

---

# SimFoule 2.2

## Documentation et théorie

---

*Auteur :*  
Stephan RUNIGO

25 novembre 2019

## Résumé

**Objet :** Ce document (en cours de construction), accompagne le programme SimFoule (lui même en cours de développement).

**Contenu :** Il contient un manuel d'installation et d'utilisation ainsi que quelques développements théoriques liés à ce programme de simulation.

**Public concerné :** Ce document s'adresse aux enseignants et aux étudiants des sections sciences physiques et informatique. Il s'adresse également à tout les passionnés d'informatique et de la langue de Molière.

SimFoule est un simulateur numériques de foule offrant une représentation graphique et une interaction dynamique avec certains paramètres. Destinés à un usage pédagogique, il permet de visualiser la simulation d'une foule lors de l'évacuation d'un bâtiment. Cette documentation accompagne ce programme.

Le premier chapitre présente le simulateur, fourni une procédure d'installation et décrit les commandes permettant l'interaction avec le programme.

Les deux chapitres suivants développent les modèles physiques, mathématiques et numériques liés au simulateur.

Enfin, le dernier chapitre rassemble les informations liées à la structure du programme.

# Table des matières

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Installation et utilisation</b>                         | <b>1</b> |
| 1.1      | Présentation du simulateur                                 | 1        |
| 1.2      | Installation du simulateur                                 | 1        |
| 1.3      | Commande du simulateur                                     | 2        |
| 1.3.1    | Résumé des options   | 2        |
| 1.3.2    | Résumé du clavier  | 3        |
| 1.3.3    | Fichier d'initialisation                                   | 3        |
| 1.3.3.1  | Éditer les fichiers d'initialisations                      | 3        |
| 1.3.3.2  | Réinitialisation   | 3        |
| 1.3.4    | Dessiner des conditions initiales                          | 3        |
| <b>2</b> | <b>Modèles physiques</b>                                   | <b>5</b> |
| 2.1      | Les mobiles  | 5        |
| 2.1.1    | Vitesse souhaité   | 5        |
| 2.1.2    | Expressions des forces                                     | 5        |
| 2.2      | La foule   | 5        |
| 2.2.1    | Chaîne   | 5        |
| 2.2.2    | Évolution  | 5        |
| 2.3      | Le bâtiment  | 5        |
| 2.3.1    | Cellule  | 6        |
| 2.3.2    | Étage  | 6        |
| 2.3.3    | Batiment   | 6        |
| <b>3</b> | <b>Modèles mathématiques</b>                               | <b>7</b> |
| 3.1      | Discrétisation   | 7        |
| 3.1.1    | Discrétisation des dérivées                                | 7        |
| 3.1.1.1  | Dérivé symétrisée  | 7        |
| 3.1.2    | Discrétisation de la relation fondamentale de la dynamique | 7        |
| 3.2      | Algorithme de plus court chemin                            | 8        |
| 3.2.1    | Discrétisation de l'équation iconale                       | 8        |
| <b>4</b> | <b>Développement</b>                                       | <b>9</b> |
| 4.1      | Langage  | 9        |
| 4.1.1    | C  | 9        |
| 4.1.2    | SDL 2  | 9        |
| 4.2      | Modèle Vue Controleur                                      | 9        |
| 4.2.1    | Les répertoires du simulateur                              | 9        |
| 4.2.2    | Le modèle  | 9        |
| 4.2.3    | La vue   | 10       |
| 4.2.4    | Le controleur  | 10       |
| 4.3      | Vision des mobiles   | 10       |
| 4.3.1    | Modélisation   | 10       |
| 4.3.2    | Champ de vision  | 10       |

|         |                                      |    |
|---------|--------------------------------------|----|
| 4.3.2.1 | Limitation des valeurs des variables | 10 |
| 4.4     | Diagrammes                           | 11 |
| 4.4.1   | Cas d'utilisation                    | 11 |
| 4.4.2   | diagramme d'inclusion                | 12 |
| 4.4.3   | diagrammes de séquences              | 13 |
| 4.4.3.1 | Principale                           | 13 |
| 4.4.3.2 | Simulation graphique                 | 14 |
| 4.4.3.3 | Réinitialisation                     | 15 |
| 4.5     | Valeurs implicites                   | 17 |
| 4.5.1   | Réglage de dt, durée et pause        | 17 |
| 4.5.1.1 | Limitation des valeurs des variables | 17 |
| 4.5.1.2 | Paramètres physiques                 | 17 |
| 4.5.1.3 | Paramètres dynamiques                | 17 |

# Chapitre 1

## Installation et utilisation

### 1.1 Présentation du simulateur

Le simulateur SimFoule est un programme informatique écrit en C et qui utilise la librairie SDL2. Il donne une représentation graphique d'une foule se déplaçant dans un bâtiment. Une évacuation du bâtiment peut être déclenchée.

### 1.2 Installation du simulateur

Cette section traite de l'installation du simulateur SimFoule sur un système d'exploitation de type debian. Le téléchargement se fait avec un navigateur internet, la compilation et l'exécution se font dans un terminal. L'installation des outils de compilation nécessite les privilèges du super-utilisateur.

#### Installation des outils de compilation

```
sudo apt-get install gcc make libsdl2-dev
```

#### Téléchargement des sources

Télécharger le fichier `.zip` sur github

```
https://github.com/runigo/SimFoule/archive/master.zip
```

Décompresser le fichier `.zip`

```
unzip SimFoule-master.zip
```

#### Compilation

La commande `make` dans le répertoire des sources produit un fichier exécutable :

```
SimFoule
```

#### Exécution

En ligne de commande, avec d'éventuelles options

```
./SimFoule [OPTION]
```

Ou par exemple

```
./SimFoule duree 76 nervosite 29 dt 0.059 masse 9.1
```

La fenêtre graphique donne une représentation de la simulation, le terminal affiche les informations.

