

Modélisation de la transmission des émotions

Clara Lacourarie, Lisa Georges

▶ **To cite this version:**

Clara Lacourarie, Lisa Georges. Modélisation de la transmission des émotions : une simulation de l'évolution de la motivation d'élèves dans une salle de classe. LIMOS (UMR CNRS 6158), université Clermont Auvergne, France; ISIMA. 2023. hal-04036515

HAL Id: hal-04036515
https://uca.hal.science/hal-04036515

Submitted on 19 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License



Rapport de projet : modélisation de la transmission des émotions

Lisa Georges, Clara Lacourarie

Diplôme d'ingénieur en informatique et modélisation ISIMA
Filière Modélisation mathématique et science des données

Contacts :

clara.lacourarie@gmail.com
lisa.georges@etu.uca.fr

Référente
Béatrice Garcia Grolier
bgarciagrolier@gmail.com

Tuteurs
Jean-Marie Favreau
J-Marie.FAVREAU@uca.fr
Jérémy Kalsron
Jeremy.KALSRON@uca.fr

Remerciements

Nous remercions notre encadrant principal de projet, Jean-Marie Favreau ainsi que Jeremy Kalsron qui nous ont tous les deux accompagnées tout au long du projet, de la définition du sujet à la restitution de celui-ci.

Nous remercions également Sylvie Huet (INRAE) qui nous a accordé son temps et qui nous a aidé à cadrer notre projet grâce à ses expériences en modélisation appliquée à des agents cognitifs. Nous adressons enfin nos remerciements à Guillaume Dezecache(LAPSCO) qui nous a apporté son expertise en psychologie sociale pour adapter nos paramètres et guider nos interprétations.

Table des matières

1 Table des figures et tableaux **4**

2 Résumé/Abstract **9**

3 Lexique et notations **10**
3.1 Lexique . . . 10
3.2 Notations . . . 10

4 Introduction de l'étude **11**

5 Travail réalisé **12**
5.1 Introduction du travail à faire . . . 12
5.2 État de l'art . . . 14
5.3 Méthode . . . 16
5.3.1 Considérations psychologiques . . . 16
5.3.2 Modèle ASCRIBE . . . 17
5.3.3 Discrétisation du modèle . . . 20
5.3.4 Analyse mathématique . . . 22
5.3.5 Plateforme Gama . . . 24
5.3.6 Implémentation du modèle et choix réalisés . . . 25
5.3.7 Résultats intermédiaires . . . 27
5.3.8 Application du modèle à notre étude . . . 39
5.4 Résultats et discussion . . . 45
5.4.1 Convergence . . . 46
5.4.2 Influence d'un groupe de personne au niveau de motivation extrême . . . 52
5.4.3 Influence d'un professeur au niveau de motivation extrême . . . 58
5.4.4 Discussion sur la durée de l'expérimentation et le reproductibilité des conclusions . . . 69

6 Conclusion **70**

7 Références bibliographiques **71**

8 Annexes **72**
8.1 Étude principe de hub de l'intermédiaire entre deux groupes . . . 72
8.2 Convergence . . . 76
8.3 Influence d'un professeur à l'humeur extrême . . . 81
8.4 Code source . . . 88

1 Table des figures et tableaux

Table des figures

1 Diagramme de Gantt prévisionnel . . . 13
2 Diagramme de Gantt réel . . . 13
3 Différences entre les approches de haut en bas et de bas en haut . . . 16
4 Illustration de la gestion des couleurs . . . 26
5 Évolution de la motivation de trois agents émotionnellement isolés . . . 27
6 Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux est émotionnellement isolé . . . 28
7 Convergence de la motivation de deux agents . . . 28
8 Convergence de la motivation de trois agents . . . 29
9 Convergence lente avec des canaux petits . . . 29
10 Convergence rapide avec des canaux grand . . . 30
11 Convergence lente avec des canaux petits . . . 30
12 Convergence lente avec des canaux petits . . . 31
13 Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux n'est pas influençable . . . 31
14 Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux est peu influençable . . . 32
15 Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux est très influençable . . . 32
16 Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux n'est pas influent . . . 33
17 Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux n'est que peu influent . . . 33
18 Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux est très influent . . . 34
19 Évolution de la motivation de 2 agents avec un canal nul . . . 34
20 Évolution de la motivation de 2 agents avec des canaux désequilibrés 35
21 Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{12} \approx 0$ . . . 35
22 Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{12}$ grands . . . 36
23 Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{10} \neq 0$ . . . 36
24 Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{10}$ petits . . . 37
25 Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{10}$ grands . . . 37
26 Disposition des élèves dans la salle de classe en rangées . . . 39
27 Disposition des élèves dans la salle de classe en îlots . . . 40
28 Disposition des élèves dans la salle de classe U partiellement refermé . 40
29 Réduction des canaux de base en fonction de la distance pour le professeur . . . 41
30 Comportement de deux groupes séparés . . . 43

31 Ajout d'un intermédiaire rendant le graphe connexe. 44
32 Situation symétrique régime stationnaire 44
33 Répartition des niveaux de motivation dans la salle en rangées situation n°1 46
34 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées sans professeur pour la situation n°1 46
35 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées avec professeur pour la situation n°1 47
36 Répartition des niveaux de motivation dans la salle en rangées situation n°1 47
37 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées sans professeur pour la situation n°1 48
38 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées avec professeur pour la situation n°1 48
39 Répartition des niveaux de motivation dans la salle en U situation n°1 49
40 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées sans professeur pour la situation n°1 49
41 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées avec professeur pour la situation n°1 50
42 Répartition des humeurs avec un groupe très démotivé dans une classe en rangées 52
43 Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en rangées, sans considérer l'impact du professeur 53
44 Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en rangées avec professeur 53
45 Répartition des humeurs avec un groupe très démotivé dans une classe en îlots 54
46 Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en îlots, sans considérer l'impact du professeur 54
47 Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en îlots avec professeur 55
48 Répartition des humeurs avec un groupe très démotivé dans une classe en U 55
49 Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en U, sans considérer l'impact du professeur 56
50 Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en U avec professeur 56
51 Répartition des humeurs de base en rangées pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°1 58
52 Résultats de la classe en rangées avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1 59

53 Résultats de la classe en rangées avec un professeur neutre au départ, situation n°1 . . . 59
54 Résultats de la classe en rangées avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1 . . . 60
55 Résultats intermédiaires de la classe en rangées avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1 . . . 60
56 Résultats intermédiaires de la classe en rangées avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1 . . . 61
57 Répartition des humeurs de base en îlots pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°1 . . . 62
58 Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1 . . . 62
59 Résultats de la classe en îlots avec un professeur neutre au départ, situation n°1 . . . 63
60 Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1 . . . 63
61 Résultats intermédiaires de la classe en îlots avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1 . . . 64
62 Résultats intermédiaires de la classe en îlots avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1 . . . 64
63 Répartition des humeurs de base en U pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°1 . . . 65
64 Résultats de la classe en U avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1 . . . 65
65 Résultats de la classe en U avec un professeur neutre au départ, situation n°1 . . . 66
66 Résultats de la classe en U avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1 . . . 66
67 Résultats intermédiaires de la classe en U avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1 . . . 67
68 Résultats intermédiaires de la classe en U avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1 . . . 67
69 Situation symétrique instant initial . . . 72
70 Situation symétrique régime transitoire . . . 72
71 Situation symétrique régime stationnaire . . . 73
72 Situation asymétrique mais paramètres égaux instant initial . . . 73
73 Situation asymétrique mais paramètres égaux régime transitoire . . . 74
74 Situation asymétrique mais paramètres égaux régime stationnaire . . . 74
75 Situation asymétrique avec des paramètres différents, régime transitoire 75
76 Situation asymétrique avec des paramètres différents, régime transitoire . . . 75

77 Situation asymétrique avec des paramètres différents, régime stationnaire . . . 76
78 Répartition des niveaux de motivation dans la salle en rangées situation n°2 . . . 76
79 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées sans professeur pour la situation n°2 . . . 77
80 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées avec professeur pour la situation n°2 . . . 77
81 Répartition des niveaux de motivation dans la salle en îlots situation n°2 . . . 78
82 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en îlots sans professeur pour la situation n°2 . . . 78
83 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en îlots avec professeur pour la situation n°2 . . . 79
84 Répartition des niveaux de motivation dans la salle en U situation n°2 79
85 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en U sans professeur pour la situation n°2 . . . 80
86 Convergence des niveaux de motivation dans la salle en U avec professeur pour la situation n°2 . . . 81
87 Répartition des humeurs de base en rangées pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°2 . . . 81
88 Résultats de la classe en rangées avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°2 . . . 82
89 Résultats de la classe en rangées avec un professeur neutre au départ, situation n°2 . . . 82
90 Résultats de la classe en rangées avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°2 . . . 83
91 Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°2 . . . 83
92 Répartition des humeurs de base en îlots pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°2 . . . 84
93 Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°2 . . . 84
94 Résultats de la classe en îlots avec un professeur neutre au départ, situation n°2 . . . 85
95 Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°2 . . . 85
96 Répartition des humeurs de base en U pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°1 . . . 86
97 Résultats de la classe en U avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°2 . . . 86

98 Résultats de la classe en U avec un professeur neutre au départ, situation n°2 87
99 Résultats de la classe en U avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°2 87

Liste des tableaux

1 Tableau explicatif des caractéristiques personnelles et interpersonnelles 18
2 Tableau comparatif langage Java et GAML 24
3 Tableau explicatif des influences des valeurs des paramètres sur le comportement du modèle pour deux agents 38
4 Synthèse des résultats sur la convergence 51

2 Résumé/Abstract

L'objectif de ce projet est de mettre en place un modèle d'étude de la propagation d'une émotion dans un groupe de personnes. La **modélisation** de cette transmission a été réalisée en implémentant un modèle **multi-agents** de **propagation émotionnelle** déjà existant, qui a été modifié afin d'y ajouter la considération de la géométrie du problème. Ce rapport présente une analyse en détail du modèle basé sur une **équation différentielle** puis le mettra à l'épreuve sur un cas d'application concret : la propagation de la motivation dans un groupe d'étudiant selon la disposition de la **salle de classe**.
Le modèle a été implémenté sur la plateforme de **simulation** GAMA*, dans un langage propre à la plateforme, qui est fortement basé sur le Java. GAMA met à disposition de nombreux outils de simulation et permet de visualiser l'évolution du modèle en temps réél via une interface graphique adaptée.
À ce jour, le modèle fonctionne et donne le résultat attendu. Notre cas d'application nous a permis de détailler des comparaisons nous permettant d'étudier des critères qui encourageraient la motivation chez les élèves, comme leur placement dans la salle ou encore le comportement du professeur.

Mots-clés : Modélisation, multi-agent, propagation émotionnelle, équation différentielle, salle de classe, simulation

The goal of this project was to set up a model allowing to study the spread of an emotion in a group of people. The **modelling** of this transmission was achieved by implementing an existing model built on a **multi agent system** of **emotional propagation** which was then modified to add the consideration of the problem's geometry. This report presents a detailed analysis of the model based on a **differential equation** and then tests it on an application case : the propagation of motivation in a group of pupils depending on the **classroom** layout.
The model has been implemented on the GAMA **simulation** platform, in a platform-specific language, which is heavily based on Java. GAMA provides many simulation tools and allows to visualize the evolution of the model in real time through an adapted graphical interface.
Currently, the model works and gives the expected results. Our application case has allowed us to detail comparisons to study criteria to encourage motivation among the pupils, like their disposal in the classroom the and the behavior of the professor.

Keywords : modelling, multi agent system, emotional propagation, differential equation, classroom, simulation

3 Lexique et notations

3.1 Lexique

Tous les mots suivis d'un astérisque à leur première occurence renvoient à ce lexique.

ASCRIBE : Agent-based Social Contagion Regarding Intentions Beliefs and Emotions (ou Contagion sociale orientée agent prenant en compte les intentions, les croyances et les émotions), modèle computationnel de transmission émotionnelle basé sur les modèles de dissipation de la chaleur de la physique.

CSV : Comma-separated values (ou valeurs séparées par des virgules), type de fichier texte sous forme tabulaire.

GAMA : GIS* Agent-based Modeling Architecture (ou Architecture SIG de Modélisation à base d'Agents), plate-forme de simulation pour créer des modèles à base d'agents

GAML : Langage associé à la plateforme GAMA

GIS : Geographic Information System (ou SIG, Système d'Information Géographique), système d'information chargé de gérer, traiter, recueillir ou stocker des données géographiques.

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

LAPSCO : Laboratoire de Psychologie Sociale et COgnitive

POO : Programmation Orientée Objet, paradigme de programmation

3.2 Notations

G : Ensemble des agents du système étudié

q_i : Niveau de motivation de l'agent i

γ_i : Coefficient propre à l'agent i qui permet de prendre en compte des caractéristiques psychologiques et sociales personnelles et interpersonnelles

δ_i : Paramètre propre à l'agent i traduisant sa propension à être influencé par les autres agents

η_i : Paramètre propre à l'agent i traduisant sa propension à influencer les autres agents

$\alpha_i j$: Paramètre propre à un couple d'agents (i, j) caractérisant la force du canal entre les deux agents, orienté de i vers j

ω_{ji} : Coefficient propre à un couple d'agents i,j caractérisant l'influence de l'agent j sur l'agent i par rapport aux capacité d'influence de tous les membres du groupe

4 Introduction de l'étude

Les sciences sociales peuvent s'appuyer sur les mathématiques afin de modéliser des phénomènes observables. Le sujet de notre projet est un modèle de transmission des émotions (parfois appelé contagion émotionnelle) qui a pour caractéristique de prendre en compte la personnalité de chaque individu : chaque personne est un agent possédant un état émotionnel et des propriétés telles que la capacité à influencer les autres [1].

Ce modèle a été mis en pratique avec des cas d'application telle que la transmission de la panique dans un mouvement de foule. Cependant cet axe d'étude n'est pas forcément adapté : en effet, la notion qu'une foule cèdera invariablement à la panique est de plus en plus remise en cause par des travaux empiriques [2].

Notre projet consiste premièrement à étudier ce modèle de contagion émotionnelle, puis à l'implémenter sur la plateforme de simulation GAMA afin de le mettre en pratique avec un cas d'application plus adapté : la transmission de la motivation pour un cours dans une salle de classe.

Il faut noter que dans ce projet, nous ne cherchons pas à vérifier le modèle et nous le considérons comme juste. De plus, nous considérons uniquement l'évolution de la motivation selon l'influence du reste du groupe, sans prendre en compte des évènements extérieurs ou autres stimuli.

Nous souhaitons évaluer la capacité de notre simulation à obtenir des résultats pertinents. Ensuite, si cela est possible, nous essayerons d'identifier quelques critères afin de favoriser la motivation de la classe.

Dans un premier temps, nous présenterons un état de l'art du domaine, puis nous détaillerons le modèle utilisé et son analyse mathématique. Ensuite, nous expliciterons son implémentation et le cas d'application choisi, avant de présenter nos résultats. L'objectif est également l'analyse des limites de notre travail et la présentation d'axes d'amélioration. Enfin, nous conclurons avec une reprise du problème, des étapes clés du projet et de ses perspectives.

5 Travail réalisé

5.1 Introduction du travail à faire

Lorsqu'il s'agit d'utiliser les mathématiques au service des sciences sociales, il peut arriver que l'on modélise le comportement des agents humains à l'aide d'équations issues de la physique. C'est le cas de la foule, qui, au delà d'un certain niveau de densité, se comporte comme un fluide auquel on peut appliquer les lois physiques de mécanique des fluides [3]. De même, notre projet est à visée interdisciplinaire et demande de lier sciences « dures » et sciences humaines, ce qui implique un travail de conciliation de la technique et du monde de la psychologie. Nous avons deux objectifs différents : en premier lieu analyser, implémenter et étendre un modèle pré-existant de propagation émotionnelle, puis dans un second temps le mettre en pratique à un cas d'application concret qui est la transmission de la motivation dans une salle de classe afin de savoir comment optimiser cette motivation.

La propagation émotionnelle est un domaine qui a été beaucoup étudié et modélisé. L'un des objectifs du projet est d'y inclure le facteur de la personnalité de chaque individu : chaque personne est un agent avec une personnalité propre, ce qui peut modifier sa capacité à être influencé et à influencer les autres. Cette problématique a été étudiée dans cette modélisation d'une foule [1]. Chaque agent y est décrit comme étant autonome et ayant sa propre identité psychologique qui feront varier ses réactions. Un facteur de relation sociale entre chaque individu y est également intégré. Cette modélisation a ensuité été étoffée afin de modéliser une évacuation en prenant en compte la peur des différents individus [4].

Ce modèle constitue le point de départ de notre travail. Cependant, nous appliquons ce modèle à un cas particulier différent : la salle de classe et le comportement émotionnel vis-à-vis du cours. Plus précisément, il s'agit de caractériser les élèves et l'enseignant par des paramètres décrivant des caractéristiques personnelles et interpersonnelles ainsi que de quantifier leur motivation au cours, dont nous étudions la variation au cours du temps. Nous pouvons également jouer sur des paramètres tels que la disposition des élèves, les états émotionnels de base et les caractéristiques de l'enseignant. Le but sera d'identifier des scénarii et d'analyser et décrire les résultats afin de mener des comparaisons et d'en tirer des conclusions pour optimiser les conditions d'apprentissage. Nous aurons un travail de réflexion à effectuer sur la sélection des cas pertinents à étudier et sur les hypothèses à formuler pour nous rapprocher au mieux de la réalité.

Réalisation du projet

Nous présentons ici un diagramme de Gantt prévisionnel et le diagramme réel permettant une comparaison des phases attendues et des phases réelles. Il faut noter que notre projet a demandé de faire preuve de flexibilité car il ne s'agissait pas

d'un projet proposé par une entreprise mais d'un travail de recherche d'initiative personelle. Nous avons donc nous-même fixé nos objectifs, et certains axes de travail ont dû être abandonnés alors que d'autres ont été ajoutés au cours du projet.

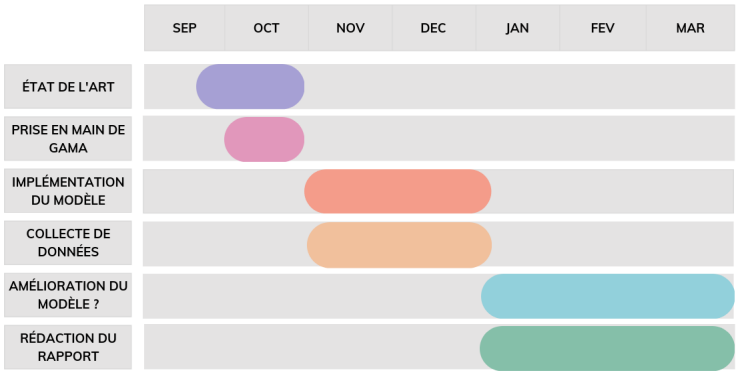


FIGURE 1 – Diagramme de Gantt prévisionnel

L'entreprise de collecte de données, dont le but initial était de prouver le modèle, a finalement été jugée trop ambitieuse pour notre projet, car à la fois trop longue et trop difficile. Elle a été remplacée par la création de scénarii afin d'exploiter au mieux notre simulation. L'amélioration du modèle s'est préciséee pour devenir l'ajout de la notion de la distance physique entre les agents. Enfin, une analyse mathématique du modèle s'est avérée nécessaire afin de garantir son bon fonctionnement.

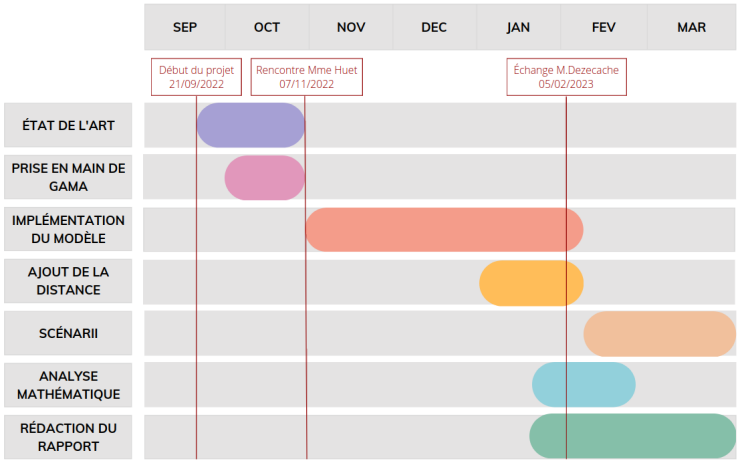


FIGURE 2 – Diagramme de Gantt réel

5.2 État de l'art

La première étape de notre projet a été de cadrer le sujet et la problématique. Étant donné que l'objet de ce projet est une proposition personnelle liée à un intérêt dans ce domaine, il s'agissait avant tout de réaliser un état de l'art du sujet, d'en comprendre les enjeux et d'en saisir les codes. Pour cela, nous sommes passées par une étape de recherche bibliographique. Le but était, à partir d'un modèle qui avait retenu notre attention [1, 4], d'effectuer une analyse du modèle et de choisir un application pertinente pour laquelle le modèle serait utile, afin de répondre à une problématique.

Pour cela, après avoir pris connaissance du contexte de la recherche dans ce milieu via la lecture d'articles, nous avons essayé de prendre contact avec plusieurs chercheurs. Nous avons rencontré Sylvie Huet, chercheuse à l'INRAE*, ayant une expertise dans la modélisation d'agents cognitifs [5, 6]. Le but était d'obtenir un appui pour l'analyse de notre modèle et des réponses à nos questions sur la manière de cadrer et d'orienter un projet dans ce domaine. Nous avons également pu échanger avec Guillaume Dezecache, maître de conférence au LAPSCO* et effectuant notamment des travaux de recherche en comportements sociaux et dynamiques collectifs.

Durant notre rencontre et à la lumière de son expertise, Mme Huet nous a tout d'abord conseillé de simplifier le modèle présenté. En effet, le modèle étudié était une imbrication du modèle de transmission émotionnelle ASCRIBE* et d'un autre modèle permettant de déterminer des paramètres de personnalité en fonction de caractéristiques personnelles. Ce dernier n'était pas nécessairement pertinent pour notre projet : non seulement il ajoutait des complications de nature plus psychologique que mathématique, mais de plus cela présumait que les comportements des agents allaient dépendre de caratéristiques intrinsèques liées à leur personnalité. Or notre échange avec M. Dezecache, chercheur en psychologie sociale, nous a appris que les comportements étaient essentiellement contextuels et n'étaient donc pas majoritairement tributaires du tempéramment d'une personne dans l'absolu.

