

---

# SiCP, SiCF et SiCP64

## Versions 1.1

### Documentation et théorie

---

*Auteur :*  
Stephan RUNIGO

20 août 2017

## Résumé

Ce document, en construction, accompagne les programmes SiCP, SiCF et SiGP eux mêmes en construction.

Il contient un manuel d'utilisation et quelques développements théoriques liés à ces programmes de simulations numériques.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Manuel d'utilisation</b>	<b>1</b>
1.1	Installation du logiciel	1
1.1.1	Téléchargement des sources	1
1.1.2	Installation des outils de compilation	1
1.1.3	Compilation	1
1.1.4	Exécution	1
1.2	Commandes des simulateurs	1
1.2.1	Commande du simulateur de gaz parfait SiGP	1
1.2.1.1	Options et commande du clavier	1
1.2.1.2	Cloison centrale	2
1.2.1.3	Thermostat	2
1.2.2	Option de la ligne de commande de SiCP 1.3	2
1.2.3	Option de la ligne de commande de SiCP64 1.1	3
1.2.4	Commande du clavier	3
1.2.4.1	Résumé SiCP64 1.1	3
1.2.4.2	Résumé SiCP 1.3	3
1.2.4.3	Paramètres de la chaîne	4
1.2.4.4	Forme de la dissipation	4
1.2.4.5	Conditions aux limites	4
1.2.4.6	Moteur premier pendule	4
1.2.4.7	Moteur Josephson	4
1.2.4.8	Contrôle de la simulation	4
1.2.4.9	Information	4
1.2.4.10	Graphisme SiCP64	5
1.2.5	Commande de la souris	5
1.2.5.1	Graphisme SiCP64	5
1.2.6	Enregistrement de la position	5
1.2.6.1	Dans SiCP64	5
<b>2</b>	<b>Modèles physiques</b>	<b>6</b>
2.1	La chaîne de pendule	6
2.1.1	La chaîne de pendule	6
2.1.2	La corde vibrante	6
2.2	L'équation de Sine-Gordon	6
2.2.1	L'équation de Sine-Gordon	6
2.2.2	Les solitons, solutions de l'équation de Sine-Gordon	6
2.2.3	Phénomènes physiques associés aux solitons	6
2.3	La corde vibrante	6
2.3.1	La corde vibrante	7
2.3.2	La transformée de fourier	7
2.4	Les chocs de particules	7
2.4.1	Les chocs de particules	7
2.4.2	Chocs de deux particules	7
<b>3</b>	<b>Mathématique et numérique</b>	<b>8</b>
3.1	Discrétisation	8
3.1.1	Discrétisation des dérivées	8
3.1.1.1	Dérivé symétrisée	8
3.1.1.2	Changement de variable	8

3.1.2	Discrétisation de la relation fondamentale de la dynamique . . . . .	8
3.1.2.1	Variables réduites . . . . .	8
3.1.2.2	Limite infinie . . . . .	9
3.1.2.3	Interaction dans SiG (Simulateur de gravitation) . . . . .	9
3.2	Perspective et repère SiCP . . . . .	9
3.2.1	Schéma . . . . .	9
3.2.2	Mathématique . . . . .	9
3.2.3	Classes . . . . .	10
3.2.4	Projection . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Développement</b> . . . . .	<b>11</b>
4.1	Modèle Vue Controleur . . . . .	11
4.1.1	Les répertoires des simulateurs . . . . .	11
4.1.2	Le modèle . . . . .	11
4.1.3	La vue . . . . .	11
4.1.4	Le controleur . . . . .	11
	<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>12</b>

# Chapitre 1

## Manuel d'utilisation

### 1.1 Installation du logiciel

Cette section traite de l'installation du logiciel SiCF

#### 1.1.1 Téléchargement des sources

Télécharger le fichier `.zip` sur github

#### 1.1.2 Installation des outils de compilation

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

#### 1.1.3 Compilation

Commande `make` dans le répertoire des sources

#### 1.1.4 Exécution

Dans le répertoire source, `./SiCF -[OPTION]`

### 1.2 Commandes des simulateurs

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

#### 1.2.1 Commande du simulateur de gaz parfait SiGP

Lorsque le programme est démarré en ligne de commande, il est possible de passer un certain nombre d'option. Elle sont communiqué au programme à l'aide du nom de l'option suivies d'un nombre. Par exemple pour démarrer SiGP avec un fond sombre, deux fluxons et une discrétisation du temps égale à 0,033 seconde :

```
./SiGP cf 17 df 2 dt 0.033
```

