

ACADÉMIE DE MONTPELLIER

UNIVERSITÉ MONTPELLIER 2

— SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC —

MÉMOIRE DE MASTER INFORMATIQUE

Laboratoire d'Informatique de Robotique  
et de Micro-électronique de Montpellier

# Modélisation de l'émotion collective

Une approche par propagation et processus d'influence  
multi-niveaux

SOUTENU LE 22 JUIN 2010 PAR

**PIERRE BISQUERT**

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

---

Président	:	Rodolphe Giroudeau
Rapporteurs	:	Isabelle Mougenot
	:	Chouki Tibermacine
Encadrants	:	Violaine Prince
	:	Tiberiu Stratulat
	:	Jacques Ferber

---



---

## Résumé

Encore peu étudié dans le domaine de l'informatique, le phénomène de l'émotion collective se montre pourtant intéressant à de nombreux égards, tels que la transmission d'informations sur l'environnement ou l'influence sur les émotions individuelles et donc sur le comportement des agents. L'émotion collective est donc un phénomène qu'il est important de considérer pour en étudier les bienfaits pour les systèmes multi-agents. Inspiré des travaux proposés en psychologie et en sociologie, ce mémoire présente une approche pour la modélisation de l'émotion collective basée sur deux types de processus. Le premier type de processus permet le transfert d'émotions d'un agent émetteur vers un agent récepteur, occasionnant ainsi la propagation d'une information environnementale parmi un ensemble d'agents. Le deuxième type de processus concerne l'influence portée sur les émotions individuelles à différents niveaux, interne, local et global, représentant respectivement l'influence de l'humeur, de l'émotion ambiante perçue par un agent et l'émotion du groupe dont fait partie cet agent. Après la formalisation de ces divers processus, nous avons procédé à des expérimentations grâce à deux scénarios mettant en exergue les bénéfices du transfert d'informations émotionnelles ainsi que l'orientation comportementale d'un groupe d'agents. Les résultats obtenus montrent les avantages liés à ces processus et révèlent des nombreuses perspectives nécessaires à l'approfondissement d'une telle approche.

**Mots clés :** émotion, émotion collective, contagion émotionnelle, émotion de groupe, norme émotionnelle

---

---

## **Abstract**

Still little studied in the field of computing, the phenomenon of collective emotion is however interesting in many respects since it could be used to provide information about the environment or influence individual emotions and thus agents' behavior. Collective emotion is hence a phenomenon that is important to consider in order to study its benefits for multi-agents systems. Inspired by works done in psychology and sociology, this report introduces an approach for modeling the collective emotion based on two types of processes. The first type of process allows the transfer of emotions from an emitter agent to a receiver agent, causing the spread of the environmental information inside a group of agents. The second type of process is the influence of collective emotion on individual emotions at various levels : internal, local and global, representing respectively the influence of mood, the ambient emotion perceived by an agent and the group emotion. After the formalization of these processes, we proceeded to experiments thanks to two scenarios highlighting the benefits of the transfer of emotional information as well as the behavioral orientation of a group of agents. The results show the advantages of using these processes and suggest many future perspectives necessary to a deeper understanding of such an approach.

**Keywords :** emotion, collective emotion, emotional contagion, group emotion, emotional norm

---

---

# Remerciements

---

Un mémoire n'est jamais du à son seul auteur, il est le résultat des fondations que sont les multiples travaux antérieurs, travaux sur lesquels notre réflexion s'échine sans relâche au profit de la connaissance ; les auteurs de tels travaux nous accompagnent à travers leurs écrits. Mais un mémoire est surtout le fruit d'un objet qu'il n'est possible de lire dans la bibliographie ; un mémoire se doit à des échanges et des conseils, à des discussions et des encouragements. Cette page sera pour moi l'occasion de remercier les personnes ayant aidé, de leurs paroles ou leur présence, à l'accomplissement de cet ouvrage.

Permettez-moi ainsi de remercier en premier lieu la plus illustre des personnes que j'ai pu côtoyer en ces temps estudiantins : merci à Violaine Prince, dont l'érudition n'a d'égale que la gentillesse et la bienveillance. Elle restera à jamais mon professeur, un professeur que je ne pourrais jamais que vouvoyer tant mon respect pour elle est immense.

Merci à Tiberiu Stratulat et Jacques Ferber, non moins illustres mais se devant de laisser leur place par galanterie, dont les conversations, commentaires et suggestions m'ont guidé à travers la périlleuse aventure qu'est le stage de recherche. Merci également à Razvan Dinu pour son aide précieuse et enthousiaste.

Merci aux membres du jury, pour leur lecture attentive de ce mémoire ainsi que pour leur attention et leurs questions ; merci encore à eux, ainsi qu'aux simples auditeurs, pour leur présence à neuf heures un lendemain de fête de la musique.

Merci à mes compagnons de stage, qui ont donné plus de vie à notre halle. Parmi ceux-là, un merci tout particulier à ceux qui me sont les plus proches, Selma, Fabien, Julien et Romain, pour m'avoir intéressé, fait rire et, parfois sans le savoir, remonté le moral ; leur présence réconfortante fut, et sera, source inépuisable de gaieté. Merci à mes autres amis, Audrey, Nathanaëlle, Pauline, Matthieu, Thierry et tous les autres, dont les débats ont été source d'enrichissement et de réflexion (et

parfois de francs fous rires).

Merci à Carole Adam, pour avoir orienté mes travaux en me désignant l'article ayant eu le plus d'impact sur mes réflexions.

Merci également à l'*Université Montpellier II* et au *Lirmm*, pour m'avoir permis de suivre des enseignements passionnants ainsi que pour m'avoir financé le présent stage.

Profitant de cette page de remerciements, je souhaiterais exprimer ma gratitude à ceux qui, trop souvent, ne la reçoivent pas. Ainsi, merci à la dame de l'entretien, veillant furtivement et assidûment à la propreté de notre lieu de travail ; ses bonjours ont été sans exception l'origine d'agréables sourires. Merci à l'exquise vendeuse de pizza, dont je ne connais malheureusement le nom, qui m'a nourri les soirs de travail intense, de fatigue accablante ou de disette alimentaire.

Merci à ceux qui m'ont énervé ou boudé, me permettant d'être anxieux pour des raisons autres que le travail. Merci à ceux qui avaient tort, et qui, par conséquent, m'ont fait avoir raison ; merci à ceux qui avaient raison, pour m'avoir fait chercher vainement à avoir le dernier mot.

Merci à Pablo Neruda, pour m'avoir prêté la plus belle épigraphe de ce mémoire ; merci à Edsger Dijkstra pour m'avoir prêté celle m'ayant fait le plus rire.

Un coucou admiratif au "scriptor" du roman *La Disparition*, dont l'ahurissant brio n'a pour pair qu'un cran saisissant ; nous avons là, sans aucun soupçon, un subtil propos qui a pris plus qu'un instant à finir.

Merci à la page de remerciements, pour exister et m'avoir ainsi permis d'exercer ma plume à d'autres fins que celles liées à la science. Merci à la page de non-remerciements, pour ne pas exister et ainsi ne pas m'avoir forcé à ne pas remercier.

Je souhaiterais également remercier pêle-mêle Madame Post-it, inventrice de l'accessoire du même nom, pour m'avoir indirectement aidé à sauver mes pensées des méandres de l'oubli, mes ordinateurs, pour m'avoir appris par l'expérience les gestes de sécurité informatique de base, la machine à café du *Lirmm*, pour les fabuleuses pauses, réparatrices et vivifiantes, qu'elle m'a prodigué, ainsi que mon ami ours imaginaire, auquel je n'ai jamais cru mais qui a toujours été là pour moi.

Enfin, merci à ceux que je connais et que j'ai oubliés (pardonnez-moi !), ceux que je ne connais pas et auquel je pense parfois, ainsi qu'à ceux que je ne connais pas et auquel je ne pense pas plus, car ils le méritent sûrement aussi.

À tous et aux autres, merci.

*À mes parents, Rose et Patrick.*





---

# Table des matières

---

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Cadre et état de l'art</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction . . . . .	3
1.2 Émotions en psychologie et sociologie . . . . .	4
1.2.1 Bref historique . . . . .	4
1.2.2 Théories des émotions . . . . .	5
1.2.3 Émotions collectives . . . . .	11
1.3 Émotions en informatique . . . . .	13
1.3.1 Architectures émotionnelles . . . . .	13
1.3.2 Modélisation de l'émotion collective . . . . .	16
1.4 Conclusion . . . . .	18
<b>2 Modélisation</b>	<b>21</b>
2.1 Introduction . . . . .	21
2.2 Présentation générale du système . . . . .	22
2.2.1 Émotion individuelle, humeur et affichage . . . . .	22
2.2.2 Processus de l'émotion collective . . . . .	23
2.2.3 Topologies . . . . .	32
2.2.4 Architecture du système . . . . .	34
2.3 Formalisation . . . . .	35
2.3.1 États du système . . . . .	35
2.3.2 Transitions entre les états du système . . . . .	38
2.3.3 Protocoles des processus non traités . . . . .	40
2.3.4 Protocoles des processus traités . . . . .	42
2.4 Conclusion . . . . .	56
<b>3 Expérimentation</b>	<b>59</b>
3.1 Introduction . . . . .	59
3.2 Présentation générale de l'implémentation . . . . .	60

3.2.1	Plateforme utilisée . . . . .	60
3.2.2	Implémentation des agents . . . . .	61
3.2.3	Implémentation des groupes . . . . .	63
3.2.4	Implémentation des divers processus . . . . .	63
3.3	Scénario 1 : contagion émotionnelle et transfert d'informations . . . . .	66
3.4	Scénario 2 : normes et orientation comportementale . . . . .	69
3.5	Conclusion . . . . .	72
	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>73</b>
	<b>A Extraits de code source</b>	<b>79</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>85</b>

---

# Introduction

---

*A quoi ça sert les émotions pour soi  
tout seul ?*

---

Extrait de *Ensemble, c'est tout*,  
ANNA GAVALDA

"*Tout le monde sait ce qu'est une émotion, jusqu'à ce que vous lui demandiez de la définir*" ([Fehr et Russell, 1984]). Cette phrase, presque un aphorisme, résume à elle seule le problème intrinsèque des émotions : étudiées depuis des temps ancestraux, les émotions sont aussi présentes dans nos vies qu'elles sont intangibles. Elles sont au centre de notre vie, nous permettant de communiquer et de donner de l'importance, de nous surpasser et, parfois, de nous empêcher d'agir. Nous pouvons tenter de les cacher un temps, mais c'est pour mieux les exprimer plus tard. Inutile de digresser pour le prouver, les émotions nous font vivre.