Mme Huet nous a également affirmé que l'intérêt dans l'étude de ce modèle ne résidait pas dans la vérification du modèle mais davantage dans le cas d'application. En effet le premier nous posait problème car les moyens nécessaires pour vérifier un tel modèle via une collecte de données, peu importe le cas d'application, auraient été bien supérieurs à ce dont nous disposions. Par exemple, dans le cas de l'application du modèle à un mouvement de foule suite à un incident, le modèle avait été vérifié en mesurant l'agitation des individus par leur déplacement dans l'espace à l'aide de l'étude d'un enregistrement vidéo. Des contraintes de temps nous interdisaient donc de choisir cet angle d'étude pour notre modèle. Nous avons alors formulé l'hypothèse que notre modèle était vrai et n'avons pas cherché à le prouver.

Mme Huet nous a aussi indiqué qu'une problématique plus pertinente pour notre projet était l'analyse du comportement du modèle et la réflexion autour des hypothèses à formuler. D'autre part, nous lui avons soumis notre idée de prendre comme cas d'application une salle de classe avec pour question d'étudier l'évolution de la motivation des élèves. Mme Huet nous a conseillé de scinder notre étude en scénarii auxquels nous devions réfléchir. L'intérêt était d'identifier des cas pertinents d'étude en jouant sur les paramètres du modèle afin de mener des comparaisons et de tirer des réponses de notre travail.

Notre projet répond alors à une question nouvelle non traitée dans la littérature.

5.3 Méthode

5.3.1 Considérations psychologiques

D'après T. Bosse et al. [7], en psychologie, l'émotion est souvent définie comme un état ou une opération qui joue un rôle dans des procédés cognitifs comme la prise de décision ou la mise en actions. Les émotions sont dues à un stimulus et sont souvent de durée de vie relativement courtes. De plus, les émotions ont une fonction sociale : les humains sont des agents cognitifs et émotionels qui peuvent être amenés à influencer les émotions, pensées et comportements des autres par l'expression de leur propre émotion, et réciproquement. Ce processus quotidien et automatique de transmission et d'absorption des émotions a été décrit comme une tendance à mimer le comportement non verbal des autres, comme le fait de « synchroniser les expressions faciales, les vocalisations, les postures et le mouvement des autres » afin de finir par converger vers une émotion commune au groupe.

Toujours d'après ces auteurs [7], la modélisation de l'émotion d'un groupe peut être faite au niveau du collectif ou de l'individu : le premier paradigme est appelé « de haut en bas » et le deuxième « de bas en haut ». L'approche « de bas en haut » considère l'émotion globale du groupe comme somme de ses composantes, c'est-à-dire chaque individu. Cette somme est tributaire de l'homogénéité ou l'hétérogénéité du groupe et est déterminée par l'émotion moyenne du groupe. Les différences et caractéristiques individuelles jouent ainsi un rôle importants. Elles sont définies par les traits de personnalité, les fonctions cognitives et relations sociales entre chaque agent.
La figure 3 permet d'appréhender les principes des deux approches.

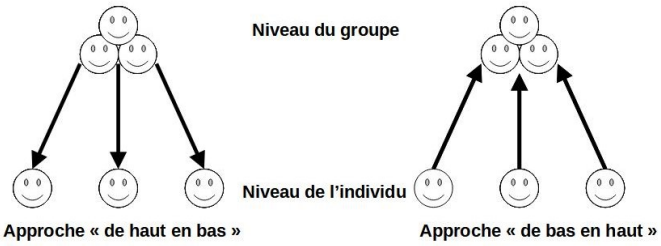


FIGURE 3 – Différences entre les approches de haut en bas et de bas en haut

Dans notre cas, l'objet de l'étude est la motivation des élèves pour le cours qu'on considèrera comme un état émotionnel au sens où elle suivra le comportement décrit par le modèle que nous implémenterons.

5.3.2 Modèle ASCRIBE

Principe du modèle

Le modèle que nous implémentons est le modèle ASCRIBE [7], issu de l'approche « de bas en haut ». L'état émotionnel du groupe est donc « induit » par l'état de chacun de ses agents.

Il travaille sur des agents caractérisés par un niveau d'émotion, ici la motivation, et il décrit l'évolution de l'émotion de chaque agent, en fonction de celle des autres agents. À chaque pas de temps, les agents transmettent leur état émotionnel et sont impactés par celui des autres, conformément aux observations des psychologues. Au cours du temps, la motivation de chaque agent i évolue selon l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dq_i}{dt} = \gamma_i(q_i^* - q_i)$$

Avec :

- q_i le niveau de motivation de l'agent i
- $\gamma_i \in]0, 1]$ un coefficient propre à l'agent i qui permet de prendre en compte des caratéristiques psychologiques et sociales personnelles et interpersonnelles
- q_i^* une moyenne pondérée des motivations des autres agents du groupe

Le modèle est donc basé sur un système d'équations différentielles du premier ordre dont le nombre d'équations est égal au nombre d'agents.

On va maintenant expliciter γ_i et q_i^* en fonction des caractéristiques personnelles et sociales de chaque agent.

Paramètres liés aux caractéristiques des agents

Pour chaque agent i, nous définissons :

- $\delta_i \in]0, 1]$ traduit la propension de l'agent i à être contaminé par les autres.
- $\eta_i \in]0, 1]$ correspond à la tendance de l'agent i à transmettre ses émotions.

et pour chaque couple d'agents i et j :

- $\alpha_{i,j} \in]0, 1]$, qui est appelé « force du canal » entre les agents i et j, de i vers j. Il s'agit de la qualité du medium de communication entre les personnes, expliqué par les liens sociaux qui unissent des agents et donc la facilité à communiquer.

Ces paramètres sont des données à prendre en entrée du modèle, et ne seront pas modifiés au cours du temps. Nous considérons la durée de l'expérience suffisamment petite pour qu'un agent ne connaisse pas de modifications de personnalité au cours d'une expérience.

Afin de donner une interprétation concrète, nous proposons de prendre les exemples caricaturaux suivants :

Caractéristique personnelle	Influence sur les paramètres
Agent charismatique	η_i proche de 1
Agent timide et peu influent	η_i proche de 0
Agent fortement empathique	δ_i proche de 1
Caractère froid et antisocial	δ_i proche de 0
Agents très amis	α_{ij} et α_{ij} proches de 1
Agents ennemis	α_{ij} et α_{ij} proches de 0
Agent i apprécie j mais pas l'inverse	$\alpha_{ji} > 0.5$ et $\alpha_{ij} < 0.5$

TABLE 1 – Tableau explicatif des caractéristiques personnelles et interpersonnelles

Détermination de γ_i

En suivant [7], nous pouvons exprimer les γ_i.

Si le système est composé de n agents : $\gamma_i = \sum_{j=0, j\neq i}^{n-1} \gamma_{ji}$

Avec $\gamma_{ji} = \eta_j \times \alpha_{ji} \times \delta_i$ (j emetteur et i receveur)

Nous obtenons alors, conformément à l'intuition, que :

1. plus une personne i apprécie une personne j (α_{ji} proche de 1), plus la personne i sera influencée par la personne j.
2. plus j est charismatique et influent, plus il transmettra son émotion à i
3. plus i est empathique et influençable, plus il absorbera les émotions des autres

Nous pouvons remarquer que les γ_i seront constants au cours du temps car leur expression ne fait intervenir que des paramètres constants. Cela peut s'interpréter par le fait que des variations de vitesse (accélération ou ralentissement) de rapprochement d'un agent avec les autres ne dépend que de l'écart qu'il existe entre le groupe et lui-même puisque γ_i sera toujours le même. En outre, nous remarquons que ce modèle suppose que des personnes n'ayant pas d'affinités ne s'influenceront pas : en effet si α_{ji} est infiniment petit (proche de 0), alors w_{ji} l'est aussi et le calcul de q_i^* ne prendra pas en compte q_j. On aurait pu imaginer un modèle dans lequel si un élève i était haï par un de ses camarades j, alors j allait avoir tendance à adopter l'opposé de l'émotion de i mais ce n'est pas l'hypothèse que nous formulons pour ce travail.

Enfin, il est à noter que toutes les grandeurs sont sans unité.

Détermination de q_i^*

En suivant le modèle ASCRIBE [7], nous exprimons la moyenne q_i^* pondérée par les poids $w_{ji} = \frac{\eta_j \times \alpha_{ji}}{\sum_{k=0,k\neq i}^{n-1} \eta_k \times \alpha_{ki}}$.

Le poids correspond à l'importance de l'influence de l'agent j sur l'agent i par rapport aux capacités d'influence des membres du groupe. En effet, à un potentiel d'influence (lié au tempéramment de l'emetteur et à la relation entre emetteur et receveur) donné $\eta_j \times \alpha ji$, l'influence effective dépendra de la composition du reste du groupe. Par exemple, un agent ayant un potentiel d'influence moyen sur un autre agent pourra avoir une influence effective sur cet agent très faible si les potentiels d'influence des autres agents sont supérieurs ou, à l'inverse, très élevé si les potentiels d'influence des autres agents sont plus faibles. À i et j fixés, ce poids restera le même au cours du temps puisque w_{ji} n'est exprimé qu'en fonction de paramètres constants. Cela se traduira par le fait qu'un agent influencera toujours « autant » un agent donné relativement aux autres.

Il en résulte que $q_i^* = \sum_{0\leq j\leq n-1, j\neq i} w_{ji} \times q_j$

Nous ne définissons donc pas de $\alpha_{i,i}$, qui correspondrait au canal entre une personne et elle-même. En effet, $\forall i, \alpha_{i,i}$ n'intervient dans aucun calcul puisque un agent est influencé par les autres mais pas par lui-même. La formule $q_i^* = \sum_{0\leq j\leq n-1, j\neq i} w_{ji} \times q_j$ ne fait en effet pas intervenir de α_{ii} car $w_{ji} = \frac{\eta_j \times \alpha_{ji}}{\sum_{k=0,k\neq i}^{n-1} \eta_k \times \alpha_{ki}}$.

Bornes des paramètres À i fixé, les paramètres η_j ne peuvent être tous nuls, et de même pour les α_{ji}, car cela est interdit par la division dans q_i^*. Dans la suite, lorsque l'on voudra prendre un α_{ji} ou η_j nul, nous écrirons $\alpha_{ji} \approx 0$ ou $\eta_j \approx 0$, même dans le cas où l'égalité est possible, car numériquement, un 0.000001 est pour ainsi dire équivalent à un 0.

5.3.3 Discrétisation du modèle

Le modèle se présente sous la forme d'un système d'équations différentielles du premier ordre avec conditions initiales. En notant G l'ensemble des agents (soit l'ensemble des personnes présente dans la classe), on a :

$$\forall i \in G \quad \begin{cases} \frac{dq_i}{dt} & = \gamma_i(q_i^* - q_i) \\ q_i(0) & = q_{i0} \end{cases}$$

Afin de résoudre numériquement ce système et retrouver des résultats avancés par Bosse et al. [7] nous souhaitons discrétiser le problème en utilisant la méthode d'Euler explicite. En notant h le pas de temps, on obtient le système itératif suivant :

$$\forall i \in G \quad \begin{cases} q_i^{(n+1)} & = q_i^{(n)} + h\gamma_i(q_i^* - q_i^{(n)}) \\ q_i^{(0)} & = q_{i0} \end{cases}$$

Afin de garantir la stabilité de la méthode d'Euler, il faut maintenant établir une condition sur h pour que l'on ait :

$$\forall n \in N \quad -1 \leq q_i^{(n)} \leq 1$$

Soit i, $j \in G$.

— On a $\eta_i \in]0, 1]$ et $\alpha_{ij} \in]0, 1]$, d'où :

$$0 < w_{ij} = \frac{\eta_i \times \alpha_{ij}}{\sum_{k=0, k\neq j}^{n-1} \eta_k \times \alpha_{kj}} < \frac{1}{|G| - 1}$$

Donc on a :

$$-1 \leq q_i^* \leq 1 \quad \textbf{(1)}$$

— De plus, on a $\gamma_i \in [0, 1]$ d'où :

$$0 \leq \gamma_{ij} \leq 1$$

$$0 \leq \gamma_i = \sum_{j=0, j\neq i}^{n-1} \gamma_{ij} \leq |G| - 1 \quad \textbf{(2)}$$

On va maintenant majorer l'expression de $q_i^{(n+1)}$.

$$q_i^{(n+1)} = q_i^{(n)} + h\gamma_i(q_i^* - q_i^{(n)})$$

En appliquant **(1)** et **(2)**, on obtient :

$$q_i^{(n+1)} \leq q_i^{(n)} + h(|G| - 1)(1 - q_i^{(n)})$$

$$q_i^{(n+1)} \leq q_i^{(n)}(1 - h(|G| - 1)) + h(|G| - 1)$$

Avec $-1 < q_i^{(n)} < 1$:

— Si $h(|G| - 1) < 1$

$$-1 + 2h(|G| - 1) \leq q_i^{(n)}(1 - h(|G| - 1)) + h(|G| - 1) \leq 1$$

Et donc on a bien :

$$q_i^{(n+1)} \leq 1$$

— Si $h(|G| - 1) > 1$

$$1 \leq q_i^{(n)}(1 - h(|G| - 1)) + h(|G| - 1) \leq -1 + 2h(|G| - 1)$$

On n'obtient donc pas l'inégalité voulue.

On veut à présent minorer l'expression de $q_i^{(n+1)}$.
En appliquant de nouveau **(1)** et **(2)**, on obtient :

$$q_i^{(n+1)} \geq q_i^{(n)} + h(|G| - 1)(-1 - q_i^{(n)})$$

$$q_i^{(n+1)} \geq q_i^{(n)}(1 - h(|G| - 1)) - h(|G| - 1)$$

On effectue la même disjonction de cas que ci-dessus.

— Si $h(|G| - 1) < 1$

$$-1 \geq q_i^{(n)}(1 - h(|G| - 1)) + h(|G| - 1) \geq 1 - 2h(|G| - 1)$$

Et donc on a bien :

$$q_i^{(n+1)} \geq -1$$

— Si $h(|G| - 1) > 1$

$$1 - 2h(|G| - 1) \geq q_i^{(n)}(1 - h(|G| - 1)) + h(|G| - 1) \geq -1$$

On n'obtient donc pas l'inégalité voulue.

En conclusion, nous obtenons la condition de stabilité mentionnée par Bosse et al. [7] : pour que la méthode d'Euler soit stable, il faut :

$$\boxed{h < \frac{1}{|G| - 1}}$$

5.3.4 Analyse mathématique

Dans cette partie, nous proposons une analyse mathématique du modèle basée sur ses propriétés [7] afin d'essayer de prédire son comportement.
On rappelle le système d'équations différentielles :

$$\forall i \in G \quad \frac{dq_i}{dt} = \gamma_i(q_i^* - q_i)$$

Conditions pour q constant Soit $i \in G$. q_i est constant si et seulement si $\gamma_i = 0$ ou $q_i = q_i^*$.

— $\gamma_i = 0 \implies \sum_{j=0, j\neq i}^{n-1} \eta j \times \alpha ij \times \delta i = 0$
Cela signifie donc que l'agent i est émotionnellement isolé de tous les autres agents du système. Sa motivation reste donc constante.
On note qu'un agent A est émotionnellement isolé d'un agent B si α_{AB} est proche de 0 (agents ennemis), si η_B est proche de 0 (agent très peu influent) ou si δ_A est nul (agent très peu empathique). Dans ces cas là, la motivation de B n'influencera pas la motivation de A.

— $q_i = q_i^*$
Cela signifie que, en considérant les agents j non émotionellement isolé de i, soit tous les q_j sont égaux à q_i, soit que leur moyenne (pondérée avec les w_{ij}) est exactement égale à q_i.

Le modèle cessera donc d'évoluer en général si tous les q_i (en considérant des agents non émotionnellement isolés) sont égaux.

Croissance de q Soit $i \in G$ tel que $\gamma_i > 0$. Soit G_i l'ensemble des agents non émotionnellement isolés de i. On a :

$$\frac{dq_i}{dt} \geq 0 \iff q_i^* \geq q_i$$

Donc q_i augmente si q_i est inférieur à la moyenne pondérée des agents de G_i. En particulier, si

$$\forall j \in G_i \quad q_i \leq q_j$$

Alors on aura toujours même après un certain nombre de pas de temps :

$$\forall n \in N \quad q_i^{(n)} \leq q_i^*$$

Donc la suite des $(q_i)_n$ sera strictement croissante.
On peut procéder de même pour la décroissance de q.

Équilibre Nous supposons maintenant qu'aucun agent de G n'est émotionnellement isolé d'un autre, c'est-à-dire que chaque agent influence et est influencé par au moins un autre agent. Nous avons montré précédemment que le q de valeur minimale augmenterait de manière graduelle, et que le q_i de valeur maximale diminuerait de manière graduelle.
Intuitivement, cela signifie que tous les q_i vont converger vers une certaine valeur appelée la valeur d'équilibre du groupe (qui sera une certaine valeur moyenne pondérée par les paramètre de la personnalité de chaque agent). Une fois que tous les q_i l'ont atteint, l'état d'équilibre décrit dans le paragraphe « Conditions pour q constant », où chaque q_i est égal à son q_i^*, est atteint. Le modèle n'évolue alors plus.

Conditions de la préservation de la motivation générale En considérant toujours qu'aucun agent de G n'est émotionnellement isolé d'un autre, nous cherchons à présent à savoir dans quels cas la motivation générale du groupe (soit la somme des q_i) reste constante au cours de l'expérience.
On a donc :

$$\begin{aligned}\forall n \in N \quad \sum_{i\in G} q_i^{(n+1)} = \sum_{i\in G} q_i^{(n)} &\iff \sum_{i\in G} \gamma_i (q_i^* - q_i^{(n)}) = 0 \\ &\iff \sum_{i\in G} \gamma_i q_i^* = \sum_{i\in G} \gamma_i q_i^{(n)}.\end{aligned}$$

De plus, on note que :

$$\forall i, j \in G \quad \gamma_i \omega_{ji} = \gamma_{ji}$$

ce qui donne :

$$\forall i \in G \quad \gamma_i q_i^* = \sum_{j\in G-i} \gamma_i \omega_{ji} q_j = \sum_{j\in G-i} \gamma_{ji} q_j$$

et en sommant les i sur G, on obtient :

$$\sum_{i\in G} \gamma_i q_i^* = \sum_{i\in G} \sum_{j\in G-i} \gamma_i \omega_{ji} q_j = \sum_{j\in G} (q_j \sum_{i\in G-j} \gamma_{ji}).$$

Donc la conservation de la motivation générale est équivalente à :

$$\begin{aligned}\forall n \in N \quad \sum_{i\in G} \gamma_i q_i^* = \sum_{i\in G} \gamma_i q_i^{(n)} &\iff \forall i \in G \sum_{j\in G-i} \gamma_{ij} q_i = \gamma_i = \sum_{j\in G-i} \gamma_{ji} q_i \\ &\iff \forall i \in G \sum_{j\in G-i} \eta_i \alpha_{ij} \delta_j q_i = \sum_{j\in G-i} \eta_j \alpha_{ji} \delta_i\end{aligned}$$

et dans ce cas, la valeur d'équilibre correspond à la moyenne des q initiaux.
La motivation générale du groupe est vérifiée en particulier si tous les γ_{ji} sont égaux, ou plus spécifiquement si tous les η_i, les $\alpha_i j$ et les δ_i sont égaux.

5.3.5 Plateforme Gama

Nous avons choisi la plateforme GAMA* (GIS Agent-based Modeling Architecture ou Architecture SIG de Modélisation à base d'Agents en français) pour implémenter le modèle ASCRIBE. Notre choix a été guidé par une thèse [8] présentant la plateforme et soulignant son intérêt dans les types de projets tel que le notre. Il a ensuite été confirmé suite à notre rencontre avec Sylvie Huet qui avait connaissance de ce logiciel. GAMA est une plate-forme de simulation pour créer des modèles à base d'agents. Elle possède un environnement de développement intégré de modélisation et de simulation. Elle fonctionne sur une Machine Virtuelle Java. La particularité de la plateforme GAMA est la dimension de spatialité qu'elle autorise et facilite de par des fonctions préexistantes dans la plateforme. Son langage associé est le GAML*. Nous avons utilisé des cours et tutoriels en ligne fournis par le site officiel de la plateforme pour appréhender le fonctionnement de la plateforme et apprendre la syntaxe. [9]

Étant codée en Java, la plateforme demande une implémentation avec le paradigme de la POO* (Programmation Orientée Objet). Nous retrouvons les notions de classes, d'attributs et de méthodes sous des appellations différentes. On propose le tableau suivant synthétisant une comparaison entre les concept-clefs de POO en Java et en GAML.

Java	GAML
Classes	Espèces
Méthodes	Réflexes ou actions
Notion d'héritage	Notion d'héritage
Déclaration des attributs et méthodes dans la classe	Déclaration des attributs, réflexes ou actions et aspect graphique dans l'espèce

TABLE 2 – Tableau comparatif langage Java et GAML

Il existe deux types de méthodes en GAML : les réflexes et les actions. Les réflexes se réalisent automatiquement à chaque cycle de la simulation tandis que les actions doivent être appelées, par exemple, lorsqu'une condition est vérifiée.

Toutes les constantes se déclarent dans le bloc « global ». Les objets se déclarent dans le bloc « init » à l'intérieur de « global ». On peut également écrire un bloc « experiment » qui contient les éléments à afficher visuellement lors de la simulation. Les espèces et leurs attributs se déclarent en dehors de ces blocs.

5.3.6 Implémentation du modèle et choix réalisés

Définition des espèces Afin d'implémenter le modèle ASCRIBE dans notre cas, nous avons défini deux espèces en GAML : une pour les élèves et une pour le professeur. L'espèce professeur hérite de l'espèce élève. Elle est différente de l'espèce élève dans la mesure où elle ne sera pas affichée de la même manière dans la gestion graphique de la simulation dans Gama. Déclarer deux espèces séparées n'était pas nécessaire, mais nous avons fait ce choix par souci de clareté du code.

