

CFPT-INFORMATIQUE

TRAVAUX DE DIPLÔMES 2017

DILEMME DU PRISONNIER

AUTOMATE CELLULAIRE

JULIEN SEEMULLER

Supervisé par :

MME. TERRIER



300×300

T.IS-E2B

4 mai 2017

1 Abstract

2 Résumé

Table des matières

1	Abstract	1
2	Résumé	1
3	Cahier des charges	3
3.1	Sujet	3
3.2	Descriptions	3
3.3	But	4
3.4	Spécifications	5
3.5	Environnement	5
3.6	Livrables	5
3.7	Reddition	5
4	Introduction	6
5	Planification provisionnelle	7
6	Analyse de l'existant	8
6.1	Projet de M. Ramón Alonso-Sanz	8
6.2	Projet de M. Marcelo Alves Pereira	9
6.3	Projet de Mme. Katarzyna Zbieć	10
6.4	Conclusions tirées de l'analyse	10
7	Analyse fonctionnelle	11
7.1	Fonctionnement	11
7.2	Maquette de l'interface	12
8	Analyse organique	19
8.1	Diagramme de classe	19
8.2	Classes de l'automate cellulaire	20
8.3	Stratégies	23
8.4	Classes d'extensions	25
9	Tests	26
10	Conclusion et perspectives	26
11	Sources	27

3 Cahier des charges

3.1 Sujet

Automate cellulaire (voir [Conway's Game of Life](#) [1]) basé sur le dilemme du prisonnier répété (voir [Iterated Prisoner's Dilemma](#) [2]) et permettant de le simuler.

3.2 Descriptions

Le projet étant basé sur des concepts peu courants, il est nécessaire de les détailler.

Automate cellulaire :

Un automate cellulaire est un modèle constitué d'une grille de cellule changeant d'état à chaque temps $t+1$. Une règle est appliquée à toutes les cellules, habituellement basée sur l'état des voisins de chaque cellule, et permet de faire "évoluer" la grille. L'automate cellulaire le plus connu est probablement *Game of Life* imaginé par John Horton Conway en 1970.

Dilemme du prisonnier répété :

Le dilemme du prisonnier répété est une variante du dilemme du prisonnier. Dans ce jeu, des personnes jouent plusieurs fois au dilemme du prisonnier.

Dans le dilemme du prisonnier, deux prisonniers ayant commis un crime mineur sont enfermés dans deux cellules différentes, afin de les empêcher de communiquer. Le policier soupçonne les deux accusés d'avoir commis auparavant un crime plus important et souhaite obtenir des aveux concernant ce dernier. Il se présente donc et discute avec chaque prisonnier séparément en leur offrant à chacun deux choix :

- Dénoncer l'autre prisonnier (trahison)
- Se taire (coopération)

Il présente donc les résultats des choix suivants :

- Si l'un des deux prisonniers dénonce l'autre, il est remis en liberté alors que le second obtient la peine maximale (10 ans)
- Si les deux se dénoncent entre eux, ils seront condamnés à une peine plus légère (5 ans)
- Si les deux refusent de dénoncer l'autre, la peine sera minimale (6 mois), faute d'éléments à charge.

Chaque prisonnier fait donc une *"Matrice des Gains"* [3] pour résoudre ce problème :

	Il se tait	Il me dénonce
Je me tais	$(-1/2 ; -1/2)$	$(-10 ; 0)$
Je le dénonce	$(0 ; -10)$	$(-5 ; -5)$

Chaque prisonnier *devrait* donc comprendre que le choix logique sur une seule itération est de coopérer avec l'autre prisonnier.

3.3 But

Le but du projet est donc de fusionner ces deux concepts et de créer un automate cellulaire permettant de visualiser le dilemme du prisonnier répété. Chaque cellule jouerait une partie du dilemme simultanément avec chacun de ses voisins. Chaque cellule peut adopter une stratégie permettant d'optimiser ses gains. Voici quelques exemples de stratégies :

Random (RAND) : Fait des actions aléatoires, trahit ou coopère avec 50% de chance.
Always Defect (AD) : Trahit avec 100% de chance.
Always Cooperate (AC) : Coopère avec 100% de chance
Grim Trigger (GRIM) : Stratégie "AC", mais change sa stratégie vers "AD" après trahison.
etcetera... [4]

Beaucoup de stratégies peuvent être implémentées pour rendre le jeu intéressant à étudier. Pour cela, des graphiques seront implémentés permettant de récupérer et d'observer les résultats de l'application en temps réel. Les cellules du plateau seront aussi colorées selon leur stratégie ou encore l'historique de leur actions (ex : tendance à trahir → rouge et tendance à coopérer → vert).

Voici en exemple, le dilemme du prisonnier sous forme d'automate cellulaire :

						θ						p						θ						p					
						$T=1$						$T=2$						$T=2$						$T=2$					
A	B	A	B	A	B	0	0	0	0	0	0	16	16	16	16	16	16	0	0	0	0	0	0	16	13	16	13	16	16
B	A	B	A	B	A	0	0	0	0	0	0	16	16	13	16	16	16	0	π	0	π	0	0	13	20	7	20	13	16
A	B	A	B	A	B	0	0	π	0	0	0	16	13	20	13	16	16	0	0	π	0	0	0	16	7	20	7	16	16
B	A	B	A	B	A	0	0	0	0	0	0	16	16	13	16	16	16	0	π	0	π	0	0	13	20	7	20	13	16
A	B	A	B	A	B	0	0	0	0	0	0	16	16	16	16	16	16	0	0	0	0	0	0	16	13	16	13	16	16
B	A	B	A	B	A	0	0	0	0	0	0	16	16	16	16	16	16	0	0	0	0	0	0	16	16	16	16	16	16

FIGURE 1 – Automate cellulaire du dilemme du prisonnier
source [5]

3.4 Spécifications

Le projet sera conforme aux spécifications suivantes :

Automate cellulaire paramétrable :

- Nombre de cellules paramétrables.
- Stratégies utilisées et proportions de ces dernières sur le plateau paramétrables.
- Matrice des gains [3] paramétrable.

Exploitation des résultats :

- Cellules colorées selon leur stratégie ou historique d'actions.
- Divers graphiques (ex : nombre de cellules traîtres par générations)
- Possibilité d'utilisation de [LiveCharts](#) [6]

3.5 Environnement

Le projet prendra place dans l'environnement suivant :

- Ordinateur sous **Windows 7**
- Environnement de développement adapté pour **C#**.

3.6 Livrables

Les documents suivant seront remis à la fin du projet :

- Journal de bord (PDF).
- Rapport technique (PDF).
- Fichier ZIP contenant les sources.

3.7 Reddition

Voici les dates importantes du projet :

22 Janvier 2017 : Reddition du cahier des charges.

5 Avril 2017 : Début du travail

à définir : Rendu du poster.

à définir : Reddition intermédiaire de la documentation.

12 Juin 2017 : Reddition finale du projet.

19-20 Juin 2017 : Présentation orale du projet.

4 Introduction

Ce projet à été réalisé dans le cadre des travaux de diplômes de l'année 2016-2017 du **C**entre de **F**ormation **P**rofessionnelle **T**echnique en **I**nformatique dans l'optique d'obtenir un diplôme de Technicien ES.

Durant l'année, nous avons effectués plusieurs travaux sur les automates cellulaires, un sujet auquel je porte un grand intérêt. En lisant différents articles sur internet, il m'est venu l'idée d'un automate cellulaire basé sur le dilemme du prisonnier. Cependant, la majorité de ces articles parviennent de personnes ayant un bagage scientifique en physique, et les démonstrations illustrées dans ces derniers sont réalisés dans des langages axés mathématiques tels que "R".

J'ai comme but de réaliser cet automate cellulaire entièrement en C# et d'utiliser une bibliothèque permettant d'afficher mes résultats dans un format clair et intuitif à l'utilisateur.

