) d'observateurs. Un observé peut ajouter des observateurs à sa liste ou en supprimer grâce aux méthodes :

```
add_observer(ObserverInterface * obs);  
remove_observer(ObserverInterface * obs);
```

Un observé peut lancer des notifications via la méthode :

```
notify_all(Observable * obs,  
           std::string& msg,  
           std::vector<std::string>& args = std::vector<std::string>())
```

Cette méthode appellera pour chaque observateur la méthode **notify(...)** de ce dernier. Nous avons choisi de créer 3 paramètres pour les notifications, dont une liste d'arguments optionnelle.

Dans un premier temps, la notification envoie un pointeur vers l'observé, cela peut être utile si l'observateur ne peut pas savoir qui a envoyé une notification, grâce à ce pointeur, il peut donc agir sur l'objet. De plus, un message de notification est envoyé, cela sert à effectuer différentes tâches selon le message envoyé.

Et pour finir, une liste d'arguments est également envoyée. Cette dernière nous a servi principalement pour la gestion de collisions où il a fallu envoyer le déplacement voulu en paramètre pour que le niveau puisse vérifier si ce déplacement est possible pour ensuite réagir en conséquence.

4.2 Les classes/namespaces utilitaires

4.2.1 MapReader

La classe **MapReader** est la classe qui lit un fichier **.lvl** et crée le niveau (cf. «**Level**»).

Cette classe considère que le fichier est sans erreur. Une instantiation d'objets erronés produira donc un arrêt de l'application.

Cette classe est basée sur le **Singleton Pattern**. On ne peut qu'instancier un niveau à la fois.

4.2.2 MapWriter

La classe `MapWriter` est la classe qui va écrire un niveau (cf. « Level ») dans un fichier texte. Il s'agit donc du processus inverse de la classe `MapReader`. Cette classe sert à l'éditeur lors de la sauvegarde de la carte en cours d'édition.

4.2.3 Constants

`constants.h` est un header reprenant toutes les constantes utilisées dans ce projet.

- `INF` correspond à l'infini.
- `EPSILON` correspond à 0.00001. `EPSILON` permet d'éviter les imprécisions entre deux nombres réels (cf. « `umath` - méthode `equals()` »).
- `PI` correspond à la valeur de π 3.14159... avec autant de décimales possibles qu'un `double` peut contenir.
- `PI_2` correspond à la valeur de π divisé par deux.
- `PI_4` correspond à la valeur de π divisé par quatre.
- `PI_2_3` correspond à la valeur de π multiplié par trois.

4.2.4 Le namespace `umath`

Le namespace `umath` possède toutes les méthodes utilitaires mathématiques et géométriques servant au projet. Comme par exemple des méthodes permettant de trouver les intersections entre droites, segments, ellipses et rectangles.

`umath` reprend des méthodes d'égalité de nombre réels. Deux nombres réels sont égaux si la valeur absolue de la soustraction de ceux-ci est plus petite que la valeur de `EPSILON` (cf. « Constants »).

Une autre méthode d'égalité permet de vérifier si un nombre équivaut à l'infini (`INF` ou `-INF`). Il y a également des méthodes de conversions entre pentes, radians, degrés, etc.

Les méthodes d'intersections sont décrites plus en détails dans la section Annexe - Démarches mathématiques.

4.2.5 Le namespace `uview`

Le namespace `uview` possède des méthodes utilitaires permettant d'afficher des figures mathématiques dans un `QGraphicsItem` du même type.

4.3 Modèle

Dans cette section, nous allons décrire les différentes classes du modèle (classes métiers). Un squelette de classes a été fourni par Monsieur Absil. Ce squelette contenait les fichiers suivants : `point.h`, `source.h`, `dest.h`, `nuke.h`, `wall.h`, `crystal.h`, `lens.h`, `mirror.h`, `ray.h`, `level.h` ainsi que leurs sources correspondantes. Nous avons décidé de modifier ce squelette tout en gardant la structure générale.

4.3.1 Point

La classe `Point` représente une position dans un espace à deux dimensions. Elle est munie des coordonnées `x` et `y` qui sont tous deux des nombres réels (`double`).

La classe `Point` fourni par Mr. Absil comprenait des coordonnées entières. Nous avons décidé de passer les coordonnées en nombres réels par souci de précision.

La classe permet également de calculer la distance entre deux points grâce à la formule :

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

4.3.2 Line

La classe `Line` représente une droite de la forme : $D \equiv ax + by + c = 0$

$D \equiv ax + c = 0$ représente l'équation d'une droite verticale ($b = 0$).

$D \equiv by + c = 0$ représente l'équation d'une droite horizontale ($a = 0$).

Elle possède les trois paramètres a , b et c ainsi que l'angle que forme la droite pour éviter de devoir reconvertir la pente calculée par $-\frac{a}{b}$ en angle à chaque fois.

La classe `Line` possède des méthodes permettant de savoir si celle-ci est verticale ($b = 0$) ou horizontale ($a = 0$), si elle est perpendiculaire ou parallèle à une autre droite. Des méthodes permettant d'obtenir x selon une valeur de y donné et inversement sont également présentes. Cependant ces méthodes peuvent renvoyer une valeur infinie dans le cas où la droite est soit verticale, soit horizontale.