Attributs et paramètres donnés Chaque agent est caractérisé par les paramètres énoncés plus tôt. Il est donc nécessaire de fournir au modèle des données de base. Nous définissons donc l'espèce en déclarant les attributs liés aux paramètres ne dépendant que d'un même objet, c'est à dire η_i et δ_i, ainsi que la valeur de q_i quantifiant la motivation de l'agent au départ, et d'autres attributs utiles pour le code sur lesquels nous reviendront plus tard. Chaque agent étant localisé dans l'espace, nous les instancions avec des coordonnées correspondant à leur position dans la salle de classe. Cela nous permet la gestion de la disposition des agents dans la salle de classe, et plus tard, l'ajout la notion de distance une fois le modèle de base implémenté. Concernant les coefficient α_{ij}, comme ils dépendent de deux agents et ne sont pas symétriques, il n'était pas possible de les stocker facilement en tant qu'attributs. Nous avons donc décidé de les garder en mémoire sous formes de matrices carrés de la taille du nombre d'agents, où le coefficient à la position (i, j) correspond à $\alpha_{i,j}$. Nous pouvons garder une valeur quelconque sur la diagonale car comme nous l'avons vu dans la section précédente 5.3.2, $\alpha_{i,i}$ n'est pas défini. Nous avons pour notre part gardé $\alpha_{i,i} = 0 \ \forall i$.

Stockage des paramètres donnés Nous avons choisi de stocker les paramètres sous forme de fichiers CSV* que nous pouvons directement lire avec GAMA.

Paramètres à calculer Lors de la déclaration de chaque agent, nous récupérons les données du fichier CSV pour les paramètres caractérisant les agents. À partir de cela, toujours dans la déclaration, nous calculons $\forall i \gamma_i$, paramètre constant au cours de l'expérimentation. Nous faisons de même pour les ω_{ji} puisque nous avons vu qu'ils restent constants.

Mise à jour du niveau de la motivation $q_i^* = \sum_{0 \leq j \leq n-1, j \neq i} w_{ji} \times q_j$ doit être calculé à chaque pas de temps. Nous choisissons d'effectuer cette mise à jour via un réflexe des agents, qui aura ainsi lieu automatiquement à chaque cycle. Il est à noter qu'en GAML, les réflexes des objets instanciés s'effectuent à chaque fois les uns après les autres dans l'ordre de leur instanciation. Par exemple avec deux agents, à l'instant n, l'agent 0 met à jour son émotion en calculant ${q_0^*}^{(n+1)} = \omega_{10} \times q_1^n$ et on voudrait que l'agent 1 se mette à jour avec la formule ${q_1^*}^{(n+1)} = \omega_{10} \times q_0^n$. Or comme

q_1 a déjà été mis à jour, on aurait ${q_1^*}^{(n+1)} = \omega_{10} \times q_0^n$. Pour résoudre ce problème, nous avons stocké deux valeurs pour les niveaux de motivations q_i : l'ancienne valeur et la valeur courante, et nous avons ajouté un attribut « identifiant » aux agents, un entier attribué dans l'ordre de leur instanciation. Pour chaque terme de la somme, si l'identifiant de l'agent sur lequel on souhaite faire une mise à jour est inférieur à l'identifiant de l'agent associé au terme considéré, cela signifie que cet agent n'a pas été mis à jour et on peut prendre l'humeur courante dans la somme. Au contraire, l'identifiant de l'agent sur lequel on souhaite faire une mise à jour est supérieur à l'identifiant de l'agent associé au terme de la somme considéré, cela signifie que cet agent aura déjà été mis à jour donc on prend l'ancienne humeur dans la somme.

Affichage graphique

Nous représentons les agents sous forme de points dont la couleur varie entre le rouge et le vert, en passant par toutes les teintes entre les deux, en attribuant la couleur rouge à la valeur minimale de motivation et la verte à la couleur maximale. On peut alors visuellement évaluer l'évolution du niveau de motivation de chaque agent au cours de la simulation. Nous proposons l'illustration suivante explicitant le code couleur.

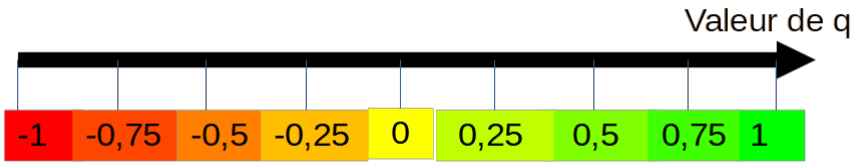


FIGURE 4 – Illustration de la gestion des couleurs

Ce code couleur sera celui utilisé par la suite dans les figures sans en repréciser le sens.

5.3.7 Résultats intermédiaires

On présente ici le comportement du modèle sur des exemples simples. Le but de cette partie est de comprendre le fonctionnement de la simulation ainsi que de vérifier que le modèle de base a bien été implémenté avant d'y apporter des modifications.

Constance des q On a vu précédemment en 5.3.4 que les émotions restent constantes si les agents sont tous émotionnellement isolés.

Si les éléments sont tous émotionnellement isolés, on a une constance des émotions.

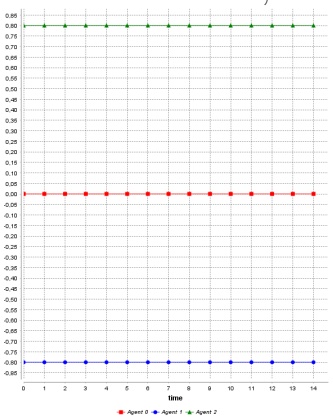


FIGURE 5 – Évolution de la motivation de trois agents émotionnellement isolés

Si l'agent 1 (courbe bleue) est isolé émotionellement, alors son humeur est constante et les autres agents s'influencent entre eux indépendamment de cet agent. Cela est le cas si $\delta_1 = 0$ et $\eta_1 \approx 0$ ou si $\alpha_{01} = \alpha_{10} = \alpha_{02} = \alpha_{20} \approx 0$.

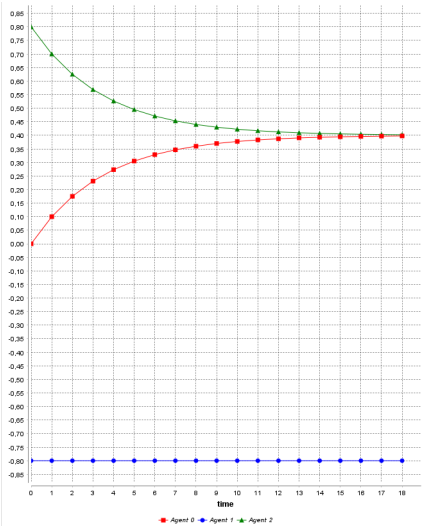


FIGURE 6 – Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux est émotionnellement isolé

Convergence Le système étudié est convergent dès lors qu'aucun les agent n'est émotionnellement isolé.

Avec deux agents, si on a tous les α_{ij} égaux entre eux et non nuls et de même pour les δ_i et η_i, on arrive à la moyenne parfaite entre les deux états émotionnels de base.

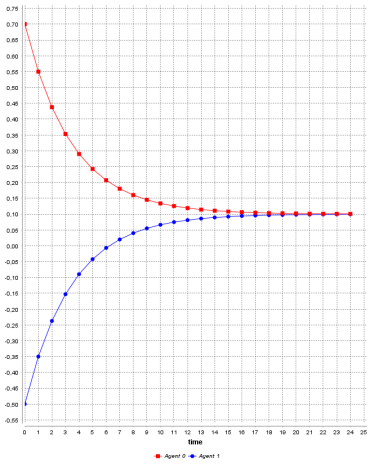


FIGURE 7 – Convergence de la motivation de deux agents

Avec trois agents et les mêmes conditions, on observe la même chose.

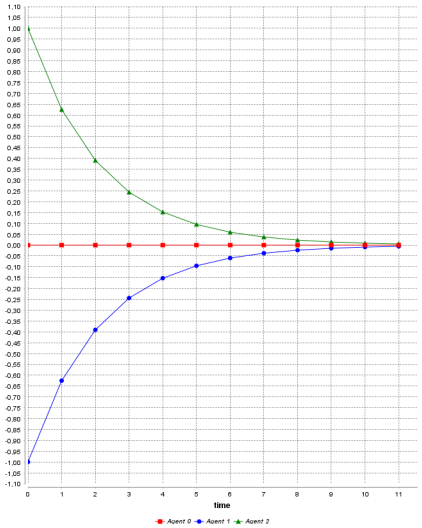


FIGURE 8 – Convergence de la motivation de trois agents

On remarque que la vitesse de convergence dépendra des α_{ji} : si on a des canaux de valeurs faibles , la convergence sera lente.

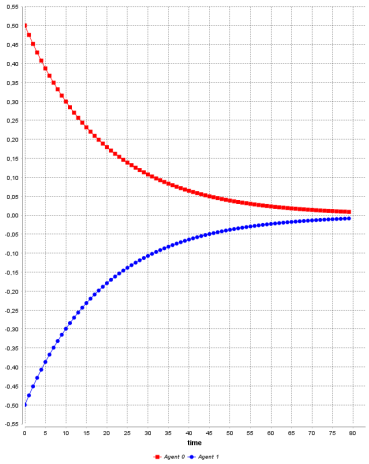


FIGURE 9 – Convergence lente avec des canaux petits

Si on a des canaux de valeurs élevées, la convergence sera rapide.

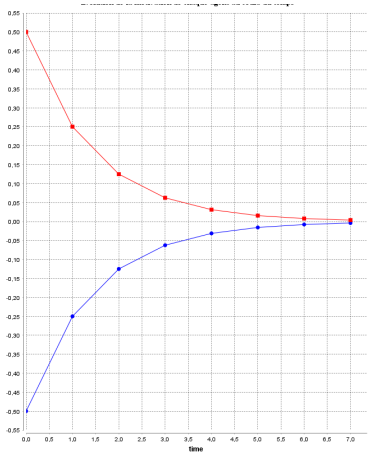


FIGURE 10 – Convergence rapide avec des canaux grand

La vitesse de convergence dépend aussi des δ_i : si on a des agents tous peu influençables, la convergence sera lente.

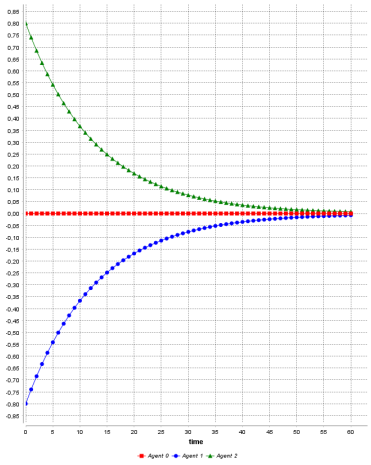


FIGURE 11 – Convergence lente avec des canaux petits

Si on a des agents tous très influençables, la convergence sera rapide.

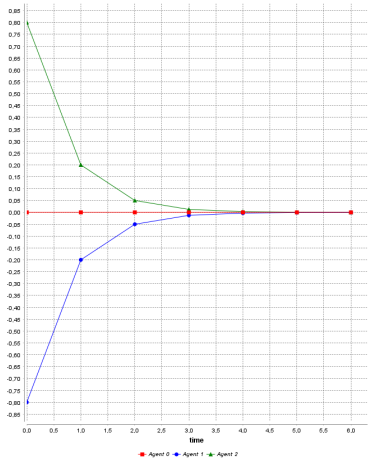


FIGURE 12 – Convergence lente avec des canaux petits

On observe les mêmes résultats pour les η_i : si les agents sont charismatiques, la convergence sera plus rapide que si les agents sont timides/peu expressifs.

Influence des δ_i On fait varier un δ_i pour observer son influence et l'interpréter.

Si on a $\delta_1 = 0$ (courbe bleue) et $\delta_0 = \delta_2 \neq 0$ ainsi que tous les α_{ij} égaux entre eux et non nuls et de même pour les η_i, on observe que l'agent 1 ne se fait pas influencer mais influence les autres. L'émotion finale est alors celle de l'agent peu influençable.

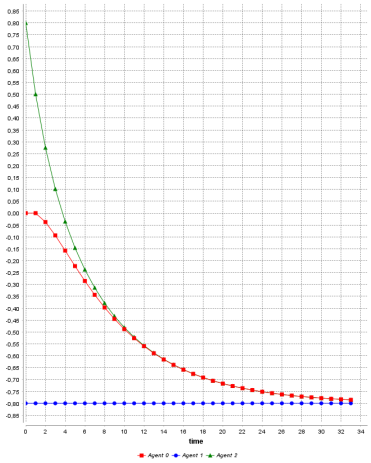


FIGURE 13 – Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux n'est pas influençable

Si on a $\delta_1 \neq 0$ mais est petit (courbe bleue) et $\delta_0 = \delta_2 = 0.5$ ainsi que tous les α_{ij} égaux entre eux et non nuls et de même pour les η_i, on observe que comme l'agent correspondant à la courbe bleue est peu influençable, il a tendance à attirer vers lui la limite de convergence de l'émotion du groupe.

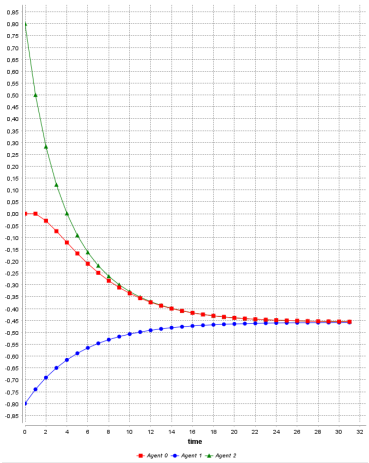


FIGURE 14 – Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux est peu influençable

Si on a δ_1 est grand (courbe bleue) et $\delta_0 = \delta_2 = 0.5$ ainsi que tous les α_{ij} égaux entre eux et non nuls et de même pour les η_i, on observe que comme l'agent correspondant à la courbe bleue est très influençable, il a tendance à peu contribuer à l'émotion finale car il est attiré par les autres avant.

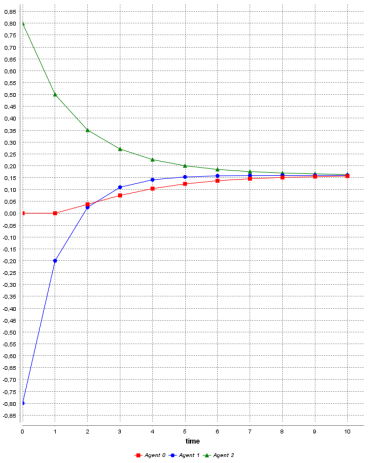


FIGURE 15 – Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux est très influençable

Influence de η_i On procède de la manière que pour δ_i avec η_i

Si on a $\eta_1 \approx 0$ (courbe bleue) et $\eta_0 = \eta_2 \neq 0$ ainsi que tous les α_{ij} égaux entre eux et non nuls et de même pour les δ_i, on observe que l'agent 1 n'influence pas les autres mais se fait influencer par eux.

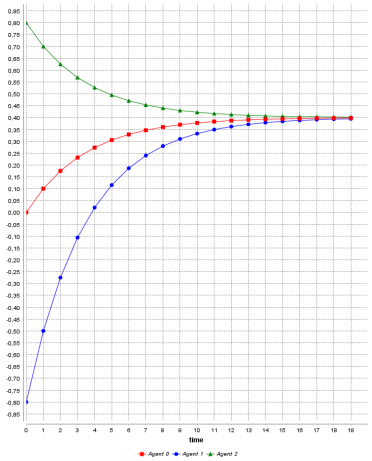


FIGURE 16 – Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux n'est pas influent

Si on a $\eta_1 \neq 0$ (courbe bleue) mais est petit et $\eta_0 = \eta_2 = 0.5$ ainsi que tous les α_{ij} égaux entre eux et non nuls et de même pour les δ_i, on observe que l'agent 1 n'influence que très peu les autres mais se fait influencer par eux. L'agent 1 ne participe que très peu à la valeur finale de l'émotion du groupe.

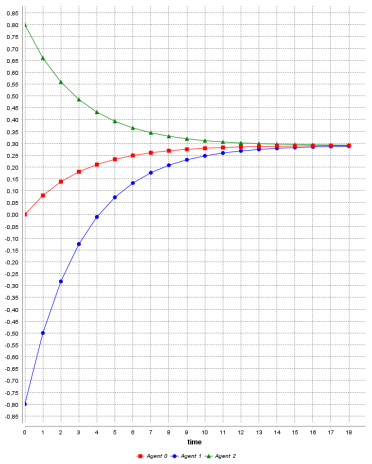


FIGURE 17 – Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux n'est que peu influent

Si on a η_1 est grand (courbe bleue) et $\eta_0 = \eta_2 = 0.5$ ainsi que tous les α_{ij} égaux entre eux et non nuls et de même pour les δ_i, on observe que l'agent 1 influence plus les autres qu'il ne se fait influencer par eux. Ceci a pour effet « d'attirer » la limite de convergence de l'agent 1 vers lui.

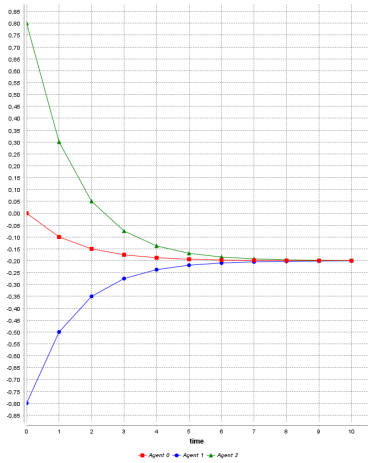


FIGURE 18 – Évolution de la motivation de 3 agents si l'un d'entre eux est très influent

Influence des α_{ji} On se concentre à présent sur la force du canal. Comme ce paramètre est plus compliqué que les précédents comme il met en jeu deux agents et est orienté, on commence par observer des cas à deux agents.

À deux agents, si le canal de 1 vers 0 ($\alpha_1 0$) est nul, alors 0 absorbe l'émotion de 0.

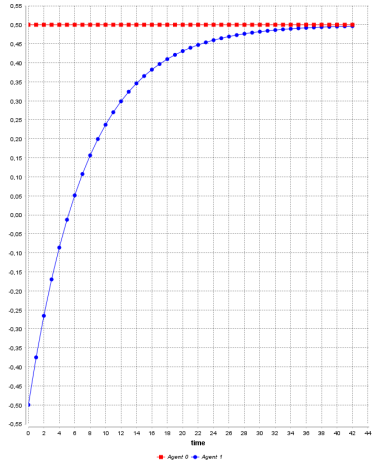


FIGURE 19 – Évolution de la motivation de 2 agents avec un canal nul

À deux agents, si le canal de 1 vers 0 (ie α_{10}) est petit et celui de 0 vers 1 est plus grand, alors 1 attire la limite de convergence à lui.

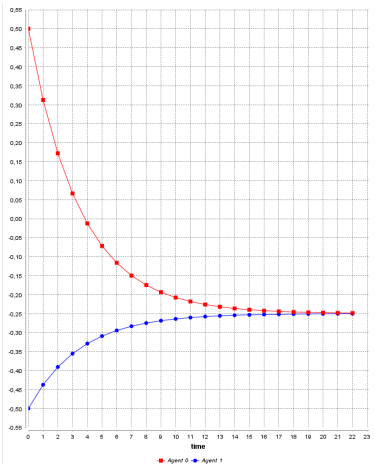


FIGURE 20 – Évolution de la motivation de 2 agents avec des canaux désequilibrés

À trois agents, si $\alpha_{10} = \alpha_{12} \approx 0$, alors l'agent 1 n'influence que très peu 0 et 2 mais est influencé par eux.

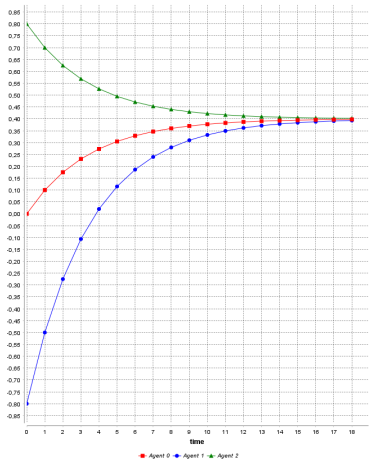


FIGURE 21 – Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{12} \approx 0$

À trois agents, si $\alpha_{10} = \alpha_{12}$ sont grands alors l'agent 1 influence plus 0 et 2 qu'il n'est influencé par eux.

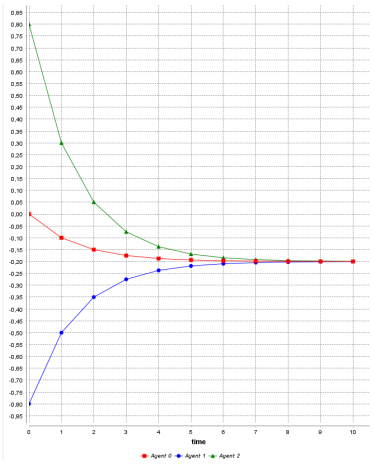


FIGURE 22 – Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{12}$ grands

À tois agents, $\alpha_{10} = \alpha_{01} \approx 0$ alors les agents 0 et 2 et 1 et 0 s'influencent mais pas 0 et 1 directement.

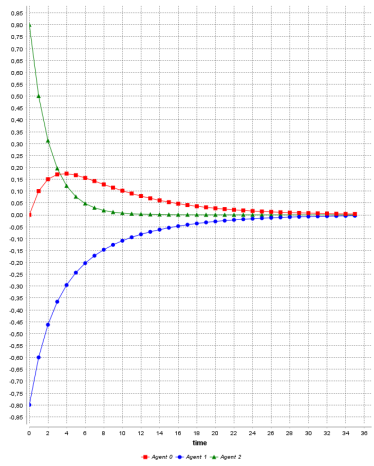


FIGURE 23 – Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{10} \neq 0$

À trois agents, $\alpha_{10} = \alpha_{01}$ sont petits, alors on a une version atténuée du phénomène ci-dessus.