## 1.3 Commande du simulateur

Cette section traite des interactions entre le programme et l'utilisateur.

### 1.3.1 Résumé des options

| option        | valeur   | commande  |
|---------------|--|---|
| fond          | $0 < \text{fond} < 255$                              | Couleur du fond                                     |
| dt            | $DT\_MIN < dt < DT\_MAX$                             | discrétisation du temps                             |
| duree         | $0 < \text{duree} < DUREE\_MAX$                      | Nombre d'évolution du système entre deux affichages |
| mode          | <code>mode</code> = + ou - 1                         | Mode -1 : Wait, 1 : Poll                            |
| pause         | $5 < \text{pause} < 555$                             | temps de pause en ms entre les affichages           |
| initial       | $INITIAL\_MIN < \text{initial} < INITIAL\_MAX$       | Numéro du fichier d'initialisation                  |
| masse         | $MASSE\_MIN < \text{masse} < MASSE\_MAX$             | Masse des mobiles                                   |
| nervosite     | $NERVOSITE\_MIN < \text{nervosite} < NERVOSITE\_MAX$ | Nervosité des mobiles                               |
| dessineAngle  | = 0 ou 1   | Dessine ou non les directions                       |
| dessineMur    | = 0 ou 1   | Dessine ou non les murs                             |
| dessineMobile | = 0 ou 1   | Dessine ou non les mobiles                          |
| aide          |  | Affiche l'aide                                      |
| help          |  | Affiche l'aide                                      |

### 1.3.2 Résumé du clavier

| option        | clavier           | commande  |
|---------------|-------------------|---|
|               | F1, F5            | Information   |
| duree         | F9, F10, F11, F12 | Nombre d'évolution du système entre deux affichages |
| mode          | Entrée            | Avec ou sans attente                                |
| initial       | Maj a..z          | Réinitialisation                                    |
|               | Ctrl a..z         | Sauvegarde  |
|               | Ctrl Maj a..z     | Réinitialisation implicite                          |
| dessineAngle  | F6                | Dessine ou non les directions                       |
| dessineMur    | F7                | Dessine ou non les murs                             |
| dessineMobile | F8                | Dessine ou non les mobiles                          |
|               | Échap             | Mode construction, simulation                       |
|               | z, s              | Augmente, diminue la nervosité des mobiles          |
|               | e, d              | Augmente, diminue la célérité des mobiles           |
|               | a, q              | Augmente, diminue la masse des mobiles              |
|               | z, s              | Augmente, diminue la nervosité des mobiles          |
|               | e, d              | Augmente, diminue la célérité des mobiles           |
|               | w                 | Boucle les configurations enregistrées              |
|               | x                 | Répétition de la configuration                      |
|               | c                 | Configuration implicite                             |
|               | u                 | Entrée  |
|               | i                 | Sortie  |
|               | o                 | Vide  |
|               | p                 | Mobile  |
|               | m                 | Mur   |
|               | j                 | Enregistrer   |
|               | k                 | Simuler   |
|               | l                 | .   |
|               | y                 | .   |
|               | h                 | .   |

### 1.3.3 Fichier d'initialisation

Les fichiers d'initialisations se trouvent dans le répertoire **donnees/enregistrement/**. Ce répertoire et ces fichiers sont nécessaires pour activer les possibilité de réinitialisation.

### 1.3.3.1 Éditer les fichiers d'initialisations

Les fichiers d'initialisations peuvent être édités afin de créer des situations. Ils contiennent des entiers séparés par des espaces.

La première ligne indique les dimensions spatiales du bâtiment, les lignes suivantes correspondent au statut des cellules.

Les entiers reconnus lors de l'initialisation des cellules sont

|         |      |     |        |        |
|---------|------|-----|--------|--------|
| entiers | 0    | 1   | 2      | 9      |
| statut  | vide | mur | sortie | mobile |

### 1.3.3.2 Réinitialisation

La combinaison des touches **Maj** [a..z] réinitialise le système dans la configuration correspondante au fichier, éventuellement les configurations implicites si aucune modification n'a été effectué.

### 1.3.4 Dessiner des conditions initiales

La touche **Échap** donne accès au mode initialisation permettant la construction de conditions initiales.

La sauvegarde est alors possible grâce à la combinaison des touches **Ctrl** [a..z]. La réinitialisation se fait par la combinaison des touches **Maj** [a..z]. La combinaison des touches **Ctrl Maj** [a..z] permet la réinitialisation dans les configurations implicites. En mode "conditions initiale" la souris permet de dessiner des conditions initiales. Une configuration ainsi dessinée peut alors être enregistrée dans les fichiers `situation_q.simfoule` à `situation_h.simfoule` avec les touches **Maj-w** à **Maj-n**. elle sera alors accessible à l'aide des touches **Maj-q** à **Maj-h**.



# Chapitre 2

## Modèles physiques

Ce chapitre traite des modèles physiques liés au simulateur de foule.

### 2.1 Les mobiles

#### 2.1.1 Vitesse souhaitée

La vitesse souhaitée modélise la volonté d'un mobile à se diriger dans une direction, elle est choisie en fonction de la direction vers la sortie et de l'encombrement dans cette direction par d'éventuels obstacles.[?]

#### 2.1.2 Expressions des forces

Un mobile exerce une force motrice en fonction de la différence entre sa vitesse réelle et sa vitesse souhaitée. Les murs exercent sur les mobiles une force d'impénétrabilité, les mobiles exercent entre eux des forces réciproques, également d'impénétrabilité.

### 2.2 La foule

Cette section traite de la modélisation de la foule.

#### 2.2.1 Chaîne

La chaîne de mobile rassemble les mobiles présents.