Cette classe sert principalement à modéliser un rayon de lumière (cf. « Ray ») pour trouver les intersections¹ entre le rayon et les éléments du jeu.

1. « Annexe A - Démarche mathématique : Intersections »

4.3.3 LineSegment

La classe **LineSegment** représente un segment de droite possédant deux points (cf. « Point ») qui sont les extrémités du segment.

Nous avons fait le choix qu'un segment puisse posséder deux fois le même point. Bien que cela n'ait pas vraiment de sens purement mathématique, un segment ayant deux fois le même point est tout simplement un point.

Le segment peut être transformé en droite grâce aux deux points le constituant et ainsi former l'équation de droite.

Le segment peut également être décalé d'un certain x et y ainsi que tourné d'un certain angle².

4.3.4 Ellipse

La classe **Ellipse** représente une forme géométrique de type elliptique. Elle possède un point central ainsi qu'un rayon x et y . Si ces deux rayons sont égaux, il s'agit alors d'un cercle.

Cette classe sert à représenter les objets **Lens** (cf. « Lens ») et **Crystal** (cf. « Crystal »).

4.3.5 Rectangle

La classe **Rectangle** représente une forme géométrique rectangulaire. Elle possède un point supérieur gauche ainsi qu'une longueur et hauteur nous permettant de retrouver facilement les autres extrémités de la forme.

Cette classe sert à représenter les objets **Source** (cf. « Source ») et **Dest** (cf. « Dest »).

4.3.6 Element

La classe **Element** est la super-classe de tous les éléments pouvant se trouver sur une carte de jeu. Il s'agit de :

- **Source**
- **Dest**
- **Wall**
- **Mirror**
- **Lens**
- **Crystal**
- **Nuke**

2. « Annexe A - Démarche mathématique : Rotation de segment »

La classe **Ray** (cf. « Ray ») n'est pas un élément, les éléments concernent les objets pouvant interagir avec un rayon. Il s'agit principalement d'une classe **tag** pouvant donner le type de l'élément. Son rôle est de pouvoir retrouver le type d'un objet lors d'une intersection (cf. « Level »).

Une énumération fortement typée est donc présente. Elle s'appelle **Type** et reprend les noms des éléments cités ci-dessus.

Element hérite de l'interface **Observable** (cf. « Observable/Observer ») et chaque sous-classe est observée par la vue correspondante.

4.3.7 Source

La classe **Source** représente la source lumineuse du jeu. Elle est de forme rectangulaire et peut donc être transformée en **Rectangle** (cf. « Rectangle »).

Le rayon lumineux part du coin supérieur gauche de la source et possède un angle par rapport à l'axe des abscisses. Il possède aussi une longueur d'onde de départ.

Dans l'interface cf. « SourceView ».

4.3.8 Dest

La classe **Dest** représente la destination à atteindre par le rayon lumineux. Elle est de forme rectangulaire comme la source et peut également être transformée en **Rectangle** (cf. « Rectangle »).

Dans l'interface cf. « DestinationView »

4.3.9 Wall

La classe **Wall** représente un mur du jeu qui bloque les rayons lumineux. Un mur est un segment de droite et peut donc être transformé en segment de droite (cf. « LineSegment »).

Dans l'interface cf. « WallView »

4.3.10 Mirror

La classe **Mirror** représente un miroir. Un miroir est un segment de droite qui réfléchit la lumière. Un miroir peut donc être transformé en segment de droite (cf. « LineSegment »).

Dans l'interface cf. « MirrorView »

4.3.11 Lens

La classe **Lens** représente une lentille. Une lentille est une ellipse possédant un intervalle de longueur d'onde. Le rayon doit être dans cet intervalle pour pouvoir traverser la lentille, dans le cas contraire, elle agira comme un mur.

Étant de forme elliptique, la lentille peut être transformée en Ellipse (cf. « Ellipse »).

Dans l'interface cf. « LensView »

4.3.12 Crystal

La classe **Crystal** représente un cristal. Un cristal est un cercle possédant un modificateur de longueur d'onde. Quand un rayon le traverse, ce dernier en ressort avec une longueur d'onde différente.

Comme un cercle est également une ellipse, celui-ci peut également être transformé en Ellipse (cf. « Ellipse »).

Dans l'interface cf. « CrystalView »

4.3.13 Nuke

La classe **Nuke** représente une bombe de forme circulaire. Quand un rayon croise une bombe, la partie est instantanément terminée et perdue. Cela est accompagnée d'un message de fin de partie.

Comme un cercle est également une ellipse, celui-ci peut également être transformé en Ellipse (cf. « Ellipse »).

Dans l'interface cf. « NukeView »

4.3.14 Ray

La classe **Ray** représente un rayon. Un rayon est un segment de droite reliant deux objets de la carte.

Un rayon est dans un premier temps (avant sa création) transformé en **Line** (cf. « Line ») pour trouver les intersections³ entre le rayon et les objets de la carte.

3. « Annexe A - Démarche mathématique : Intersections »

Une fois la bonne intersection trouvée (le point final du rayon), le rayon peut être créé et transformé en **LineSegment** (cf. « **LineSegment** ») à l’affichage.

Dans l’interface cf. « **RayView** »

4.3.15 Level

La classe **Level** est de loin la classe la plus importante du modèle. Il s’agit de la classe représentant un niveau, elle gère toute la logique métier du jeu. C’est elle qui contient tous les éléments du jeu et qui calcule la trajectoire du rayon lumineux.