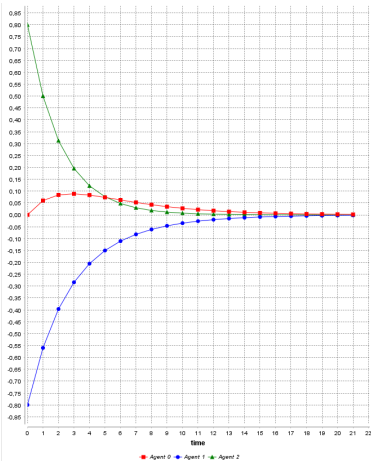


FIGURE 24 – Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{10}$ petits

À trois agents, $\alpha_{10} = \alpha_{01}$ sont grands, alors l'inverse se produit : les agents 0 et 1 s'attirent d'abord avant entre eux.

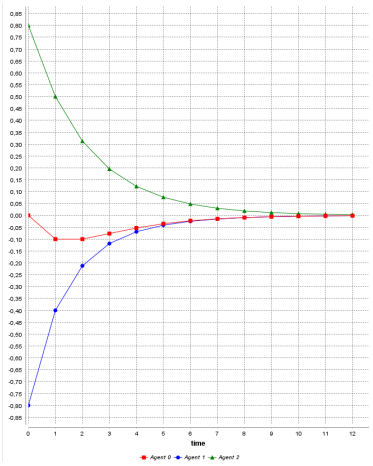


FIGURE 25 – Évolution de la motivation de 3 agents avec $\alpha_{10} = \alpha_{10}$ grands

Synthèse sur le rôle des paramètres On propose de synthétiser l'influence de chaque paramètre pour un système à deux agents :

Le rôle de δ_i et celui de η_j se généralisent à un plus grand nombre d'agents. Concernant les α_{ij}, comme il s'agit d'un paramètre qui lie les agent deux à deux et ce deux fois ($\alpha_{ij} \neq \alpha_{ji}$), les interactions sont plus complexes. Elles sont concises à

Paramètre	Si élevé	Si faible
δ_i	Contribue peu à la limite de convergence	Absorbe les émotions des autres et contribue beaucoup à la limite de convergence
η_j	Attire les émotions des autres vers la sienne	Ne contribue que peu à la limite de convergence
α_{ij}	i (émetteur) attire la limite de convergence à lui	i (émetteur) ne contribue que peu à la valeur la limite de convergence

TABLE 3 – Tableau explicatif des influences des valeurs des paramètres sur le comportement du modèle pour deux agents

décrire pour deux agents car α_{ij} et α_{ij} les lient directement, mais on se réfèrera à la section 5.3.7 pour saisir les différents comportements des agents pour un groupe de cardinal 3. On a bien observé que le modèle fonctionne conformément à l'intuition et il n'est pas possible de les résumer plus succinctement.
Enfin, on notera que l'influence des paramètres se retrouve uniquement dans la vitesse de convergence et dans la valeur finale vers laquelle converge la motivation du groupe dans lequel la transmission s'effectue, dès lors qu'on a pas d'agents émotionnellement isolés.

Gestion de la distance Maintenant que le modèle ASCRIBE est implémenté, nous allons ajouter une notion de spatialité au modèle. En effet, actuellement, chaque personne influence autant et est est autant influencé par les agents proches que ceux qui sont éloignés. Dans notre cas, l'espace dans lequel seront contenus les agents étant grand puisqu'il s'agit d'une salle de classe, il paraît peu probable que deux étudiants à l'opposé de la salle puissent s'influencer. Pour cela, nous passons les α_{ij} et α_{ji} à environ 0 pour chaque couple d'agent (ij) éloignés de plus d'une distance seuil fixée en fonction de la disposition de la salle. Nous expliciterons les choix faits sur ce point dans la section suivante.

Spécificités du professeur Pour le professeur, on considérera son influence plus grande son canal est moins limité par la distance. Nous aurions pu faire une modélisation où le professeur aurait eu un déplacement et aurait influencé plus ou moins en fonction de sa position dans la salle mais nous formulons l'hypothèse que le professeur, par sa posture d'adulte incarnant l'autorité, face aux élèves, et parlant d'une voix forte, possède un canal commun à chaque élève. Les détails quantitatifs liés à cette spécificité sera égelement détaillée dans la section suivante.

5.3.8 Application du modèle à notre étude

Génération des situations à étudier Maintenant que le modèle voulu est implémenté, il s'agit de générer des salles de classe et des élèves, avec leurs caractéristiques. Ce travail a été soutenu par Guillaume Dezecache du LAPSCO lors d'un échange.

Salles de classe Nous choisissons de représenter trois types de salles de classe :

- une salle en lignes et colonne.
  Il s'agit de la salle de classe la plus répandue dans les cours où peu d'interactions entre élèves sont nécessaires, car tout le monde est orienté vers le professeur.
- une salle en îlots.
  Moins fréquente, cette salle peut-être sélectionnée en cours de langue pour améliorer la communication dans un petit collectif, ou dans d'autres matières pour n'importe quel type de travail de groupe.
- une salle en « U ».
  Cette salle est habituellement choisie par les professeurs de langues afin de permettre la communication au sein de la classe entière. En dehors du milieu scolaire, il s'agit aussi d'une disposition privilégiée pour des salles de réunions.

Nous générons une salle de classe de 30 élèves car il s'agit d'un effectif moyen pour une classe de collégiens ou lycéens. Les dimensions de la classe sont 8 mètres de large et 10 mètres de long. Les figures 26, 27 et28 présentent la disposition dans la salle des élèves sans le professeur. Ce dernier sera placé en avant de la classe, comme nous le verrons dans les simulations en 5.4.

La classe en rangées est constituée de 5 lignes et 3 colonnes de tables doubles.

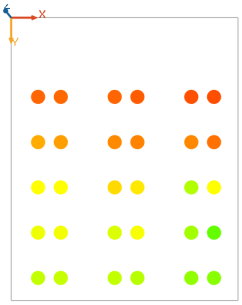


FIGURE 26 – Disposition des élèves dans la salle de classe en rangées

La classe en îlots est constituée de 5 îlots de 6 élèves.

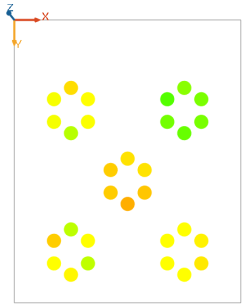


FIGURE 27 – Disposition des élèves dans la salle de classe en îlots

La classe en U (ou en rectangle ouvert) est partiellement refermée.

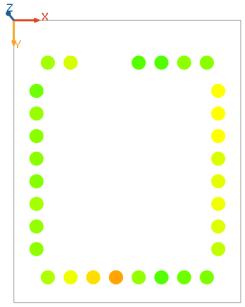


FIGURE 28 – Disposition des élèves dans la salle de classe U partiellement refermé

Remarque sur la prise en compte de la distance et choix réalisés On conserve l'implémentation de la distance précédemment faite avec les interactions autour de soi à 360° dans un certain rayon. En effet, pour le cas de la classe en rangées, nous considérons qu'une personne va être influencée par ses voisins car elle peut parler avec eux mais aussi avec les personnes devant elle s'il y en a, car ils ont la possibilité de se retourner, et de même avec les personnes derrière elle. Cette hypothèse simplificatrice est forte car on peut imaginer que dans les faits un élève est plus influencé par ses voisins que les personnes devant lui, mais elle permet de prendre en considération les interactions avant-arrière dans une classe en rangées.
La prise en compte de la distance aura pour effet une transmission entre des personnes éloignées qui sera non directe, mais de proche en proche via des intermédiaires, si tant est qu'il y ait de tels intermédiaires. Il s'agit là du phénomène qui déterminera l'homogénéité ou non de la salle de classe dans certaines distributions des motivations de base. En effet, quelle que soit la distribution des motivations de base, si certains groupes sont isolés du reste de la classe ($\alpha_{ij} \approx 0$), alors la transmission des émotions n'aura lieu qu'au sein des groupes. Cela va être le cas entre les îlots

puisque nous choisissons pour la classe en îlots une distance maximale d'interaction de 1,8 mètres car les agents ne communiquent pas avec les agents en dehors de leur îlot. On considère un rayon maximal de communication de 2 mètres pour les classes en U et en rangées.

Afin de prendre en compte la distance pour le professeur tout en lui faisant avoir une influence, même petite, sur tous les élèves ou presque, nous procèdons à une réduction des canaux de base en fonction de la distance pour les couples d'agent impliquant le professeur. Jusqu'à 1,5 mètres, les canaux ne sont pas réduits, puis nous les diminuons linéairement pour qu'ils atteignent 0 à 9 mètres.

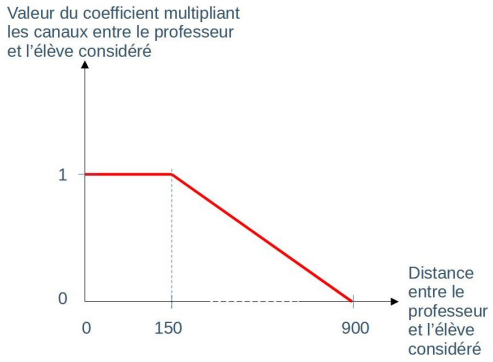


FIGURE 29 – Réduction des canaux de base en fonction de la distance pour le professeur

Identification des situations, rôle et choix des paramètres Nous avons interprété et observé ce que les valeurs des paramètres δ_i, η_i et α_{ji} pouvaient changer au niveau de la transmission dans un groupe de petit cardinal. Dans cette nouvelle situation, dans un cas où on ne considère pas l'influence du professeur, les groupes restent de petits cardinaux de par le principe de l'implémentation de la distance car la transmission se fait localement. Cependant, une transmission de proche en proche peut avoir lieu également si le graphe associé est connexe. De plus, ici on étudie l'influence du professeur. Dans ce cas, il agit comme un hub comme nous le verrons dans la suite, et le groupe à considérer pour le professeur est de plus grand cardinal, mais le principe du comportement des paramètres reste le même. Pour cette raison, les valeurs des paramètres vont modifier la vitesse et les valeurs de limite de convergence dans le(s) groupe(s) où le niveau de motivation convergera. Pour les résultats, nous ne nous concentrerons pas sur l'influence de ces paramètres : nous les fixerons.

Nous allons pour cette étude formuler des hypothèses sur la motivation des élève et leurs relations dans la classe. Par exemple, on peut imaginer que des agents

proches géographiquement sont amis et ont donc un canal élevé car les élèves ont tendance à se positionner dans la classe par rapport à leurs affinités. En revanche, si on considère une classe où les élèves sont placés par le professeur, ce sera l'inverse qui se produira : le professeur peut positionner au hasard ou au contraire en fonction de qui est habitué à discuter avec qui en classe pour éviter les bavardages, et dans ces cas des élèves ayant un canal moyen ou très faible pourraient être positionnés à côté. Nous ferons une hypothèse de distribution gaussienne des α_{ij}. De même, malgré le fait que le professeur ne soit pas censé exprimer ses affinités, il reste pertinent de considérer qu'un professeur sera plus à même de capter et transmettre une émotion à certains élèves qu'à d'autres -malgré une volonté de contrôle de son comportement par soucis d'égalité-, ne serait-ce que pour des raisons de mode de communication. Cette hypothèse demanderait à être vérifiée expérimentalement.
D'autre part, on remarque qu'avec l'implémentation effectuée, les α_{ji} n'ont un sens que localement pour les élèves entre eux puisque la transmission se fera (ou non) de proche en proche seulement pour des élèves. Il ne serait donc pas nécessaire de savoir si des élèves éloignés s'apprécient ou non puisque la transmission n'aura pas lieu directement entre eux deux.

Pour les paramètres δ_i et η_i il est de même difficile d'estimer les proportions d'élèves charismatiques ou timides, empathiques ou indifférents au autres, dans une classe moyenne, ainsi qu'à quel point ils le sont. De plus, on peut imaginer que si les personnes sont assises dans la classe en fonction de leurs affinités, alors un groupe d'amis serait complémentaire sur ces paramètres. Par exemple, on peut faire l'hypothèse qu'un groupe d'amis contient un « leader » et des « suiveurs ». À l'inverse, on peut imaginer que dans une classe placée par le professeur, il y aurait plus de probabilités que deux personnes ayant un profil similaire soient placées ensemble dans la classe car le professeur aura séparé les groupes d'amis. Pour notre part, ces paramètres seront fixés à 0.5 pour chaque agent. Cela permet une première approche du modèle malgré une perte d'informations liée aux caractéristiques personnelles.

Gestion de la durée de l'expérience et pas de temps Nous interpréterons nos résultats en prenant en compte que le nombre d'interactions doit être cohérent avec ce qui pourrait être le cas dans une salle de classe pour un cours. Nous devons également choisir un pas de temps qui respecte le critère énoncé dans la section 5.3.3. Comme le professeur peut avoir un groupe de transmission allant jusqu'à 30 personnes, nous avons besoin de choisir un pas de temps inférieur à celui avec les élèves seulement.

Convergence et rôle de « hub » du professeur Les niveaux de motivations de la classe entière vont converger si elle respecte deux conditions suffisantes :

1. s'il n'existe aucun agent émotionnellement isolé (même condition que précédemment en 5.3.4) ;

2. si on construit un graphe où les élèves sont des sommets entre lesquels ont ajoute une arête si la distance séparant les élèves est inférieure à la distance seuil, alors la deuxième condition est qu'on a besoin que le graphe soit connexe.

Si la première condition n'est pas vérifiée, on aura des agents dont la motivation sera constante. Si la deuxième condition n'est pas vérifiée, alors la transmission se fera au sein de chaque graphe et on aura un phénomène de clustering. La deuxième condition est suffisante mais non nécessaire car si les limites de convergence de chaque cluster sont égales, alors le groupe entier convergera, mais ce cas de figure semble peu probable.

On prend deux groupe avec des humeurs opposées, et on représente en pointillés la zone d'interaction de chaque agent caractérisée par une distance seuil, le rayon du cercle.

Si les deux groupe n'interagissent pas, on a un graphe non connexe composé de deux sous graphes connexes et les interactions auront lieu au sein de chaque sous-groupe connexe.

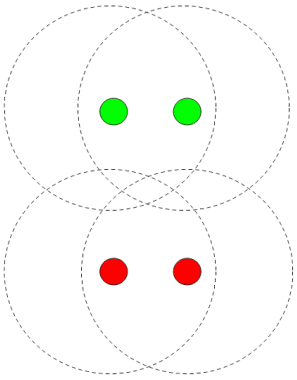


FIGURE 30 – Comportement de deux groupes séparés

Si on ajoute un intermédiaire entre les deux groupes, le graphe devient connexe et on peut prendre des paramètres tous identiques et la répartition d'humeur de départ telle que ci-dessous, avec l'agent intermédiaire ayant un niveau de motivation de base égal à la moyenne des deux groupes.

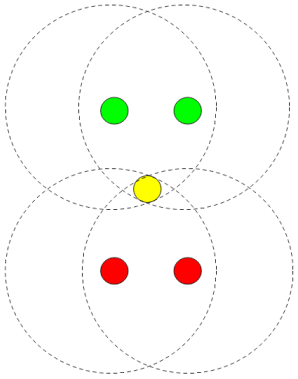


FIGURE 31 – Ajout d'un intermédiaire rendant le graphe connexe.

Si on a des paramètres δ_i, η_j et α_{ij} tous identiques, le problème est symétrique et une fois la limite de convergence atteinte, nous aurons une conservation de la motivation générale telle que décrite en 5.3.4 et les motivations finales seront stables une fois arrivées à la moyenne des motivations de base.

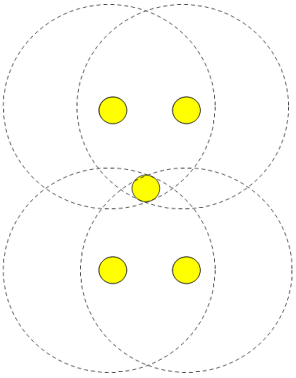


FIGURE 32 – Situation symétrique régime stationnaire

Nous présentons des exemples détaillés en annexe 8.1, pour illustrer le comportement du modèle dans ce cas.

5.4 Résultats et discussion

Nous présentons ici les résultats des différents cas testés. Nous rappelons que les expériences étudient l'évolution de la motivation de chaque agent en fonction de la motivation des autres, mais ne prennent pas en compte les évènements émotionnels extérieurs pouvant survenir au cours de l'expérience et influencer les émotions des agents. Les critères que nous allons étudier avec les paramètres choisis sont les suivants :

1. La convergence, les limites de convergence et les vitesses de convergence pour
   — des canaux distribués selon une gaussienne centrée en 0,5 ;
   — des niveaux de motivation initiaux distribués selon une gaussienne centrée en 0.0
   — des δ_i et η_i fixés tous égaux à 0
   Nous réaliserons ces tests avec et sans l'influence d'un professeur au niveau de motivation de 0,5.
2. L'influence d'un groupe d'humeur extrême sur la valeur finale de convergence pour
   — des canaux distribués selon une gaussienne centrée en 0,5
   — des niveaux de motivation initiaux non-extrêmes distribués selon une gaussienne centrée en 0.0 et des niveaux de motivation extrêmes distribués selon une gaussienne centrée en -0.7
   — des δ_i et η_i fixés tous égaux à 0,5
   Ce avec et sans l'influence d'un professeur au niveau de motivation de 0,5.
3. L'influence de l'extrême humeur positive pour
   — des canaux distribués selon une gaussienne centrée en 0,5
   — niveaus de motivation initiaux distribués selon une gaussienne centrée en 0.
   — des δ_i et η_i fixés tous égaux à 0,5
   — un professeur au niveau de motivation de 1, 0 ou -1

Nous appelons dans la suite « situation » un tirage donné pour les valeurs des canaux et des humeurs pour chaque critère à étudier.

5.4.1 Convergence

Situation n°1 On compare pour cette situation les salles de classe pour les mêmes valeurs des canaux et des humeurs. Dans cette situation les niveaux de motivation sont répartis de manière assez homogène autour de 0.

1. Classe en rangées
   Avec les motivations de cette situation, la répartition dans la salle en rangées des élèves est la suivante.

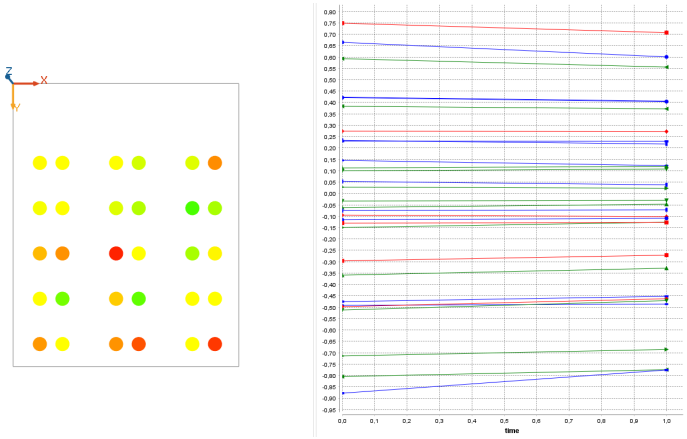


FIGURE 33 – Répartition des niveaux de motivation dans la salle en rangées situation n°1

Sans professeur, on observe que la convergence est « rapide » : on peut considérer que les élèves sont rassemblés en un seul faisceau dès le départ. Comme le faisceau contient la totalité de la classe, il reste large visuellement. Mais à 110 itérations, la largeur du faisceau est de 0,23.

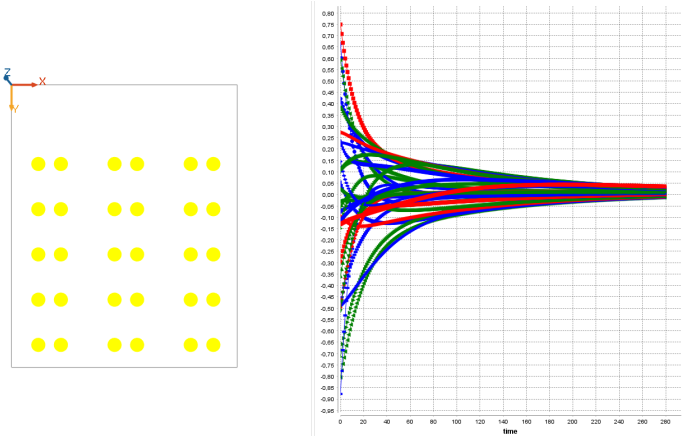


FIGURE 34 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées sans professeur pour la situation n°1

Avec un professeur (courbe violette) on observe que la convergence est légèrement plus rapide. On considère toujours que les élèves sont rassemblés en un seul faisceau dès le départ. À 110 itérations, la largeur du faisceau est de 0,15<0,23 donc moins large que pour la situation sans professeur.

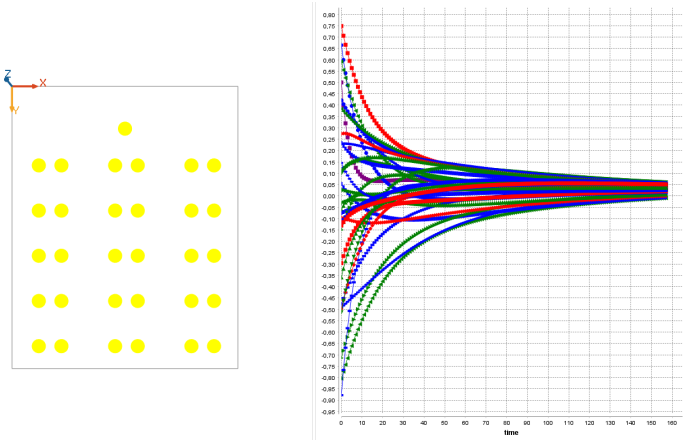


FIGURE 35 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées avec professeur pour la situation n°1

2. Classe en îlots
   Avec les motivations de cette situation, la répartition dans la salle en îlots des élèves est la suivante.