J'ai également comme but d'appliquer les concepts souvent survolés lors des travaux de diplômes tels que le développement piloté par les tests (*test driven development* en anglais) ou encore les patrons de conceptions (*design patterns* en anglais). Ces différents concepts assurent une architecture plus cohérente, et facilite la compréhension pour les personnes extérieures au projet.

5 Planification provisionnelle

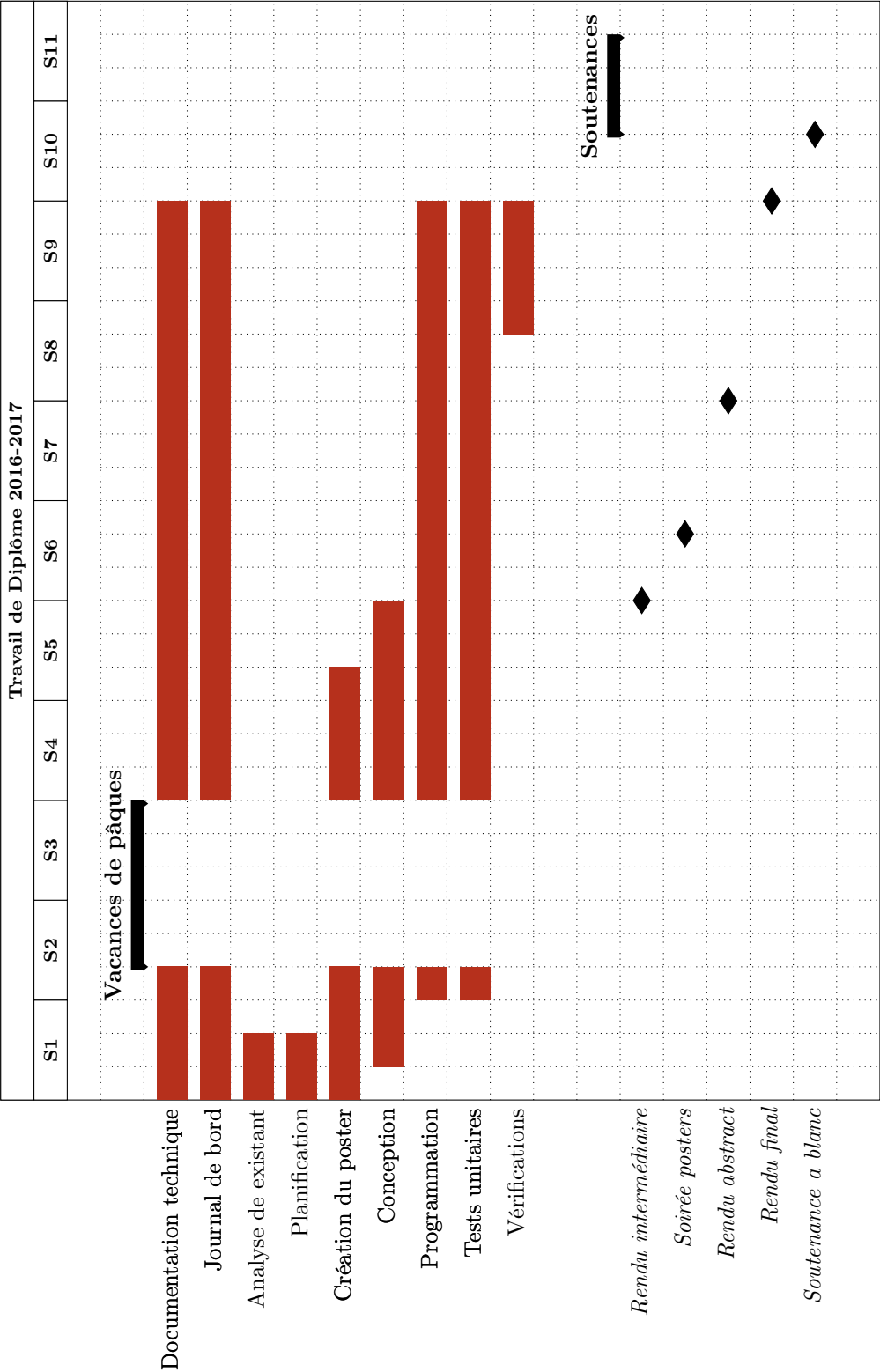


FIGURE 2 – Diagramme de Gantt

6 Analyse de l'existant

Il est nécessaire d'analyser et de comparer différents travaux avant de commencer le développement de notre application. Pour effectuer cette analyse, trois concepts d'automates cellulaires basés sur le dilemme du prisonnier ont été sélectionnés :

- "*A quantum prisoner's dilemma cellular automaton*" de M. Ramón Alonso-Sanz. [7]
- "*Prisoner's dilemma in one-dimensional cellular automata*" de M. Marcelo Alves Pereira [8]
- "*The prisoner's dilemma and the game of life*" de Mme. Katarzyna Zbieć [9]

6.1 Projet de M. Ramón Alonso-Sanz

Le projet de M. Ramón Alonso-Sanz intitulé "*A quantum prisoner's dilemma cellular automaton*" reprends le dilemme du prisonnier de base, mais y ajoute quelques subtilités :

Le plateau est structuré sous la forme d'un échiquier, chaque cellule a donc quatre alliés et quatre rivaux, comparé à la forme habituelle, qui est d'utiliser les huit voisins de chaque cellules (similaire au mouvements d'un roi dans le jeu d'échecs). Les cellules possèdent des stratégies dites "quantiques" et adaptent aussi leurs stratégies à celle de leurs voisins. Les voisins ayant les meilleures performances sont imités par les autres cellules à l'aide d'une méthode nommé *imitation-of-the best*. Chaque cellule joue aussi avec elle même en plus de ses rivaux. Ceci permet de prendre en compte ses propres résultats en faisant la moyenne des résultats obtenus entre les parties.

Un mécanisme de mémoire est aussi présent dans le programme de M.Ramon Alonso-Sanz. Ce dernier est de type "Markovien" (voir "chaînes de markov"), un historique complet n'est pas stocké mais les résultats et les choix précédents affectent les choix futurs de chaque cellules.

On compare aussi les stratégies dites "quantiques" aux stratégies classiques pour évaluer l'efficacité de ces dernières. Voici a quoi ressemble le projet de M. Ramón Alonso-Sanz :

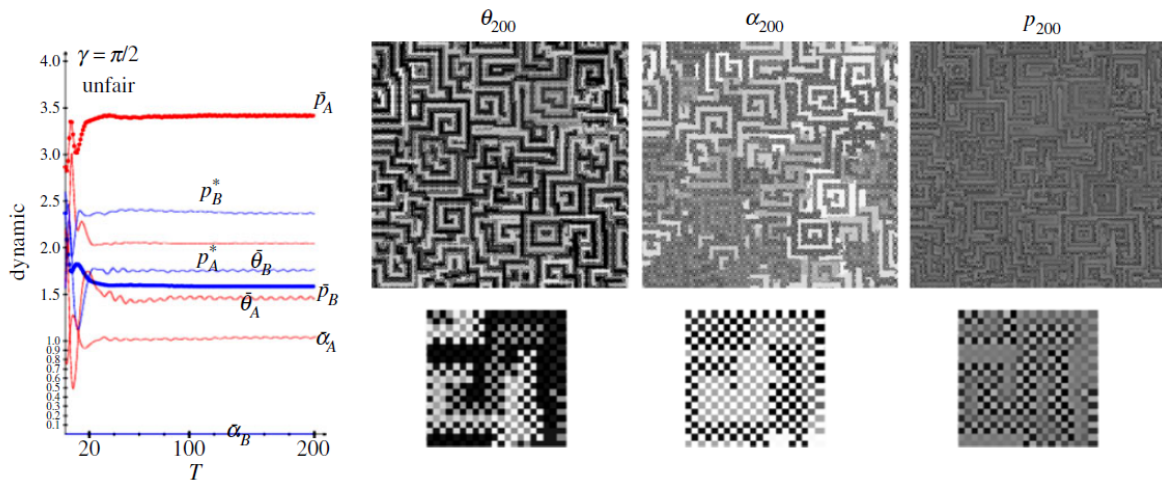


FIGURE 3 – Comparaison de stratégies quantiques (p_A) et classiques (p_B)

6.2 Projet de M. Marcelo Alves Pereira

Le projet de M. Marcelo Alves Pereira possède quelques différences avec un automate cellulaire du dilemme du prisonnier standard. En effet, M. Marcelo Alves Pereira allègue que la majorité des automates cellulaires basés sur le dilemme du prisonnier utilisent des structures trop complexes et suggère ainsi une approche plus simple. Ce dernier modélise le dilemme du prisonnier sous la forme d'un treillis à une dimension (tableau à une dimension), mais sa structure comporte quelques subtilités.