Explications : la logique métier

La logique métier est composée de méthodes principales :

```
void compute_rays();
void compute_ray(const Line& line ,
                 const Point& start ,
                 int wl);
void get_intersections(const Line& line ,
                      const Point& start);
```

compute_rays() crée la première droite composant le rayon par rapport à l’angle de la source et son point de départ, il appelle ensuite **compute_ray(...)** qui va chercher l’intersection la plus proche en appelant **get_intersections(...)**. Cette dernière méthode va remplir un vecteur (**vector**) d’**Intersection** qui est une structure créée dans le header **level.h**. Cette structure reprend le point d’intersection ainsi que l’élément relié à ce point.

get_intersections(...) va chercher des intersections avec la droite qu’il reçoit en paramètre et tous les objets du jeu. Chaque intersection avec un objet sera alors mise dans le vecteur d’intersection si cette intersection se trouve du bon côté du point **start** par rapport à l’angle du rayon. Toutes les intersections seront ensuite triées dans l’ordre croissant selon la distance entre le point **start** et l’intersection grâce à une expression lambda. La première valeur du vecteur devrait alors correspondre à l’intersection la plus proche dans l’axe du rayon.

compute_ray(...) va dans un premier temps créer le rayon entre le point **start** et le point d’intersection. Par la suite, avec la première valeur du vecteur d’intersections, **compute_ray(...)** va effectuer ce qu’il faut selon le type de l’élément déterminé grâce à la super-classe **Element** (cf. « **Element** »).

Un booléen sera mis à vrai ou faux selon le cas. À la fin de la méthode, si ce booléen vaut donc vrai, cela veut dire que le rayon peut continuer. Un appel récursif à **compute_ray(...)** est donc fait avec les nouvelles valeurs.

4.4 Vue

L'interface graphique a été réalisée en Qt à la main (sans l'aide de `QtDesigner`). Chaque élément visuel dispose d'un pointeur vers son équivalent dans le modèle, sur base duquel il est construit. Il observe également cet élément afin de se mettre à jour automatiquement.

Chaque élément a également été prévu pour être utilisé dans l'éditeur, et dispose ainsi d'un booléen pour le rendre sélectionnable quand cela est nécessaire.

Les classes composant la partie vue de l'application sont :

4.4.1 ElementView

Classe servant de super-classe à tous les éléments présents sur un `MapView`. Il s'agit de :

- `SourceView`
- `DestinationView`
- `WallView`
- `MirrorView`
- `LensView`
- `CrystalView`
- `NukeView`

4.4.2 SourceView

Classe représentant une source lumineuse sur le plateau de jeu. Bien que dans les consignes, la source lumineuse soit un carré, nous avons ensuite utilisé des images pour la représenter. La source dispose de 2 états, allumée ou éteinte qui peut être changé grâce à un double clic. Passer d'un état à l'autre change l'image la représentant et produit un son d'interrupteur.

Cette classe hérite de `QGraphicsPixmapItem` pour pouvoir représenter une image. `SourceView` hérite également de l'interface `ObserverInterface` (cf. « Observable/Observer ») et observe la classe `Source` qu'elle modélise.

4.4.3 DestinationView

La classe `DestinationView` modélise la destination à atteindre par le rayon émis depuis la source pour gagner la partie. La destination devient verte une fois atteinte. De plus, un message de victoire est affiché.

Cette classe hérite de `QGraphicsRectItem` pour pouvoir représenter un rectangle. `DestinationView` hérite également de l'interface `ObserverInterface` (cf. « Observable/Observer ») et observe la classe `Dest` qu'elle modélise.

4.4.4 WallView

La classe **WallView** modélise un mur, élément visuel sur lequel le rayon est stoppé. Les murs sont représentés par des segments de droite noirs.

Cette classe hérite de **QGraphicsLineItem** pour pouvoir représenter un segment. **WallView** hérite également de l'interface **ObserverInterface** (cf. « Observable/Observer ») et observe la classe **Wall** qu'elle modélise.

4.4.5 MirrorView

La classe **MirrorView** modélise un miroir sur lequel un rayon peut être réfléchi. Le miroir est représenté par un segment de droite rouge. Ce dernier, une fois sélectionné, affiche un rectangle bleu affichant les limites de déplacement du pivot.

Cette classe hérite de **QGraphicsLineItem** pour pouvoir représenter un segment. **MirrorView** hérite également de l'interface **ObserverInterface** (cf. « Observable/Observer ») et observe la classe **Mirror** qu'elle modélise.

4.4.6 LensView

La classe **LensView** modélise une lentille à travers laquelle un rayon peut passer si sa longueur d'onde est comprise entre les valeurs de la lentille. Sinon la lentille se comporte comme un mur et le rayon est stoppé.

Cette classe hérite de **QGraphicsEllipseItem** pour pouvoir représenter une ellipse. **LensView** hérite également de l'interface **ObserverInterface** (cf. « Observable/Observer ») et observe la classe **Lens** qu'elle modélise.

4.4.7 CrystalView

La classe **CrystalView** modélise un cristal, élément ovale qui modifie la longueur d'onde d'un rayon si celui-ci traverse ledit cristal.