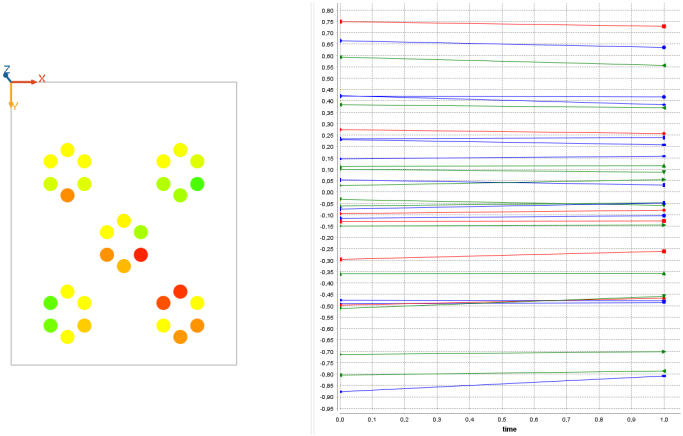


FIGURE 36 – Répartition des niveaux de motivation dans la salle en rangées situation n°1

Sans professeur, on observe la formation de clusters. La convergence à l'intérieur des clusters est beaucoup plus rapide que précédemment puisque les effectifs sont plus faibles. La largeur du faisceau est inférieure à 0,15 dès la 40ème itération contre la 110ème pour la classe en rangées avec professeur.

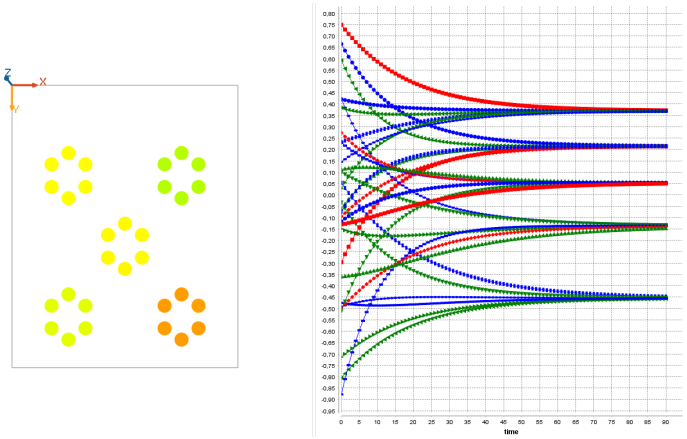


FIGURE 37 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées sans professeur pour la situation n°1

Avec professeur, on observe la formation des clusters mais ces derniers finissent par converger les uns vers les autres. Cependant cette convergence est très lente. Ceci s'explique par le fait que le professeur joue le rôle de hub puisqu'il interagit avec tous les élèves. Il s'agit ici du principe d'intermédiaire rendant le graphe connexe détaillé en 5.3.8 pour deux groupes non reliés. En effet, le professeur est un intermédiaire entre tous les groupes formés qui rend connexe le graphe associé. La vitesse s'explique par la distance élevée entre le professeur et certains élèves car ceux-ci interagissent moins, conformément à l'implémentation de la gestion de la transmission dans les deux sens entre professeur et élèves en fonction de la distance.

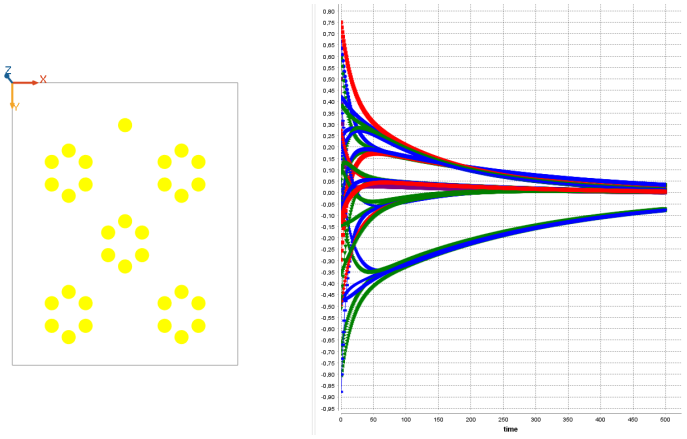


FIGURE 38 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées avec professeur pour la situation n°1

3. Classe en U
   Avec les motivations de cette situation, la répartition dans la salle en U des élèves est la suivante.

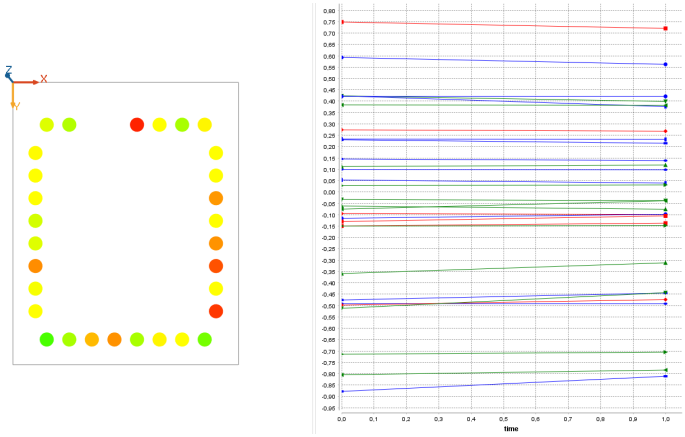


FIGURE 39 – Répartition des niveaux de motivation dans la salle en U situation n°1

Sans professeur, il est difficile d'interpréter le résultats. On pourrait penser qu'il s'agit d'une convergence très lente à un seul faisceau (largeur du faisceau supérieure à 0,5 au bout de 300 itérations) mais aussi des clusters dont les faisceaux sont superposés les uns aux autres et donc difficiles à séparer.

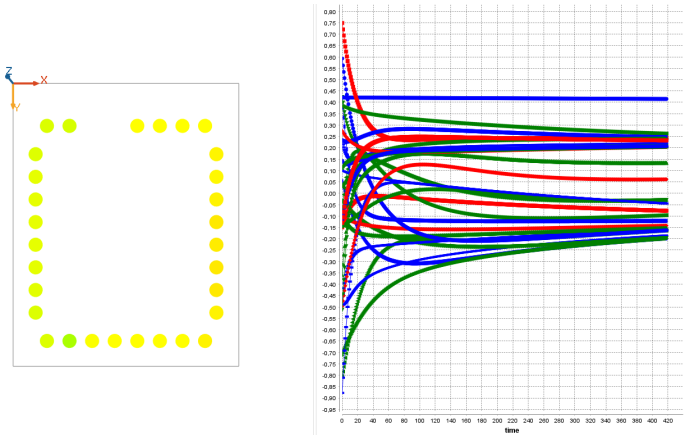


FIGURE 40 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées sans professeur pour la situation n°1

Avec professeur, on observe la formation d'un faisceau et certains élèves semblent isolés émotionnellement. Ceci s'explique par le fait que nous avons pris pour le professeur une distance limite d'interaction qui sera en dessous de la distance à laquelle il se trouve des élèves du fond de la salle. De plus, comme nous avons formé une classe en U simple, chaque personne ne peut transmettre et être influencé que par ses voisins. Cela est assez éloigné de la réalité puisque nous pouvons témoigner que les classes en U tiennent leur intérêt du fait de pouvoir voir tout le monde. Cela n'est pas pris en compte dans notre modélisation de la distance, mais cela est cohérent avec le modèle implémenté.
La convergence pour les élèves convergents est un peu plus rapide (largeur du faisceau supérieure à 0,35 au bout de 300 itérations).

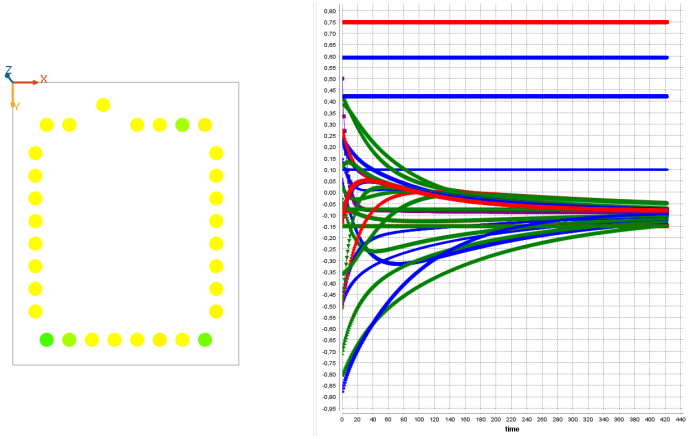


FIGURE 41 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées avec professeur pour la situation n°1

Situation n°2

Pour un autre tirage des canaux et des niveaux de motivation, on fait les mêmes observations. On pourra retrouver en annexe 8.2 les résultats pour ce deuxième tirage. Celui-ci nous permet de constater qu'avec professeur pour la classe en îlot et avec ou sans pour les deux autre classes, les convergence seront encore plus rapides si les motivations de base sont « mieux réparties » autour de 0 et si les valeurs des canaux permettent de faire que la transmission entre des voisins soit efficace. Concernant la classe en U, on observe qu'avec un professeur, des faisceaux différents se forment et on a toujours des agents émotionnellement isolés. En dehors de ces points de divergences, les interprétations sur les points principaux d'analyse de la convergence restent identiques.

Synthèse Nous proposons le tableau suivant pour résumer les résultats sur la convergence :

Classe considérée	Résultats hypothétiques	Résultats simulation	Améliorations possibles du modèle
Rangées sans professeur	Convergence rapide de toute la classe vers une même valeur finale	en accord avec hypothèse	
Rangées avec professeur	Convergence encore plus rapide vers une seule valeur	en accord avec hypothèse	
Ilots sans professeur	Formation de cluster	En accord	
Ilots avec professeur	Formation de clusters puis convergence des clusters vers une même limite	En accord, convergence très lente	
U sans professeur	Convergence vers une seule valeur	Convergence très lente	Faire une classe en « double U » pour que les agents soient plus proches et donc interagissent mieux ou prise en compte de la distance autrement que par rayon maximal dinteraction
U avec professeur	Convergence plus rapide que sans professeur vers une seule valeur	sortes de cluster et agents semblent émotionnellement isolés. Agents du fond de la salle non influencés par le professeur car au delà de la limite d'interaction du professeur.	Augmenter distance d'interaction du professeur ou mêmes solutions qu'au dessus voire ajuster les valeurs des δ_i et/ou des η_j selon les rôles « professeur » ou « élève » pour favoriser ou non l'influence

TABLE 4 – Synthèse des résultats sur la convergence

5.4.2 Influence d'un groupe de personne au niveau de motivation extrême

Nous allons comparer les influences d'un groupe très peu motivé sur le niveau de motivation de la classe en fonction de la disposition de la salle

1. Classe en rangées

Pour la classe en rangées, les élèves de mauvaise humeur sont disposés au fond de la salle car il s'agit là de la situation la plus probable : on suppose que des élèves peu motivés et donc qui ne cherchent pas à être attentifs au cours vont avoir tendance à se placer au fond de la salle.

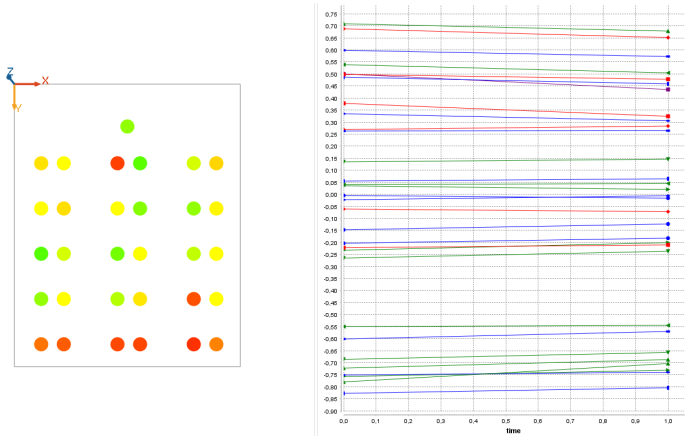


FIGURE 42 – Répartition des humeurs avec un groupe très démotivé dans une classe en rangées

On remarque que sans prendre en considération l'impact du professeur mais seulement des élèves entre eux, pour cette situation (niveaux de motivations initiaux et valeurs des canaux), on a une limite de convergence à -0,05 ± 0,03.

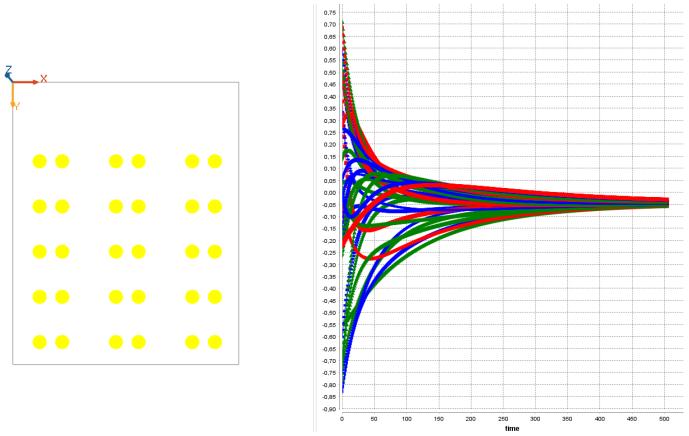


FIGURE 43 – Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en rangées, sans considérer l'impact du professeur

En prenant en compte l'influence du professeur avec un niveau de motivation à 0,5, on a une limite de convergence à -0,0125 ± 0.0125.

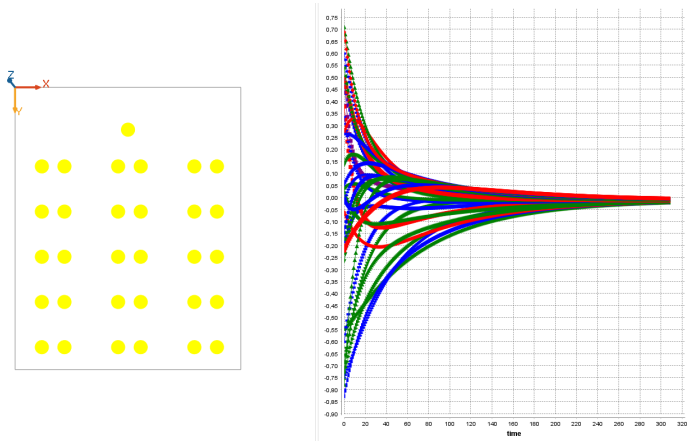


FIGURE 44 – Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en rangées avec professeur

2. Classe en îlots

De la même manière que pour la classe en rangées, dans la classe en îlots, les élèves avec une mauvaise motivation sont disposés sur le même îlot au fond de la salle.

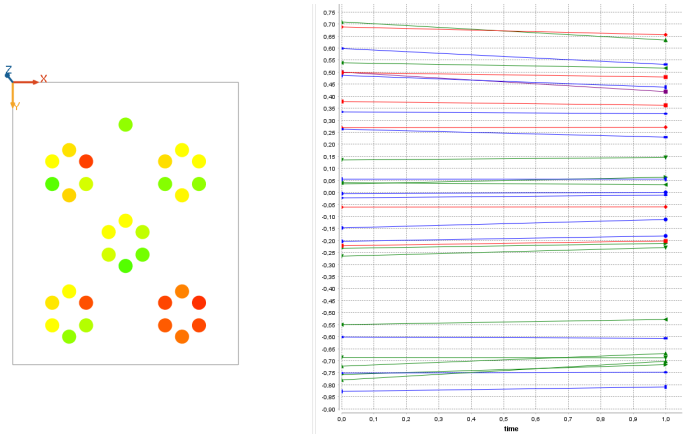


FIGURE 45 – Répartition des humeurs avec un groupe très démotivé dans une classe en îlots

On remarque que sans prendre en considération l'impact du professeur mais seulement des élèves entre eux, pour cette situation, on a des clusters qui se forment avec, comme attendu, l'îlot du fond de la classe du groupe peu motivé qui n'influence pas les autres mais n'est pas tiré vers le haut non plus.

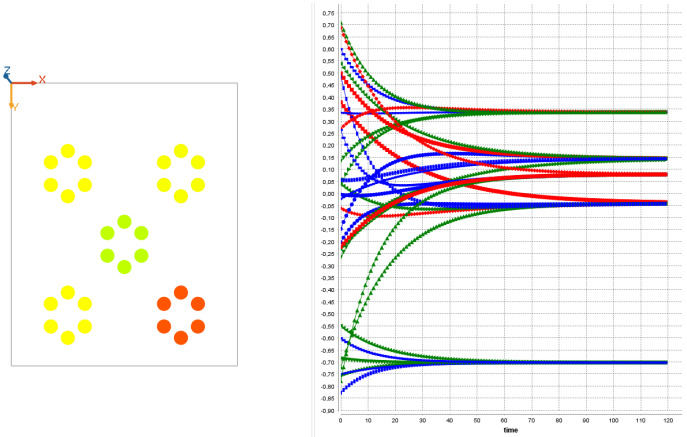


FIGURE 46 – Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en îlots, sans considérer l'impact du professeur

En prenant en compte l'influence du professeur avec un niveau de motivation à 0,5, on a une limite de convergence à -0,1 ± 0,025.

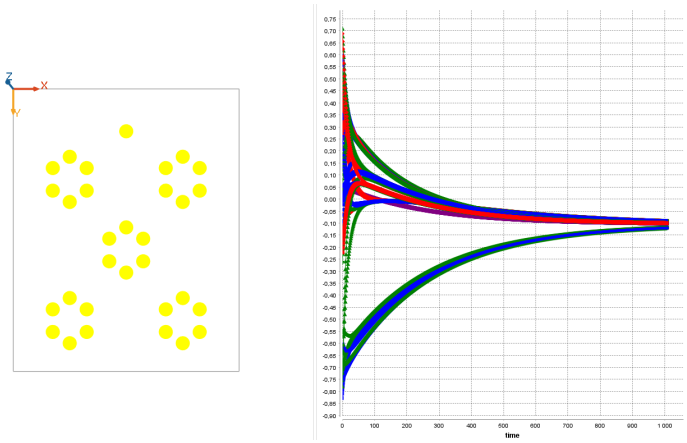


FIGURE 47 – Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en îlots avec professeur

3. Classe en U

Pour la classe en U, les élèves avec une mauvaise motivation sont disposés sur une arête du U.

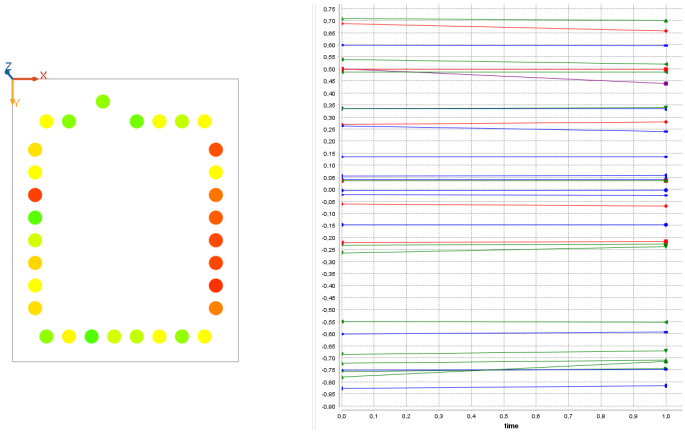


FIGURE 48 – Répartition des humeurs avec un groupe très démotivé dans une classe en U

On remarque que sans prendre en considération l'impact du professeur mais seulement des élèves entre eux, pour cette situation, le faisceau est très large et donc peu interprétable, mais il est centré sur +0,1.

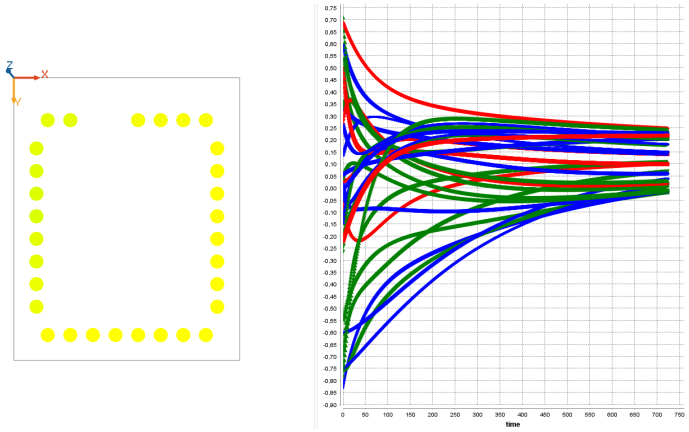


FIGURE 49 – Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en U, sans considérer l'impact du professeur

En prenant en compte l'influence du professeur, le résultat n'est pas interprétable.

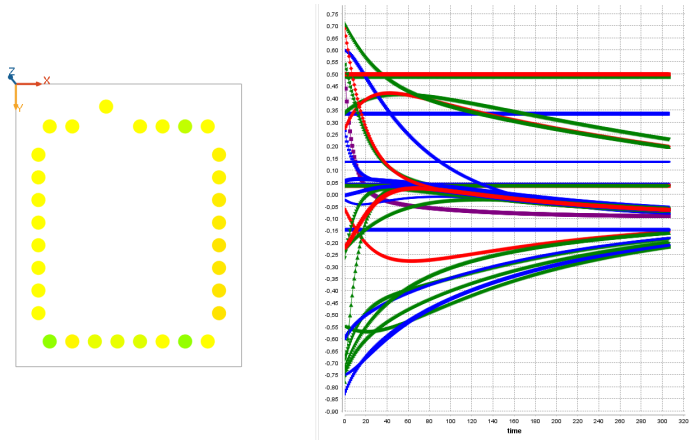


FIGURE 50 – Résultat de l'influence d'un groupe très démotivé dans une classe en U avec professeur

On va donc analyser les scénarii avec professeur de cette situation. Nous n'allons pas traiter la classe en U pour ce cas mais nous comparons la classe en rangées et celle en îlots. La classe en rangées offre un meilleur résultat de limite de convergence que la salle en îlots. De plus, la convergence pour la classe en rangées est plus rapide puisque la convergence de proche en proche est possible pour les rangées lorsqu'elle n'est pas permise par notre modèle dans le cas des îlots. Cela a pour effet d'accentuer l'influence du groupe de mauvaise humeur sur cette instance de test et

diminue la vitesse de convergence par rapport à la salle en rangées. Et comme le cours est de durée limitée, il est pertinent d'étudier l'état de la classe à des instants peu avancés dans le temps. La classe en rangées permet plutôt de « moyenner » rapidement la classe c'est-à-dire de faire en sorte que toute la classe soit au dessus d'un seuil fixé rapidement pour remonter les plus basses motivations. La classe en îlots laisse plus longtemps les groupes de mauvaises motivations initiales avec une mauvaise motivation mais permet que les personnes réellement motivées le restent plus longtemps. Que ce soit pour les classes en îlots ou en rangées, on observe dans les deux cas des phénomènes où des personnes peu ou pas du tout motivées sont « tirées vers le haut » par des personnes voisines, ce qui est un point que l'on considère comme souhaitable. De même, dans les deux cas, des personnes très motivées perdent leur motivation au contact d'autres personnes moins motivées. On pourrait par ailleurs réfléchir à une mesure pour comparer l'influence réelle de ces deux phénomènes dans les différentes salles de classe. On remarque par ailleurs que la vitesse de convergence de l'îlot constitué d'élèves très peu motivés vers les autres est lié à l'influence du professeur : en augmentant l'influence du professeur (avec les valeurs du canal ou des δ_i et η_j), le groupe peu motivé serait beaucoup plus rapidement motivé, mais cela serait également le cas pour la classe en rangées. Il s'agirait ici de réussir à mesurer l'influence des paramètres liées à l'influence du professeur sur la classe ce qui pourra être l'objet d'une réflexion future.