La première subtilité est le fait d'empiler ces tableaux à une dimension pour former un tableau en deux dimensions où chaque position Y du tableau correspond à un temps T d'une partie. Ce système permet d'avoir en *tout temps* un historique complet et visible de la partie actuelle du dilemme du prisonnier. Voici un schéma représentant le fonctionnement de cette approche :

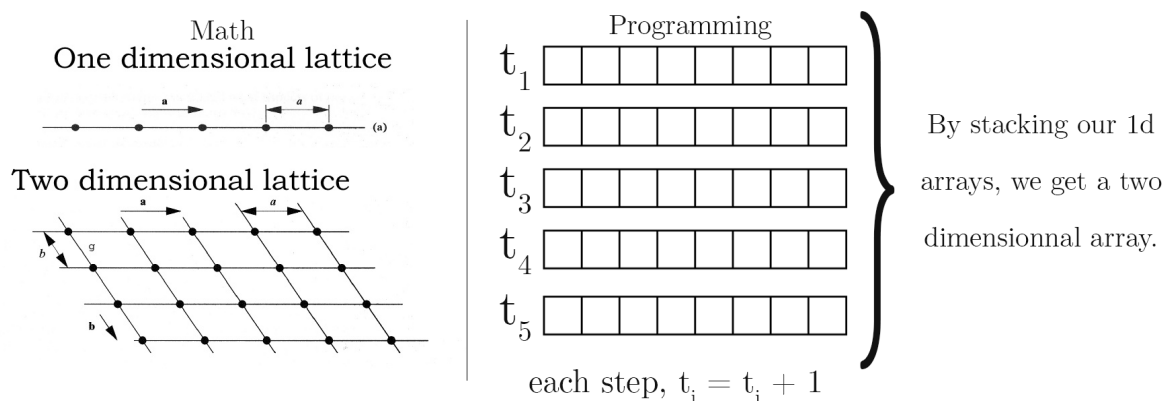


FIGURE 4 – Utiliser la deuxième dimension d'un tableau pour garder un "historique"

La deuxième subtilité est d'utiliser un nombre variable de voisins. En effet, le tableau étant sur un axe unique, on peut représenter le nombre de voisins de chaque cellule simplement par un chiffre X étant pair. Par exemple, pour 6 voisins par cellule, on considère les trois cellules à gauche et à droite de notre cellule actuelle comme nos voisins.

La troisième subtilité est d'utiliser le principe de *self-interaction* (ou "interaction avec soi" en français). Le principe est de "jouer" avec soi-même (la cellule actuelle) pour compenser un manque de joueurs quand le nombre de voisin n'est pas pair (par exemple, sur les bords de la matrice).

Malgré ces subtilités, ce système n'est pas parfait. Les cellules de ce système n'utilisent qu'une seule stratégie : celle du "*tit-for-tat*" (TFT) [4]. Avec cette stratégie, les cellules commencent dans un état aléatoire et copie la stratégie du voisin ayant obtenu le meilleur score. Ainsi, le jeu devient prévisible ; les cellules essaient de maximiser leur gains de manière "égoïste" et des grappes de cellules trahissant leurs voisins se forment rapidement. Ce système n'est pas une mauvaise représentation du dilemme du prisonnier mais il serait intéressant d'ajouter plus de variations à ce dernier.

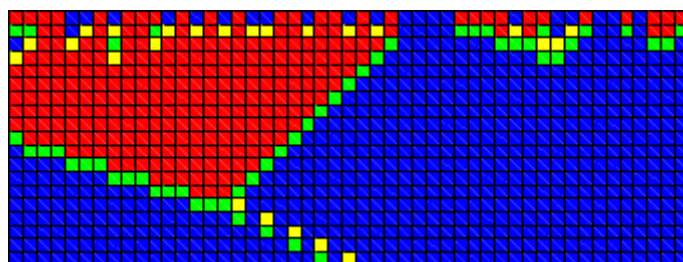


FIGURE 5 – Grappe de cellules "traîtres"

6.3 Projet de Mme. Katarzyna Zbieć

L'approche de Mme. Katarzyna Zbieć est différente des deux projets précédents. Elle vise à combiner le jeu de la vie de Conway et le dilemme du prisonnier. Les différents principes du jeu de la vie (cellules, états, plateau, etc...) et du dilemme du prisonnier (stratégies, matrice de gains, etc...) sont expliqués en détail et par la suite comparés.

Malheureusement, aucun exemple graphique n'est fourni avec le document. Cependant, ce projet reste le plus proche à celui qui sera développé lors de ce travail de diplôme.

Voici un tableau tiré du document de Mme. Katarzyna Zbieć ainsi que sa traduction française. Ces derniers font ressortir les ressemblances entre la structure du jeu de la vie et celle du dilemme du prisonnier :

the Prisoner's Dilemma	the Game of Life
the future of any player depends on the strategy of his/her neighbours	the future of any cell is determined by the state of its neighbours
the players are changing their own strategies in the way determined by the strategies of their enemies	the cells are changing colours in the way determined by the colours of their neighbours
the player can choose one of the two options: to cooperate or to defect	the cell has one of two states: live or dead
strategies	rules

FIGURE 6 – Comparaison entre le jeu de la vie et le dilemme du prisonnier

Le Dilemme du Prisonnier	Le Jeu de la Vie
Le futur de chaque joueur dépend de la stratégie de ses voisins	Le futur de chaque cellule est déterminé par l'état de ses voisins
Les joueurs changent leurs stratégies en se basant sur la stratégie de leurs ennemis	Les cellules changent de couleur en accordance avec celles de leurs voisins
Le joueur peut choisir deux options : coopérer ou trahir	La cellule a deux états : vivant ou mort
stratégies	règles

TABLE 1 – Version traduite du tableau des différences entre le *DP* et le *JdlV*

6.4 Conclusions tirées de l'analyse

Des concepts intéressants ressortent de cette analyse, voici des concepts à retenir pour le développement du projet :

Système d'historique

Stratégies

Comparaisons entre stratégies

Grille "d'échiquier" pour cellules voisines

Imitation-of-the best

7 Analyse fonctionnelle

7.1 Fonctionnement

7.2 Maquette de l'interface

Dans cette partie du document, les diverses interfaces graphiques de l'application seront détaillées et expliquées.

7.2.1 Interaction entre fenêtres

La fenêtre principale de l'application (en bleu) possède deux modes de fonctionnements : Le mode standard et le mode étendu. C'est depuis cette fenêtre que l'on peut accéder au divers menus et fenêtres de l'application.

Dans le cas du schéma ci dessous, on considère la vue principale et la vue étendue comme deux vues différentes. Pour basculer de la vue principale a la vue étendu ou inversement, on actionne un *switch* se trouvant en bas a droite de la fenêtre.

Pour passer de la vue principale (ou étendue) à la fenêtre "à propos", on clique sur le bouton correspondant se trouvant sur la barre de navigation.

Pour passer de la vue principale (ou étendue) à la fenêtre de paramétrage de la matrice des gains, on clique tout d'abord sur l'onglet "*Settings*" de la barre de navigation, puis sur l'option "*Payoff matrix*" du menu déroulant. Idem pour accéder aux paramètres de génération mais en cliquant sur l'option "*Generate new board*" du menu déroulant.