Cette classe hérite de **QGraphicsEllipseItem** pour pouvoir représenter une ellipse. **CrystalView** hérite également de l'interface **ObserverInterface** (cf. « Observable/Observer ») et observe la classe **Crystal** qu'elle modélise.

4.4.8 NukeView

Classe représentant une bombe, élément explosif du plateau qui fait perdre la partie si touché par un rayon lumineux (**RayView**). Dès le moment où elle est

illuminée, une bombe change de couleur (passe du noir au rouge) et produit un son et un message visuel indiquant la fin de partie.

Cette classe hérite de `QGraphicsEllipseItem` pour pouvoir représenter une ellipse. `NukeView` hérite également de l'interface `ObserverInterface` (cf. « Observable/Observer ») et observe la classe `Nuke` qu'elle modélise.

4.4.9 RayView

Classe modélisant un rayon lumineux, émis depuis la source (`SourceView`) et destiné à atteindre la destination (`DestView`) en se reflétant sur des miroirs et en passant à travers des cristaux si nécessaire. Un `RayView` a une couleur différente selon sa longueur d'onde comme proposé dans les objectifs secondaires, cette couleur reflétant la couleur réelle qu'aurait un rayon lumineux de cette longueur d'onde.

Cette classe hérite de `QGraphicsLineItem` pour pouvoir représenter un segment.

4.4.10 MapView

Classe représentant le plateau de jeu, où tous les éléments sont disposés et affichés. Elle s'occupe de gérer les raccourcis clavier utilisés pour déplacer/pivoter les miroirs dans le jeu et de déplacer les éléments en général dans l'éditeur de carte.

4.5 L'éditeur de carte

4.5.1 MainEditor

Widget principal de l'éditeur de carte qui contient les classes qui suivent. Il est composé de 3 widgets principaux : **Elements** qui représente le panel gauche, une **MapView** qui représente le niveau à modifier (widget central) et **Properties**, widget droit qui servira à modifier les caractéristiques des éléments de la carte.

4.5.2 Elements

Widget de gauche de l'éditeur, permet de créer un nouveau niveau de hauteur et largeur définies par l'utilisateur. Permet également d'ajouter des éléments à la carte : miroir, bombe, cristal et lentille. La source et la destination étant uniques, elles sont directement ajoutées lors de la création d'un niveau.

4.5.3 Properties

Widget de droite de l'éditeur, permet de modifier les caractéristiques des éléments présents dans la carte éditée. L'édition est individuelle (il n'est pas possible de déplacer plusieurs éléments en même temps par exemple) mais complète (chaque attribut de l'objet peut être modifié).

4.5.4 PropertiesInterface

Les classes héritant de PropertiesInterface :

- **SourceProp**
- **DestProp**
- **WallProp**
- **MirrorProp**
- **LensProp**
- **CrystalProp**
- **NukeProp**

Super-classe abstraite, permet à **Properties** d'interagir avec n'importe quelle classe ***Prop** de manière transparente, notamment pour les boutons « Apply » et « Reset ». Les classes qui héritent de **PropertiesInterface** sont spécifiques à chaque élément du modèle (**Crystal**, **Dest**, **Lens**, **Mirror**, **Nuke**, **Source** et **Wall**). Chaque élément héritant de **PropertiesInterface** hérite également de **Observer**, ce qui permet de mettre à jour les propriétés dans le panel si l'élément est bougé sur la **MapView** à l'aide du clavier.

4.5.5 CrystalProp

Widget composé de plusieurs spinbox permettant de modifier la position, le rayon et le modificateur de rayon d'un cristal. Tous les spinbox vont de 0 à 999.

4.5.6 DestProp

Widget composé de plusieurs spinbox permettant de modifier la position et la longueur de la destination. Tous les spinbox vont de 0 à 999.

4.5.7 LensProp

Widget composé de plusieurs spinbox permettant de modifier la position, la hauteur, la largeur, la longueur d'onde minimale et la longueur d'onde maximale autorisées pour qu'un rayon passe à travers de la lentille. Tous les spinbox vont de 0 à 999.

4.5.8 MirrorProp

Widget composé de plusieurs spinbox permettant de modifier la position, la longueur, la distance entre le pivot et l'extrémité gauche du miroir, l'angle d'inclinaison, les positions minimales et maximales que peut prendre le miroir, ainsi que les angles minimum et maximum autorisés pour le miroir. Tous les spinbox vont de 0 à 999.

4.5.9 NukeProp

Widget composé de plusieurs spinbox permettant de modifier la position et le rayon d'une bombe. Tous les spinbox vont de 0 à 999.

4.5.10 SourceProp

Widget composé de plusieurs spinbox permettant de modifier la position, la largeur du carré représentant la source, l'angle du rayon émis par la source et la longueur d'onde du dit rayon. Tous les spinbox vont de 0 à 999.

4.5.11 WallProp

Widget composé de plusieurs spinbox permettant de modifier la position des 2 extrémités d'un mur. Tous les spinbox vont de 0 à 999.

Chapitre 5

Les tests

Les tests unitaires du projet ont été fait grâce au framework Catch. Le projet possède 187 tests unitaires (assertions). Ces tests sont présents dans le dossier `tests`.

Pour lancer les tests ou l'application principale, il faut aller dans le header `test.h` et :

- décommenter la ligne `#define RUNTEST` si l'on veut lancer les tests.
- commenter la ligne `#define RUNTEST` si l'on veut lancer l'application.