5.4.3 Influence d'un professeur au niveau de motivation extrême

Nous comparons à présent le comportement de la simulation avec un professeur à un niveau de motivation de -1, de 0 et de 1 pour des valeurs initiales des motivations des élèves et des canaux fixés pour analyser l'influence de la motivation du professeur. Pour toutes les classes, la motivation des élèves est fixée ainsi que les valeurs de canaux pour les élèves et le professeur, seule la disposition des élèves dans la salle et la motivation initiale du professeur changent.

Situation n° 1

1. Classe en rangées

Pour la situation n°1, la répartition des élèves dans la salle est fixée tel qu'on peut le voir sur la figure suivante. Il s'agit sur l'image du test pour le professeur de motivation initiale moyenne.

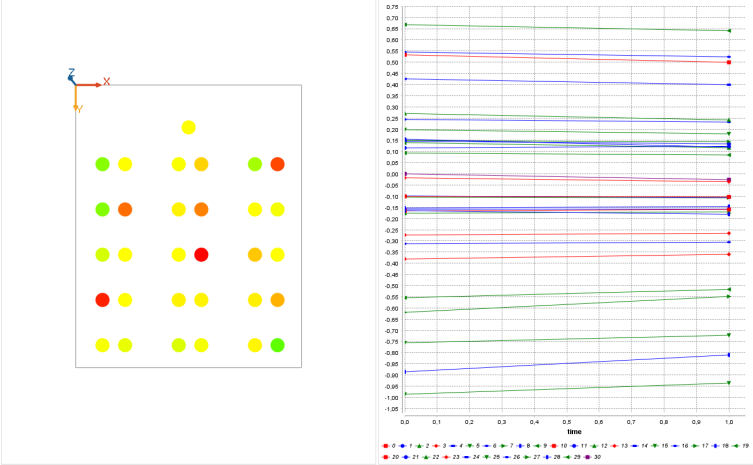


FIGURE 51 – Répartition des humeurs de base en rangées pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°1

Avec un professeur extrêmement motivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de -0,025 ± 0,023.

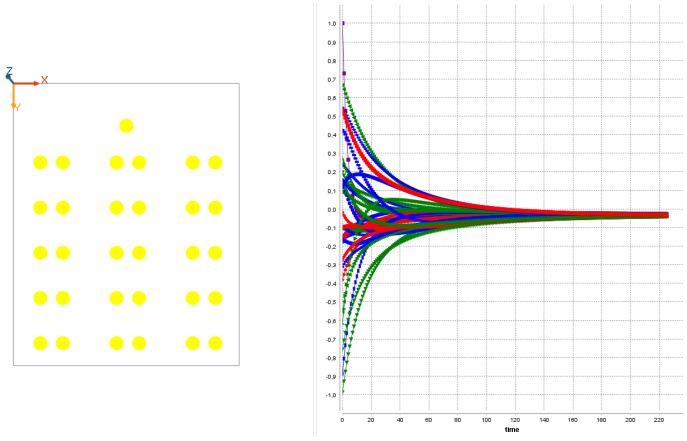


FIGURE 52 – Résultats de la classe en rangées avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1

Avec un professeur moyennement motivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de -0,0675 ± 0,0125.

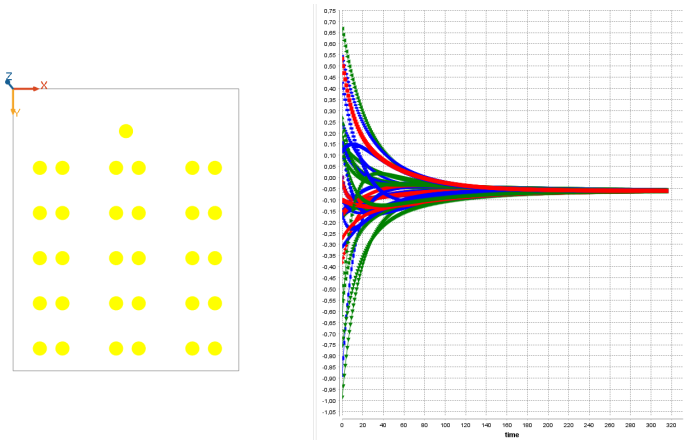


FIGURE 53 – Résultats de la classe en rangées avec un professeur neutre au départ, situation n°1

Avec un professeur extrêmement démotivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de -0,0875 ± 0,0130.

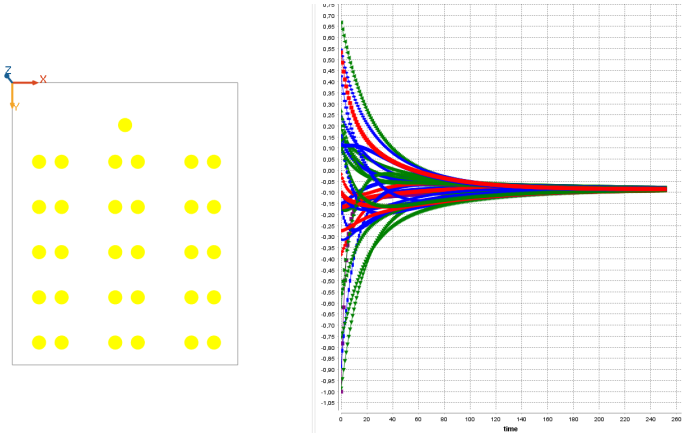


FIGURE 54 – Résultats de la classe en rangées avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1

Nous observons donc une très faible différence pour la classe en rangées selon si le professeur est motivé ou non au départ. Nous voyons que cela est dû au fait que le professeur est « très influencé » par la classe.

On voit en effet que dès 15 itérations, pour le cas où le professeur a une motivation maximale au début du cours (q_i=1 à $t = 0$), il est déjà descendu à environ -0,05.

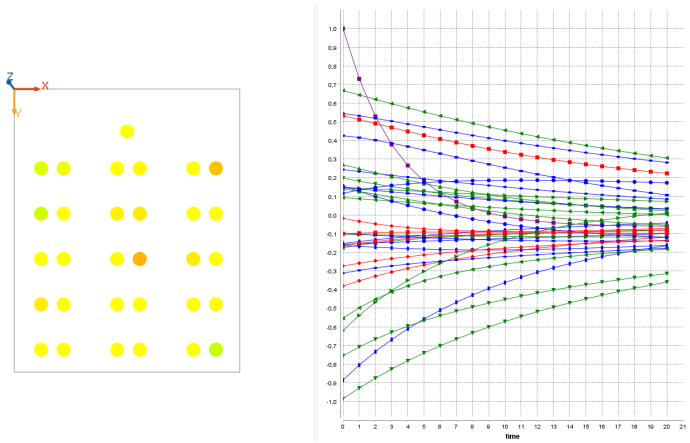


FIGURE 55 – Résultats intermédiaires de la classe en rangées avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1

En comparaison, pour le cas où le professeur commence le cours totalement démotivé (q_i=-1 à $t = 0$), sa motivation est remontée à environ -0,15 au bout de 15 itérations.

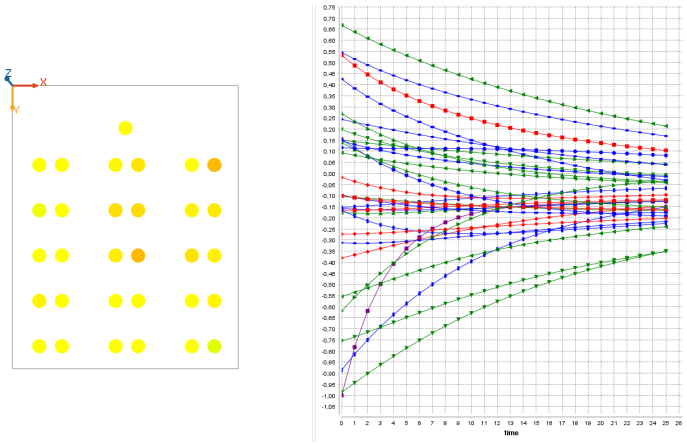


FIGURE 56 – Résultats intermédiaires de la classe en rangées avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1

Comme nous n'avons pas fixé le nombre d'interactions que l'on considère comme étant adéquat pour représenter une salle de classe, il est intéressant de se placer également aux premières itérations de la simulation. Par exemple, pour cette situation, avec un professeur d'extrêmement mauvaise humeur au départ, au bout de 7 interations toutes les humeurs arrivent en dessous de 0,5 de motivation alors qu'avec un porfesseur de bonne humeur, on n'arrive en dessous de 0,5 qu'à partir de 8 interactions. Nous rappelons ici que les valeurs en elles-même ne sont pas à retenir car elles dépendent des paramètres fixés mais il s'agit de la tendance qu'il est intéressant de garder : on voit donc ici une très légère différence au niveau global.

2. Classe en îlots

Pour la situation n°1, la répartition des élèves dans la salle est fixée tel qu'on peut le voir sur la figure suivante. Il s'agit sur l'image du test pour le professeur de motivation initiale moyenne.

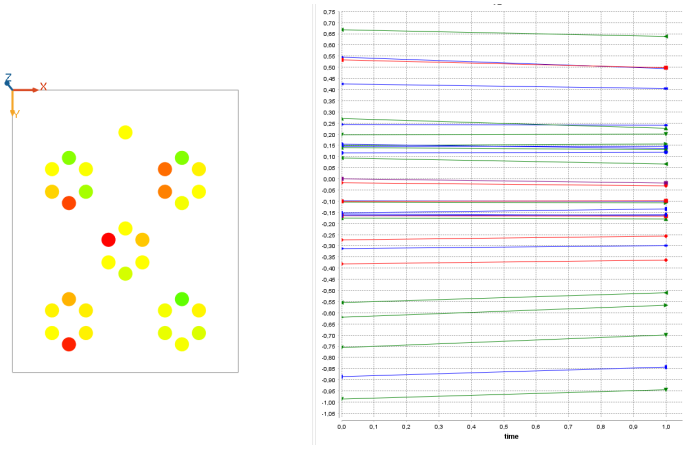


FIGURE 57 – Répartition des humeurs de base en îlots pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°1

Avec un professeur extrêmement motivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de -0,025 ± 0,025.

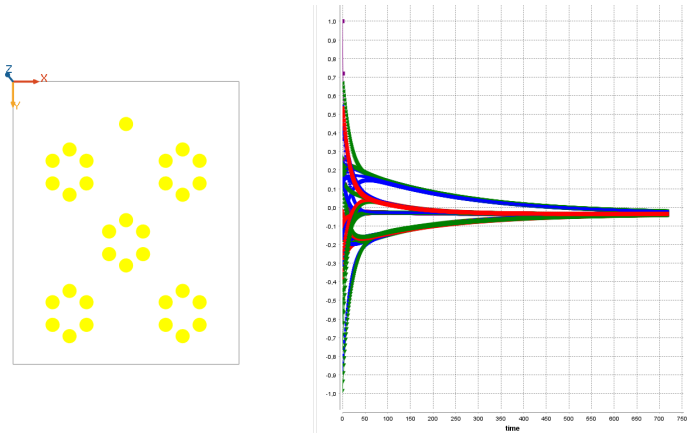


FIGURE 58 – Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1

Avec un professeur moyennement motivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de -0,0625 ± 0,0125.

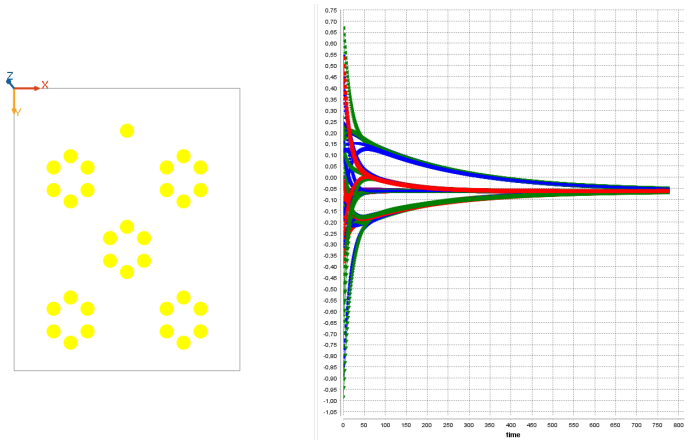


FIGURE 59 – Résultats de la classe en îlots avec un professeur neutre au départ, situation n°1

Avec un professeur extrêmement démotivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de -0,0875 ± 0,0125.

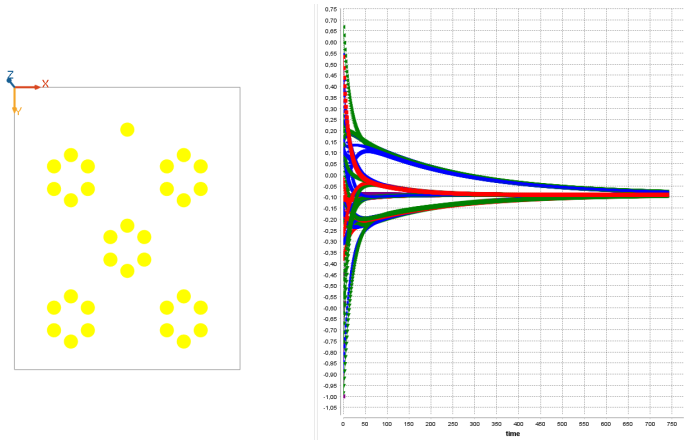


FIGURE 60 – Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1

Nous observons donc cette fois encore une très faible différence (moins de 0,07) pour une classe donnée selon si le professeur est de bonne humeur ou non au départ. Nous voyons que cela est dû au fait que le professeur est « très influencé » par la salle en îlots également.

On voit en effet que dès 15 itérations, pour le cas où le professeur a une motivation maximale au début du cours (q_i=1 à $t = 0$), il est déjà descendu à environ -0,03, ce qui est presque la même valeur que pour la classe en rangées.

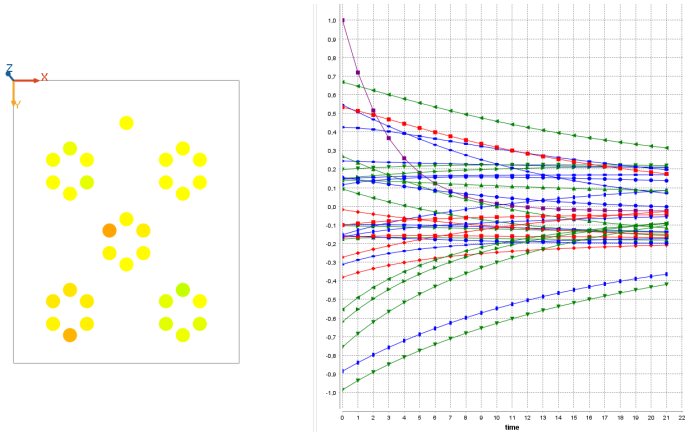


FIGURE 61 – Résultats intermédiaires de la classe en îlots avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1

En comparaison, pour le cas où le professeur commence le cours totalement démotivé (q_i=-1 à $t = 0$), sa motivation est remontée à environ -0,15 au bout de 15 itérations ce qui est donc la même chose que pour la classe en rangées.

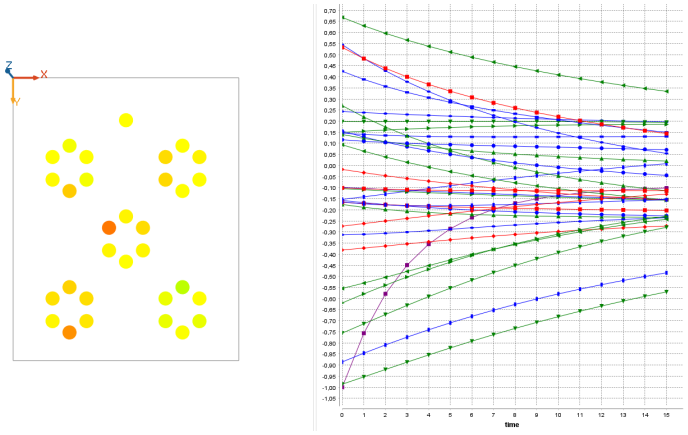


FIGURE 62 – Résultats intermédiaires de la classe en îlots avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1

3. Classe en U Pour la situation n°1, la répartition des élèves dans la salle est fixée tel qu'on peut le voir sur la figure suivante. Il s'agit du test pour le professeur de motivation initiale maximale.

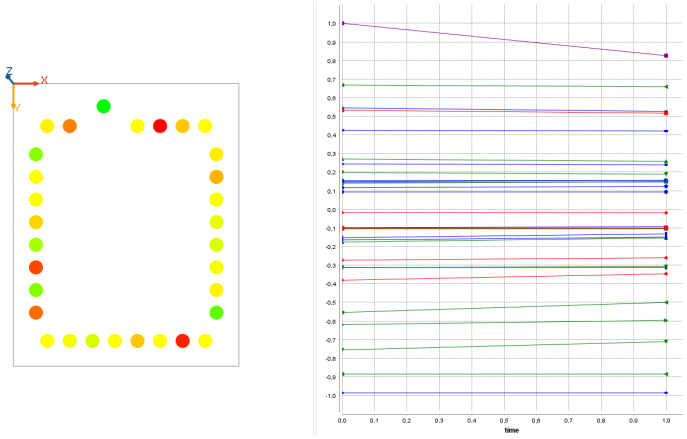


FIGURE 63 – Répartition des humeurs de base en U pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°1

Les résultats sont difficiles à analyser de visu pour la classe en U. De plus, dans les trois cas (motivation du professeur à -1, 0 ou 1), les valeurs des motivations des élèves aux émotions constantes sont les mêmes. Nous pouvons étudier le faisceau « principal » dont la valeur de convergence finale est de 0,05 pour le scénario avec le professeur très motivé au départ.

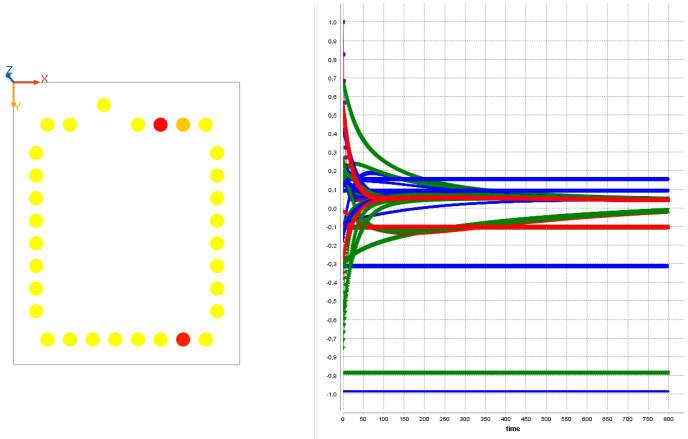


FIGURE 64 – Résultats de la classe en U avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1

Le même faisceau est à environ 0 pour le cas où le professeur est moyennement motivé.

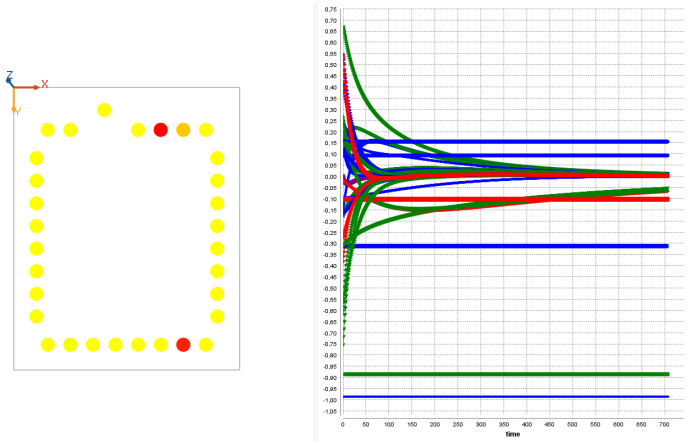


FIGURE 65 – Résultats de la classe en U avec un professeur neutre au départ, situation n°1

Lorsque le professeur est extrêmement démotivé, le même faisceau est à environ -0,05.

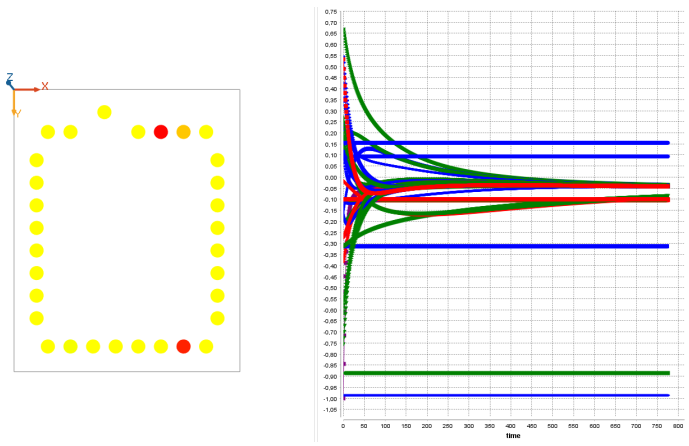


FIGURE 66 – Résultats de la classe en U avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1

Nous observons donc cette fois encore une très faible différence (0,1) pour une classe donnée selon si le professeur est de bonne humeur ou non au départ. Nous voyons que cela est dû au fait que le professeur est influencé par les élèves.