#### 2.2.2 Évolution

Une évolution consiste à exécuter

- une incrémentation des positions
- un calcul d'une nouvelle position en fonction de l'actuel et de l'ancienne.
- une mise à jour des forces s'exerçant sur les mobiles dans la situation nouvelle,
- un éventuel calcul d'un changement de décision.

### 2.3 Le bâtiment

Cette section traite de la modélisation d'un étage de bâtiment

### **2.3.1 Cellule**

Un étage du bâtiment est discrétisé en cellule (de l'ordre de  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ). Une cellule peut contenir un mur ou être libre aux mobiles. Elle peut également être une sortie de l'étage. Elle contient une information (sens et direction à suivre) permettant de diriger les mobiles vers la sortie la plus proche. Une autre information pourrait être la deuxième sortie la plus proche donnant au mobile un choix à faire.

### **2.3.2 Étage**

Un étage est l'ensemble des cellules, il consiste en un plan en deux dimensions des murs de l'étage. Un étage peut posséder une ou plusieurs sorties. Les sorties des étages supérieurs sont des escaliers donnant sur les entrées de l'étage inférieur. Un algorithme permet de déterminer le plus court chemin pour accéder à la sortie la plus proche et initialise cette orientation dans les cellules.

### **2.3.3 Bâtiment**

Un bâtiment est composé de plusieurs étages reliés par des escaliers. Il dispose d'un étage 0 pouvant posséder une ou plusieurs sorties. Les sorties des étages supérieurs amènent à des escaliers donnant accès à l'étage inférieur.

## Chapitre 3

# Modèles mathématiques

Ce chapitre traite des modèles mathématiques et numériques liés au simulateur de foule.

### 3.1 Discrétisation

La discrétisation de l'équation du mouvement se fait à l'aide de l'algorithme de Verlet. Cet algorithme consiste à symétriser la dérivée par rapport au temps puis d'obtenir une expression de  $x(t + dt)$  en fonction de  $x(t)$  et  $x(t - dt)$ . Cette expression permet de simuler de proche en proche le comportement du système physique. La solution discrète se rapproche de la solution analytique si la valeur de  $dt$  est convenablement choisie. En dehors d'un certain encadrement de  $dt$ , la solution discrète s'éloigne de la solution analytique.

#### 3.1.1 Discrétisation des dérivées

##### 3.1.1.1 Dérivée symétrisée

Par définition, la dérivée symétrique est :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{x(t + dt) - x(t - dt)}{2 dt}$$

On en déduit l'expression suivante de la dérivée seconde :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{x(t + 2 dt) - x(t) - x(t) + x(t - 2 dt)}{4 dt^2}$$

Le changement de variable  $dt' = 2 dt$  simplifie cette expression :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{x(t + dt) - 2x(t) + x(t - dt)}{dt^2}$$

Une expression disymétrique de la vitesse peut être utilisée pour l'évaluation des forces de viscosité ainsi que pour le calcul de l'énergie cinétique avant le calcul de la nouvelle valeur de  $x(t + dt)$ .

$$\frac{dx}{dt} = \frac{x(t + dt) - x(t)}{dt}$$

Après l'incrémentation,  $\frac{dx}{dt} = \frac{x(t) - x(t - dt)}{dt}$

#### 3.1.2 Discrétisation de la relation fondamentale de la dynamique

Dans le modèle d'Helbing ([?]) la relation fondamentale de la dynamique donne :

$$m_i \frac{\mathbf{x}_i(t + dt) - 2\mathbf{x}_i(t) + \mathbf{x}_i(t - dt)}{dt^2} = m_i \frac{\mathbf{v}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j \neq i} \mathbf{f}_{ij} + \sum_w \mathbf{f}_{iw}$$

avec

$m_i$  représente la masse d'un piéton

$\mathbf{v}_i^0(t)$  la vitesse qu'il souhaite atteindre dans une direction

$\mathbf{v}_i(t)$  sa vitesse actuelle

$\tau_i$  un paramètre temporel,

$\mathbf{f}_{ij}$  les forces d'interaction auquel il est soumis avec les autres mobiles,

$\mathbf{f}_{iw}$  les forces d'interactions auquel il est soumis avec les murs.

On en déduit

$$\mathbf{x}_i(t + dt) = 2\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_i(t - dt) + dt^2 \frac{\mathbf{v}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \frac{dt^2}{m_i} \sum_{j \neq i} \mathbf{f}_{ij} + \frac{dt^2}{m_i} \sum_w \mathbf{f}_{iw}$$

La force d'interaction avec un autre mobile est :

$$\mathbf{f}_{ij} = \left( A_i \exp \frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i} + kg(r_{ij} - d_{ij}) \right) \mathbf{n}_{ij} + Kg(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ij}^t \mathbf{t}_{ij}$$

avec

$A_i \exp \frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}$  Force d'interaction répulsive

$r_{ij}$  somme des rayons des deux mobiles,

$d_{ij}$  distance entre les centres de gravité des deux mobiles,

$A_i B_i$  constantes.

$kg(r_{ij} - d_{ij})\mathbf{n}_{ij}$  Force de contact qui empêche l'interpénétration des piétons

$\mathbf{n}_{ij}$  vecteur normalisé pointant du mobile i au mobile j.

$g(x) = x$  si  $x < 0$ ,  $g(x) = 0$  sinon.

$Kg(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ij}^t \mathbf{t}_{ij}$  Force de friction

$\Delta v_{ij}^t$  est la vitesse tangentielle relative,

$\mathbf{t}_{ij}$  est la direction tangentielle.

## 3.2 Algorithme de plus court chemin

Un algorithme simplifié permet de trouver le plus court chemin vers la sortie la plus proche.