Longtemps considérées comme nuisibles, et devant être ignorées ou refoulées par tous les moyens possibles ([Platon, 1940], [Descartes, 1948]), les émotions ont récemment gagné leurs lettres de noblesse grâce à des recherches dans des domaines aussi variés que la biologie ([Darwin, 1872]), la physiologie ([Lange et James, 1967]), la psychologie ([Arnold, 1950]) ou encore la sociologie ([Averill, 1980]), mettant entre autres en exergue leurs qualités adaptatives, d'auto-préservation et de cohésion sociale. L'informatique, un peu plus tardive, n'a commencé à s'intéresser aux émotions que lorsque les neurosciences ont montré un point impensable il y a de cela seulement quelques centaines d'années : nous autres humains ne pouvons raisonner sans émotions ([Damasio, 1994]).

Plusieurs travaux débutèrent alors pour octroyer aux agents, entités pouvant percevoir et agir sur leur environnement, les qualités nécessaires pour donner l'illusion de la vie, agents dit alors *crédibles* ([Bates, 1994]). Ceci mena à la création d'une nouvelle discipline nommée *l'informatique affective*, se concentrant sur l'étude de l'émotion et de son intérêt pour l'agent afin d'accéder à une "réelle" intelligence ([Picard, 1997]). Ce vœu, que certains pensent pieux, oriente aujourd'hui les recherches vers de nombreux secteurs différents, tels que l'apprentissage, l'interaction humains-machines, l'adaptation comportementale, la planification, la prise de décision, etc. Certains pourraient alors s'inquiéter d'une perspective si anthropomorphe des machines ; nous leur répondrons que nous ne considérons ici l'émotion qu'en

tant que dispositif adaptatif face à l'environnement pour des agents ; ces derniers ne "ressentent" donc pas réellement ces émotions.

Malgré l'explosion du nombre de recherches, les émotions sont le sujet d'un domaine qui reste à explorer, par exemple dans leur facette collective. En effet, si l'intérêt des émotions est de plus en plus accepté, et si leur utilisation tend à se démocratiser, cela n'est que dans leur aspect individuel. Peu de travaux se proposent d'étudier les phénomènes émotionnels ayant lieu dans une collectivité, phénomènes déjà remarqués et analysés dans les sciences humaines.

Les systèmes multi-agents, portant pourtant la notion de collectivité à même leur nom, ne se consacrent pas, à quelques exceptions près, à l'analyse de leurs intérêts. Ces phénomènes semblent pourtant remplis de promesses pour les agents évoluant en société, notamment dans les transferts d'informations concernant l'environnement ou les intentions des agents, sur les dynamiques de vie des groupes d'agents, leur cohésion et efficacité dans la résolution de tâches communes, etc.

C'est ainsi le but de ce présent mémoire que d'étudier certains des phénomènes émotionnels collectifs et de les modéliser. Bien entendu, nous n'espérons pas couvrir l'ensemble, immense, de ces derniers mais simplement proposer une approche défrichant un sujet que nous pensons particulièrement important, et par là même, ouvrir une voie que nous souhaitons être empruntée et élargie par de nombreux autres travaux.

Pour ce faire, nous représentons ces phénomènes par plusieurs processus d'influence des émotions individuelles provenant de différents niveaux ; niveaux *local* et *global* tout d'abord, dépeignant respectivement l'influence de l'émotion ambiante perçue, c'est-à-dire le niveau émotionnel général perçu par l'agent, et l'influence du groupe, c'est-à-dire un patrimoine partagé par plusieurs agents. Nous nous penchons également sur un niveau *interne* à l'agent, l'humeur, représentant l'inertie émotionnelle de l'agent et potentiellement une résistance, ou un catalyseur, à ces influences sociales. Enfin, nous considérons un processus de propagation des émotions grâce à la contagion émotionnelle primitive.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres. Le premier d'entre eux se propose tout d'abord de présenter le cadre général dans lequel s'inscrit ce travail, puis se concentre sur les quelques travaux ayant été proposés dans le domaine des émotions collectives appliquées aux systèmes multi-agents. Le deuxième chapitre, consacré à notre contribution, présente dans un premier temps le modèle émotionnel de nos agents ainsi que les différents processus de l'émotion collective, ceux-ci étant alors formalisés par la suite. Le troisième chapitre expose l'implémentation de cette formalisation ainsi que deux applications possibles illustrées par deux scénarios. Enfin, nous concluons ce mémoire par la revue de nos contributions ainsi que les perspectives pour nos recherches.

# CADRE ET ÉTAT DE L'ART

---

*Il meurt lentement  
Celui qui évite la passion  
Et son tourbillon d'émotions  
Et celles qui redonnent la lumière  
Et réparent les cœurs blessés.*

---

Extrait de *Il meurt lentement*,  
PABLO NERUDA

## Sommaire

---

<b>1.1 Introduction</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Émotions en psychologie et sociologie</b>	<b>4</b>
1.2.1 Bref historique	4
1.2.2 Théories des émotions	5
1.2.3 Émotions collectives	11
<b>1.3 Émotions en informatique</b>	<b>13</b>
1.3.1 Architectures émotionnelles	13
1.3.2 Modélisation de l'émotion collective	16
<b>1.4 Conclusion</b>	<b>18</b>

---

## 1.1 Introduction

Le sujet de ce mémoire est l'étude de phénomènes d'émotions collectives et de leurs intérêts dans les systèmes multi-agents. Naturellement, un tel objectif ne peut être atteint qu'en se basant sur les travaux effectués précédemment sur les émotions individuelles. Mais pour étudier et éventuellement utiliser ces émotions, il est d'abord nécessaire de bien les comprendre. Or, d'autres disciplines, telles que la psychologie et la sociologie, étudient les émotions depuis si longtemps qu'il serait impensable d'occulter leur travaux ; c'est pourquoi nous débiterons par une présentation générale des différentes théories tentant de définir les émotions au niveau individuel et collectif dans la section 1.2, puis nous nous pencherons sur les travaux effectués en informatique pour appliquer ces théories dans la section 1.3. Enfin, nous conclurons

en analysant les divers travaux et les points que notre modèle entend améliorer ou introduire dans la section 1.4.

## 1.2 Émotions en psychologie et sociologie

### 1.2.1 Bref historique

Ce concept particulièrement difficile à circonscrire qu'est l'émotion a mené à l'élaboration de multiples définitions ; [Kleinginna et Kleinginna, 1981] en recense à ce titre presque cent. Néanmoins, si l'on prend en compte la dimension historique, ce nombre qui pourrait faire tourner la tête à toute personne désireuse d'y voir plus clair n'est pourtant pas aussi grand que l'on pourrait croire. En effet, les émotions occupent l'esprit des hommes depuis des siècles ; nous pouvons ainsi remonter jusqu'à Platon<sup>1</sup>, bien qu'il ne soit pas un de leurs meilleurs ambassadeurs : pour Platon, l'âme se décompose en trois parties (la structure "*tripartite*" de l'âme) qui sont le "*Noûs*" (la rationalité), "*l'Epithumia*" (l'appétit, le désir) et le "*Thumos*" (le courage, la volonté). Le concept d'émotion ne fait donc pas partie de son système et n'est que gêne pour la raison, gêne qui doit être domptée ([Strongman, 2003]).

Aristote, lui aussi, s'intéressa aux émotions de façon détaillée, émotions qu'il fit graviter autour des notions de plaisir et de souffrance ([Strongman, 2003]). Il expose des points étonnamment novateurs tels que la dimension cognitive de l'émotion, à savoir l'influence de nos croyances et connaissances sur ce que nous ressentons ainsi que l'influence de l'émotion sur notre jugement et nos futures actions ([Luminet, 2002]).

Quelques centaines d'années plus tard, Descartes se pencha également sur les émotions. Ce philosophe, icône du dualisme entre corps et esprit, propose des concepts particulièrement intéressants, notamment en décrivant ce qui sera plus tard appelé les tendances à l'action<sup>2</sup>, qu'il décrit comme des *tendances automatiques à réagir par des comportements lorsqu'une situation émotionnelle apparaît dans notre environnement* ([Luminet, 2002]), ainsi que l'évaluation cognitive ou le fait que les émotions permettent d'ancrer les souvenirs en mémoire.

Malgré ces points positifs, Descartes, en plus d'occulter, du fait de sa théorie maîtresse, l'importance du corps dans le déclenchement des émotions, considère à la manière de Platon les émotions comme une nuisance pour le jugement rationnel.

Ces considérations historiques (et philosophiques) ne servant qu'à montrer l'extrême longévité de la réflexion sur les émotions et n'étant pas le propos de ce mémoire, nous laisserons le lecteur se reporter à [Lyons, 1992] et [Solomon, 1993] pour de plus amples détails.

Malgré les foisonnantes définitions de l'émotion, il convient d'essayer d'en saisir l'essence. Nous ne saurions nous empêcher de nous demander ce que sont réellement

---

<sup>1</sup>Platon n'est évidemment pas le premier à avoir porté son attention sur les émotions. Hippocrate a lui-même tenté de percer à jour leurs secrets ([Channouf et Rouan, 2002]).

<sup>2</sup>Voir la note 7, page 9.

les émotions ; ont-elles une utilité ? Et le cas échéant, quelle est-elle ?

Ainsi, à travers cette myriade de notions voisines mais non similaires, il semble nécessaire de dresser une liste des grandes approches qui tentent de définir les émotions, approches intimement liées aux théories qui les entourent. Nous tentons d'en faire une brève présentation dans la partie suivante.

### 1.2.2 Théories des émotions

Nous tenterons dans cette section de donner un aperçu bref et loin d'être exhaustif des différentes théories tentant de définir et d'expliquer les émotions. Le lecteur curieux pourra se reporter sur des ouvrages plus conséquents tels que [Strongman, 2003] ou [Christophe, 1998].

#### 1.2.2.1 Théories évolutionnistes

Théories ayant pour origine les travaux de Darwin, l'un des premiers à ne pas juger les émotions comme irrationnelles, elles considèrent comme ancré génétiquement un ensemble d'émotions, dites basiques, que nous aurions acquis au fil de l'évolution de notre espèce ([Adam, 2007]). Ces émotions basiques, dont la qualité peut varier selon la théorie, sont ici considérées comme étant des réflexes aux fonctions adaptatives.

**Darwin** Charles Darwin ([Darwin, 1872]) propose que les émotions, issues de l'évolution, permettent à l'homme de s'adapter plus facilement à son environnement, augmentant d'autant ses capacités de survie. Il s'est de plus intéressé à la facette expressive des émotions, la considérant comme un ensemble de gestes utiles à la survie à une certaine époque de l'évolution et qui seraient restés en nous, n'étant plus aujourd'hui que des "reliquats". Dans le cas de la peur, par exemple, les yeux sont grands ouverts, permettant de ce fait de capter le plus d'informations possible sur l'environnement ([Sander et Scherer, 2009]).

Précurseurs sur de nombreux points, il donna également une propriété communicative aux émotions par leurs expressions ; il nous est ainsi possible de transmettre aux autres une information sur la situation, tout en leur indiquant nos actions potentielles pour s'y adapter (c'est-à-dire nos intentions, [Niedenthal *et al.*, 2009]). Malheureusement, Darwin n'approfondira pas cette partie de sa théorie qui, néanmoins, exerce une forte influence sur un ensemble des théories dites modernes ([Niedenthal *et al.*, 2009]).