##### 1.2.1.1 Options et commande du clavier

option	valeur	clavier	commande
pause	$5 < d < 555$		pause entre les affichages en ms
duree	$1 < d < 99$	flèches	vitesse de la simulation
cloison	$-3 < d < 3$	w-n	cloison si $< > 0$
thermostat	$-2 < d < 2$	o , l	système isolé si $= 0$
vitesse	$0.03 < f < 33.3$		Vitesse initiale
temperature	$0.0000003 < f < 90\ 000$	p, m	Température thermostat
gauche	$0.0000003 < f < 90\ 000$	u, j	Thermostat gauche
droite	$0.0000003 < f < 90\ 000$	i, k	Thermostat droite

### 1.2.1.2 Cloison centrale

*Option :*

- 0 : Pas de cloison
- 1 : Cloison percée.
- 2 : Cloison
- 1 : Cloison percée et démon de maxwell.
- 2 : Cloison et démon de maxwell

*Clavier :*

- w : Pas de cloison
- x : Cloison percée
- c : Cloison
- b : Cloison percée et démon de maxwell.
- n : Cloison et démon de maxwell.

### 1.2.1.3 Thermostat

*Option :*

- 0 : Système isolé
- 1 : Température gauche-droite identiques
- 2 : Température gauche-droite différentes

*Clavier :*

- o : Système isolé
- l : Température gauche-droite identiques
- l : Température gauche-droite différentes

mo : Mode -1 : Wait, 1 : Poll (mode == 1 || mode == -1)

## 1.2.2 Option de la ligne de commande de SiCP 1.3

Lorsque le programme est démarré en ligne de commande, il est possible de passer un certain nombre d'option. Elle sont communiqué au programme à l'aide de deux lettres suivies d'un nombre. Par exemple pour démarrer SiCP avec un fond sombre, deux fluxons et une discrétisation du temps égale à 0,0033 seconde :

```
./SiCP fond 17 soliton 2 dt 0.0033
```

Les options possibles sont :

**nombre : Nombre de pendules.** (nombre > 2 && nombre < NOMBRE\_MAX). Initialise le nombre de pendules couplés.

**soliton : déphasage entre les extrémités.** (soliton > -99 && soliton < 99). Initialise le déphasage entre le dernier pendule et le premier pendule dans le cas des conditions aux limites périodique.

**equation : choix de l'équation** (equation > 0 && equation < 5). Calcul de la FORCE DE RAPPEL (gamma est négatif)

- 1 : **gravitation** forceRappel = sinus de la position du pendule
- 2 : **linearisation** forceRappel = proportionnelle à la position du pendule
- 3 : **corde vibrante** forceRappel = 0
- 4 : **corde vibrante asymétrique** forceRappel = 0

**fond : Couleur du fond** (fond>0 && fond<255)

**pause : temps de pause en ms** (pause > 5 || pause < 555)

**dt : discrétisation du temps** (dt > 0.0 && dt < DT\_MAX)

### 1.2.3 Option de la ligne de commande de SiCP64 1.1

Lorsque le programme est démarré en ligne de commande, il est possible de passer un certain nombre d'option. Elle sont communiquées au programme à l'aide du nom de l'option suivies d'un nombre. Par exemple pour démarrer SiCP64 avec un fond sombre, deux fluxons et une discrétisation du temps égale à 0,033 seconde :

```
./SiCP64 cf 17 df 2 dt 0.033
```

Les options possibles sont :

**df : déphasage entre les extrémités.** (fluxon > -99 && fluxon < 99). Initialise le déphasage entre le dernier pendule et le premier pendule dans le cas des conditions aux limites périodique.