### 3.2.1 Discrétisation de l'équation iconale

# Chapitre 4

## Développement

Ce chapitre traite de la structure et du développement des programmes de simulation

### 4.1 Langage

#### 4.1.1 C

SimFoule est écrit en C [?] [?]

#### 4.1.2 SDL 2

L'utilisation de la librairie SDL permet la réalisation d'une interface efficace avec l'utilisateur.

### 4.2 Modèle Vue Controleur

#### 4.2.1 Les répertoires du simulateur

- **donnees** : Inclusion des librairies standard, définitions des constantes et des valeurs initiales de la simulation.
- **modele** : Système simulé.
- **graphisme** : Représentation graphique et affichage. Utilisation de la librairie SDL2
- **controle** : Liaison entre le système et l'interface graphique
- **objet** : Nécessaire à la compilation
- **documentation** : Documentation du simulateur et bibliographie.

#### 4.2.2 Le modèle

Le système est constitué d'une foule et d'un bâtiment. La foule est constituée de mobiles, le bâtiment est constitué d'étages, eux même constitués de cellule.

- **système** : Contient la foule et le bâtiment. Fonctions de calcul des couplages entre la foule et le bâtiment, fonctions de mise à jour des forces et de la foule.
- **batiment** : Ensembles d'étages. Fonctions d'initialisation des étages.
- **etage** : Ensemble de cellule. Fonctions de calcul de plus court chemin vers les sorties.
- **cellule** : Contient des informations (direction vers la sortie, densité de mobile...) et un statut (vide, mur, sortie, entrée).

- **foule** : Chaîne de mobiles. Fonctions de calcul des couplages entre les mobiles, fonctions d'évolutions des coordonnées des mobiles.
- **mobile** : Coordonnées, forces appliquées, paramètres (taille, masse, nervosité).

### 4.2.3 La vue

Construit une représentation graphique du système et affiche celle-ci.

### 4.2.4 Le controleur

Exécute alternativement

- l'affichage de la vue
- l'évolution du modèle
- les actions du clavier.

## 4.3 Vision des mobiles

Dans la version 1.3, les choix de directions ne se font que dans les cellules ayant été initialisées suivant une direction "diagonale". La direction souhaitée est alors choisies suivant le nombre de mobiles présents dans les cellules à atteindre. La version 1.4 doit mettre en place :

- Un choix pour les cellules dont la direction initialisée n'est pas "diagonale".
- Une diminution du module de la vitesse souhaitée si les cellules à atteindre sont occupées.

La version 1.3.6 prend en compte le taux d'occupation des cellules à atteindre afin de faire un choix.

### 4.3.1 Modélisation

Une cellule contient les informations suivantes :

- `int statut ; // 0 :libre, 1 :mur, 2 :sortie, 3 :entrée, 9 :mobile lors de l'initialisation`
- `int visite ; // 1 si initialisé, -1 si visite en cours`
- `int distance ; // Distance à la sortie`
- `int issue ; // Nombre de voisines "direct" à atteindre`
- `float interet[8] ; // Intérêt à aller dans la direction`
- `float note[8] ; // Intérêt - nombre(cellule voisine)`
- `int sens ; // Meilleur sens`
- `int nombre ; // nombre de mobile.`

### 4.3.2 Champ de vision

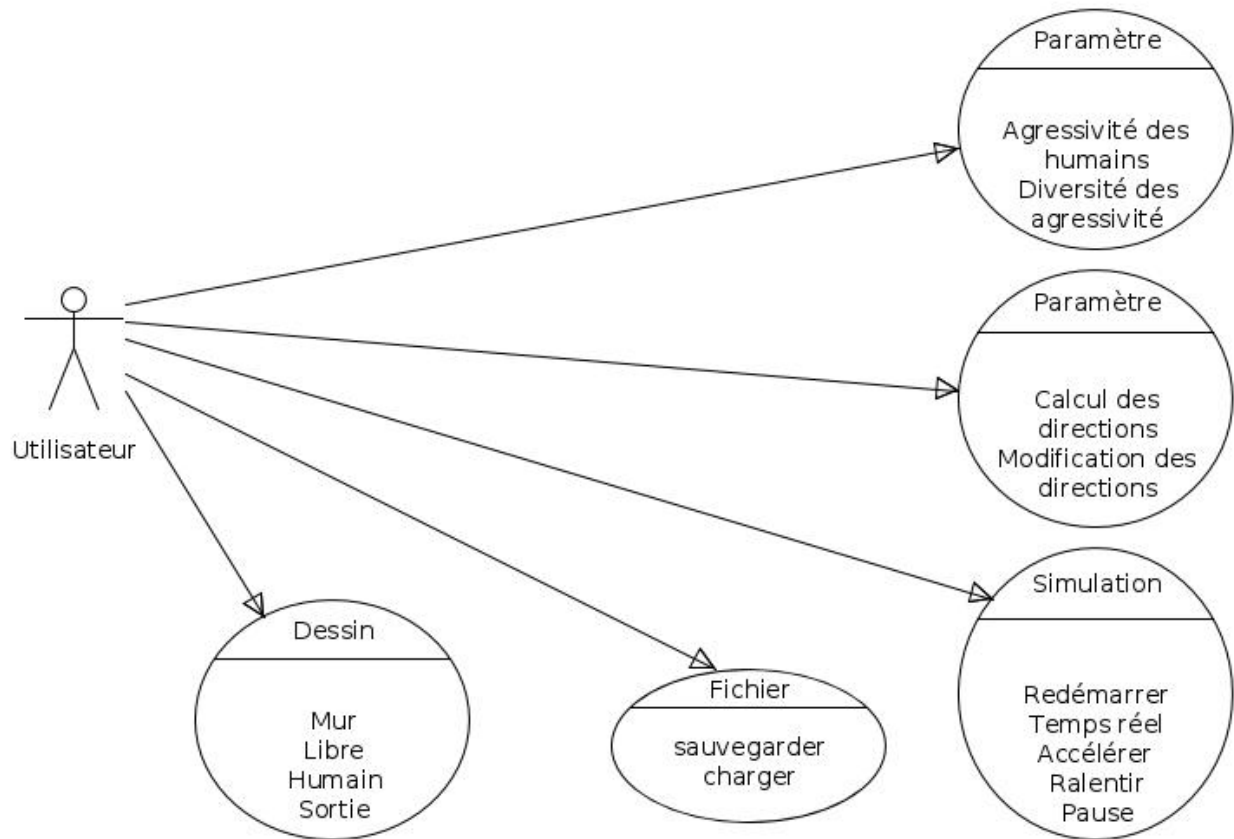
#### 4.3.2.1 Limitation des valeurs des variables