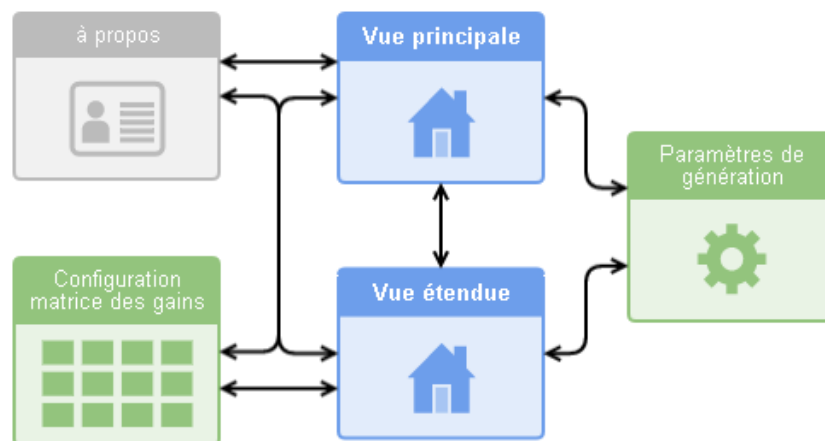


FIGURE 7 – Interactions entre fenêtres de l'application

7.2.2 Fenêtre principale

La fenêtre principale de l'application est composée de plusieurs parties :

<u>Nom du composant</u>	<u>Utilité</u>
La grille :	Composant affichant l'automate cellulaire.
Paramètres de taille :	Permet de modifier le nombre de ligne et colonnes de la grille.
Paramètres de vitesse :	Modifie la vitesse de <i>step</i> en mode d'exécution automatique
Bouton <i>step</i> :	Passe au temps t_{i+1} de l'automate cellulaire (avance d'un "pas").
Bouton <i>start / stop</i> :	Démarre ou arrête l'exécution automatique de la commande " <i>step</i> ".
Bouton <i>clear</i> :	Efface le contenu de la grille.
Bouton <i>extended view</i> :	Bascule entre la vue principale et la vue étendue.

L'interface suivante est un croquis et il est possible que des fonctionnalités soient rajoutées dans la version finale de l'application.

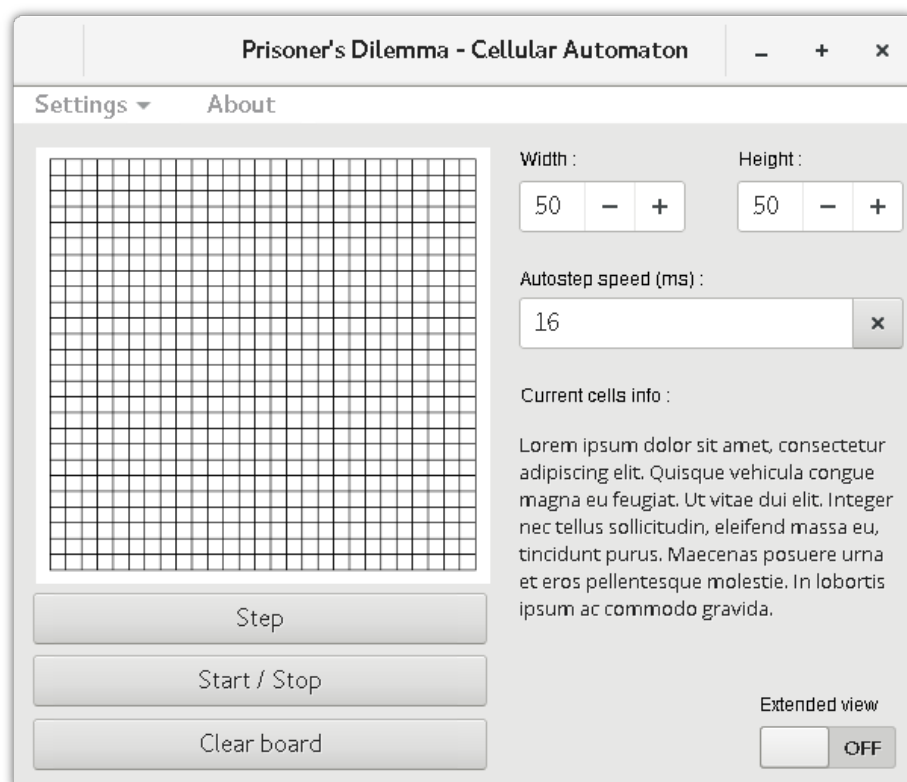


FIGURE 8 – Vue principale de l'application

7.2.3 Fenêtre principale (étendue)

La vue étendue est identique à la vue principale mais possède des graphiques supplémentaires permettant de visualiser plus facilement l'état actuel de l'automate cellulaire.

Voici des exemples de graphiques pouvant être implémentés dans l'application :

- Nombre de cellules "traîtres" par génération.
- Nombre de cellules "coopératives" par génération.
- Pourcentage de chaque stratégies utilisées.
- Stratégie et score maximum associé.
- etc...

Il est possible de basculer à tout moment de la vue étendue à la vue standard en désactivant le *switch* "extended view".

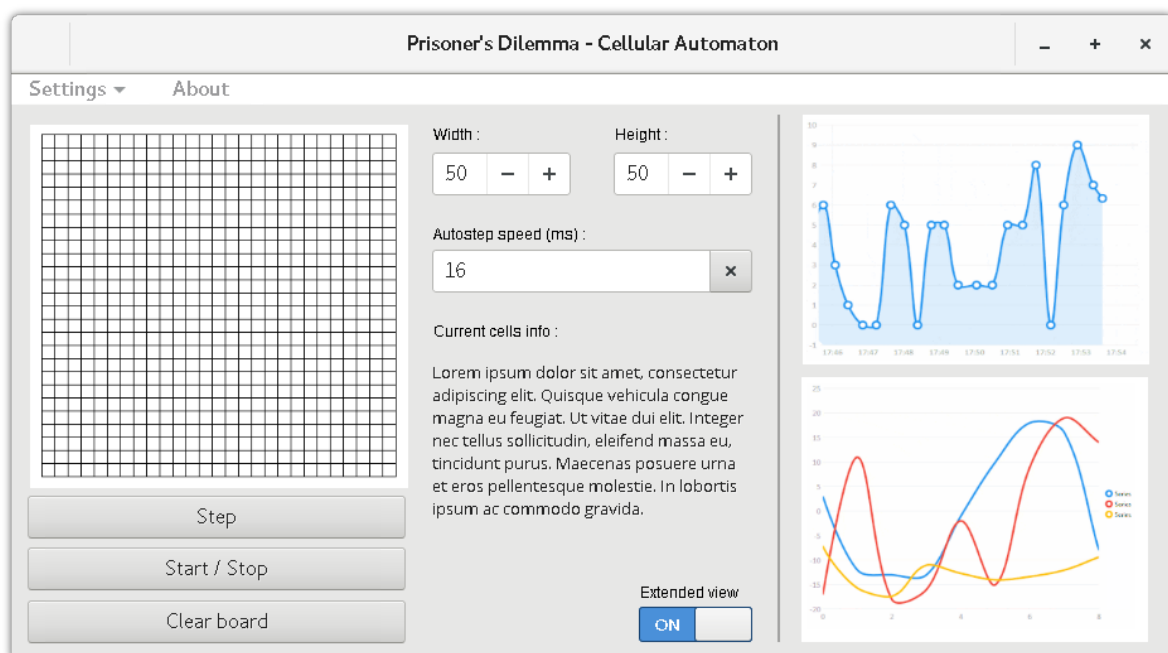


FIGURE 9 – Fenêtre étendue de l'application

7.2.4 Fenêtre principale, paramètres et "à propos"

Sur la fenêtre principale (ou étendue), une barre de navigation est présente en haut de page. Grâce à cette dernière, on peut accéder à un menu déroulant des paramètres de l'application (figure inférieure) et à la fenêtre à propos (figure supérieure).