**Ekman** Paul Ekman ([Ekman, 1992], [Ekman, 1999], etc.) est assez proche de Darwin dans sa conception des émotions. Il pense ainsi que les émotions, forcément basiques, ont évolué au fil des siècles, permettant aux hommes de s'adapter à leur environnement. Ekman considère les émotions comme étant causées par des "éléments contextuels communs", et donc universellement connus, impliquant ainsi que

les émotions ne sauraient être déterminées socialement ([Luminet, 2002]), à l'inverse des théories du constructivisme social (voir la section 1.2.2.2).

Ekman s'est particulièrement concentré sur l'expression faciale des émotions, créant par exemple un système, le "*Facial Action Coding System*" ([Ekman *et al.*, 2002]), dépeignant les mouvements du visage<sup>3</sup>; il proposa alors une correspondance entre les unités d'action et les émotions ([Adam, 2007]).

**Oatley & Johnson-Laird** Keith Oatley et Philip Johnson-Laird ([Oatley et Johnson-Laird, 1996], [Oatley *et al.*, 2006]) présentent également les émotions comme des outils d'adaptation. Bien que leur théorie prenne en compte une dimension cognitive, il est possible de la rattacher à la famille des théories évolutionnistes car elle considère un ensemble d'émotions basiques, ici issues et modelées par l'évolution ([Oatley *et al.*, 2006]).

Cette théorie voit les émotions comme des outils d'adaptation pour des fonctions cognitives; elles permettent ainsi l'organisation des processus cognitifs, notamment grâce à leur caractéristique communicative. En effet, cette théorie suppose que les différents processus cognitifs, étant asynchrones, communiquent par *communication propositionnelle* ou *communication non-propositionnelle* ([Strongman, 2003]), cette dernière étant destinée à mettre le système dans un mode particulier, un mode émotionnel, réorganisant alors les différents processus.

Ces émotions sont déclenchées selon certaines situations de la planification actuelle (la tristesse venant de l'échec d'un plan, la joie venant de la réalisation d'un sous-but, etc.). Les émotions ont donc un rôle adaptatif ici également car elles autorisent la planification dans des environnements capricieux et imprévisibles, plans qui pourront changer suivant les évènements.

**Plutchik** Robert Plutchik ([Plutchik, 1980a], [Plutchik, 1980b]), théoricien neo-darwinien, orienta sa théorie autour d'un ensemble de comportements induits par les émotions : l'évitement pour la peur, l'attaque pour la colère, l'accouplement pour la joie, etc. ([Niedenthal *et al.*, 2009]). Ici encore, les émotions ont une fonction d'adaptation, en orientant le comportement suivant ce que l'on perçoit de notre environnement.

Plutchik représente ces émotions sur un circumplex<sup>4</sup> (voir figure 1.1, page 7) où elles sont organisées selon trois axes : la similarité (deux émotions placées côte à côte sont considérées comme "proches"), la polarité (les émotions inverses sont opposées, par exemple surprise et anticipation) et l'intensité (chaque partie du circumplex se subdivise en trois émotions d'intensité croissante, par exemple appréhension, peur et terreur) ([Adam, 2007]).

De plus, il donne, grâce à ce circumplex, une représentation claire des émotions complexes, résultant de la combinaison de certaines émotions basiques (celles étant

<sup>3</sup>Ce système utilise des unités d'action (*Action Units*, en langue de Shakespeare), décrivant des positions atomiques des muscles du visage, par exemple les yeux fermés pour l'unité d'action 43.

<sup>4</sup>Un circumplex est une structure où toutes les variables sont placées sur un cercle et également espacées.



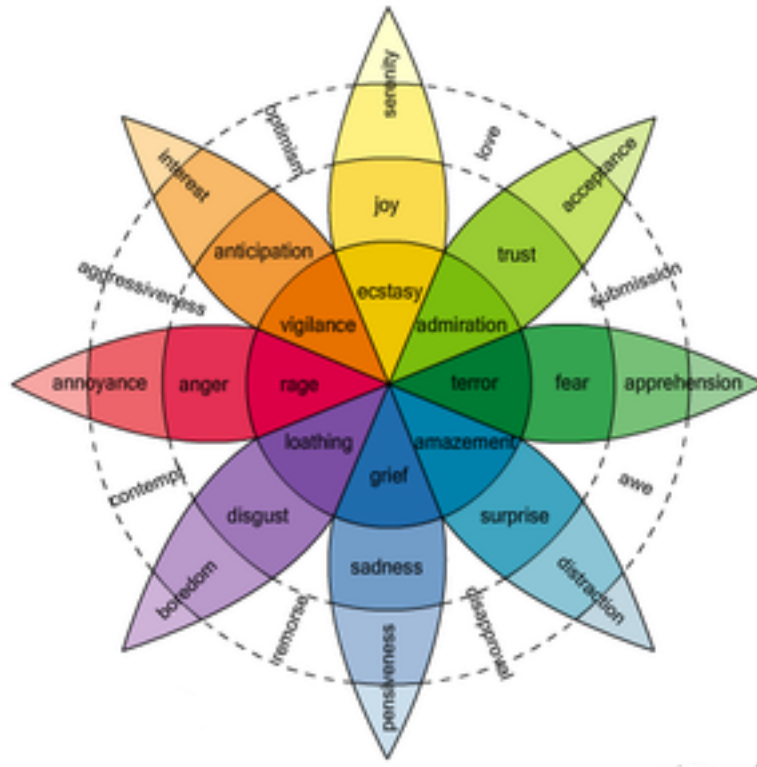


FIG. 1.1 – Le circumplex de Plutchik.

proches); l'amour est ainsi pour Plutchik la combinaison de la joie et de l'acceptation.

### 1.2.2.2 Théories du constructivisme social

Les théories du constructivisme social se penchent sur les émotions dans leur profil culturel et notamment sur les mots servant à désigner ces émotions dans les sociétés. Ici, la notion d'ancrage génétique des émotions est rejetée et il lui est substitué la notion de construction sociale des émotions; cette construction se faisant dans des buts spécifiques à la société les ayant construites. Les émotions sont donc, pour ces théories, le fruit de cultures particulières ([Niedenthal *et al.*, 2009]). La notion d'émotion basique n'est par conséquent plus de mise.

Ainsi, un individu ne pourra éprouver un certain type d'émotion qu'à partir du moment où il aura intégré les normes et standards se rapportant à certaines situations précises ([Armon-Jones, 1986]). Rom Harré présente quant à lui des variations culturelles démontrant selon lui la justesse des théories du constructivisme social ([Harré, 1986], p. 5); il indique par exemple que pour une société, il peut être attendu des personnes qu'elles expriment du courage et non de la peur dans certaines situations dangereuses. Il est donc impossible de dire que la peur est déclenchée de façon universelle en toute situation de danger ([Niedenthal *et al.*, 2009]). À l'ins-

tar des théories cognitives que nous étudierons plus loin (voir la section 1.2.2.4), les théories du constructivisme social se basent sur l'évaluation d'une situation, cette évaluation étant toutefois faite au regard des normes culturelles en vigueur ([Niedenthal *et al.*, 2009]).

### 1.2.2.3 Théories physiologiques

Ces théories, également nommées périphériques, assimilent les émotions aux perceptions d'états corporels. Ce sont les changements physiologiques, c'est-à-dire les modifications de l'organisme, qui entraînent le déclenchement d'émotions.

**James & Lange** William James ([James, 1884]) et Carl Lange ([Lange, 1885]), en accord sur de nombreux points, réfutent la séquence *perception, émotion, changements physiologiques* et privilégient la séquence *perception, changements physiologiques, sensation de ces changements, émotion* (leurs textes ont été réimprimés dans [Lange et James, 1967]).

Ils considèrent ainsi que l'émotion ne provient pas d'une zone spécifique du cerveau mais plutôt des centres moteurs et sensoriels ([Christophe, 1998]), chaque émotion étant liée à la perception d'un changement particulier. Pour bien comprendre ce phénomène voici un exemple célèbre d'apparition des émotions au sein de cette théorie : le fait de percevoir un ours dans la nature provoque la fuite et la perception des changements physiologiques consécutifs à cette fuite entraîne l'apparition de l'émotion de peur. Seul point de divergence entre eux deux, les changements périphériques sont, pour James, des réflexes programmés génétiquement tandis que Lange suppose l'existence d'une zone du cerveau, le centre *vasomoteur*, contrôlant ces changements.

**Cannon** Walter Cannon ([Cannon, 1927]) critique l'approche précédente, notamment car les changements physiologiques sont peu ou prou les mêmes pour toutes les émotions. De plus, il soulève le problème du temps de réaction de l'organisme, étant trop lent pour être la source des émotions, et le fait que l'activation artificielle de l'organisme ne mène pas aux émotions attendues ([Christophe, 1998]). Cannon propose alors un processus émotionnel induit par l'activation du thalamus, lequel étant la source des émotions et contrôlant par ailleurs l'activation physiologique ([Adam, 2007]).

### 1.2.2.4 Théories cognitives

#### Théories cognitivo-physiologiques

Pour certains théoriciens, l'activation physiologique n'est pas suffisante. En effet, ces derniers ont émis des doutes quant à la véracité des théories périphériques, notamment par l'observation de réactions émotionnelles différentes face à un même évènement ; l'échec pouvant, par exemple, mener à de la colère ou à de la honte suivant la personne.

**Schachter & Singer** Stanley Schachter et Jerome Singer ([Schachter et Singer, 1962]) estiment ainsi que la cognition<sup>5</sup> est nécessaire pour interpréter les changements physiologiques et identifier l'émotion ressentie [Adam, 2007]. En effet, lors d'une activation physiologique, une personne va tenter d'interpréter, au moyen de ses connaissances, les changements perçus. Dans le cas où elle dispose de connaissances adéquates, cette personne va pouvoir identifier instantanément son émotion actuelle ; dans le cas inverse, elle essaiera de se comparer<sup>6</sup> avec une autre personne et adoptera l'émotion que cette dernière affiche ([Christophe, 1998]), l'environnement social jouant alors un rôle particulièrement important dans la détermination du type de l'émotion.

**Valins** Stuart Valins ([Valins, 1966]) prolongea le travail de Schachter et Singer en montrant que l'activation physiologique n'est pas nécessaire en elle-même pour le déclenchement d'une émotion ; la simple croyance d'une telle activation étant suffisante ([Christophe, 1998]). L'émotion serait donc pour Valins le résultat de deux cognitions : la croyance d'un changement périphérique et son attribution à un stimulus.

Ces précédentes théories cognitives ont le mérite d'introduire la cognition dans le processus émotionnel, cognition qui est néanmoins uniquement tournée vers l'activation physiologique. D'autres sortes de théories cognitives, dites de l'évaluation, vont quant à elles se pencher sur l'interprétation cognitive des événements.

### Théories de l'évaluation

Au sein de ces théories, c'est l'évaluation de chaque événement selon plusieurs critères, tels que son bénéfice pour la personne ou à l'inverse dans quelle mesure il contrecarre les plans de celle-ci, qui va mener à l'émotion ([Niedenthal *et al.*, 2009]). [Scherer, 1999] présente à ce titre un résumé de différents critères d'évaluation selon plusieurs théories de l'évaluation.