donnees/constantes.c

## 4.4 Diagrammes

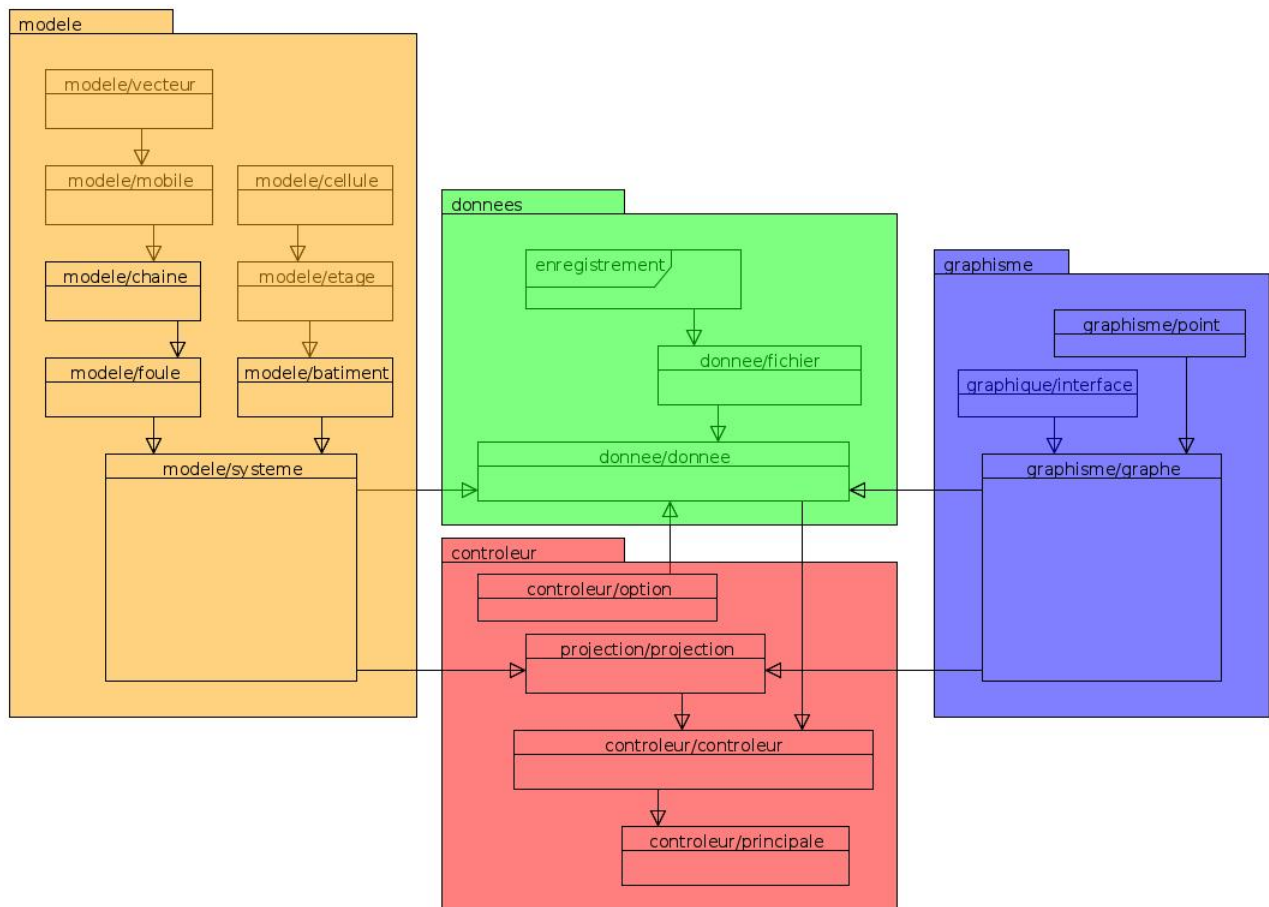
### 4.4.1 Cas d'utilisation

Ce diagramme présente les interactions entre l'utilisateur et le programme à travers l'interface graphique.