Depuis le menu déroulant des paramètres, en cliquant sur le bouton "*Payoff matrix*", on accède aux paramètres de la matrice de gains (voir "Matrice des gains"). En cliquant sur "*Generate new board*" on accède aux paramètres de la génération d'un nouveau plateau (voir "Paramètres de génération").



FIGURE 10 – Fenêtre "à propos" et accès aux paramètres de l'application

7.2.5 Matrice des gains

Sur la fenêtre des paramètres de la matrice des gains, on peut modifier différentes valeurs qui par la suite affecteront le comportement des cellules du plateau. Les paramètres présent sur la fenêtre correspondent aux quatre résultats possible lors d'une partie du dilemme du prisonnier.

Les choix sont les suivants :

- *Reward payoff* (R)
- *Sucker's payoff* (S)
- *Temptation's payoff* (T) ou couramment appelé *Cheat's payoff* (C)
- *Punishment's payoff* (P)

On résume donc les valeurs de la matrice par les lettres R pour deux joueurs qui coopèrent, S pour le joueur s'étant fait trahir, T ou C pour le joueur ayant trahi et P pour les deux joueurs s'étant trahi.

On ne peut pas insérer n'importe quelles valeurs dans la matrice des gains. La règle concernant les valeurs de la matrice est la suivante :

$$T > R > P > S$$

En cliquant sur le bouton "OK" se trouvant en bas de la fenêtre, on applique les modifications à la matrice des gains et on retourne sur la vue principale (ou étendue). Notez que le bouton "OK" de la page sera uniquement activé si les deux conditions citées précédemment sont respectées.

	Cooperate	Defect
Cooperate	Reward 1	Sucker 5
Defect	Cheat 0	Punishment 3

FIGURE 11 – Configuration de la matrice des gains de l'application

7.2.6 Paramètres de génération

La fenêtre "Paramètres de génération" donne la possibilité à l'utilisateur de générer un plateau de cellules avec une répartition aléatoire mais proportionnelle des stratégies.

On peut sélectionner jusqu'à quatre stratégies différentes à répartir sur le plateau. Voici un exemple correct de répartition de stratégies :

Random (RAND)	: 15%
Always Defect (AD)	: 15%
Always Cooperate (AC)	: 35%
Grim Trigger (GRIM)	: 35%
<hr/>	
Total	: 100%

Le pourcentage total des stratégies sélectionnées doit impérativement être égal à 100%. Si ce n'est pas le cas, l'interface ne permettra pas à l'utilisateur de continuer (voir "Paramètres de génération, contrôles).

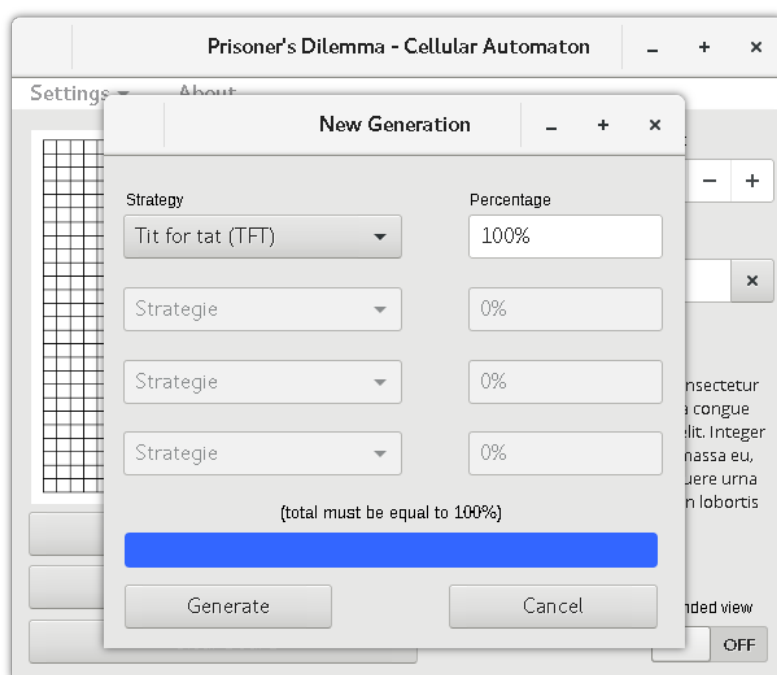


FIGURE 12 – Génération de cellules aléatoirement

7.2.7 Paramètres de génération, contrôles

Cette vue est ici pour démontrer les contrôles de la page "Paramètres de génération" empêchant les utilisateurs de rentrer des valeurs incorrectes. Notez que la barre de progression se trouvant en bas de la page est inférieure à 100%, empêchant ainsi l'accès à génération du nouveau plateau.