**Arnold** Magda Arnold ([Arnold, 1950]) est l'initiatrice des théories de l'évaluation ; elle introduit notamment les concepts d'évaluation et de tendances à l'action<sup>7</sup>, deux notions qui influenceront énormément les théories des émotions voyant le jour

---

<sup>5</sup>Notion complexe, la cognition pourrait être résumée par *"les capacités et processus mentaux [...] qui, au moyen d'un traitement [...] de l'information, engendrent, transmettent, modifient, utilisent, conservent ou consistent en de la connaissance : sensori-motricité, perception, mémoire, compréhension et production langagière [...], représentation des connaissances, ou encore raisonnement* ([Steiner, 2005]).

<sup>6</sup>Schachter utilise la théorie de la comparaison de Festinger ([Festinger, 1954]), postulant qu'un individu évalue ses opinions en les comparant avec celles d'autrui, et les étendant aux émotions.

<sup>7</sup>Les tendances à l'action représentent la préparation de réactions comportementales répondant de manière appropriée à une situation. Ces tendances, qu'il ne faut pas confondre avec l'action elle-même, sont produites par les émotions ([Niedenthal *et al.*, 2009]). Le lecteur pourra se reporter à [Frijda, 1986] pour de plus amples informations concernant ce point.

par la suite. Le modèle d'Arnold est schématiquement le suivant : la perception d'un événement est évalué selon le bénéfice ou le préjudice qu'il peut apporter à une personne, évaluation déclenchant une tendance à l'action d'attraction ou de répulsion vis-à-vis de l'évènement ainsi que des changements physiologiques correspondants. Ces changements périphériques perçus par la personne peuvent alors être réévalués en fonction de ses connaissances pour nommer son état par un label tel que *peur*, etc.

**Lazarus** Richard S. Lazarus ([Lazarus, 1991]) propose une théorie *relationnelle*, où les émotions résultent de l'influence réciproque entre le sujet et son environnement, *motivationnelle*, car touchant aux buts du sujet, et *cognitive*, du fait de l'évaluation des changements de cette influence ([Christophe, 1998]). De plus, il complexifie le processus d'évaluation, introduisant les notions d'évaluation primaire, c'est-à-dire la pertinence et la congruence d'un événement au bien-être du sujet, et d'évaluation secondaire, traitant le potentiel du sujet à s'adapter à la situation ([Adam, 2007]).

**Scherer** Klaus Scherer ([Scherer, 1984]) estime que l'émotion, dont la fonction fondamentale serait de s'adapter aux stimuli internes ou externes, est constituée de plusieurs composantes qui sont l'évaluation cognitive des stimulus, l'activation physiologique, l'expression motrice, la motivation et le sentiment subjectif ([Christophe, 1998]). En outre, il décompose le processus d'évaluation en plusieurs étapes successives, traitant tour à tour la nouveauté de l'évènement, le caractère plaisant ou déplaisant de l'évènement, la congruence de l'évènement avec les buts du sujet, le potentiel du sujet à faire face à l'évènement et enfin la compatibilité avec les normes sociales ([Adam, 2007]).

**Frijda** Nico Frijda ([Frijda, 1986]) organise sa théorie autour des tendances à l'action, caractéristiques qui, selon lui, permettent de différencier les émotions les unes des autres ([Adam, 2007]). Pour Frijda, un événement est évalué selon les causes et conséquences, la pertinence par rapport au but du sujet, le potentiel à faire face et l'urgence, gravité ou difficulté de l'évènement ; le résultat de ces différentes évaluations constitue alors un signal de contrôle pouvant interrompre l'action en cours ([Christophe, 1998]). Une préparation à l'action est alors générée permettant de choisir et d'exécuter une nouvelle action.

**Ortony, Clore & Collins** Andrew Ortony, Gerald Clore et Allan Collins ([Ortony *et al.*, 1988]) considèrent que les émotions sont déterminées par trois types de stimuli : les *événements*, les *actions* des agents et les *propriétés* des objets. S'en suit la création d'une typologie<sup>8</sup>, sobrement appelée la *typologie OCC*, se subdivisant en trois branches ([Adam, 2007]). La première branche traite des émotions en

<sup>8</sup>Une typologie est une *étude des traits caractéristiques dans un ensemble de données, en vue d'y déterminer des types, des systèmes* ([Larousse, 2004]).

rapport avec les événements, plus précisément en fonction de l'évaluation de la désirabilité de ces événements envers les buts du sujet ; ces événements pouvant alors être désirables ou indésirables pour un autre ou se révéler pertinents<sup>9</sup> ou non pour soi-même. La seconde branche traite des émotions en rapport avec les actions des agents, plus précisément par l'approbation de ces actions en fonction des standards du sujet ; ces actions pouvant alors concerner un autre ou le sujet lui-même. La troisième branche traite des émotions en rapport avec les objets, plus précisément selon l'attraction de l'objet par rapport aux goûts du sujet. Fait notable, cette théorie se veut utilisable dans le domaine de l'intelligence artificielle.

### Théories schématiques

Dernier membre de la famille des théories cognitives, les théories schématiques supposent l'existence, au sein de la mémoire, d'informations émotionnelles pouvant déclencher une émotion lorsque l'un de ses éléments est activé ([Christophe, 1998]). Une émotion peut ainsi être déclenchée par un stimulus sans que l'on puisse déterminer un lien direct avec le sujet.

**Leventhal** Howard Leventhal ([Leventhal, 1984]) considère que les émotions, processus et réactions comportementales complexes, s'organisent en trois niveaux ([Philippot, 2007]). Le niveau *sensori-moteur*, constitué de réflexes émotionnels innés permettant de générer, entre autres, des réponses expressives et physiologiques, le niveau *schématique*, composé de structures mémorielles, les *schémas*, associant à une émotion les différents éléments récurrents lors de l'expérience de cette émotion<sup>10</sup> et le niveau *conceptuel*, formé d'un composant permettant de stocker en mémoire nos expériences émotionnelles passées et d'un composant permettant la réalisation d'actes émotionnels ([Christophe, 1998]).

### 1.2.3 Émotions collectives

Les émotions collectives ont elles aussi été étudiées par les sciences humaines. Dans cette section, nous présenterons trois des travaux ayant le plus inspiré l'écriture de ce mémoire.

**Barsade & Gibson** Sigal Barsade et Donald Gibson ([Barsade et Gibson, 1998]) s'intéressent aux émotions apparaissant au sein de groupes. Ils relatent tout d'abord deux visions de l'émotion de groupe, la première considérant cette émotion comme survenant au niveau du groupe puis ressentie par les membres, et la seconde considérant que l'émotion de groupe est la résultante de la combinaison des émotions

<sup>9</sup>Dans le cas où l'événement est pertinent pour les buts du sujet, cette branche se subdivise une nouvelle fois, donnant lieu à des émotions différentes suivant que l'événement se produit effectivement ou non.

<sup>10</sup>Une personne ayant peur des chiens aura ainsi un schéma de peur associant le chien à des éléments tels qu'une hausse du rythme cardiaque, une envie de fuir, de la crispation, etc. ([Philippot, 2007]).

de chaque membre. Ces deux visions sont liées à la conceptualisation du groupe, celui-ci étant d'un côté une entité capable d'avoir une émotion, émotion influençant les émotions individuelles de ses membres, et n'étant de l'autre que la simple somme des membres le composant. Le but des auteurs est alors de plaider en la faveur d'une approche mêlant ces deux visions pour tenter d'en comprendre plus finement la construction. Ces derniers exposent ainsi les grandes lignes de ces visions.

Concernant l'approche considérant le groupe comme une entité à part entière, le groupe est tout d'abord vu comme une force qui modèle ses membres, les faisant "*ressentir, penser et agir*" différemment que lorsqu'ils sont seuls, notamment en exagérant leurs réponses émotionnelles. Le groupe est ensuite considéré dans son aspect normatif, prescrivant les émotions à ressentir ou afficher dans des situations précises. Enfin l'émotion de groupe est également vue en tant que force cohésive entre les membres et indicateur du stade de développement du groupe.

L'approche considérant le groupe comme la somme de ses membres s'intéresse à leur composition affective. Cette composition peut être la moyenne des états émotionnels des membres, le degré d'homogénéité émotionnelle au sein du groupe et l'influence d'un membre ayant un état émotionnel, positif ou négatif, extrême sur les autres membres, notamment pas la contagion émotionnelle.

Les auteurs proposent alors de conjuguer ces approches, notamment en soutenant que les individus amènent dans le groupe leurs prédispositions émotionnelles – émotions et normes internalisées, par exemple –, prédispositions qui deviennent alors des facteurs déterminant la création de normes et d'influences au sein du groupe, lesquelles rejaillissent sur les autres membres, altérant leurs expériences et expressions émotionnelles.

**Parkinson et al.** Brian Parkinson et ses collègues ([Parkinson et al., 2005]) se penchent eux aussi sur le groupe et les émotions pouvant y apparaître. Pour eux, l'émotion de groupe se réfère au fait que l'appartenance à un groupe peut influencer un membre sur la façon de ressentir et d'exprimer une émotion, influence se traduisant par des similarités émotionnelles entre les membres. Ces similarités ont pour origine plusieurs phénomènes différents. Ainsi, les membres d'un même groupe ont plus de chance d'être témoins d'un même évènement et d'en retirer une expérience émotionnelle semblable. De plus, ces membres exercent un certain type d'influence – sur les évaluations et les expressions émotionnelles, par exemple – les uns sur les autres du fait de leur interaction ; ils partagent par ailleurs certaines normes, augmentant d'autant leur similarité. En outre, leur appartenance à un même groupe constitue un pan de leur identité, ils ont ainsi de plus grandes chances de partager certaines évaluations d'évènements touchant à ce groupe. Enfin, certains groupes se construisent autour d'une émotion particulière, l'appartenance d'un membre à un de ces groupes ne pouvant alors avoir lieu que si celui-ci éprouve cette émotion.

Les auteurs proposent de plus un résumé des différentes définitions psychosociales du groupe. Un groupe peut ainsi voir le jour lorsque plusieurs (futurs) membres partagent un *destin commun* par exemple dans le cas d'une discrimina-

tion subie par un ensemble de personnes. Les *facteurs structurels*, tels que les rôles peuvent également mener à la création d'un groupe, ces facteurs différenciant un simple ensemble de personne d'un réel groupe. Un groupe peut de plus apparaître grâce à des *interactions face-à-face* régulières entre ses membres. Enfin, un groupe peut naître grâce à l'*auto-catégorisation* de ses membres, c'est-à-dire par le fait que des personnes se voient comme appartenant à ce groupe<sup>11</sup>. Les auteurs précisent que ces notions ne sont pas mutuellement exclusives, l'une d'entre elles pouvant entraîner une autre, notamment dans le cas où le destin commun avec d'autres personnes amène à se considérer comme membre d'un groupe particulier. Notons que les auteurs proposent également différents types de normes émotionnelles pouvant être mis en place au sein d'un groupe, types que nous présentons et utilisons dans la section 2.2.2.2, page 29.