**eq : choix de l'équation** (equation > 0 && equation < 5). Calcul de la FORCE DE RAPPEL (gamma est négatif)

- 1 : **gravitation** forceRappel = sinus de la position du pendule
- 2 : **linearisation** forceRappel = proportionnelle à la position du pendule
- 3 : **corde vibrante** forceRappel = 0
- 4 : **corde vibrante asymétrique** forceRappel = 0

**cf : Couleur du fond** (fond>0 && fond<255)

**mo : Mode -1 : Wait, 1 : Poll** (mode == 1 || mode == -1)

**po : temps de pause en ms** (pause > 5 || pause < 555)

**dt : discrétisation du temps** (dt > 0.0 && dt < DT\_MAX)

### 1.2.4 Commande du clavier

#### 1.2.4.1 Résumé SiCP64 1.1

A	Z	E	R	T	Y	U	I	O	P
Couplage	Masse	Dissip.	supprimD	Gravit.	Phi	Sym.	impuls.	sinCar	fréquence
Q	S	D	F	G	H	J	K	L	M
moinsC	moinsM	plusD	formeD	moinsG	moinsΦ	moinsS	Ampl.	moinsA	moinsF
W	X	C	V	B	N				
périodique	libres	fixe	ExtAbsD	libFix	fixLib				

Contrôles				Information				SiCP64			
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Mode	-Sim	+Sim		Énergie				Altitude	gauche	droite	Altitude
Entrée	-	+									
Mode	-Sim	+Sim									

#### 1.2.4.2 Résumé SiCP 1.3

A	Z	E	R	T	Y	U	I	O	P
Couplage	Masse	Dissip.	supprimD	Gravit.	Phi	Sym.	impuls.	sinCar	fréquence
Q	S	D	F	G	H	J	K	L	M
moinsC	moinsM	plusD	formeD	moinsG	moinsΦ	moinsS	Ampl.	moinsA	moinsF
W	X	C	V	B	N				
périodique	libres	fixe	ExtAbsD	libFix	fixLib				

Contrôles				Information				SiCP			
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Pendules	Harmoniques	Corde	asymétrique	Énergie							
Entrée	-	+									
Mode	-Sim	+Sim									

#### 1.2.4.3 Paramètres de la chaîne

**Couplage** : **a**, **q** : Augmente, diminue le couplage entre les pendules.

**Masse** : **z**, **s** : Augmente, diminue la masse des pendules.

**Dissipation** : **e**, **d** : Augmente, diminue les frottements visqueux.

**Gravitation** : **t**, **g** : Augmente, diminue l'accélération de la gravitation.

#### 1.2.4.4 Forme de la dissipation

**Supprimer** : **e** : Supprime les frottements visqueux.

**Former** : **f** : Active les frottements visqueux sur toute la chaîne.

**Absorber** : **v** : Active les frottements visqueux sur la fin de la chaîne, crée une extrémité absorbante.

#### 1.2.4.5 Conditions aux limites

**Périodique** : **w** : Le dernier pendule est couplé au premier.

**Libres** : **x** : Les deux extrémités sont libres.

**Fixes** : **c** : Les deux extrémités sont fixes.

**libre-fixe** : **b** : Le premier pendule est libre et le dernier pendule est fixe.

**fixe-libre** : **n** : Le premier pendule est fixe et le dernier pendule est libre.

#### 1.2.4.6 Moteur premier pendule

**Impulsion** : **i** : Crée une impulsion.

**Sinus** : **o** : Active, désactive le moteur sinusoïdale.

**Amplitude** : **k**, **1** : Augmente, diminue l'amplitude du moteur.

**Fréquence** : **p**, **m** : Augmente, diminue la fréquence du moteur.

#### 1.2.4.7 Moteur Josephson

**Activation** : **→** : Crée, supprime un courant josephson.

**Amplitude** : **↑, ↓** : Augmente, diminue le courant.

**Sens** : **←** : Inverse le sens du courant josephson.

#### 1.2.4.8 Contrôle de la simulation

**Mode** : **Entrée** ou **F1** : Change le mode de la simulation : temps réel ou pas à pas.

**Accélérer** : **+** ou **F2** : Accélère la simulation.

**Ralentir** : **-** ou **F3** : Ralentit la simulation.

#### 1.2.4.9 Information

**Énergie** : **F5** : Information énergétique de la chaîne.



#### **1.2.4.10 Graphisme SiCP64**

**Altitude** : F9 : Diminue l'altitude du point de vue.

**Rotation** : F10 : Tourne la chaîne vers la gauche.

**Rotation** : F11 : Tourne la chaîne vers la droite.

**Altitude** : F12 : Augmente l'altitude du point de vue.

### **1.2.5 Commande de la souris**

#### **1.2.5.1 Graphisme SiCP64**

Cliquer et déplacer le pointeur de la souris permet de déplacer le point de vue de l'observateur.