Chapitre 6

Les bugs connus

1. Bien que le problème soit normalement réglé, nous mettons tout de même ce bug ci-dessous dans le cas où ce dernier serait toujours présent. La méthode :

```
umath::is_on_good_side(const Line& l ,  
                      const Point& ref ,  
                      const Point& start );
```

peut avoir des problèmes de précision, ce qui fait que l'intersection, bien que du bon côté, ne sera pas prise en compte dans le vecteur d'intersections, ce qui résultera en un vecteur d'intersections vide. Et donc un accès au premier élément sur un vecteur vide produira un `out_of_range` quittant l'application.

2. Dans l'éditeur, le calcul des rayons une fois la source allumée ne se fait que sur un objet (quand on déplace les cristaux, lentilles, murs), nous n'avons malheureusement pas pu déterminer la source de ce problème.
3. Dans l'éditeur, lors de la sélection d'un objet précédemment créé, il se peut que l'application s'arrête.

Chapitre 7

Conclusion

Le jeu est fonctionnel, il est possible de charger une partie et d'y jouer. Il est possible d'atteindre le but du jeu, qui est d'amener le rayon émis depuis la source jusqu'à la destination.

Le modèle est prévu pour gérer les intersections avec les différents objets du niveau et de réfléchir le rayon s'il arrive sur un miroir.

Il est également prévu que les cristaux changent la longueur d'onde d'un rayon qui les traverse et qu'une lentille se comporte comme un mur si la longueur d'onde du rayon n'est pas comprise entre les bornes limites de la lentille.

Le fichier `.lvl` est considéré sans erreur, si ce n'est pas le cas le programme est susceptible de s'arrêter.

Certains points bonus ont été réalisés :

- Changer la couleur du rayon en fonction de sa longueur d'onde : le rayon prend la couleur réelle correspondant à la longueur d'onde.
- Changer l'apparence des rayons lumineux et des éléments de la carte : la source est représentée par une image de lampe à incandescence classique, qui s'éclaire si la source est allumée. Les autres éléments ont une couleur spécifique permettant de les distinguer. Ces informations sont disponibles dans l'aide du jeu, accessible depuis le menu ou durant une partie.
- Ajouter des effets sonores : des sons sont prévus lorsque la source s'allume, une bombe est touchée ou la destination est atteinte.
- Fournir un éditeur de carte « intuitif » : le placement des éléments s'effectue au clavier ou par le menu prévu à cet effet dans l'éditeur.
- Gérer les collisions entre les miroirs et les autres éléments du jeu : les miroirs ne peuvent pas se déplacer/tourner s'ils entrent en collision avec un autre élément.

Suite à la gestion des collisions, le fichier `.lvl` a été modifié afin que les miroirs ne soient pas exactement sur les murs ou dans un cristal.

L'interface graphique n'a pas posé trop de problème à sa réalisation. Le modèle a été plus complexe à implémenter, au niveau des intersections et réflexion. L'implémentation du pattern « Observateur/Observé » n'a pas présenté de souci notable.

Chapitre 8

Bibliographie

Les sons utilisés ont été produits par Mike Koenig et sont sous licence Attribution 3.0.

Bruit de bombe
Bruit de victoire
Bruit d'interrupteur
Image de bombe
Image de la source

Chapitre 9

Annexes

9.1 Annexe A : Démarches mathématiques

9.1.1 Rotation de segment

La méthode de rotation de segment utilisée se base sur les formules de coordonnées polaires¹ ainsi que les formules trigonométriques d'additions².

Pour tourner un segment, il faut un point de pivot. Ce point de pivot doit ensuite être déplacé sur l'origine du repère $(0, 0)$.

Les formules de coordonnées polaires pour x et y sont :

$$x = r \cdot \cos q$$

$$y = r \cdot \sin q$$

r correspond à la distance entre l'origine et le point et q correspond à l'angle entre l'axe des abscisses et la droite formée avec l'origine et le point.

Lorsque l'on souhaite tourner un segment et trouver x' et y' , il suffit d'augmenter ou diminuer l'angle q par un angle f comme ceci :

$$x' = r \cdot \cos q + f$$

$$y' = r \cdot \sin q + f$$

1. Wikipedia : Coordonnées polaires

2. Wikipedia : Formules trigonométriques

Grâce aux formules trigonométriques d'additions, on peut transformer ce résultat en :

$$\begin{aligned}x' &= r \cdot \cos q \cdot \cos f - r \cdot \sin q \cdot \sin f \\y' &= r \cdot \sin q \cdot \cos f + r \cdot \cos q \cdot \sin f\end{aligned}$$

Et pour finir, en remplaçant les deux premières égalités dans cette dernière on obtient :

$$\begin{aligned}x' &= x \cdot \cos f - y \cdot \sin f \\y' &= x \cdot \sin f + y \cdot \cos f\end{aligned}$$

Il faut ensuite redéplacer le pivot à son point de départ.

9.1.2 Trouver l'intersection entre deux droites

Une droite possède une intersection avec une autre droite si :

- Celles-ci sont parallèles et confondues, alors l'intersection est la droite elle-même.
- Celles-ci sont non parallèles, alors l'intersection est un point.