**Hatfield et al.** Elaine Hatfield et ses collègues ([Hatfield et al., 1993]), proposant que l'on puisse obtenir de nombreuses informations sur nos semblables en analysant notre propre état émotionnel lors d'interactions avec eux, ont beaucoup étudié le phénomène de contagion émotionnelle dite primitive, c'est-à-dire étant automatique et inconsciente. Selon ces auteurs, la contagion émotionnelle primitive apparaîtrait à travers une série d'étapes. La première d'entre elles, le *mimétisme*, est la tendance naturelle qu'ont les humains de synchroniser instantanément et inconsciemment leurs mouvements, postures, tons de voix et expressions faciales avec ceux qui les entourent. Cette étape est suivie par la *rétroaction*, c'est-à-dire la production d'une émotion liée à un mouvement, une posture, un certain ton de voix ou une expression faciale, émotion étant qualitativement similaire à celle de la personne mimée. La succession de ces deux premières étapes mène alors à la dernière, la *contagion*, c'est-à-dire la convergence émotionnelle entre les personnes en interaction.

## 1.3 Émotions en informatique

Cette section sera pour nous l'occasion de nous intéresser aux différentes tentatives d'utilisation des émotions dans le domaine informatique, notamment dans le but de rendre des agents crédibles ou d'influencer leur comportement. Nous décrirons tout d'abord certaines architectures utilisant les émotions à des fins individuelles, puis nous détaillerons certaines des peu nombreuses modélisations de l'émotion collective.

### 1.3.1 Architectures émotionnelles

Permettant de justifier la partie précédente qui explique brièvement les différentes théories psychologiques des émotions, cette section se propose de présenter

---

<sup>11</sup>Les auteurs précisent que cette notion peut être étendue, notamment en lui adjoignant une contrainte de relation avec d'autres groupes. Ainsi, un groupe existe si des personnes se voient comme membres de ce groupe, et si ce groupe est reconnu par au moins un autre groupe.

certaines des toujours plus nombreuses architectures émotionnelles qui en ont été tirées.

### 1.3.1.1 Architectures non-cognitives

**Cañamero** Dolores Cañamero ([Cañamero, 1997]) propose une architecture inspirée des théories évolutionnistes se basant à la fois sur les motivations et les émotions et permettant la sélection de comportements pour une créature autonome nommée "*nouveau-né*". Les différents états motivationnels dirigent la créature en sélectionnant les comportements suivant l'activation physiologique et la satisfaction ; les émotions exercent un contrôle supplémentaire grâce à l'envoi d'*hormones* influençant les processus d'attention, de perception et de motivation.

Pour son expérimentation, Cañamero fait évoluer ses créatures, qui peuvent être de type *Abbott* ou *Enemy*, dans un monde à deux dimensions où elles doivent se nourrir ainsi que se prémunir de leurs ennemis (dans le cas des *Abbott*) ; elles sont de plus composées d'un ensemble d'attributs physiques, de variables physiologiques et d'agents communicants, sortes d'unités fonctionnelles, gérant les différents phénomènes de perceptions, de directions, motivationnels, émotionnels, etc. Les agents gérant les émotions relâchent, lors du déclenchement d'une ou plusieurs émotions, des *hormones* ce qui a pour conséquence d'influer sur les motivations et donc le comportement de la créature.

**Velásquez** Juan Velásquez ([Velásquez et Maes, 1997]) est l'auteur de l'architecture *Cathexis* comprenant un système de génération d'émotion et un système comportemental. La génération d'émotion est possible grâce à des "*protospécialistes*", chacun représentant une émotion<sup>12</sup>, pouvant au moyen de capteurs contrôler les conditions de déclenchement de son émotion associée et influençant son intensité et sa durée. Ces conditions sont inspirées des travaux évolutionnistes et concernent, entre autres, les niveaux sensori-moteur et motivationnel.

Le système comportemental sélectionne un comportement adéquat à l'état émotionnel courant. Il consiste en de multiples éléments essayant de prendre le contrôle de l'agent ; celui ayant la plus grande valeur de déclenchement est alors sélectionné. Chacun de ces éléments possède un aspect d'expression et un aspect d'expérimentation, influant sur l'expression faciale, la posture corporelle et l'expression vocale pour le premier et sur la motivation et les actions pour le second.

### 1.3.1.2 Architectures cognitives

**Elliott** Clark Elliott ([Elliott, 1992]) soumet, au cours de sa thèse de doctorat, un ensemble de programmes écrits en *Lisp* nommé *The Affective Reasoner*. Ce dernier a pour but de simuler le comportement émotionnel de l'humain dans un agent

<sup>12</sup>Ces émotions basiques sont comptées au nombre de six : colère, peur, tristesse, joie, dégoût et surprise ; celles-ci peuvent être déclenchées simultanément et ainsi donner naissance à des émotions complexes.



et se base pour cela sur la typologie *OCC*. Chaque agent possède des buts, standards et préférences ainsi que des connaissances, possiblement incomplètes et erronées, sur les autres agents et peut raisonner sur elles.

Les émotions sont déclenchées grâce à un processus qui évalue les situations et les compare avec un modèle d'émotion grâce à des règles indépendantes du domaine. Une partie d'un ensemble de vingt-deux variables, telles que l'importance ou la surprise, servent à déterminer l'intensité de ces émotions, lesquelles pouvant apparaître simultanément. Les actions de l'agent sont alors déterminées selon sa personnalité et ses émotions.

**Reilly** Neal Reilly ([Reilly, 1996]), auteur de *Em*, est loin de vouloir modéliser une architecture ayant des processus cognitifs vraisemblables. En effet, bien qu'il se base sur des théories cognitives, notamment la typologie *OCC*, il ne souhaite que créer des agents étant artistiquement effectifs, c'est-à-dire des agents pouvant paraître crédibles émotionnellement.

Le processus émotionnel de *Em* commence par la génération de structures émotionnelles contenant un type, une intensité, une direction<sup>13</sup> (optionnelle) et une cause (optionnelle elle aussi). Les différentes structures sont triées dans une hiérarchie de type, permettant de mesurer l'intensité globale de chaque type d'émotion ; cette intensité générale subit alors une baisse dans le temps, dont la valeur est spécifiée par l'utilisateur. Les types d'émotions sont par ailleurs liés à des caractéristiques comportementales, ces dernières influençant le comportement de l'agent.

**Gratch & Marsella** Jonathan Gratch et Stacy Marsella ([Gratch et Marsella, 2004]), s'appuyant sur la théorie de Lazarus, proposent *EMA*<sup>14</sup>, architecture complexe indépendante du domaine et se composant de deux processus distincts. Le premier, dit d'évaluation, génère des émotions après analyse de "l'interprétation causale"<sup>15</sup> ; le second, dit d'adaptation, permet à l'agent de sélectionner un comportement particulier pour faire face à son émotion de plus forte intensité, et donc de s'adapter à son environnement. Plusieurs stratégies d'adaptation sont possibles, allant de la réinterprétation positive d'une émotion négative, où l'agent voit alors les bons côtés de l'évènement, à un rejet d'un échec sur un autre agent, en passant par le déni.

### 1.3.1.3 Architectures hybrides

**Sloman** Aaron Sloman ([Sloman, 2001]) est l'auteur de l'architecture *CogAff*, modélisant le cerveau humain grâce à trois couches, *réactive*, *délibérative* et *contrôle de soi*. Sloman distingue de plus trois types d'émotions, simplement appelées *primaires*, *secondaires* et *tertiaires*. Les émotions primaires sont le résultat du traite-

<sup>13</sup>La direction d'une émotion est en fait l'agent vers qui l'émotion est dirigée.

<sup>14</sup>Pour "*Emotion and Adaptation*", nom du livre de ce même Lazarus.

<sup>15</sup>Représentant l'état mental courant de l'agent, "l'interprétation causale" se réfère à "*une instantiation particulière de [l'] amalgame de plans, croyances, désirs, intentions, probabilités et utilités [de l'agent]*" ([Gratch et Marsella, 2004], traduction par nos soins).

ment des informations environnementales par la couche réactive ; il n'y a dans cette couche aucune évaluation des informations. Les émotions secondaires apparaissent au niveau de la couche délibérative, couche permettant des raisonnements tels que la planification ou la prise de décision, et donnant lieu à des émotions qui ne pourraient apparaître dans la couche inférieure<sup>16</sup>. Enfin, les émotions tertiaires sont natives de la couche de contrôle de soi, couche d'observation réflexive<sup>17</sup> des états internes. Les émotions tertiaires sont différentes des secondaires dans le sens où elles sont liées à une certaine perte de contrôle du processus de pensées, par exemple dans le cas de l'embarras nous empêchant de penser à autre chose.

### 1.3.2 Modélisation de l'émotion collective

Les architectures, que nous avons vues dans la section précédente, offrent des simulations particulièrement intéressantes des processus émotionnels et de leur influence sur d'autres processus cognitifs à un niveau individuel. Mais comme nous avons pu le voir dans la section 1.2.2, page 5, certaines théories, donnent une place prépondérante à la facette sociale de l'émotion. De plus, de récentes recherches tendent à montrer l'existence d'émotions de groupe, ainsi que d'émotions collectivement partagées par un ensemble de personnes. Malheureusement, la notion d'émotion collective est encore peu étudiée, notamment dans le cadre des systèmes multi-agents, systèmes étant par définition collectifs. Dans cette section, nous présenterons les quelques travaux qui ont été proposés à ce titre.

**Bosse *et al.*** Tibor Bosse et ses collègues ([Bosse *et al.*, 2009]) s'intéressent à la conception d'un système permettant l'analyse des dynamiques émotionnelles au sein d'équipes de travail. Pour ce faire, ils étudient plus particulièrement les spirales émotionnelles<sup>18</sup> occasionnées par le processus de contagion émotionnelle, et ce grâce à une approche multi-agents. Inspiré par Barsade, les auteurs distinguent trois parties différentes dans le processus de contagion émotionnelle, c'est-à-dire dans le transfert d'une émotion entre un émetteur et un récepteur : l'expression de l'émotion par l'émetteur, la transmission de l'émotion et le ressenti du récepteur. Pour représenter ces parties, les auteurs définissent plusieurs paramètres jouant un rôle dans le processus de contagion émotionnelle : le *niveau émotionnel* de l'émetteur, le *niveau émotionnel* du récepteur, l'*expressivité* de l'émetteur, la *sensibilité* du récepteur, la "*force*" du canal liant les deux agents et la tendance à *amplifier ou réduire* une émotion reçue.

Cette simulation est intégrée dans un agent ambiant pouvant analyser les dynamiques émotionnelles d'une équipe et prédire le niveau d'une émotion donnée ;

<sup>16</sup>Nous pouvons par exemple penser à la peur du résultat d'une action, notion nécessitant l'anticipation.