### **1.2.6 Enregistrement de la position**

#### **1.2.6.1 Dans SiCP64**

La touche majuscule permet d'accéder aux fonctions d'enregistrement et de réinitialisation des positions des pendules.

## Chapitre 2

# Modèles physiques

Ce chapitre traite des modèles physiques liés aux phénomènes abordés par les simulateurs.

### 2.1 La chaîne de pendule

#### 2.1.1 La chaîne de pendule

La chaîne de pendule est constituée d'une série de pendules pesants. Chaque pendule étant couplé avec ses deux plus proches voisins à l'aide d'un fil de torsion.

$$\frac{d^2\theta_n}{dt^2} - c^2 \frac{\theta_{n+1} + \theta_{n-1} - 2\theta_n}{a^2} + \omega_0^2 \sin \theta_n = 0$$

#### 2.1.2 La corde vibrante

### 2.2 L'équation de Sine-Gordon

Cette section traite de l'équation de sine-gordon et de ses solutions

#### 2.2.1 L'équation de Sine-Gordon

C'est une équation différentielle du second ordre, non linéaire, à deux variables [1].

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \omega_0^2 \sin \theta = 0$$

#### 2.2.2 Les solitons, solutions de l'équation de Sine-Gordon

Une solution de l'équation de Sine-Gordon, appelée soliton, est

$$\theta(x, t) = 4 \arctan \exp(\omega t - kx)$$

Elle correspond à une variation de  $2\pi$  de la valeur de  $\theta$  sur une distance de l'ordre de  $k^{-1}$ . Le soliton se déplace à la vitesse  $v$ .

#### 2.2.3 Phénomènes physiques associés aux solitons

La **jonction josephson**. Constitué par une jonction isolante entre deux supraconducteur.

Les **motifs du pelage des animaux** [3]

Les **frontières**. New-York possède un quartier chinois et un quartier italien. Le grignotage de Little Italy par Chinatown montre le déplacement de la brutale variation des densités de population chinoise et italienne.

### 2.3 La corde vibrante

Cette section traite de l'équation des cordes vibrantes, de ses solutions et de la transformée de fourier.

### 2.3.1 La corde vibrante

C'est une équation différentielle du second ordre, linéaire, à deux variables [2].

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

### 2.3.2 La transformée de fourrier

La transformée de fourrier correspond à la décomposition d'une fonction sur une base de fonctions harmoniques.

$$\hat{u}(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} u(x) e^{-2i\pi kx} dx$$

## 2.4 Les chocs de particules

### 2.4.1 Les chocs de particules

On applique les lois de conservations de l'énergie et de l'impulsion :

$$\begin{aligned} \sum m_i v_i'^2 &= \sum m_i v_i^2 & \sum m_i \vec{v}'_i &= \sum m_i \vec{v}_i \\ \sum m_i v_i'^2 &= \sum m_i v_i^2 & \sum m_i \vec{v}'_i &= \sum m_i \vec{v}_i \\ m_i \mathbf{v}'_i{}^2 &= m_i \mathbf{v}_i^2 & m_i \mathbf{v}'_i &= m_i \mathbf{v}_i \end{aligned}$$

### 2.4.2 Chocs de deux particules

La conservations de l'énergie donne :

$$m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2 = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$$

La conservations de l'impulsion donne :

$$m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

Dans le référentiel du centre de masse :

$$(m_1 + m_2) \vec{v} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

## Chapitre 3

# Mathématique et numérique

Ce chapitre traite des modèles mathématiques et numériques liés aux simulateurs.

### 3.1 Discrétisation

#### 3.1.1 Discrétisation des dérivées

##### 3.1.1.1 Dérivée symétrisée

La symétrisation de la dérivé permet de retrouver l'algorithme de Verlet. Une tel symétrisation permet d'observer la conservation de l'énergie lorsque l'on supprime les frottements visqueux.