$D \equiv ax + by + c = 0$ représente l'équation d'une droite.

$D \equiv ax + c = 0$ représente l'équation d'une droite verticale ($b = 0$).

$D \equiv by + c = 0$ représente l'équation d'une droite horizontale ($a = 0$).

On commence donc dans un premier temps à tester si les deux droites sont parallèles.

Soit deux droites D_1 et D_2 , ces deux droites sont parallèles si :

$$a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1 = 0$$

Démonstration. La pente d'une droite vaut $-\frac{a}{b}$ et deux droites sont parallèles si leurs pentes sont égales. Il suffit donc de modifier l'équation en passant chaque terme du bon côté.

$a_1 \cdot b_2 = a_2 \cdot b_1$ puis ensuite : $\frac{a_1}{b_1} = \frac{a_2}{b_2}$ ce qui équivaut à $\frac{-a_1}{b_1} = \frac{-a_2}{b_2}$

□

Si les deux droites sont parallèles :

- Les deux droites sont verticales : si leurs x sont égaux, elles sont confondues.
- Les deux droites sont horizontales : si leurs y sont égaux, elles sont confondues.
- Les droites ne sont ni verticales, ni horizontales, il faut alors tester si les deux ordonnées à l'origine sont égales. Cette dernière vaut $\frac{-c}{b}$.

Si les deux droites ne sont pas parallèles, il faut remplacer une variable de D_1 dans D_2 ou inversement pour trouver la deuxième variable. On a choisi de remplacer y . On a donc l'égalité suivante :

$$x = \frac{(c_1 \cdot b_2 - c_2 \cdot b_1)}{(a_2 \cdot b_1 - a_1 \cdot b_2)}$$

Démonstration.

$$D_1 \equiv y = \frac{-a_1 \cdot x}{b_1} - \frac{c_1}{b_1}$$

$$D_2 \equiv y = \frac{-a_2 \cdot x}{b_2} - \frac{c_2}{b_2}$$

On remplace y de D_1 dans D_2 :

$$\frac{-a_1 \cdot x}{b_1} - \frac{c_1}{b_1} = \frac{-a_2 \cdot x}{b_2} - \frac{c_2}{b_2}$$

Il ne reste plus qu'à simplifier :

$$\frac{-a_1 \cdot x}{b_1} + \frac{a_2 \cdot x}{b_2} = \frac{c_1}{b_1} - \frac{c_2}{b_2}$$

$$\frac{(-a_1 \cdot x \cdot b_2) + (a_2 \cdot x \cdot b_1)}{(b_1 \cdot b_2)} = \frac{(c_1 \cdot b_2 - c_2 \cdot b_1)}{(b_1 \cdot b_2)}$$

$$(a_2 \cdot b_1 \cdot x) - (a_1 \cdot b_2 \cdot x) = (c_1 \cdot b_2 - c_2 \cdot b_1)$$

$$x \cdot ((a_2 \cdot b_1) - (a_1 \cdot b_2)) = (c_1 \cdot b_2 - c_2 \cdot b_1)$$

$$x = \frac{(c_1 \cdot b_2 - c_2 \cdot b_1)}{(a_2 \cdot b_1 - a_1 \cdot b_2)}$$

□

Maintenant que nous avons la coordonnée x , il suffit de la remplacer dans une des deux équations D_1 ou D_2 pour trouver le y correspondant.

9.1.3 Trouver l'intersection entre une droite et un segment de droite

L'intersection entre une droite et un segment ressemble très fort à l'intersection entre deux droites tout simplement car il faudra transformer le segment en droite pour trouver une intersection entre ces deux droites puis ensuite de vérifier si cette intersection se trouve bien dans le domaine x et y du segment.

La différence est que l'intersection peut être un segment entier si la droite et le segment sont confondus.

Pour transformer un segment en droite :

Soit A et B les deux extrémités du segment, les paramètres de la droite valent :

$$a = A.y - B.y$$

$$b = B.x - A.x$$

$$c = (A.x \cdot B.y) - (A.y \cdot B.x)$$

9.1.4 Trouver l'intersection entre deux segments

Dans le cas de l'intersection segment/segment, il faut transformer les deux segments en droites, s'il y a intersection : vérifier que le point d'intersection appartient aux domaines x et y des deux segments.

De plus, si les deux droites sont confondues, l'intersection sera un segment.

9.1.5 Trouver la ou les intersection(s) entre une ellipse et une droite

La formule d'une ellipse est :

$$E \equiv \frac{(x - x_1)^2}{a^2} + \frac{(y - y_1)^2}{b^2} = 1$$

où x_1 et y_1 sont respectivement les coordonnées x et y du centre de l'ellipse.

où a et b sont respectivement les rayons de l'axe x et y .

Pour trouver une intersection entre une ellipse et une droite, il faut évaluer deux variables identiques :

On doit donc remplacer la variable x ou y de la droite dans l'équation de l'ellipse.

Dans le cas de la droite verticale, il n'y a pas de choix, il faut remplacer x dans l'équation de l'ellipse. Nous avons également décidé de refactoriser l'équation en prenant le PPCM (Plus Petit Commun Multiple) de $a^2 * b^2$ que nous appellerons ici *lcm* pour **Least Commun Multiple**. Ce choix a été fait pour éviter les overflows lorsque de nombres trop grands sont mis au carré et multipliés. Bien que dans notre cas, nous avons rarement des nombres pouvant fournir de tels résultats.