<sup>17</sup>L'auteur donne à ce titre l'exemple de la circularité dans la pensée, c'est-à-dire "*je décide de faire B pour atteindre A, je décide de faire C pour atteindre B et je décide de faire A pour atteindre C. Je remarque que je boucle*".

<sup>18</sup>Une spirale émotionnelle est ici décrite comme un phénomène social où le niveau émotionnel actuel des membres peut sensiblement dépasser leur niveau originel.

lorsque cet agent détecte<sup>19</sup> un niveau émotionnel futur du groupe trop bas, par rapport à une valeur spécifiée, il propose un certain nombre d'actions au leader de l'équipe. Ces actions, telles qu'accroître l'expressivité des membres ayant un niveau émotionnel positif ou baisser l'expressivité de ceux qui ont un niveau émotionnel négatif, doivent alors permettre d'éviter cet état émotionnel négatif général.

**Czaplicka et al.** Agnieszka Czaplicka et ses collègues ([Czaplicka et al., 2010]) se penchent sur l'émotion de groupe et son influence sur l'exécution de tâches, et ce au moyen d'une simulation numérique. Cette simulation s'organise autour d'un damier dans lequel chaque case contient un agent ne pouvant bouger mais dont l'état émotionnel peut varier dans le temps entre trois valeurs : 1 pour positif, -1 pour négatif et 0 pour neutre. Cette modification peut survenir du fait d'un *déclenchement émotionnel spontané*, c'est-à-dire l'apparition d'une émotion sans l'évaluation de facteurs externes, d'une *détente émotionnelle*, c'est-à-dire le retour à un état neutre sans émotion, ou d'une *interaction* entre agents, occasionnant des transferts émotionnels entre un émetteur et un récepteur. Ces transferts ont une certaine probabilité de survenir selon que le récepteur soit un ami, une connaissance ou un étranger ; cette classification se faisant selon la distance sur le damier. Un transfert modifie alors l'état émotionnel du récepteur selon des règles simples (si l'émetteur a un état positif et le récepteur a un état négatif, ce dernier devient neutre, etc.). Dans ces conditions, l'émotion de groupe, calculée en faisant la moyenne des états émotionnels de tous les agents, ne se stabilise pas ; elle oscille indéfiniment malgré le fait que le système ne contienne aucune partie occasionnant une quelconque inertie. Mesurée sur une longue période, l'émotion de groupe est donc toujours égale à zéro.

Se basant sur ce modèle, les auteurs examinent également le problème de l'influence de l'émotion sur les performances de travail. Chaque agent a une tâche à réaliser, modélisée sur la forme d'une variable étant incrémentée. Si cette dernière atteint une certaine borne supérieure, la tâche est considérée comme réussite ; si elle atteint une certaine borne inférieure, la tâche est considérée comme ayant échoué. À chaque pas de temps, la valeur de l'état émotionnel est ajoutée à cette variable ; un agent ayant plus souvent un état émotionnel positif aura ainsi plus de chance de mener à bien sa tâche. Après interprétation des auteurs, les résultats obtenus suggèrent qu'un climat émotionnel très changeant est aussi néfaste pour le travail qu'un climat émotionnellement morne.

**Rank** Stefan Rank ([Rank, 2010]) s'intéresse principalement à l'étude des émotions collectives au sein des "*e-communities*", c'est-à-dire des communautés existant autour de réseaux sociaux, forums de discussion, etc., et ce afin d'en comprendre les créations, séparations ou disparitions ; pour ce faire, il propose une modélisation à la croisée des mathématiques et de la simulation multi-agents.

Il présente dans son article les choix d'implémentation d'un système multi-agents

---

<sup>19</sup>Pour détecter de tels niveaux émotionnels, les auteurs proposent de "*lire*" le visage des membres pour obtenir leur niveau émotionnel affiché.

destiné à simuler les dynamiques de l'émotion collective au sein de ces communautés. Cette simulation sera à terme couplée à des modèles mathématiques, tels que les dynamiques d'opinions, de façon à offrir un support de décision à des systèmes conversationnels interactifs. Ces systèmes, nommés "*auditeurs d'affect*", communiquent textuellement avec les utilisateurs pour récolter les informations émotionnelles qui leur sont liées tout en surveillant les évènements notoires apparaissant sur le web, par exemple en analysant le contenu de divers sites ; ce procédé permet alors de déterminer les évènements sur lesquels l'attention des utilisateurs se porte. Les données obtenues permettront de répondre à des questions portant, entre autres, sur l'influence que peuvent avoir les utilisateurs sur l'émotion collective de leur communauté, sur la possibilité de détecter des escalades émotionnelles ou encore sur le type d'influence qu'un système communicant, tel que décrit précédemment, peut avoir sur cette émotion collective.

## 1.4 Conclusion

Après l'analyse de ces différents travaux, il apparaît un manque d'étude clair sur le phénomène de l'émotion collective et ses divers intérêts pour les systèmes multi-agents. En effet, bien que les architectures émotionnelles soient complètes dans leur traitement de l'émotion à un niveau individuel – déclenchement, influence sur le comportement, etc. –, elles ne traitent pas de l'influence des émotions d'autres agents alentour.

Par ailleurs, les travaux portant sur la modélisation de l'émotion collective souffrent de plusieurs lacunes. Ainsi, le principal problème des travaux de Bosse et ses collègues ([Bosse *et al.*, 2009]) est de ne considérer qu'un seul état émotionnel dans leur simulation. De plus, bien qu'ils modélisent le processus de la contagion émotionnelle, ils ne font que simuler et calculer la valeur des transferts sans procéder au véritable processus qui veut que l'émotion soit tout d'abord affichée, puis mimée par un autre agent, lequel ressent cette émotion par le biais de la rétroaction. Par ailleurs, le groupe est considéré dans son approche "*bottom-up*", c'est-à-dire n'ayant aucune existence au-delà des membres.

Czaplicka et ses collègues ([Czaplicka *et al.*, 2010]) ne considèrent également qu'un état émotionnel, pouvant être positif, négatif ou neutre. Par ailleurs, leur mécanisme de transfert d'émotion est très simple, se basant sur des règles d'interaction brusques ("dans le cas où l'agent émetteur a un état émotionnel négatif et que l'agent récepteur a un état émotionnel positif, ce dernier devient neutre"). Notons néanmoins que les agents ont une plus grande probabilité de se voir transférer une émotion suivant leur proximité sociale – les amis, par exemple, ont plus de chance de se transmettre des émotions – ; cette notion intéressante est toutefois liée à la seule distance sur le damier, distance qui ne peut être modifiée dans le temps. Enfin, ici aussi, le groupe n'a pas de réelle existence, l'émotion de groupe étant une mesure de l'état émotionnel global et n'influençant pas en retour les émotions individuelles.

Stefan Rank ([Rank, 2010]), n'ayant pas implémenté le modèle qu'il présente, ne peut donner de résultat concret quant à ses travaux. Néanmoins, il se penche sur des notions intéressantes, par exemple l'influence d'une personne sur l'émotion collective. Toutefois, il ne s'intéresse qu'au bénéfice qu'une telle simulation peut avoir pour comprendre et analyser le phénomène d'émotion collective dans des communautés humaines, et non sur l'utilité qu'il peut avoir dans les systèmes multi-agents eux-mêmes.

Notons de plus qu'aucun de ces travaux ne considère l'utilisation combinée de multiples influences sur l'émotion individuelle, telles que les normes émotionnelles, l'émotion de groupe, etc. Par ailleurs, ces auteurs ne traitent pas non plus la possibilité de conjuguer leur travaux sur des architectures émotionnelles pour évaluer l'impact de l'émotion collective sur les choix d'actions.

De ces observations ressortent plusieurs exigences quant au modèle que nous aspirons à mettre en place pour combler ces carences. **Tout d'abord**, il est important de montrer en quoi le phénomène de l'émotion collective peut être bénéfique pour les systèmes multi-agents. Cette contrainte est importante pour diriger ce travail et lui assurer une application possible. **Deuxièmement**, il est souhaitable que l'émotion collective ne soit pas être réservée au seul état émotionnel global de l'agent ; plusieurs émotions doivent pouvoir être simultanément au centre de ce phénomène tout en autorisant l'ajout éventuel de nouvelles émotions si le besoin s'en fait sentir. **Troisièmement**, nous pensons, après lecture des travaux sociologiques précédemment cités, que l'émotion de groupe doit être plus qu'une simple mesure de l'état émotionnel global d'un ensemble d'agents. Nous l'avons vu, cette émotion particulière influence les différentes émotions individuelles de ces agents, les exagérant ou les inhibant selon leur type. **Quatrièmement**, nous souhaitons être au plus proche de la théorie concernant la contagion émotionnelle primitive, c'est-à-dire de ne pas procéder à un calcul instantané de l'émotion transférée mais plutôt de favoriser un enchaînement *affichage, mimétisme, rétroaction*. **Enfin**, nous pensons qu'il est vital d'introduire d'autres types d'influence que la seule émotion de groupe, notamment l'influence sociale proche qui n'est pas forcément fusionnée avec le groupe, ou les normes émotionnelles qui n'ont jusque là jamais été utilisées.

Le chapitre suivant est consacré à la modélisation et la formalisation d'un système représentant le phénomène de l'émotion collective tout en respectant ces différentes volontés.



# MODÉLISATION

---

*En matière de sentiment, le manque  
de logique est la meilleure preuve de la  
sincérité.*

---

LÉON TOLSTOÏ

## Sommaire

---

<b>2.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Présentation générale du système</b>	<b>22</b>
2.2.1	Émotion individuelle, humeur et affichage	22
2.2.2	Processus de l'émotion collective	23
2.2.3	Topologies	32
2.2.4	Architecture du système	34
<b>2.3</b>	<b>Formalisation</b>	<b>35</b>
2.3.1	États du système	35
2.3.2	Transitions entre les états du système	38
2.3.3	Protocoles des processus non traités	40
2.3.4	Protocoles des processus traités	42
<b>2.4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>56</b>

---

## 2.1 Introduction

L'émotion dans le domaine de l'informatique, en particulier pour la conception d'agents dits émotionnels, est actuellement un sujet en pleine effervescence. Pourtant, bien que les systèmes multi-agents soient intrinsèquement collectifs, les émotions collectives ne sont que peu abordées. Ce travail propose par conséquent une approche de ce problème, s'inspirant des recherches faites en psychologie et en sociologie tout en restant vigilant quant à son applicabilité et son utilité pour les systèmes multi-agents.

Pour ce faire, nous nous sommes concentrés sur plusieurs processus, pour certains individuels et pour d'autres collectifs, de création et d'influence des émotions d'agents situés dans un environnement, processus destinés à offrir une dynamique

émotionnelle collective.

Ainsi, nous procéderons en premier lieu à une présentation générale des différents processus mis en jeu dans la section 2.2, que nous formaliserons ensuite dans la section 2.3.