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

##### 3.1.1.2 Changement de variable

Simplifiant l'expression de l'accélération, le changement de variable  $dt' = 2 dt$  donne une expression disymétrique de la vitesse, cette dernière est utilisée pour l'évaluation des forces de viscosité.

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

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

Somme des forces = m a

Considérant que la variable x est un angle en radian, l'analyse dimensionnelle de la relation fondamentale de la dynamique donne alors

$$- dt^2 mg \sin x(t) - dt^2 k.l.D.x(t) - dt.a.l(x(t) - x(t - dt)) = m.l(x(t + dt) - 2x(t) + x(t - dt))$$
$$T^2MLT^{-2}T^2MT^{-2}LTMT^{-1}L = ML$$

soit

$$- dt^2 \frac{g}{l} \sin x(t) - dt^2 \frac{kD}{m} x(t) - dt \frac{a}{m} (x(t) - x(t - dt)) = (x(t + dt) - 2x(t) + x(t - dt))$$

##### 3.1.2.1 Variables réduites

Les variables réduites sont sans dimension . Elles prennent en compte la discrétisation du temps. Le signe prend en compte le caractère « de rappel » des forces.

$$\alpha = -\frac{a}{m} dt$$

$$\text{gamma} = -\frac{g}{l} dt^2$$

$$\text{kapa} = -\frac{k}{m} dt^2$$

Définition

définition simplifié des variables numériques

$$force[i] = \text{gamma}.\sin x + \text{kapa}.Dx + \text{alpha}.dx$$

définition des variables numériques de SiCP 1.0

forceTotale = gamma sinx + kapaprécedent Dxprécédent + kapa Dxsuivant + alpha dx

Simulation Numérique

$$(x(t + dt) - 2x(t) + x(t - dt)) = force[i]$$

$$soitx(t + dt) = 2x(t) - x(t - dt) + force[i]$$

Période égale à une seconde Période =  $2\pi \sqrt{l/g} = 1 \text{ g/l} . x = -d^2x/dt^2 \text{ g/l} = 4\pi^2 = 39,478 \text{ s} = \cos(t \sqrt{g/l})$

longueur = 0,25

Empiriquement, un affichage graphique par 30 ms, est obtenue avec delay(25) (Ce 25 n'a rien à voir avec la longueur précédente...)

$$dt * \text{duree} = \text{delay} dt * 100 = 0,03 dt = 0,0003$$

### 3.1.2.2 Limite infinie

pendule de « précédent » à « - nombre \* 5 / 6 », dissipation de 10 à 1

pendule précédents dissipation = 0,0

### 3.1.2.3 Interaction dans SiG (Simulateur de gravitation)

$$a = d^2f/m dt^2 . = force[i]$$

$$x(t + dt) = 2.x(t) - x(t - dt) + force$$

$$\text{nouveau}[i] = 2.\text{actuel}[i] - \text{ancien}[i] + \text{force}[i]$$

$$\text{force}[i] = \text{champ}[i].q[i]/m[i]$$

$$\text{champ}[j] = \text{Sq}[i].(r[i]-r[j])/|r[i]-r[j]|^3.$$

$$\text{ch}[j] = \text{Sq}[i].(\text{position}-\text{corps})...$$

Si les charges sont opposées,

$$\text{champ}[j] = \text{Sq}[i].((r[i]-r[j])/|r[i]-r[j]|^3 - (r[i]-r[j])/|r[i]-r[j]|^5).$$

## 3.2 Perspective et repère SiCP

Cette section traite de la définition des coordonnées intervenant dans la projection en perspective de SiCP