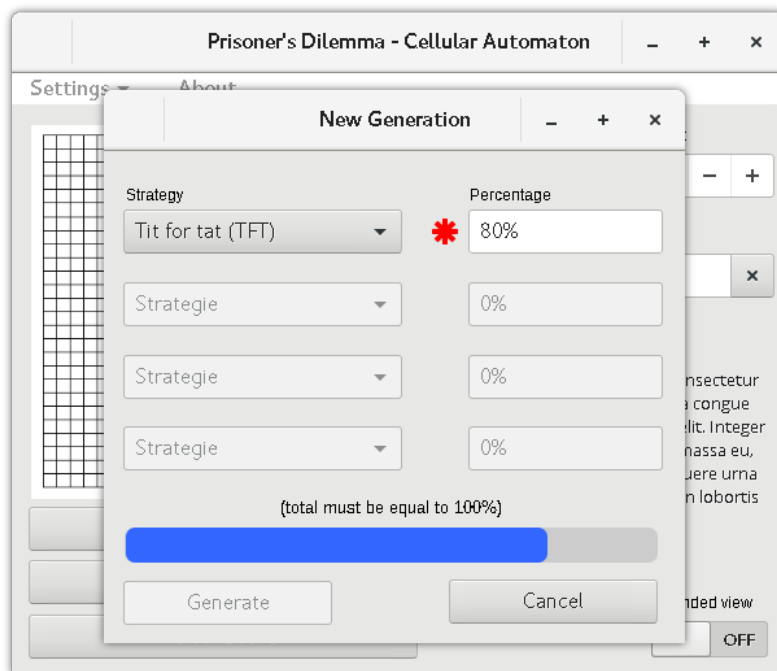


FIGURE 13 – Gestion des erreurs sur la génération aléatoire de cellules

8 Analyse organique

8.1 Diagramme de classe

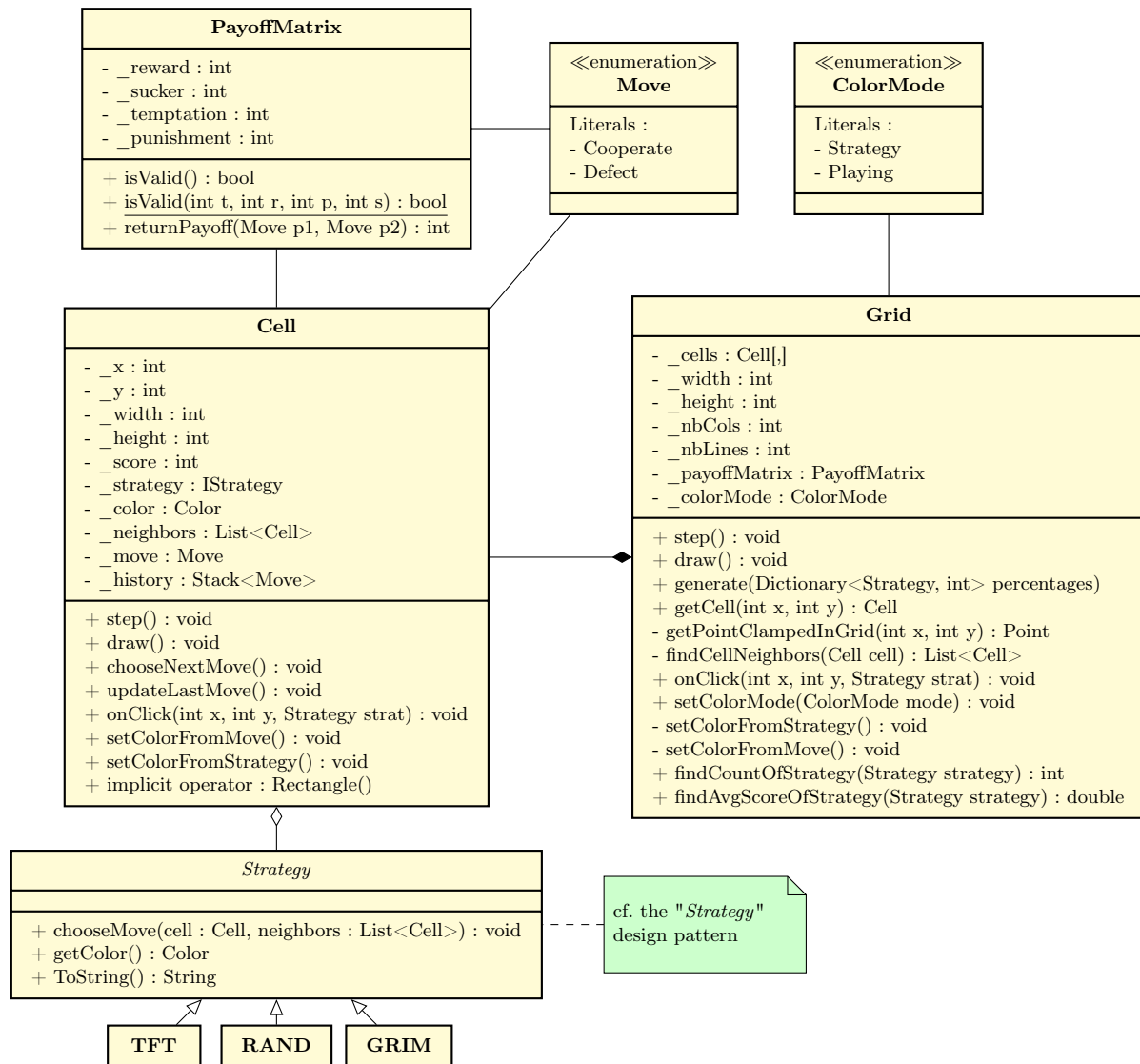


FIGURE 14 – Modèle UML de l'automate cellulaire du dilemme du prisonnier

8.2 Classes de l'automate cellulaire

Voici les différentes classes liés au fonctionnement de l'automate cellulaire :

- Classe `Cell`
- Classe `Grid`
- Classe `PayoffMatrix`
- Énumération `Move`

Dans ce chapitre vous trouverez le résumé détaillé du fonctionnement et de l'utilité de chacune de ces classes.

8.2.1 Classe `Cell`

La classe `Cell` est l'élément principal peuplant la grille de l'automate cellulaire. Voici les champs de la classe cellule ainsi qu'une courte description :

CHAMP	DESCRIPTION
<code>x</code>	: Numéro de la colonne où se trouve la cellule.
<code>y</code>	: Numéro de la ligne où se trouve la cellule.
<code>width</code>	: Largeur de la cellule en <i>pixels</i> .
<code>height</code>	: Hauteur de la cellule en <i>pixels</i> .
<code>score</code>	: Nombre de jours en prison de la cellule au tour actuel.
<code>strategy</code>	: Stratégie actuelle de la cellule. Détermine les actions de la cellule.
<code>color</code>	: Couleur actuelle de la cellule.
<code>neighbors</code>	: Références vers les cellules voisines de la cellule.
<code>payoffMatrix</code>	: Référence vers la matrice des gains utilisée pour calculer le score de la cellule.
<code>nextMove</code>	: Prochaine action de la cellule (voir Énumération <code>Move</code>).
<code>history</code>	: Liste de toutes les actions de la cellule.

Suivant la philosophie *tell don't ask*, la cellule a connaissance de tous ses voisins ainsi que la matrice de gains à l'aide de références vers ces derniers. La logique ainsi que les données sont donc stockées à l'intérieur de la cellule et chaque cellule est "responsable" du bon déroulement des fonctions appelées par les autres composants. Voici les fonctions de la classe cellule :

FONCTION	DESCRIPTION
<code>step()</code>	: Joue une partie avec les voisins de la cellule en utilisant le choix actuel.
<code>chooseNextMove()</code>	: Choisit le prochain choix de la cellule (trahir ou coopérer) grâce à sa stratégie.
<code>updateLastMove()</code>	: Ajoute la dernière action effectuée à l'historique
<code>draw()</code>	: Dessine la cellule sur l'élément graphique passé en paramètre.
<code>setColorFromMove()</code>	: Change la couleur de la cellule selon ses actions (ex : trahir = rouge)
<code>setColorFromStrategy()</code>	: Change la couleur de la cellule selon sa stratégie (ex : AC = vert)
<code>Rectangle()</code>	: Précédé par implicit operator → conversion implicite de cellule en rectangle. (utilisé pour simplifier la fonction <code>onClick()</code> grâce à <code>rect.Contains()</code>)
<code>onClick()</code>	: Change la stratégie avec celle passée en paramètre si les coordonnées passées en paramètres sont dans la cellule

8.2.2 Classe Grid

La classe **Grid** est le composant principal de l'automate cellulaire, elle est composée de cellules, possède une taille variable et un nombre d'éléments variables. Elle est aussi utilisée pour récupérer des données pour les différents graphiques de l'application à l'aide de fonctions comme "**findAvgScoreOfStrategy()**" ou encore "**findCountOfStrategy()**". Voici chacun des champs présents dans la classe **Grid** ainsi qu'une courte description :

CHAMP	DESCRIPTION
cells	: Tableau a deux dimensions (x, y) contenant les cellules.
width	: Largeur de la grille en <i>pixels</i> .
height	: Hauteur de la grille en <i>pixels</i> .
nbCols	: Nombre de colonnes de la grille.
nbLines	: Nombre de lignes de la grille.
payoffMatrix	: Matrice de gains du plateau. Distribué par la suite à toutes les cellules.
colorMode	: Définit si les couleurs affichées sur le plateau représentent les actions ou les stratégies des cellules.

Voici les fonctions de la classe **Grid** accompagnées d'une courte description :

FONCTION	DESCRIPTION
step()	: Progresse vers l'état suivant de la grille. ($t_i = t_{i+1}$)
draw()	: Dessine les cellules et la grille sur l'élément graphique passé en paramètre.
generate()	: Génère une grille aléatoirement à l'aide de paires de stratégies et pourcentages.
getCell()	: Récupère une cellule grâce aux coordonnées $[x, y]$ passées en paramètre. Fonctionne de manière torique si une cellule est hors grille.
getPointClampedInGrid()	: Récupère un point grâce aux coordonnées $[x, y]$ passées en paramètre. Fonctionne de manière torique. Utilisé par getCell() .
findCellNeighbors()	: Renvoie les voisins d'une cellule passée en paramètre.
onClick()	: Active la fonction onClick() de chaque cellule du plateau.
setColorMode()	: Change le mode de couleur du plateau. (Voir Énumération ColorMode).
setColorFromStrategy()	: Fonction <i>privée</i> . Active la fonction " setColorFromStrategy() " de chaque cellule.
setColorFromMove()	: Fonction <i>privée</i> . Active la fonction " setColorFromMove() " de chaque cellule.
findCountOfStrategy()	: Renvoie le nombre de cellules du plateau ayant une stratégie identique à celle passée en paramètre.
findAvgScoreOfStrategy()	: Trouve le score moyen d'une stratégie passée en paramètre dans le plateau.

8.2.3 Classe PayoffMatrix

La matrice des gains est le composant permettant de calculer les gains de chaque cellules après une interaction. Elle est composée de quatre champs correspondants à la matrice des gains du dilemme du prisonnier :

CHAMP	DESCRIPTION
reward	: La récompense pour deux cellules qui coopèrent. (<i>reward payoff</i> en anglais).
sucker	: La peine pour une cellule s'étant fait trahir. (<i>sucker's payoff</i> en anglais).
temptation	: La récompense pour trahir une cellule, souvent égal à "0". (<i>temptation payoff</i> en anglais).
punishment	: La punition pour deux cellules traitres. (<i>punishment payoff</i> en anglais).