## 2.2 Présentation générale du système

### 2.2.1 Émotion individuelle, humeur et affichage

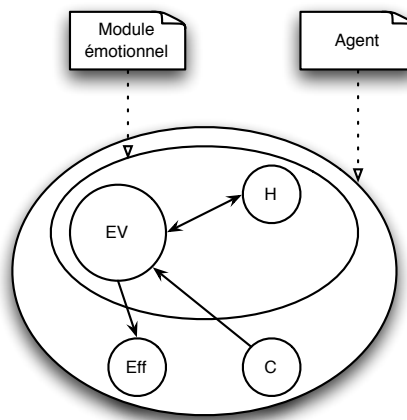


FIG. 2.1 – Modèle émotionnel d'un agent ; *EV* correspond aux émotions vives, *H* à l'humeur, *C* au capteur émotionnel et *Eff* à l'effecteur émotionnel.

Tels [Barsade et Gibson, 1998] et [Hatfield *et al.*, 1994], nous subdivisons l'émotion, appelée également *affect*, en deux notions<sup>1</sup> l'émotion vive et l'humeur.

Les émotions vives sont des réactions courtes et intenses à des stimuli provenant de l'environnement et sont par exemple appelées *joie*, *colère*, etc ([Plutchik, 1980a], [Reber, 1985]). De nombreux travaux informatiques, tels que [Adam, 2007], se sont déjà portés sur ce point particulier, aussi, tout en supposant son existence et sa véracité, nous ne le traiterons pas dans ce travail.

Le phénomène de l'humeur est quant à lui plus diffus, moins intense ; il ne cible pas spécifiquement d'objet ou d'évènement et prend la forme d'une évaluation positive ou négative ([Tellegen, 1985], [Frijda, 1986], [Nowlis, 1966]). Dans notre système nous considérons l'humeur comme le climat émotionnel général de l'agent. En

<sup>1</sup>En réalité, ces articles, ainsi que [Staw *et al.*, 1986] et [Watson et Clark, 1984], considèrent également une troisième notion, l'*affect dispositionnel*, décrite comme étant la tendance à éprouver un certain niveau d'humeur positive ou négative, c'est-à-dire la personnalité affective stable d'un individu. Nous ne traitons pas ce point dans ce travail.



d'autres termes, l'humeur est le résultat des émotions actuelles, en faisant une sorte de synthèse. Nous considérons l'humeur comme un mécanisme intéroceptif d'influence ; la section 2.3.4.2, page 43, donne de plus amples détails sur ce mécanisme.

Enfin, les effecteurs et capteurs émotionnels sont nécessaires aux processus d'émotion collective dans la mesure où les agents doivent accéder aux émotions de leurs semblables. Ainsi, les effecteurs émotionnels permettent d'afficher une émotions aux yeux des autres agents tandis que les capteurs émotionnels servent à "lire" les émotions des agents alentour.

Le schéma 2.1, page 22, indique dans quelle mesure ces différentes notions s'organisent.

### 2.2.2 Processus de l'émotion collective

Cette section présente les différents processus émotionnels collectifs que nous étudions dans ce travail. Nous commencerons tout d'abord par nous pencher sur la contagion émotionnelle puis nous étudierons le groupe émotionnel.

#### 2.2.2.1 Contagion émotionnelle

La contagion émotionnelle est le transfert d'une émotion d'une personne à une autre. [Schoenewolf, 1990] en offre une définition générale :

*"Un processus dans lequel une personne ou un groupe influence les émotions ou le comportement d'une autre personne ou d'un autre groupe à travers l'induction d'états émotionnels et d'attitudes comportementales"*  
(traduction par nos soins).

[Barsade, 2002] discerne deux types de contagion émotionnelle : la première, inconsciente, est un mécanisme de transfert, ou plutôt de copie, d'une émotion ; la seconde, plus consciente, se rapporte à la comparaison avec les autres et l'influence sur les émotions qui en découle. Les sections suivantes approfondissent ces points.

#### Contagion émotionnelle primitive

La contagion à un niveau inconscient est un processus automatique, dit "primitif", se faisant de façon continue et mettant en œuvre des mécanismes de mimétisme et de rétroaction ([Hatfield *et al.*, 1992], [Hatfield *et al.*, 1993], [Hatfield *et al.*, 1994]). En voici une définition :

*"[La contagion émotionnelle primitive est] la tendance à imiter automatiquement et à synchroniser ses mouvements, expressions, postures et vocalisations avec ceux d'une autre personne, et en conséquence, à*

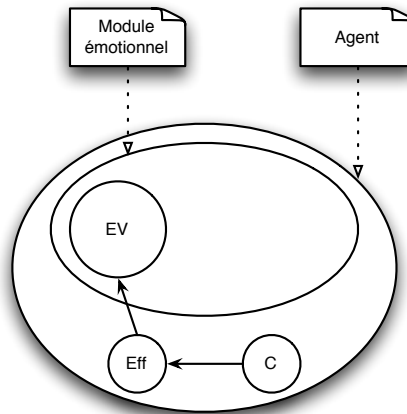


FIG. 2.2 – Modèle émotionnel d'un agent pour la contagion émotionnelle primitive ; *EV* correspond aux émotions vives, *C* au capteur émotionnel et *Eff* à l'effecteur émotionnel.

*converger au niveau émotionnel"* ([Hatfield *et al.*, 1992]).

Nous considérons ici la contagion émotionnelle comme un processus permettant un échange rapide d'informations pouvant se révéler précieuses sur la situation actuelle et les conduites à tenir ; cet échange est par ailleurs très rapide car ne nécessitant pas de messages ou autre communication de "haut niveau". Le transfert de l'émotion de peur en est un excellent exemple, notamment dans les cas de fuite où une personne, voyant un de ses semblables courir à toute allure, peut se mettre à fuir sans en connaître la raison, évitant ainsi un danger dont elle n'avait pas conscience. La contagion émotionnelle primitive utilise les effecteurs et capteurs émotionnels précédemment présentés ; le schéma 2.2, page 24, présente les liens entre ces différents éléments.

Étudions brièvement le protocole de la contagion émotionnelle primitive (le schéma 2.3, page 25, présente de façon imagée ce même protocole) grâce à deux agents, *A* et *B*. Nous nous plaçons, pour plus de simplicité, du point de vue de l'agent *A*, agent portant son attention<sup>2</sup> sur *B* ; il est néanmoins à noter qu'il est possible que *B* opère le même processus suivant son attention.

1. Nous supposons que l'agent *A* n'a pas d'émotion et n'en affiche donc aucune. *B*, dont l'émotion en elle-même n'est pas connue par *A*, affiche quant à lui une émotion de type *joie*.
2. Le capteur émotionnel de *A* recueille l'émotion affichée par *B* et la transfère

<sup>2</sup>L'attention d'un agent repose sur une topologie spécifique que la section 2.2.3, page 32, présente plus en profondeur.

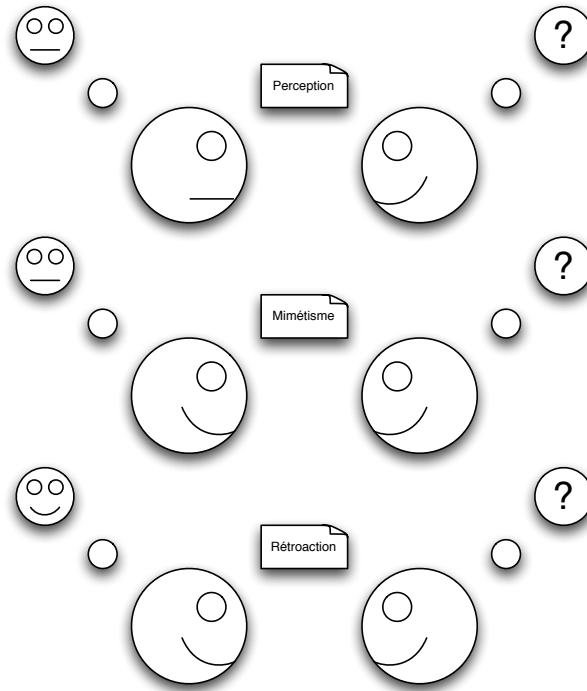


FIG. 2.3 – Représentation schématique du processus de contagion émotionnelle primitive.

directement à l'effecteur émotionnel, qui exprime à son tour cette émotion<sup>3</sup>. Grâce à ce processus, le mimétisme,  $A$  affiche, par l'intermédiaire de son effecteur, une émotion de type *joie* ; il n'a néanmoins pas encore réellement cette émotion.

3. Par le processus de rétroaction, l'agent  $A$  va alors ressentir<sup>4</sup> effectivement l'émotion de  $B$ .

Le calcul du transfert émotionnel lors de la contagion est dépendant de plusieurs variables<sup>5</sup> ; nous les présentons ci-dessous en nous appuyant sur deux agents quelconques  $i$  et  $j$  :

- $Int_j$  l'intensité de l'émotion ressentie<sup>6</sup> par l'agent  $j$ .
- $Exp_j$  l'expressivité de l'agent  $j$ .
- $D_{i,j}$  la distance topologique<sup>7</sup> entre les agents  $i$  et  $j$ .

<sup>3</sup>Notons que cela impose que les agents aient des effecteurs et capteurs émotionnels compatibles, ce que nous supposons.

<sup>4</sup>Ou du moins, ressentir une émotion copiée sur celle de  $B$ .

<sup>5</sup>Notons à ce titre que nous nous rapprochons des variables décrites dans [Bosse *et al.*, 2009].

<sup>6</sup>Nous supposons que l'émotion considérée ici, c'est-à-dire celle qui est affichée, est celle ayant la plus forte intensité.

<sup>7</sup>Cette distance représente, dans le cas d'une topologie physique, la propension à mimer l'autre

- $Sens_i$  la sensibilité de l'agent  $i$ .

L'intensité de l'émotion transférée est ainsi obtenue par les équations suivantes :

$$\alpha_j = Int_j * Exp_j \quad (2.1)$$

$$\beta_i = \alpha_j * \frac{1}{D_{i,j}} \quad (2.2)$$

$$\gamma_i = \beta_i * Sens_i \quad (2.3)$$

où  $\alpha_j$  est l'intensité de l'émotion affichée par l'agent  $j$ ,  $\beta_i$  est l'intensité de l'émotion affichée par l'agent  $i$  après le processus de mimétisme et  $\gamma_i$  est l'intensité de l'émotion finalement ressentie par l'agent  $i$  après le processus de rétroaction.

### Contagion émotionnelle sociale

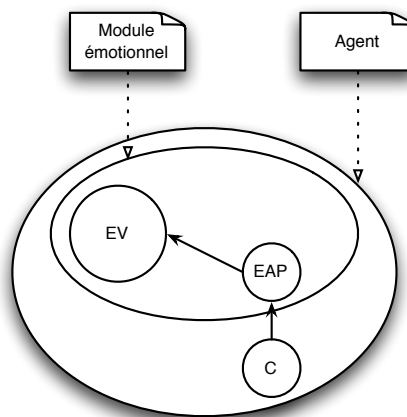


FIG. 2.4 – Modèle émotionnel d'un agent pour la contagion émotionnelle sociale ;  $EV$  correspond aux émotions vives,  $C$  au capteur émotionnel et  $EAP$  à l'émotion ambiante perçue.