### 3.2.1 Schéma

de SiCP

### 3.2.2 Mathématique

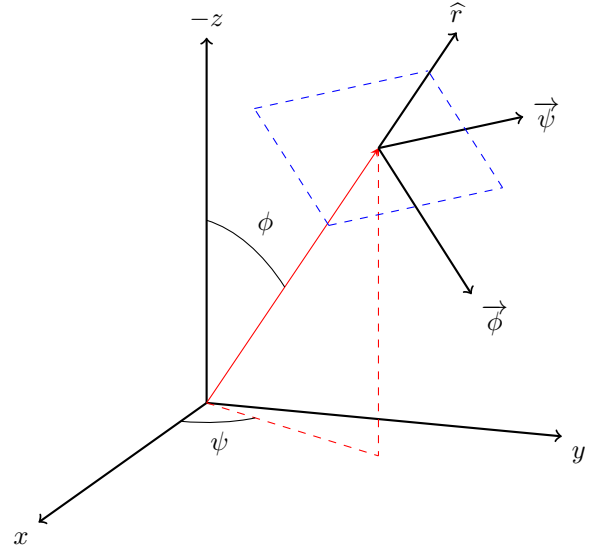
**System** :  $\theta_i$ .

**Chaine** :  $r_i$ .

**Support** :  $R_i$ .

**Point de vue** :  $M, i_M, j_M, k_M$ .

$$\begin{aligned}\vec{r} &= \begin{pmatrix} \cos \psi \cdot \sin \phi \\ \sin \psi \cdot \sin \phi \\ \cos \phi \end{pmatrix}, \\ \vec{\psi} &= \text{largeur} \cdot \begin{pmatrix} -\sin \psi \\ \cos \psi \\ 0 \end{pmatrix}, \\ \vec{\phi} &= \text{hauteur} \cdot \begin{pmatrix} -\cos \psi \cdot \cos \phi \\ -\sin \psi \cdot \cos \phi \\ \sin \phi \end{pmatrix}.\end{aligned}$$



### 3.2.3 Classes

**System** : nouveau[N].

**Chaine** : chaine[N], support[12], largeur, hauteur.

**Point de vue** : perspective, distance, psi, phi.

### 3.2.4 Projection

$$\text{System-Chaine} : r_i = \begin{pmatrix} \text{largeur}/2N(i - N/2) \\ \text{hauteur} \cdot \sin \theta_i \\ \text{hauteur} \cdot \cos \theta_i \end{pmatrix}.$$

$$\text{Point de vue} : \vec{r} = \begin{pmatrix} \cos \psi \cdot \sin \phi \\ \sin \psi \cdot \sin \phi \\ \cos \phi \end{pmatrix}, \vec{\psi} = \text{largeur} \cdot \begin{pmatrix} -\sin \psi \\ \cos \psi \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{\phi} = \text{hauteur} \cdot \begin{pmatrix} -\cos \psi \cdot \cos \phi \\ -\sin \psi \cdot \cos \phi \\ \sin \phi \end{pmatrix}.$$

$$\text{Chaine-Rendu} : g_i = \begin{pmatrix} (\mathbf{r}_i - \mathbf{M}) \cdot \mathbf{k}_M + \text{hauteur}/2 \\ (\mathbf{r}_i - \mathbf{M}) \cdot \mathbf{j}_M + \text{largeur}/2 \end{pmatrix}.$$

# Chapitre 4

## Développement

Ce chapitre traite de la structure des programmes de simulation

### 4.1 Modèle Vue Contrôleur

#### 4.1.1 Les répertoires des simulateurs

- `donnees` : Inclusion des bibliothèques, constantes et valeurs initiales du système et du graphisme
- `fonctions` : Outils mathématique. Fonctions et projection du système
- `modele` : Système simulé.
- `graphisme` : Représentation graphique et affichage
- `controle` : Liaison entre le système et l'interface graphique
- `objet` : Nécessaire à la compilation

#### 4.1.2 Le modèle

Le système est un ensemble de pendules couplés

#### 4.1.3 La vue

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

#### 4.1.4 Le contrôleur

Exécute alternativement la vue et le modèle. Exécute les actions du clavier.

# Bibliographie

- [1] R. Belmont. Équation et solitons de sine-gordon. <<http://userpages.irap.omp.eu/~rbelmont/mypage/numerique/SineGordon.pdf>>, 2016. [Last modified : mercredi 24 septembre 2014 20 :22 :15].
- [2] Benjamin Boutin. *Équation des ondes*. 2012. [Last modified : jeudi 08 mars 2012 07 :33 :03].
- [3] L.G. Vidiani. *Les motifs des pelages d'animaux*. Editeur1, 2014.