On voit en effet que dès 20 itérations, pour le cas où le professeur a une motivation maximale au début du cours (q_i=1 à $t = 0$), il est déjà descendu à environ -0,05, ce qui est presque la même valeur que pour la classe en rangées.

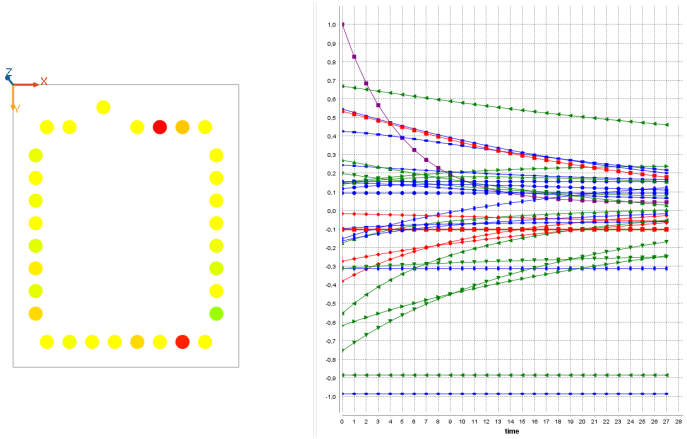


FIGURE 67 – Résultats intermédiaires de la classe en U avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°1

En comparaison, pour le cas où le professeur commence le cours totalement démotivé (q_i=-1 à $t = 0$), sa motivation est remontée à environ -0,05 au bout de 20 itérations ce qui est donc la même chose qu'avec un professeur très motivé au départ.

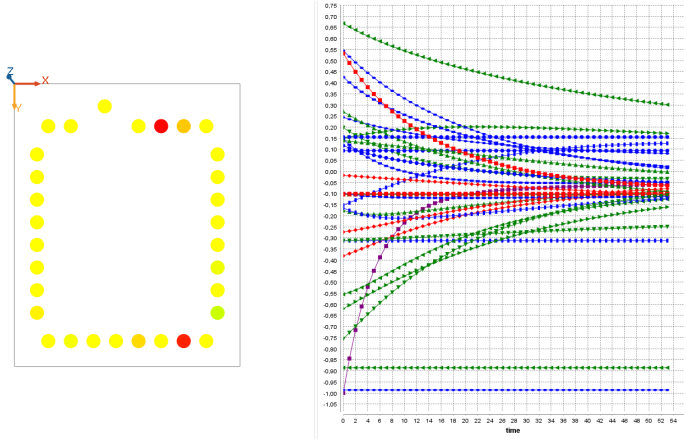


FIGURE 68 – Résultats intermédiaires de la classe en U avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°1

En revanche, il semble qu'avec la classe en U le professeur est influencé moins rapidement qu'avec les classes en rangées et en îlots, ce qui peut être seulement dû au fait que la convergence est très lente globalement pour la classe en U et que l'influence des agents est donc moins importante.

Ainsi, nous avons pu comparer avec le type de classe fixé les résultats du modèle entre les différentes motivations initiales du professeur : nous avons vu que les différences semblaient minimes. Une comparaison à motivation initiale du professeur fixée, entre les différents types de classe, est également possible. Il est premièrement difficile de comparer les résultats de la classe en U avec les autres car la motivation ne converge pas réellement pour la classe en U, mais nous pouvons comparer les classes en rangées et en îlots, les deux avec professeur. En l'occurence, les valeurs sont sensiblement les mêmes comme relevé ci-dessus. D'autre part, on remarque que nous avons effectué les comparaisons pour cette partie en donnant une émotion de base au professeur mais nous n'avons pas traité le cas où le professeur « surjoue » l'enthousiasme, ce qui serait pertinent à étudier et à ajouter au modèle. Ceci demanderait d'implémenter la possibilité de rester au dessus d'une certaine émotion « en se forçant ».

Situation n°2

Pour un autre tirage des canaux et des niveaux de motivation, on fait les mêmes observation. On pourra retrouver en annexe 8.3 les résultats pour ce deuxième tirage. Nous observons peu de différences avec les résultats obtenu pour la situation n°1, et les interprétations restent identiques.

5.4.4 Discussion sur la durée de l'expérimentation et le reproductibilité des conclusions

Nous pouvons constater que sur les expériences réalisées les comportement en l'infini des salles ne permettent pas de conclure sur l'influence d'un groupe extrêmement démotivé ou d'un professeur à la motivation initiale extrême. Cela peut par exemple être remis en cause par le fait que nous prenons un temps d'expérience très long, et donc un nombre d'interactions très grand, pour une période de temps qui, dans la réalité serait bien plus courte. En effet, nous si nous voulons considérer que nous pouvons faire une hypothèse d'absence d'évènements extérieurs, il serait pertinent de prendre un temps très court d'expérimentation. En revanche, il semble pertinent de vouloir étudier le comportement limite du modèle, et donc un grand nombre d'itérations afin de conclure par exemple sur l'adéquation d'une disposition de classe ou d'une autre avec le but visé. Dans ce cas il faudrait ajouter un module à notre modèle permettant la survenue d'éléments extérieurs impactant en temps réel la motivation des agents. D'autre part, un travail majeur qui restera à être exploré sur ce travail sera l'étude de la reproductibilité de l'expérience. En effet, nous avons cherché à tirer des conclusions sur chaque critère que nous souhaitions étudier (convergence, influence d'un groupe au niveau de motivation initial extrême et influence d'un enseignant au niveau de motivation initial extrême) mais nous ne l'avons fait que sur un à deux tirages. Il serait pertinent d'étudier si les résultats seraient similaires sur tous les tirages possibles. Par exemple, on pourrait effectuer un très grand nombre de simulations pour comparer les résultats et tirer des conclusions potentiellement plus repésentatives. Le code source accessible en annexe 8.4 pourrait permettre de réaliser un plus grand nombre de simulations.

6 Conclusion

Notre projet avait deux objectifs principaux qui étaient d'étudier, d'implémenter et d'étendre le modèle ASCRIBE de propagation émotionnelle, puis de le mettre en pratique sur un cas d'application concret : la transmission de la motivation dans la salle de classe.

Ces deux objectifs ont été remplis. Suite à un travail de recherche bibliographique qui nous a permis de cerner quelles parties du modèle étaient pertinentes pour notre problématique, nous avons non seulement pu implémenter le modèle ASCRIBE avec succès, mais nous avons également pu y ajouter une gestion de la distance physique entre les agents. Des résultats préliminaires simples effectués en 5.3.7 nous ont permis de vérifier la cohérence de notre simulation avec l'analyse mathématique que nous avons réalisé en parallèle.

Nous avons également implémenté une salle de classe sur notre plateforme de simulations afin de tester différents scénarii, détaillée en 5.4.1, ce qui nous a permis d'analyser l'influence de la disposition des élèves et de la motivation du professeur sur la transmission de la motivation dans le reste de la classe.

Les résultats liés à la convergence du modèle sont cohérents avec ceux attendus pour une classe en rangée ou une classe en îlots ; cependant, il faudrait apporter des améliorations pour la classe en U. De plus, l'analyse des modèles demanderait à être approfondie. En effet, il s'agirait de trouver des critères de mesure et d'évaluation de l'impact d'un groupe très peu motivé ou du comportement du professeur que nous avons seulement analysé de manière superficielle pour ce projet. D'autre part, d'autres comparaisons pourraient être menées pour étudier des points particuliers du modèle et les tests ont été effectués sur un petit nombre d'instances mais il serait pertinent d'étudier en profondeur la reproductibilité de l'expérience.

Ces premières recherches nous ont également permis d'identifier plusieurs axes de travail afin d'approfondir le modèle. Nous pourrions par exemple modéliser un cône de convergence très profond pour simuler la vision, et y ajouter une probabilité qu'un élève se retourne. Par ailleurs, le modèle pourrait être développé en ajoutant la possibilité de prendre en compte en temps réel des stimuli extérieurs impactant la motivation des agents. Enfin, afin de s'approcher au mieux de la réalité, il serait également possible d'effectuer des sondages dans des classes afin d'obtenir une distribution plus exacte de la motivation au début d'un cours.

7 Références bibliographiques

[1] M. Lhommet, D. Lourdeaux, and J.-P. Barthès, "De l'individu à la foule : un modèle informatique de contagion émotionnelle.," in *10e Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle*, pp. 949–962, 2011.

[2] G. Dezecache, "Les paradoxes de la peur panique," 2017.

[3] M. Moussaïd and G. Theraulaz, "Comment les piétons marchent dans la foule," *La recherche*, vol. 450, no. 56-59, p. 3, 2011.

[4] M. Lhommet, D. Lourdeaux, and J.-P. A. Barthès, "Foule sentimentale : influence des caractéristiques individuelles sur la contagion émotionnelle.," *Rev. d'Intelligence Artif.*, vol. 26, no. 3, pp. 281–308, 2012.

[5] G. Deffuant, S. Huet, and F. Amblard, "An individual-based model of innovation diffusion mixing social influence and rational anticipation," 01 2003.

[6] S. Ternes, F. Gargiulo, S. Huet, and G. Deffuant, "Double modelling of the dynamic of activities in rural municipalities," 12 2009.

[7] T. Bosse, R. Duell, Z. Memon, J. Treur, and N. van der Wal, "A multi-agent model for mutual absorption of emotions," 06 2009.

[8] M. Bourgais, *Vers des agents cognitifs, affectifs et sociaux dans la simulation*. PhD thesis, Normandie Université, 2018.

[9] "The GAML Editor - Generalities | GAMA Platform."

8 Annexes

8.1 Étude principe de hub de l'intermédiaire entre deux groupes

Si on ajoute un intermédiaire entre deux groupes d'humeurs opposées, le graphe est connexe et on peut prendre des paramètres tous identiques et la répartition d'humeur de départ telle que ci-dessous, avec l'agent intermédiaire ayant un niveau de motivation de base égal à la moyenne des deux groupes.

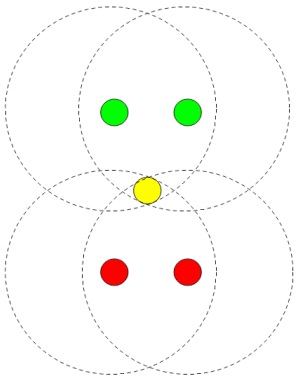


FIGURE 69 – Situation symétrique instant initial

Si on a des paramètres δ_i, η_j et α_{ij} tous identiques, le problème est symétrique et on aura au bout d'une où plusieurs itérations la situation transitoire où les valeurs de motivation commencent à se rapprocher de la moyenne des motivations initiales.

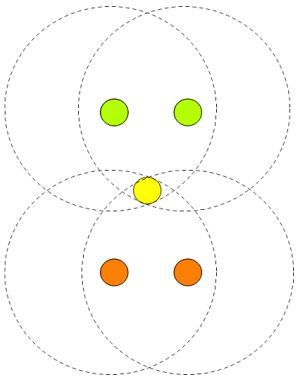


FIGURE 70 – Situation symétrique régime transitoire

Toujours en gardant les mêmes hypothèses, une fois le régime stationnaire atteint, nous aurons une conservation de la motivation générale telle que décrite en 5.3.4 et les motivations finales seront stables une fois arrivées à la moyenne des motivations de base.

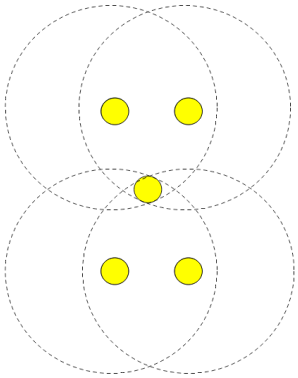


FIGURE 71 – Situation symétrique régime stationnaire

On aurait également pu prendre un agent intermédiaire ayant un niveau de motivation plus proche d'un groupe que de l'autre au départ

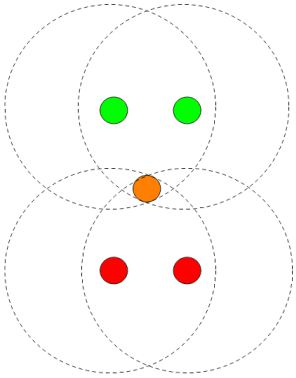


FIGURE 72 – Situation asymétrique mais paramètres égaux instant initial

Dans ce cas, toujours avec des paramètres δ_i, η_j et α_{ij} tous identiques, la limite de convergence aurait été différente.

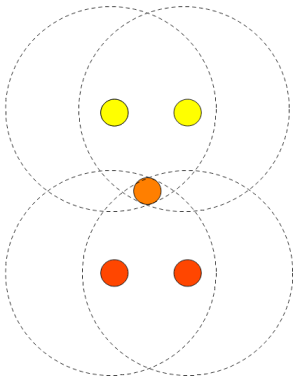


FIGURE 73 – Situation asymétrique mais paramètres égaux régime transitoire

On est toujours dans la situation où la conservation de la motivation générale a lieu, c'est donc l'intermédiaire qui donne la tendance finale puisqu'on ne change pas les motivations de base des autres agents.

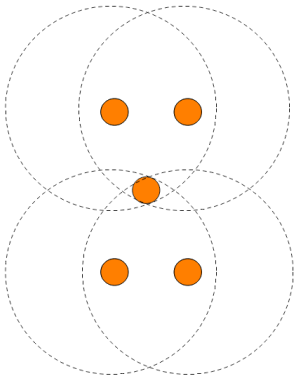


FIGURE 74 – Situation asymétrique mais paramètres égaux régime stationnaire

Dans les situations précédentes, les paramètres étaient tous les mêmes. Cependant, en fonction des valeurs des δ_i, η_j et α_{ij}, on pourrait voir que l'agent servant d'intermédiaire imposerait moins son influence aux deux groupes, mais reste une passerelle qui homogénéise les motivations des agents. Avec la même situation initiale que dans le dernier exemple, on pourrait avoir un régime transitoire différent selon les valeurs de paramètres δ_i, η_j et α_{ij}.

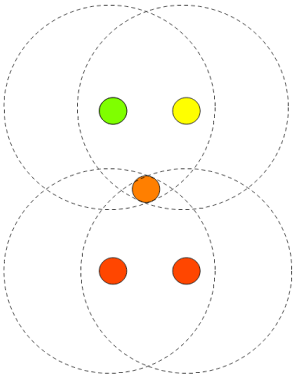


FIGURE 75 – Situation asymétrique avec des paramètres différents, régime transitoire

On voit que l'agent en haut à gauche influence plus qu'il n'est influencé. Comme nous l'avons vu, cela peut être dû à un δ_i faible relativement aux autres, à un η_i élevé relativement aux autres ou à des canaux asymétriques.

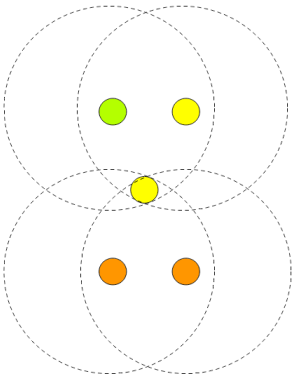


FIGURE 76 – Situation asymétrique avec des paramètres différents, régime transitoire

L'agent en haut à gauche a alors eu une plus grande contribution dans la valeur limite de convergence de la motivation.

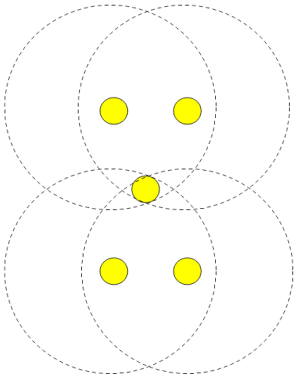


FIGURE 77 – Situation asymétrique avec des paramètres différents, régime stationnaire

8.2 Convergence

On effectue un nouveau tirage de niveaux de motivation et de canaux avec les mêmes distributions que dans 5.4.1. Ici, les remarques sont les mêmes qu'avec le premier tirage.

1. Classe en rangées

Avec les motivations de cette situation, la répartition dans la salle en rangées des élèves est la suivante :

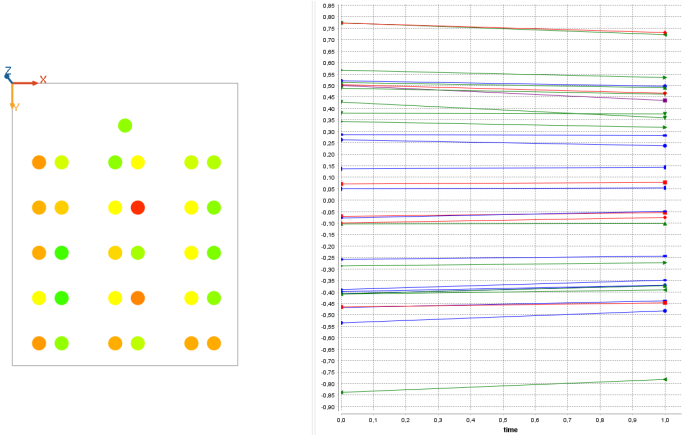


FIGURE 78 – Répartition des niveaux de motivation dans la salle en rangées situation n°2

Sans professeur, on observe que la convergence est « rapide » : on peut consi-

dérer que les élèves sont rassemblés en un seul faisceau dès le départ.

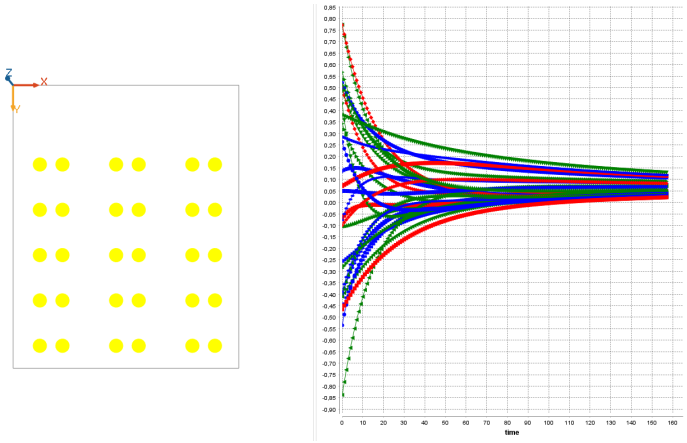


FIGURE 79 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées sans professeur pour la situation n°2

Avec un professeur (courbe violette) on observe que la convergence est légèrement plus rapide.

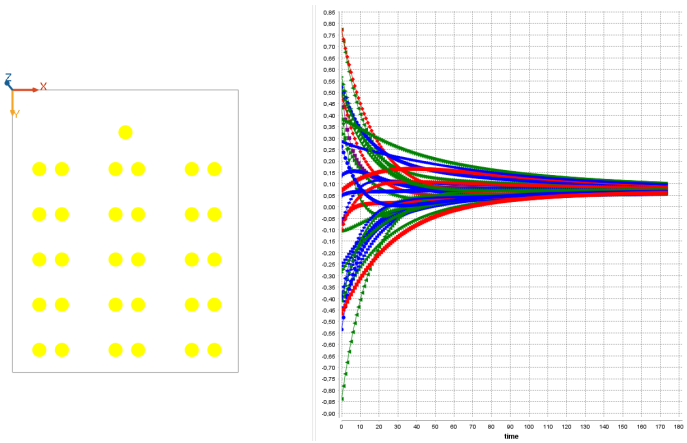


FIGURE 80 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en rangées avec professeur pour la situation n°2

2. Classe en îlots

Avec les motivations de cette situation, la répartition dans la salle en îlots des élèves est la suivante :

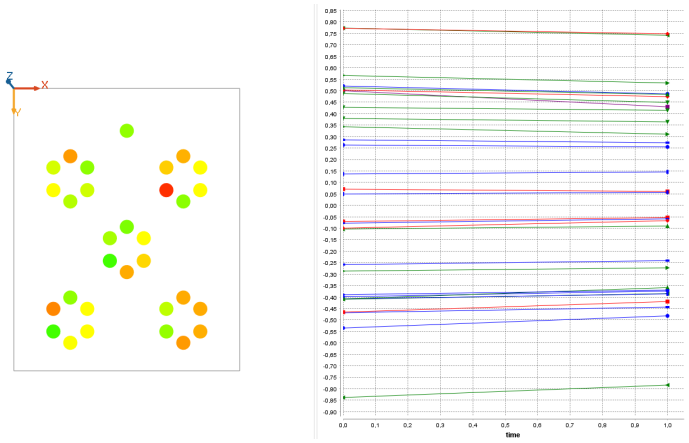


FIGURE 81 – Répartition des niveaux de motivation dans la salle en îlots situation n°2

Sans professeur, on observe la formation de clusters. La convergence à l'intérieur des clusters est beaucoup plus rapide que précédemment puisque les effectifs sont plus faibles.

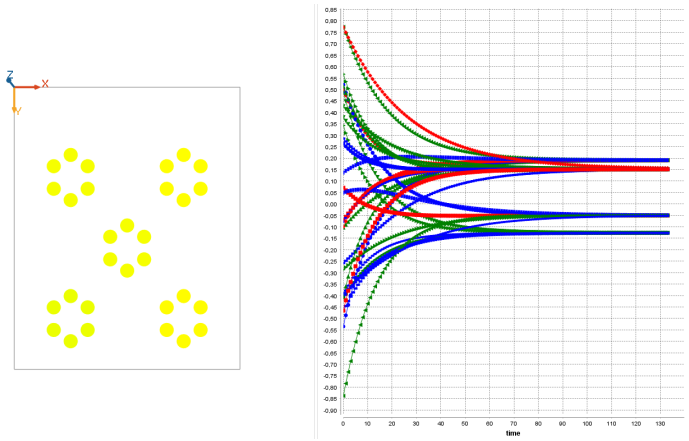


FIGURE 82 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en îlots sans professeur pour la situation n°2

Avec professeur, on observe la formation des clusters mais ces derniers finissent par converger les uns vers les autres mais cette convergence est très lente. Ceci s'explique par le fait que le professeur joue le rôle de hub puisqu'il interagit avec tous les élèves. Il s'agit ici du principe d'intermédiaire rendant le graphe connexe détaillé en 5.3.8 pour deux groupes non reliés.