Dans cette version du dilemme du prisonnier, le score d'une cellule correspond au nombre de jours passés en prison d'une cellule. En suivant cette logique, quelques règles doivent être changées pour assurer le bon fonctionnement de l'automate cellulaire.

Les conditions de validité d'une matrice de gains du dilemme du prisonnier sont traditionnellement $T > R > P > S$ et $2R > T + S$ (ou $T = \text{temptation}$, $R = \text{reward}$ etc...). La relation $R > P$ implique que la coopération mutuelle est supérieure à la trahison mutuelle et les relations entre $T > R$ et $P > S$ impliquent que la trahison est la stratégie "dominante". La condition $2R > T + S$ est utilisée uniquement lors d'un dilemme du prisonnier répété et indique que deux coopérations mutuelles d'affiliée est plus rentable que l'alternat T ou S .

Ces conditions sont uniquement vraies si on compte les jours de prisons "évités" comme un score positif. Dans notre cas, le score représente le nombre de jours en prison ; un score élevé est donc signe d'une mauvaise performance au jeu.

En gardant cette logique en tête et en l'appliquant à notre cas, on obtient les règles de validités suivantes :

$$\begin{aligned} T &< R < P < S \\ 2R &< T + S \end{aligned}$$

Voici les fonctionnalités de la classe **PayoffMatrix** :

FONCTION	DESCRIPTION
returnPayoff()	: Retourne le gain du joueur1 à partir de deux objets Move . (Voir "Énumération Move").
isValid()	: Renvoie true si la matrice de gains est valide et false dans le cas contraire. (Voir règles ci-dessus).

8.2.4 Énumérations

Les énumérations ne sont pas des classes mais il est important de détailler leur rôle et fonction dans le programme. Deux énumérations sont actuellement présentes dans le programme :

- `Move`
- `ColorMode`

`Move` représente les actions qu'un joueur peut faire dans le dilemme du prisonnier. `Move` a donc deux états possibles : `Cooperate` (coopérer) et `Defect` (trahir).

`ColorMode` représente le mode de couleur actuel de l'automate cellulaire. Il existe deux modes de couleurs dans l'automate cellulaire : un mode permettant de voir quelles stratégies sont sur le plateau actuellement, et un mode permettant de voir les actions des cellules du plateau. `ColorMode` a donc deux états possibles : `Playing` (en train de jouer) et `Strategies` (stratégies).

8.3 Stratégies

Les joueurs du dilemme du prisonnier utilisent de diverses stratégies[4][10] dans le but d'obtenir le meilleur score. Dans ce chapitre, les différentes stratégies adoptées par les cellules seront décrites en détail. On peut classer les stratégies en plusieurs groupes :

- Les stratégies originales (ex : *always cooperate*, *grim trigger*, etc...)
- *Tit-for-tat* et ses variantes. (ex : *tit-for-tat*, *reverse tit-for-tat*, etc...)
- Les stratégies de groupe (ex : *handshake*, *fortress*, etc...)
- etc...

8.3.1 *Tit-for-tat*

Tit-for-tat est considéré comme la stratégie la plus simple ayant les meilleurs résultats[11]. Le nom *Tit-for-tat* implique une idée similaire à celle de "oeil pour oeil dent pour dent". Son fonctionnement est le suivant : on commence tout d'abord par coopérer, puis on observe le score de chacun de nos voisins. On copie par la suite la dernière action du voisin ayant obtenu le meilleur score.

Cette stratégie se retrouve couramment dans une situation de "*deadlock*", c'est-à-dire, une situation où l'on ne peut plus revenir à la coopération et où trahir reste la seule bonne option.

8.3.2 *Tit-for-two-tats*

Tit-for-two-tats est une variante de *Tit-for-tat* où on copie l'action du meilleur voisin uniquement si il fait deux fois la même action d'affilée. Si un voisin ne joue pas deux fois la même action d'affilée, on reste sur notre dernière action.

8.3.3 *Reverse tit-for-tat*

Reverse tit-for-tat est une variante de *Tit-for-tat*. Comme son nom l'indique, cette stratégie effectue les actions inverses de *Tit-for-tat*. Le joueur avec cette stratégie commence par trahir, puis il regarde la dernière action de son meilleur voisin et joue l'inverse au prochain tour.

8.3.4 *Always cooperate*

Comme son nom l'indique, un joueur avec cette stratégie *coopère* toujours.

8.3.5 *Always defect*

Comme son nom l'indique, un joueur avec cette stratégie *trahit* toujours.

8.3.6 *Random*

Comme son nom l'indique, un joueur avec cette stratégie joue de manière *aléatoire*. On pourrait comparer cette stratégie avec un joueur jouant à pile ou face à chaque tour pour déterminer sa prochaine action.

8.3.7 *Blinker*

Le mot *blinker* venant de l'anglais peut être traduit littéralement par "clignotant", illustrant le comportement de cette stratégie. Cette stratégie commence par coopérer, puis alterne entre trahison et coopération pour le reste de la partie.

8.3.8 *Grim trigger*

La stratégie *grim trigger* est une stratégie que l'on peut dire "rancunière". Le joueur coopère tout le temps à la manière *always cooperate* jusqu'à qu'un joueur le trahisse. Après avoir été trahit, le joueur adopte une stratégie *always defect* et trahit de manière permanente.

8.3.9 *Handshake*

Handshake est la plus simple des stratégies de groupe. Elle consiste à identifier les voisins utilisant aussi la stratégie *Handshake*. Elle commence par "trahir, coopérer", si l'un de ses voisins effectue cette séquence, on coopère toujours, sinon on trahit toujours.

8.3.10 *Fortress*

Fortress est une stratégie de groupe visant à reconnaître les voisins utilisant aussi la stratégie *Fortress*. Elle est similaire à la stratégie *Handshake*. Elle commence par une séquence "trahir, trahir, coopérer", si l'un de ces voisins effectue cette même séquence, on la considère comme un "allié". Après avoir trouvé un "allié", on coopère jusqu'à la fin. Si on ne trouve pas "d'allié", on continue la séquence "trahir, trahir, coopérer".

8.3.11 *Southampton Group Strategy (SGS)*

Cette stratégie est similaire à *Fortress* et *Handshake* ; elle essaie d'identifier des voisins ayant la même stratégie avant d'effectuer une série d'action apportant un nombre maximal de points.

Dans le cas de *southampton group strategy*, elle commence par jouer une séquence de 5 à 10 mouvements prédéfinis au début de la partie. Après avoir reconnu d'autres cellules utilisant *southampton group strategy*, les cellules élisent un "maître" et le reste adoptent le comportement "d'esclave". La cellule "maître" trahit tout le temps et les cellules voisines "esclaves" coopèrent pour assurer le maximum de points au "maître". Si une cellule *southampton group strategy* n'arrive pas à identifier des "alliés", elle trahit le reste de la partie.

8.3.12 *Pavlov*

Pavlov est une stratégie dite *heuristique* ou *rule-based* en anglais. Elle consiste à identifier la stratégie de ses voisins à l'aide de règles prédéfinies. Les stratégies des voisins sont classées dans quatre groupes :

- *Cooperative* (coopératif)
- *Always defects* (trahit toujours)
- *Tit-for-tat*
- *Random* (aléatoire)

Les six premiers tours de la partie sont consacrés à l'analyse des voisins, pendant cette période, *Pavlov* joue de manière identique à *Tit-for-tat*. Si l'adversaire ne commence pas à trahir dans ces tours, on l'identifie en tant que coopératif, *Pavlov* adopte donc une stratégie *Tit-for-tat*. Si l'adversaire trahit plus de quatre fois sur six, il est identifié en tant que *traître* (trahit toujours) et *Pavlov* adopte une stratégie *always defect*. Si un voisins trahit exactement trois fois sur six, elle est identifiée en tant que *tit-for-tat* et *Pavlov* adopte donc une stratégie *tit-for-two-tats* pour essayer de coopérer avec *tit-for-tat*. Si un adversaire ne rentre pas dans ces catégories, on la classifie en tant que *random* (aléatoire) et *Pavlov* joue *always defect*. Les voisins peuvent cependant changer leurs actions, pour contrer ce mécanisme, *Pavlov* ré-évalue ses voisins chaque six tours.