#### 4.4.2 diagramme d'inclusion

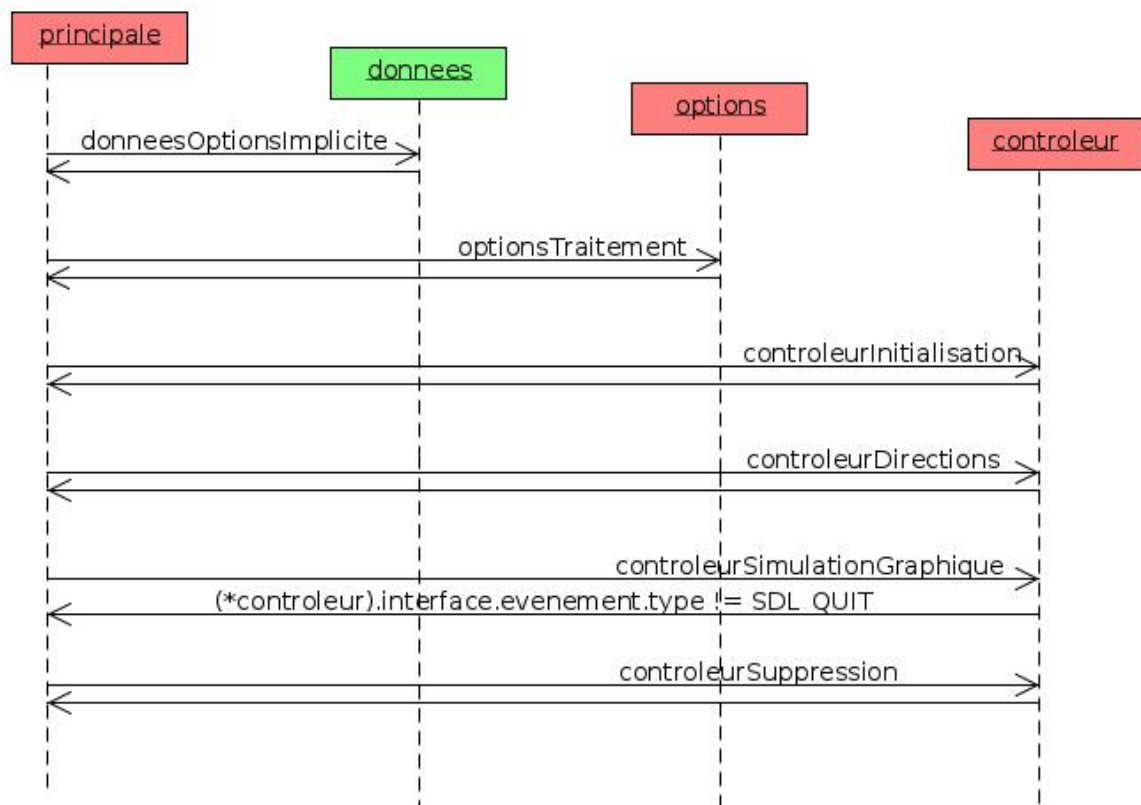
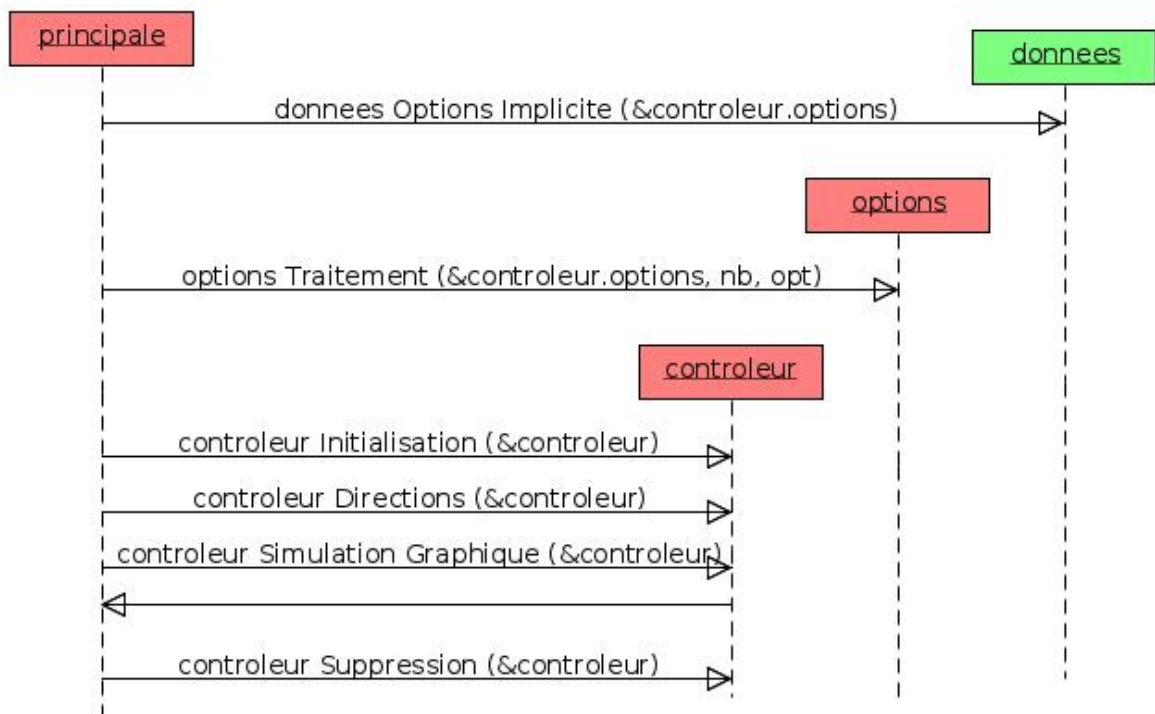
Ce diagramme présente les classes de SimFoule, indique l'inclusion des fichiers. La coloration indique les répertoires.