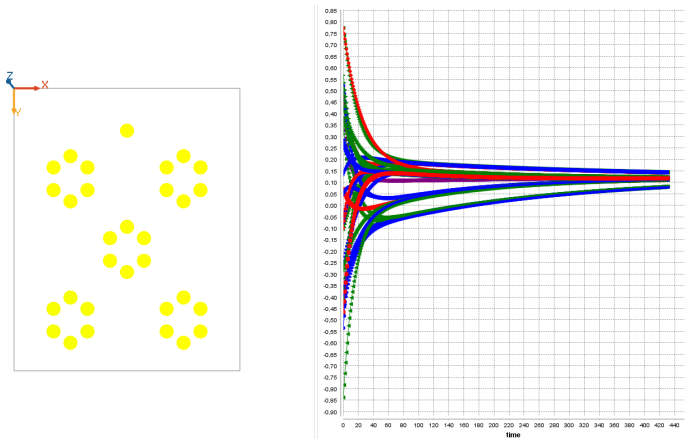


FIGURE 83 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en îlots avec professeur pour la situation n°2

3. Classe en U

Avec les motivations de cette situation, la répartition dans la salle en U des élèves est la suivante :

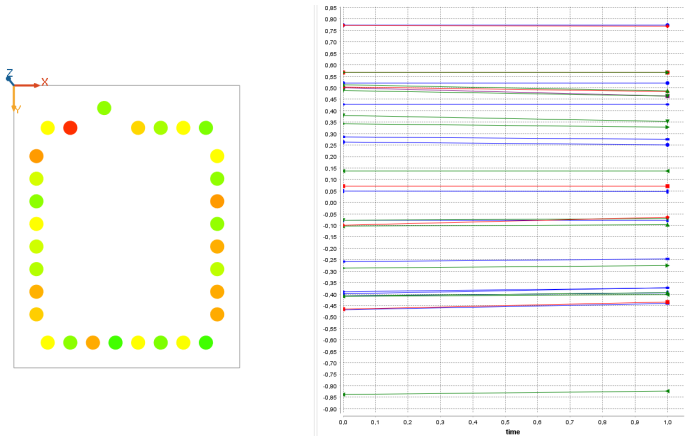


FIGURE 84 – Répartition des niveaux de motivation dans la salle en U situation n°2

Sans professeur, il est diffcile d'interpréter le résultats. On pourrait penser qu'il s'agit d'une convergence très lente à un seul faisceau mais aussi des clusters dont les faisceaux sont superposés les uns aux autres et donc difficiles à séparer.

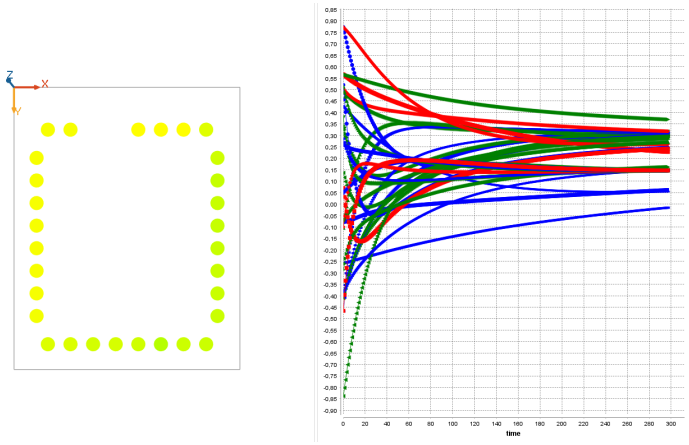


FIGURE 85 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en U sans professeur pour la situation n°2

Avec professeur, on observe la formation d'un faisceau et certains élèves semblent isolés émotionnellement. Ceci s'explique par le fait que nous avons pris pour le professeur une distance limite d'interaction qui sera en dessous de la distance à laquelle il se trouve des élèves du fond de la salle. De plus, comme nous avons formé une classe en U simple, chaque personne ne peut transmettre et être influencé que par ses voisins. Cela est assez éloigné de la réalité puisque nous pouvons témoigner que les classes en U tiennent leur intérêt du fait de pouvoir voir tout le monde. Cela n'est pas pris en compte dans notre modélisation de la distance, mais cela est cohérent avec le modèle implémenté.

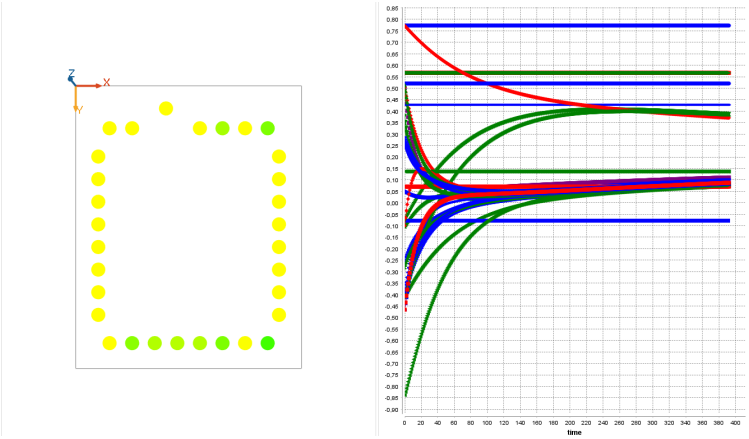


FIGURE 86 – Convergence des niveaux de motivation dans la salle en U avec professeur pour la situation n°2

8.3 Influence d'un professeur à l'humeur extrême

Nous comparons de nouveau le comportement de la simulation avec un professeur à un niveau de motivation de -1, de 0 et de 1 pour analyser l'influence. Pour toutes les classes, les répartitions des élèves avec leur motivation est donné en premier, seules les motivations du professeur changent. Les remarques sont les mêmes que celles faites en 5.4.2.

1. Classe en rangées
   Pour la situation n°2, la répartition des élèves dans la salle est fixée tel qu'on peut le voir sur la figure suivante. Il s'agit sur l'image du test pour le professeur de motivation initiale à 1.

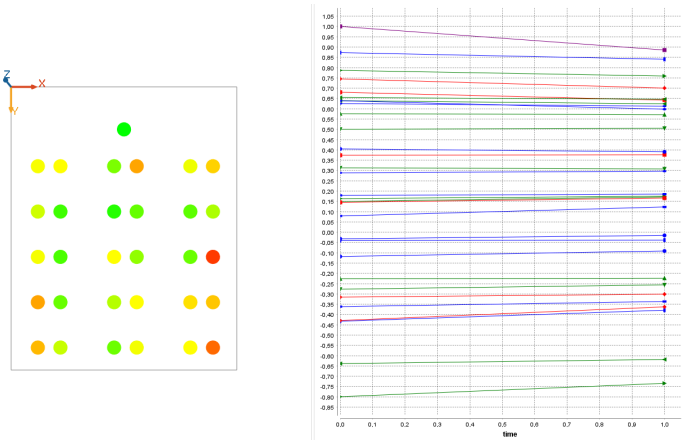


FIGURE 87 – Répartition des humeurs de base en rangées pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°2

Avec un professeur extrêmement motivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de 0,2375 ± 0,0125.

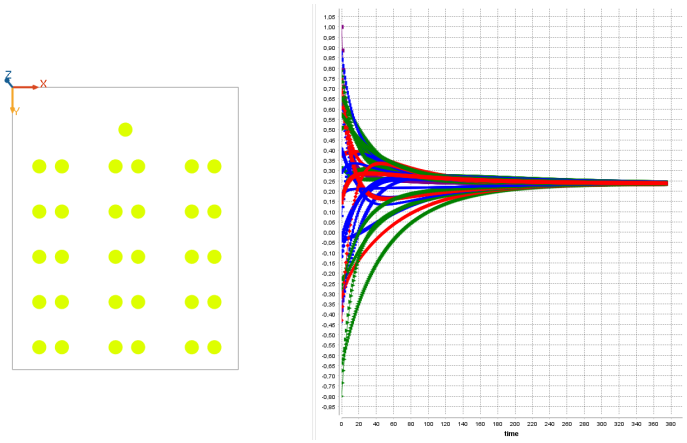


FIGURE 88 – Résultats de la classe en rangées avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°2

Avec un professeur moyennement motivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de 0,2 ± 0,0125.

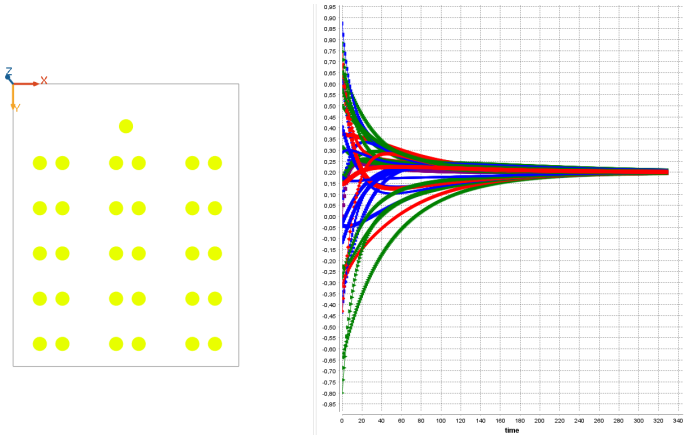


FIGURE 89 – Résultats de la classe en rangées avec un professeur neutre au départ, situation n°2

Avec un professeur extrêmement démotivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de 0,1625 ± 0,0125.

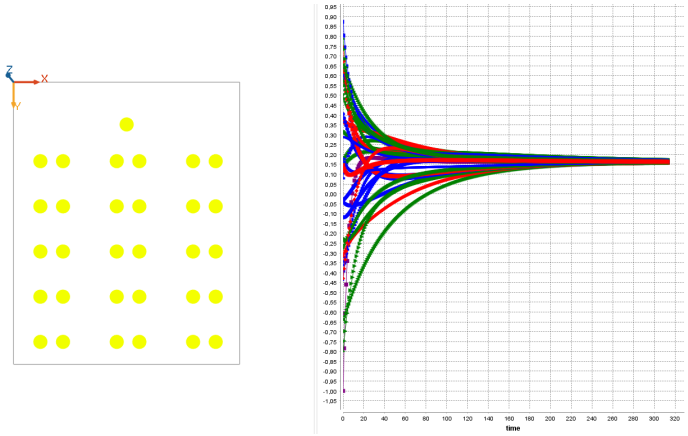


FIGURE 90 – Résultats de la classe en rangées avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°2

Nous observons donc cette fois encore une très faible différence (moins de 0,08 contre moins de 0,07 en 5.4.3) pour une classe donnée selon si le professeur est de bonne humeur ou non au départ. Nous voyons que cela est dû au fait que le professeur est « très influencé » par la salle en îlots également.

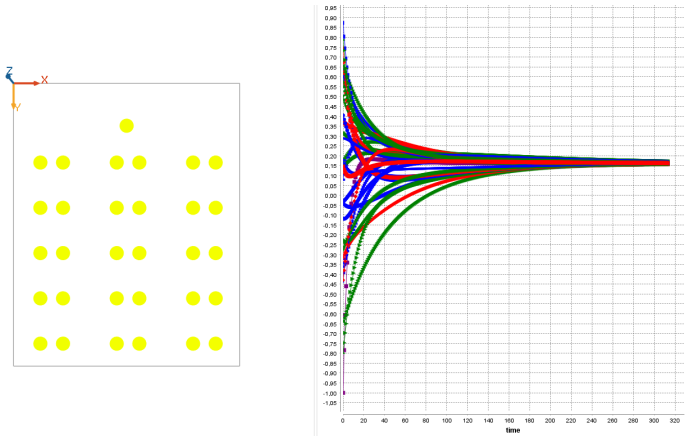


FIGURE 91 – Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°2

2. Classe en îlots
   Pour la situation n°2, la répartition des élèves dans la salle est fixée tel qu'on peut le voir sur la figure suivante. Il s'agit sur l'image du test pour le professeur de motivation initiale à 1.

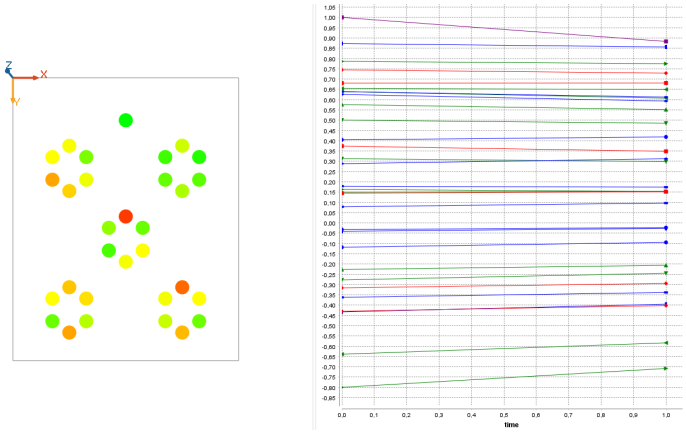


FIGURE 92 – Répartition des humeurs de base en îlots pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°2

Avec un professeur extrêmement motivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de 0,2 ± 0,025.

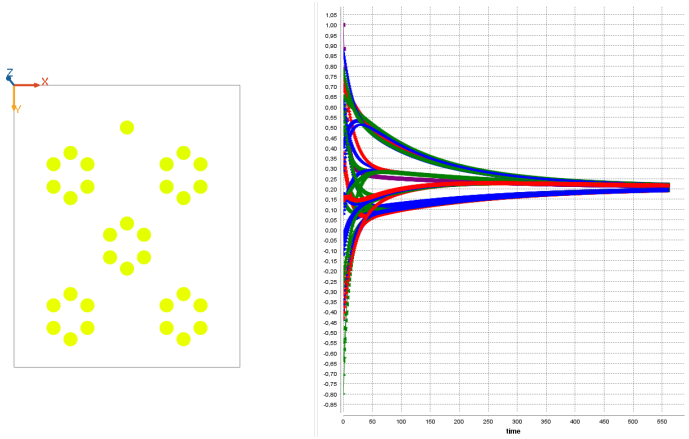


FIGURE 93 – Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°2

Avec un professeur moyennement motivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de 0,175 ± 0,025.

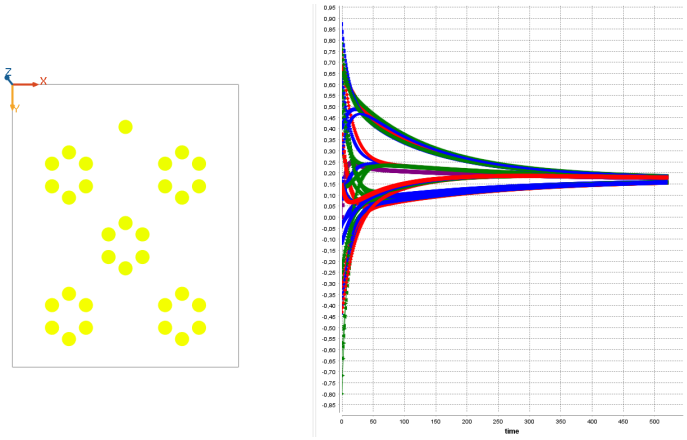


FIGURE 94 – Résultats de la classe en îlots avec un professeur neutre au départ, situation n°2

Avec un professeur extrêmement démotivé au départ, la limite de convergence du modèle dans cette situation est environ de 0,14 ± 0,02.

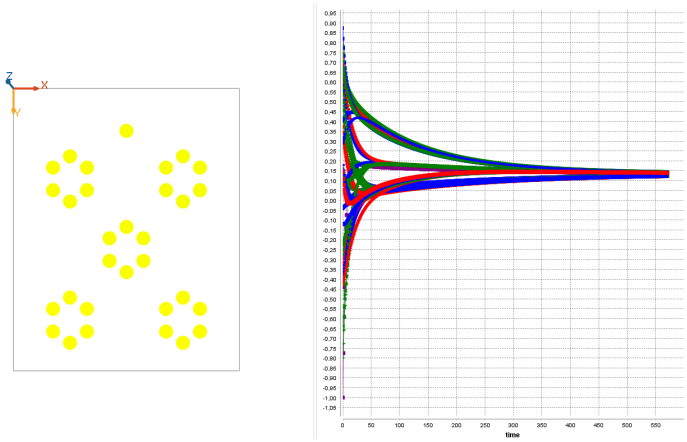


FIGURE 95 – Résultats de la classe en îlots avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°2

Nous observons donc cette fois encore une très faible différence (moins de 0,06 contre 0,07 pour la première situation) pour une classe donnée selon si le professeur est de bonne humeur ou non au départ.

3. Classe en U
   Pour la situation n°1, la répartition des élèves dans la salle est fixée tel qu'on peut le voir sur la figure suivante. Il s'agit sur l'image du test pour le professeur de motivation initiale à -1.

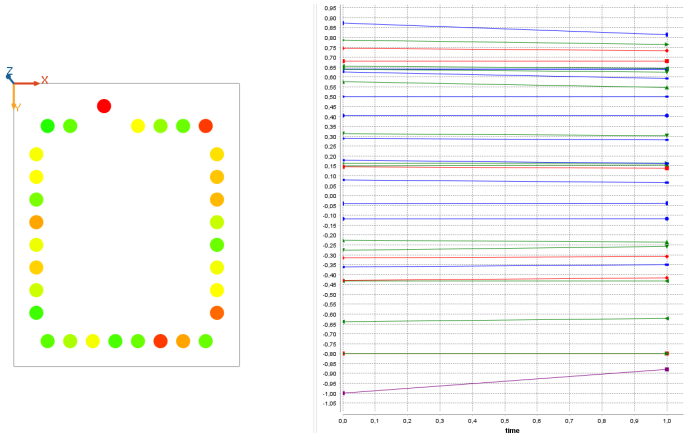


FIGURE 96 – Répartition des humeurs de base en U pour l'étude de l'influence du professeur, situation n°1

Les résultats sont difficiles à analyser de visu pour la classe en U. De plus, dans les trois cas (motivation du professeur à -1, 0 ou 1), les valeurs des motivations des élèves aux émotions constantes sont les mêmes. Nous pouvons étudier le faisceau « principal » dont la valeur de convergence finale est de 0,25± 0,025 pour le scénario avec le professeur très motivé au départ.

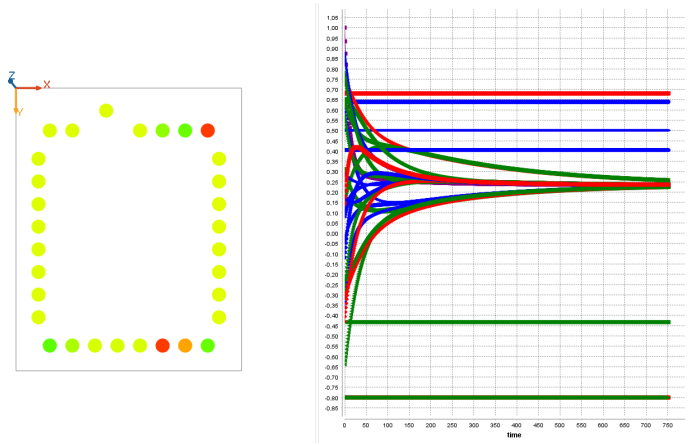


FIGURE 97 – Résultats de la classe en U avec un professeur extrêmement motivé au départ, situation n°2

Le même faisceau est à environ 0,175 ± 0,025 pour le cas où le professeur est moyennement motivé.

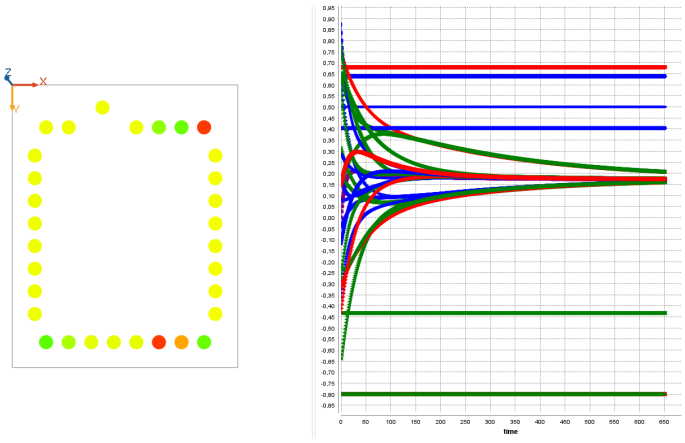


FIGURE 98 – Résultats de la classe en U avec un professeur neutre au départ, situation n°2

Lorsque le professeur est extrêmement démotivé, le même faisceau est à environ 0,10 ± 0,025.

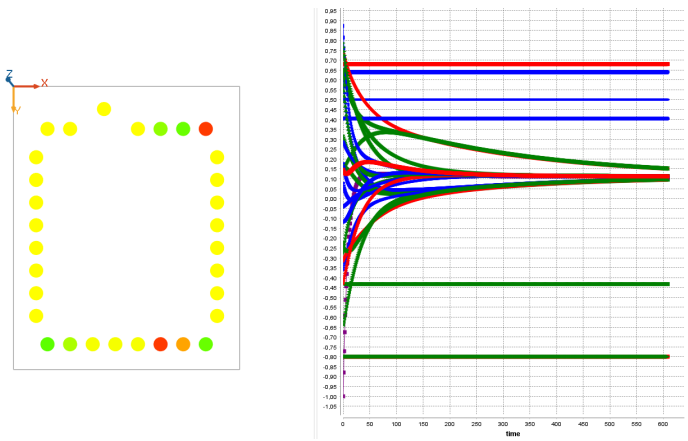


FIGURE 99 – Résultats de la classe en U avec un professeur extrêmement démotivé au départ, situation n°2

Nous observons donc cette fois encore une très faible différence (0,15) pour la classe en U selon si le professeur est de bonne humeur ou non au départ. Nous voyons que cela est dû au fait que le professeur est influencé par les élèves.

On arrive aux mêmes conclusions que dans la situation 1 en 5.4.3 concernant les comparaisons à classe fixée entre si le professeur est initialement de bonne humeur ou non. Il en est de même si en comparant à humeur fixée entre les salles de classe.

8.4 Code source

Cliquer ici ou copier ce lien https://gitlab.isima.fr/bin-me-avec-lisa/contagion-emotionnelle pour accéder au dépôt GitLab.