8.4 Classes d'extensions

8.4.1 Classe ColorExtensions

La classe `ColorExtensions` a pour but de faciliter la conversion entre les objets `System.Media.Color` utilisé par *LiveCharts* et `System.Drawing.Color` utilisé par le reste de l'interface graphique et les cellules. Le seul moyen de passer d'un `System.Drawing.Color` à un `System.Media.Color` est de convertir la couleur au format hexadécimal. Pour ceci, plusieurs fonctions ont été réalisées :

- `ToHex(this Color c)`
- `ToHex(this Color c, byte transparency)`

La fonction `ToHex()` permet de convertir une couleur au format hexadécimal. Une surcharge de cette fonction permet de passer en paramètre la transparence désirée. Par exemple, pour récupérer le code hexadécimal de la couleur d'une des stratégies à environ 20% d'opacité, on peut appeler la fonction de la manière suivante :

```
1 string result = strategy.getColor().ToHex(51);
```

Il donc garder en tête que la transparence est codée sur un seul *byte* (0-255) lors de l'utilisation de la fonction.

8.4.2 Classe ComboBoxExtensions

La classe `ComboBoxExtensions` a été développée dans le but de rendre le choix de la stratégie par l'utilisateur plus agréable. La fonction `AddStrategies()` permet d'ajouter des stratégies à l'intérieur d'un composant `ComboBox` à partir d'une liste de stratégies. L'usage standard de cette fonction ressemblerait à :

```
1 List<Strategy> availableStrategies = new List<Strategy>  
2 availableStrategies.Add(new StratTitForTat());  
3 [...]  
4 comboBox.AddStrategies(availableStrategies);
```

La fonction `DrawItem()` des `ComboBox` est remplacée par une version ajoutant un rectangle de couleur à côté de chaque élément de la liste. Ceci permet de voir à l'avance les couleurs des cellules placées sur la grille, et d'associer plus facilement une couleur à une stratégie dans l'esprit de l'utilisateur.

9 Tests

ID ▼	Nom du test	Durée	Résultat
PrisonersDilemmaCA.Tests.StratTitForTwoTatsTests.chooseMoveTest	chooseMoveTest	00:00:00.0011101	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StratTitForTatTests.chooseMoveTest	chooseMoveTest	00:00:00.0011233	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StratReverseTitForTatTests.chooseMoveTest	chooseMoveTest	00:00:00.0015612	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StratRandomTests.chooseMoveTest	chooseMoveTest	00:00:00.0003899	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StratGrimTriggerTests.chooseMoveTest	chooseMoveTest	00:00:00.0013967	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StrategyTests.ToStringTest	ToStringTest	00:00:00.0002860	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StrategyTests.CompareToTest	CompareToTest	00:00:00.0002818	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StratBlinkerTests.chooseMoveTest	chooseMoveTest	00:00:00.0009831	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StratAlwaysDefectTests.chooseMoveTest	chooseMoveTest	00:00:00.0005004	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.StratAlwaysCooperateTests.chooseMoveTest	chooseMoveTest	00:00:00.0030334	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.PayoffMatrixTests.returnPayoffTest	returnPayoffTest	00:00:00.0002818	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.PayoffMatrixTests.isValidStaticTest	isValidStaticTest	00:00:00.0007834	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.PayoffMatrixTests.isValidConvenienceTest	isValidConvenienceTest	00:00:00.0002269	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.PayoffMatrixTests.DesignatedConstructorTest	DesignatedConstructorTest	00:00:00.0003362	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.GridTests.getPointClampedInGridTest	getPointClampedInGridTest	00:00:00.0011004	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.GridTests.getCellTest	getCellTest	00:00:00.0003716	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.GridTests.findCellNeighborsTest	findCellNeighborsTest	00:00:00.0005910	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.GridTests.DesignatedConstructorTest	DesignatedConstructorTest	00:00:00.0018923	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.ComboBoxExtensionsTests.AddStrategiesTest	AddStrategiesTest	00:00:00.0176397	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.ColorExtensionsTests.ToRGBTest	ToRGBTest	00:00:00.0002992	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.ColorExtensionsTests.ToHexTransparentTest	ToHexTransparentTest	00:00:00.0002719	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.ColorExtensionsTests.ToHexTest	ToHexTest	00:00:00.0002776	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.CellTests.onClickTest	onClickTest	00:00:00.0024543	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.CellTests.ImplicitConversionTest	ImplicitConversionTest	00:00:00.0001912	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.CellTests.DesignatedConstructorTest	DesignatedConstructorTest	00:00:00.0072645	✓ Réussite
PrisonersDilemmaCA.Tests.CellTests.ConvenienceConstructorTest	ConvenienceConstructorTest	00:00:00.0001711	✓ Réussite

FIGURE 15 – Résultat des tests unitaires

10 Conclusion et perspectives

11 Sources

Références

- [1] WIKIPEDIA. *Jeu de la vie*.
URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Conway's%5C_Game%5C_of%5C_Life.
- [2] WIKIPEDIA. *Dilemme du prisonnier*.
URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Prisoner's%5C_dilemma.
- [3] WIKIPEDIA. *Matrice des gains*.
URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Matrice%5C_des%5C_gains.
- [4] Wayne DAVIS. *Stratégies iterated prisoners dilemma*.
URL : <http://www.iterated-prisoners-dilemma.net/prisoners-dilemma-strategies.shtml>.
- [5] Ramón ALONSO-SANZ. *Dilemme du prisonnier, automate cellulaire*.
URL : <http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/470/2164/20130793>.
- [6] LIVECHARTS. *Homepage*.
URL : <https://lvcharts.net/>.
- [7] Alonso-Sanz RAMÓN. *A Quantum Prisoner's Dilemma Cellular Automaton*.
URL : <http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/royprsa/470/2164/20130793.full.pdf>.
- [8] Alves Pereira MARCELO. *Prisoner's Dilemma in One-Dimensional Cellular Automata*.
URL : <https://arxiv.org/pdf/0708.3520.pdf>.
- [9] Zbieć KATARZYNA. *The Prisoner's Dilemma and The Game of Life*.
URL : logika.uwb.edu.pl/studies/download.php?volid=19&artid=kz.
- [10] Wayne DAVIS. *Strategies for IPD*.
URL : <http://www.prisoners-dilemma.com/strategies.html>.
- [11] Weisstein ERIC. *Tit-for-tat*.
URL : <http://mathworld.wolfram.com/Tit-for-Tat.html>.

Table des figures

1	Automate cellulaire du dilemme du prisonnier	4
2	Diagramme de Gantt	7
3	Comparaison de stratégies quantiques (p_A) et classiques (p_B)	8
4	Utiliser la deuxième dimension d'un tableau pour garder un "historique"	9
5	Grappe de cellules "traîtres"	9
6	Comparaison entre le jeu de la vie et le dilemme du prisonnier	10
7	Interactions entre fenêtres de l'application	12
8	Vue principale de l'application	13
9	Fenêtre étendue de l'application	14
10	Fenêtre "à propos" et accès aux paramètres de l'application	15
11	Configuration de la matrice des gains de l'application	16
12	Génération de cellules aléatoirement	17
13	Gestion des erreurs sur la génération aléatoire de cellules	18
14	Modèle UML de l'automate cellulaire du dilemme du prisonnier	19
15	Résultat des tests unitaires	26

Liste des tableaux

1	Version traduite du tableau des différences entre le DP et le $JdlV$	10
---	--	----