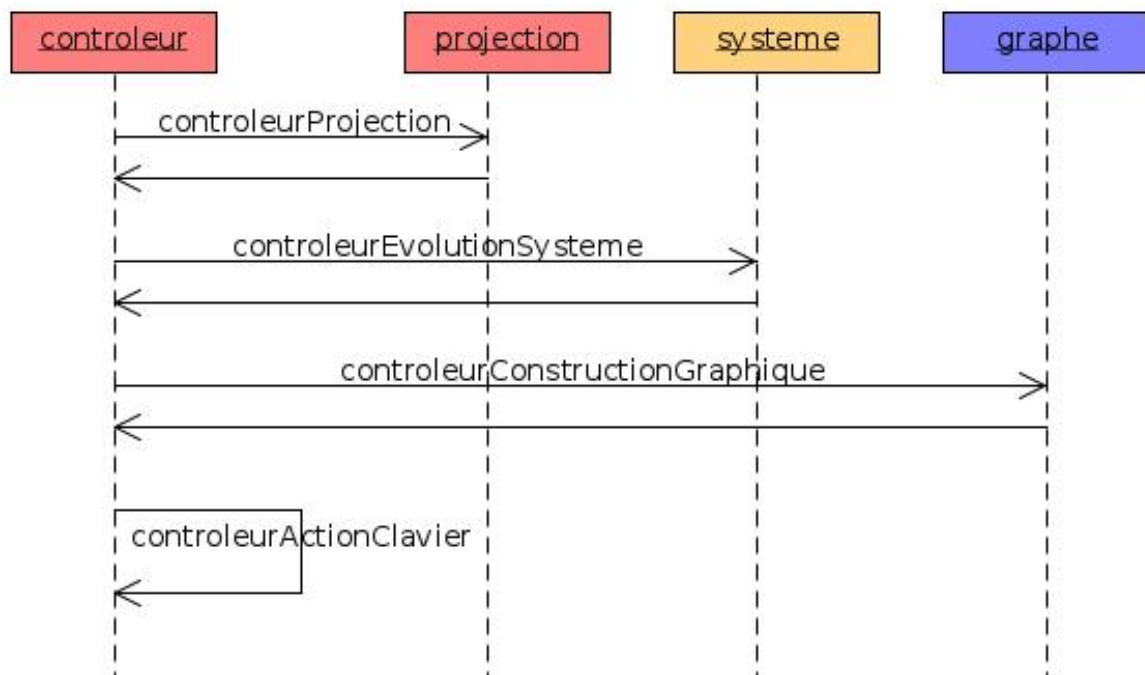


### 4.4.3 diagrammes de séquences

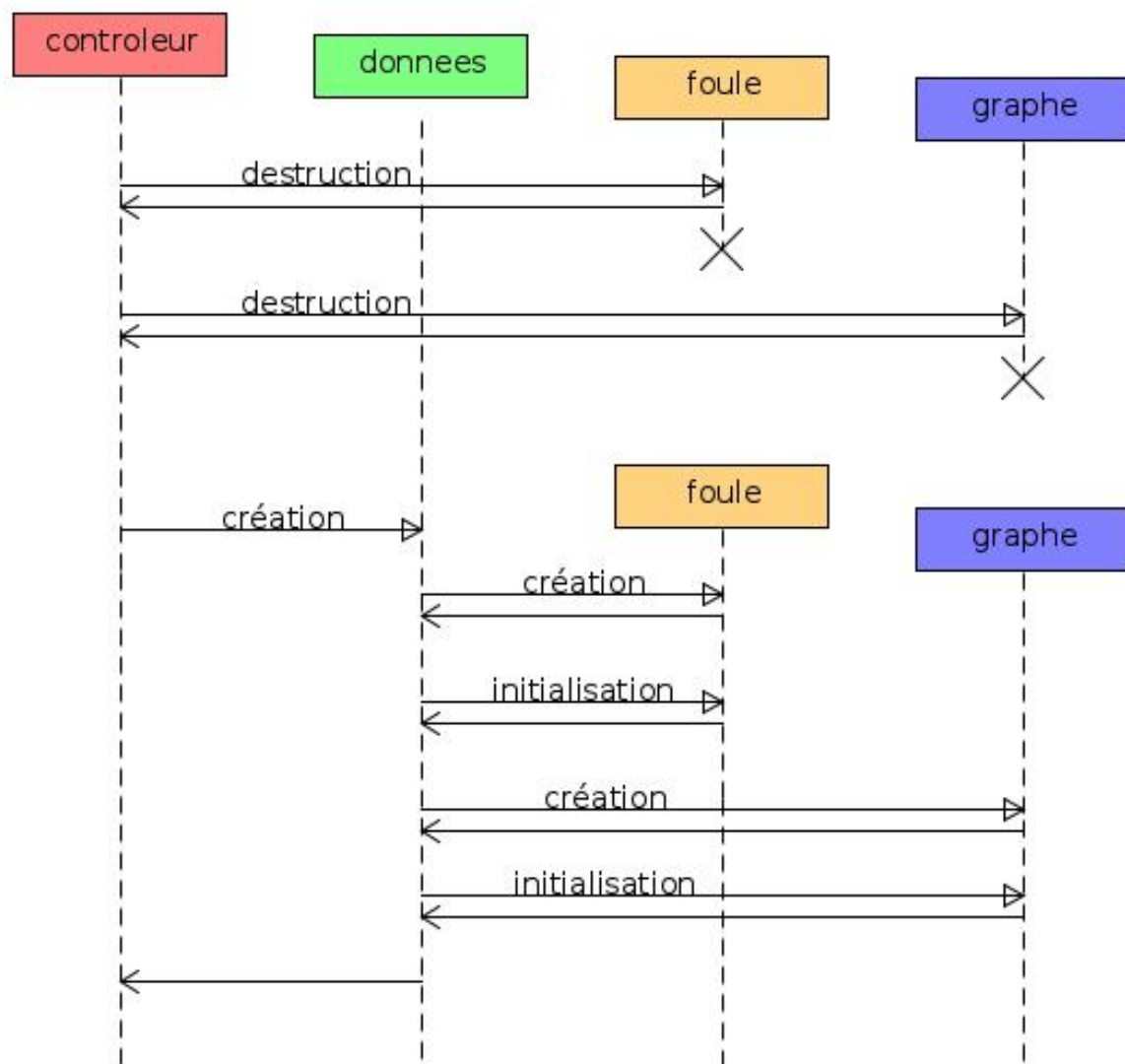
#### 4.4.3.1 Principale

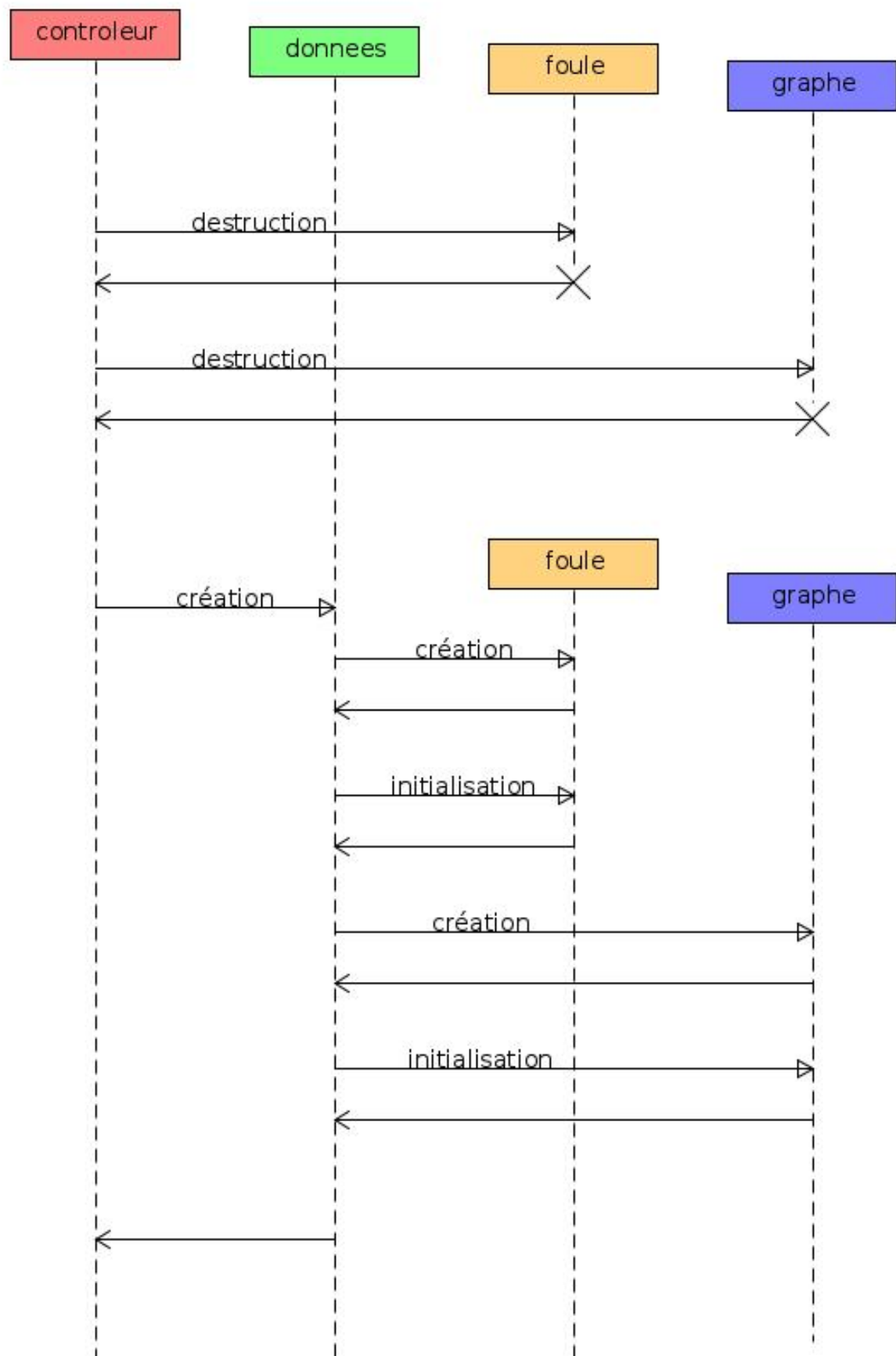


#### 4.4.3.2 Simulation graphique



#### 4.4.3.3 Réinitialisation





## 4.5 Valeurs implicites

### 4.5.1 Réglage de dt, durée et pause

Une incrémentation du système correspond à une avancée dans le temps de **dt**. Empiriquement, un affichage graphique par 30 ms, est obtenue avec une pause de l'ordre de 25 ms. Si à chaque affichage correspond à une dizaine d'incrémentations de dt,

$$dt \times \text{duree} = \text{delay}$$

$$dt \times 10 = 0,03$$

$$dt = 0,003$$

La valeur de **duree** peut être changée dynamiquement avec les touches **F9**, **F10**, **F11** et **F12** afin de faire varier la vitesse de la simulation. La valeur de dt peut être réglée avec l'option **dt** au démarrage du programme, celle de delay par l'option **pause**.

Dans SimFoule, la valeurs implicites de pause est égale à 25, les valeurs implicites de dt et **duree** sont réglées dans le fichier **donnees/donnes.c**. Ces valeurs peuvent être modifiées suivant les objectifs et les capacités de l'ordinateur.

#### 4.5.1.1 Limitation des valeurs des variables

Au delà de certaines valeurs de certain paramètres dynamiques, la simulation s'éloigne du comportement physique.

Pour des raisons de discrétisation

En raisons de possibles erreurs d'algorithme (Le calcul de plus court chemin est réalisé de manière basique et contient un certain nombre d'imperfection...)

En raisons de possibles erreurs d'écriture

Aussi, le fichier **donnees/constantes.c** contient des valeurs maximale et minimale de certains paramètres. Ces bornes permettent de consolider le comportement du programme.

#### 4.5.1.2 Paramètres physiques

#### 4.5.1.3 Paramètres dynamiques

Au delà de certaines valeurs de certain paramètres dynamiques, la simulation s'éloigne d'une évolution physique réaliste.

Vitesse des mobiles

Distance entre les mobiles

Énergie des mobiles