Soit $k = \frac{-c}{a}$ (Valeur de x)

$$E \equiv (lcm y \cdot (k - x_1)^2) + ((y - y_1)^2 \cdot lcm x) = lcm$$

où *lcm y* est le facteur par lequel il faut multiplier b^2 (rayon y au carré) pour obtenir *lcm*,

où *lcm x* est le facteur par lequel il faut multiplier a^2 (rayon x au carré) pour obtenir *lcm*.

$$E \equiv lcm y \cdot (k - x_1)^2 + (y^2 + y_1^2 - 2 \cdot y_1 \cdot y) \cdot lcm x = lcm$$

$$E \equiv lcm y \cdot (k - x_1)^2 + lcm x \cdot y^2 + lcm x \cdot y_1^2 - 2 \cdot lcm x \cdot y_1 \cdot y - lcm = 0$$

Avec ceci, il reste plus qu'à résoudre l'équation du second degré avec :

$$\rho = b^2 - 4ac$$

où $a = lcmx$

où $b = 2 \cdot lcmx \cdot y1 \cdot y$

où $c = (lcmx \cdot (k - x_1)^2) + (lcmx \cdot y_1^2) - lcm$

Le nombre d'intersections est différent selon la valeur de ρ .

$$n = \begin{cases} 0 & \text{si } \rho < 0 \\ 1 & \text{si } \rho = 0 \\ 2 & \text{si } \rho > 0 \end{cases}$$

$$y = \frac{-b}{2a}$$

$$y1 = \frac{(-b + \sqrt{\rho})}{2a}$$

$$y2 = \frac{(-b - \sqrt{\rho})}{2a}$$

On a donc le(s) y du/des point(s) d'intersection, et le x vaut k (de l'équation de départ).

Le cas de la droite non verticale :

Il s'agit exactement du même principe que pour la droite verticale, sauf que nous allons remplacer y de la droite dans l'équation de l'ellipse.

Nous avons donc :

$$D \equiv y = \frac{-a \cdot x}{b} - \frac{c}{b}$$

ou $D \equiv y = \frac{-c}{b}$ si la droite est horizontale.

Nous pouvons poser quelques variables pour nous faciliter le calcul.

Soient :

$$k = -D.c/D.b$$

$$m = -D.a/D.b$$

$$j = k - y_1$$

Nous avons donc :

$$D \equiv y = m \cdot x + k$$

Il faut maintenant remplacer y dans l'équation de l'ellipse :

$$lcm y \cdot (x - x_1)^2 + lcm x \cdot (m \cdot k - y_1)^2 = lcm$$

Une fois $k - y_1$ remplacé par j et l'équation développée :

$$(lcm y \cdot x^2) + (lcm y \cdot x_1^2) - (2 \cdot lcm y \cdot x \cdot x_1) + (lcm x \cdot m^2 \cdot x^2) + (lcm x \cdot j^2) + (2 \cdot m \cdot x \cdot j) - lcm = 0$$

De la même manière que pour le premier cas, il faut résoudre l'équation du second degré.

$$\rho = b^2 - 4ac$$

$$\text{où } a = lcm y + (m^2 \cdot lcm x)$$

$$\text{où } b = -(2 \cdot lcm y \cdot x_1) + (2 \cdot m \cdot j \cdot lcm x)$$

$$\text{où } c = (lcm y \cdot x_1^2) + (lcm x \cdot j^2) - lcm$$

9.1.6 Trouver la ou les intersection(s) entre une ellipse et un segment de droite

Il s'agit du même principe que les intersections droite/segment. Il faut vérifier les intersections entre les ellipses et un segment transformé en droite et ensuite vérifier si les points d'intersection se trouvent dans le domaine du segment.

9.1.7 Trouver la ou les intersection(s) entre un rectangle et une droite

Trouver les intersections entre un rectangle et une droite n'est rien d'autre que de trouver les intersections entre une droite et quatre segments de droites. Ces quatre segments représentant bien sur les quatre cotés.

9.1.8 Trouver la ou les intersection(s) entre un rectangle et un segment de droite

Trouver les intersection entre un rectangle et un segment de droite reprend une nouvelle fois le même principe que l'intersection droite/segment. En l'occurrence, on cherche les intersections droite/rectangle en transformant le segment en droite et on vérifie que le(s) point(s) d'intersection(s) se trouve(nt) dans le domaine x et y du segment.

9.1.9 Calculer la réflexion d'un rayon

Nous nous basons ici sur la réflexion d'un rayon sur un miroir plan dans l'air. C'est à dire que que l'angle d'incidence sera égal à l'angle réfléchi. Pour ce faire, nous avons utilisé cette formule :

Soit α l'inclinaison du miroir.

Soit γ l'angle du rayon émis.

Soit δ l'angle de la perpendiculaire au miroir : $\delta = \alpha + \frac{\pi}{2}$ Soit β la différence entre l'angle de la perpendiculaire et l'angle émis : $\beta = \delta - \alpha$ L'angle réfléchi (par rapport à l'axe x) vaut donc :

$$\gamma + \pi + (2 * \beta)$$

En effet, lorsque l'on additionne π à l'angle émis, on obtient un rayon dans le sens inverse. Il faut ensuite additionner deux fois l'angle entre la perpendiculaire et le rayon pour obtenir l'angle de réflexion.

Pour démontrer la véracité de cette formule, nous avons fait un graphique ci-dessous. Nous allons ici travailler en degré plutôt qu'en radians. Nous avons ici un angle émis γ de 267,49 degrés. L'inclinaison du miroir α vaut 30 degrés. δ (perpendiculaire au miroir vaut) $30 + 90$, donc 120 degrés. β vaut alors : $120 - 267,49 = -147,49$

Si nous reprenons la formule de départ : l'angle final vaut :

$$267.49 + 180 + (2 * -147,49) = 152,51$$

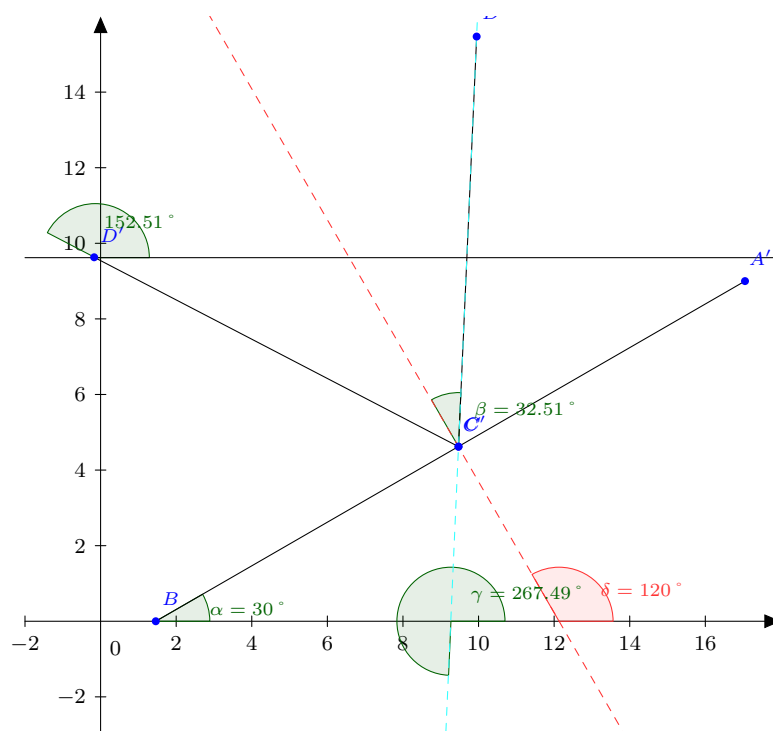


FIGURE 9.1 – Démonstration de la réflexion - Image réalisée à l'aide de Geogebra

9.2 Annexe B : Diagramme des observateurs / observés

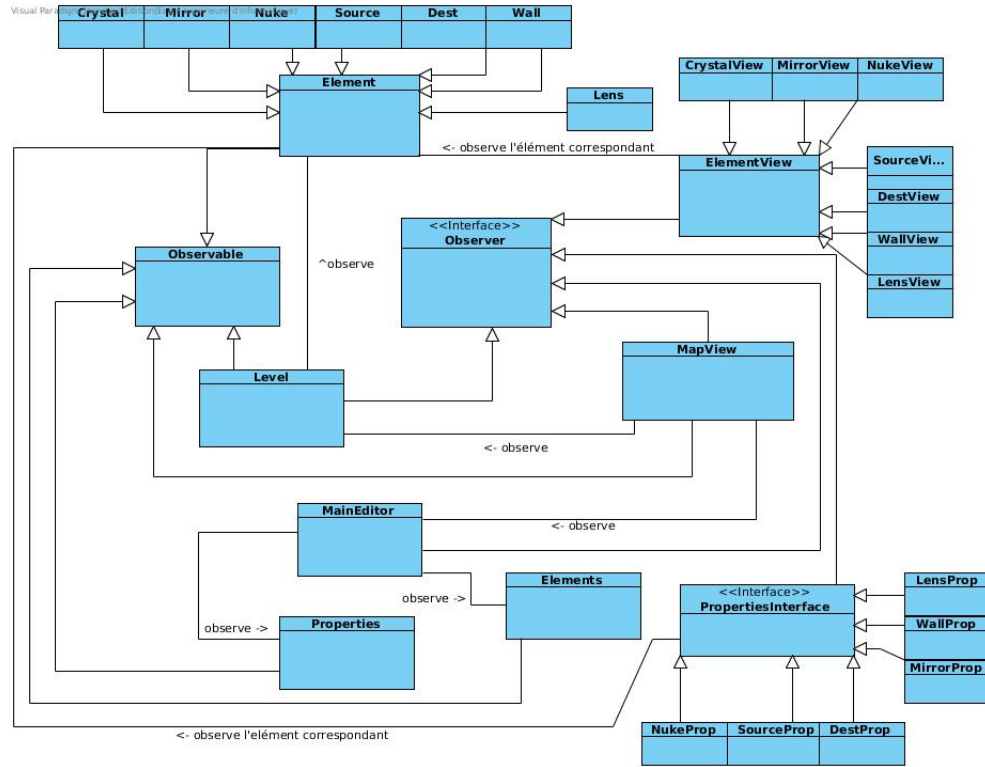


FIGURE 9.2 – Image réalisée avec Visual Paradigm