La contagion à un niveau conscient est un processus de comparaison sociale<sup>8</sup>, où l'on capte les émotions des autres et où les réponses émotionnelles de chacun sont en accord avec ce qui semble être approprié dans la situation ([Barsade, 2002]). L'émotion est donc une information sociale nous indiquant ce qu'il convient de ressentir

et la "qualité" des détails perçus ; ainsi, une forte proximité permettra de capter la totalité des informations de l'effecteur là où une plus grande distance n'autorisera qu'une perception superficielle. Dans le cas d'une topologie sociale, cette distance représente l'importance, ou l'influence, de l'agent qui va être mimé. Le lecteur se reportera à la section 2.2.3, page 32, consacrée aux topologies, pour plus de détails.

<sup>8</sup>Pour plus de détails quant à la théorie de la comparaison sociale, le lecteur pourra se reporter à [Festinger, 1954].

dans une situation particulière.

Dans ce travail, nous considérons la contagion émotionnelle sociale comme un type d'influence sur les agents, agents qui vont se lancer dans des comparaisons sociales successives pour savoir si leur état émotionnel convient avec celui des agents alentour. Ainsi, un agent va se servir de l'émotion ambiante perçue comme une information sociale pour savoir ce qu'il doit ressentir ([Barsade, 2002]); l'émotion ambiante perçue va donc exercer une influence sur cet agent en augmentant les intensités des émotions correspondantes tandis que les intensités des autres émotions vont être baissées. Par exemple, si un agent perçoit une émotion ambiante de type *tristesse*, il va augmenter les intensités de ses émotions actuelles de type *tristesse* et baisser les intensités de ses émotions actuelles ayant un type différent.

Pour réaliser ce processus, nous introduisons donc l'*EAP*, pour émotion ambiante perçue, reflétant la moyenne des émotions perçues par l'agent; ce mécanisme peut être observé sur le schéma 2.5, page 27. Il est néanmoins important de noter que l'*EAP* est en réalité à l'intérieur de l'agent; la représenter hors de l'agent n'est destiné qu'à faciliter la compréhension. Le schéma 2.4, page 26, expose la place de l'*EAP* dans notre modèle émotionnel.

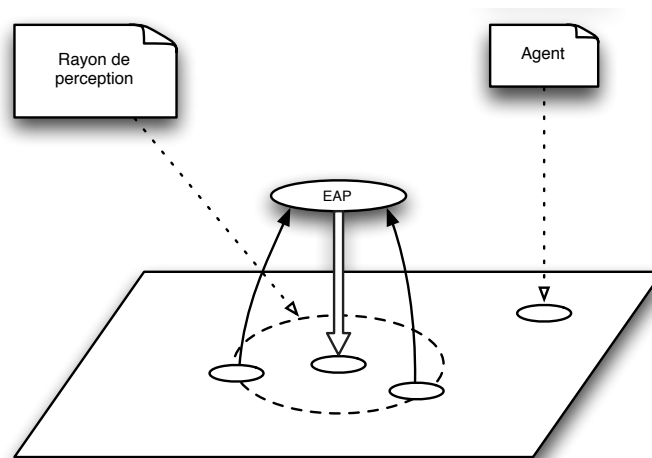


FIG. 2.5 – Schéma représentant le processus de contagion émotionnelle sociale. L'agent procédant au calcul de l'émotion ambiante récupère les émotions affichées par les agents étant dans son rayon de perception; l'*EAP* ainsi calculée influence alors ses émotions.

### 2.2.2.2 Émotion de groupe et normes émotionnelles

Au cœur d'un débat de longue date voyant s'affronter deux courants théoriques, l'émotion collective est considérée par certains comme une simple somme d'émotions

individuelles, le groupe n'ayant alors aucune existence au-delà de ses membres ; c'est la vision dite "*bottom-up*", dont font partie les processus vus précédemment. Pour d'autres, le groupe est une entité possédant des caractéristiques propres aux humains, ici le fait d'avoir des émotions, influençant ainsi les membres en son sein ; c'est la vision dite "*top-down*".

Loin de choisir une de ces approches aux dépens de l'autre, nous les considérons complémentaires à la manière de [Barsade et Gibson, 1998]<sup>9</sup>. Pour ce faire, nous introduisons la notion de patrimoine de groupe, c'est-à-dire plusieurs caractéristiques, qui sont dans ce travail les émotion de groupe et normes émotionnelles, propres au groupe et non à ses membres, caractéristiques néanmoins modifiables<sup>10</sup> dans une certaine mesure par ces mêmes membres. Nous abordons donc le problème des émotions collectives au sein des groupes par une approche hybride, où le groupe vaut plus que la somme de ses membres tout en restant tributaire de ces derniers. Dans les sections suivantes, nous abordons tout d'abord l'émotion de groupe et finirons avec les normes émotionnelles.

### Émotion de groupe

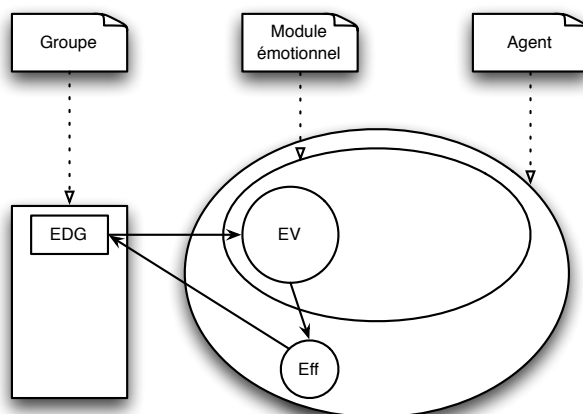


FIG. 2.6 – Modèle émotionnel d'un agent pour l'émotion de groupe ; *EV* correspond aux émotions vives, *Eff* à l'effecteur émotionnel et *EDG* à l'émotion de groupe.

En tant que patrimoine du groupe, nous considérons l'émotion de groupe comme influençant et étant influencée par les membres. De ce fait, le groupe pèse, par son émotion, sur les membres en "*homogénéisant [leurs] réponses individuelles, parfois*

<sup>9</sup>Si nous considérons le fait que le groupe puisse avoir des émotions propres, nous n'allons néanmoins pas jusqu'à l'envisager comme un agent à part entière pouvant avoir des perceptions et agir sur son environnement.

<sup>10</sup>Dans la version actuelle de ce travail, l'émotion de groupe est la seule caractéristique de groupe modifiable par ses membres, la norme faisant appel à d'autres notions, tels que les rôles, que nous ne traitons pas. Les perspectives présentées en page 73, approfondissent ce point.

en contraignant et parfois en exagérant ces réponses" ([Barsade et Gibson, 1998]); cette émotion étant elle-même calculée en fonction de la composition émotionnelle du groupe.

Ainsi, supposons l'existence<sup>11</sup> d'un groupe de trois agents  $A$ ,  $B$  et  $C$  affichant respectivement des émotions de *peur*, *joie* et *colère*. Le groupe est influencé par ses membres par le fait que l'émotion de groupe dépend du type d'émotion individuelle ayant la plus forte intensité globale; si l'agent  $B$  est celui affichant l'émotion la plus intense, l'émotion de groupe sera de type *joie*. Par ailleurs, le groupe va influencer les émotions de ses membres en augmentant les intensités de même type, ici l'émotion de joie de l'agent  $B$ , tout en diminuant les émotions de type différent. Les schémas 2.6, page 28, et 2.7, page 29, montrent cette double influence respectivement dans le modèle émotionnel et d'un point de vue extérieur.

Ce processus d'émotion de groupe rassemble donc les approches "*bottom-up*", grâce à l'influence des membres sur l'émotion de groupe, et "*top-down*", par l'exagération ou la modération des émotions des membres en fonction de l'émotion de groupe.

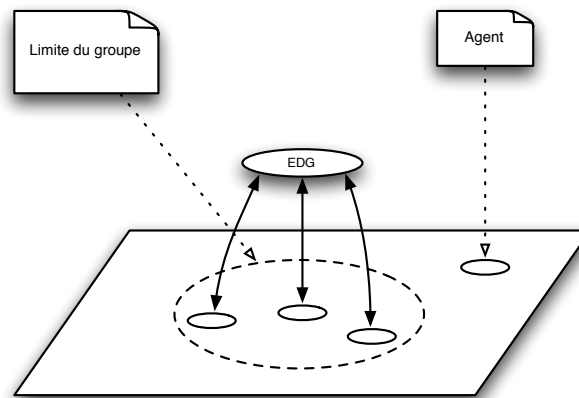


FIG. 2.7 – Schéma présentant la double influence entre l'émotion de groupe et les émotions des membres.

### Normes émotionnelles

Comme nous l'avons présenté ci-dessus, l'émotion de groupe traduit l'influence du groupe sur les émotions, menant potentiellement à des intensités bien supérieures (ou inférieures, selon la correspondance entre émotions individuelles et émotion de groupe) à ce qu'éprouverait un agent s'il était hors de tout groupe, et participant de ce fait à la convergence émotionnelle des membres.

<sup>11</sup>Notons que les émotions individuelles peuvent, dans une certaine mesure, aider à la création de groupe; ce point est plus particulièrement traité dans la section 2.3.4.5, 50.

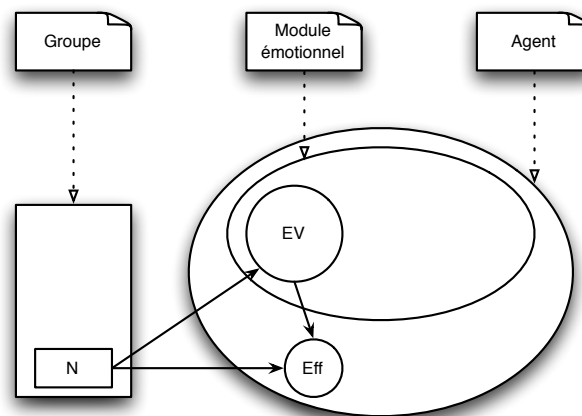


FIG. 2.8 – Modèle émotionnel d'un agent pour les normes émotionnelles; *EV* correspond aux émotions vives, *Eff* à l'effecteur émotionnel et *N* aux normes émotionnelles du groupe.

Si le processus d'émotion de groupe est un mécanisme fort, il n'est pas le seul à façonner les expériences émotionnelles des membres d'un groupe. En effet, il peut exister des règles au sein d'un groupes indiquant ce qu'il convient de faire, de penser, et même ce qu'il convient de ressentir ([Parkinson *et al.*, 2005]); ces règles, qui sont le sujet de cette section, sont appelées *normes sociales*.

Dans ce travail, nous nous penchons, bien entendu, exclusivement sur les normes ayant trait aux émotions. Ainsi, [Barsade et Gibson, 1998] dénote la tendance des personnes à gérer leurs émotions pour se conformer aux règles d'expérience ("*feeling rules*") et d'expression ("*display rules*"); ces règles sont donc un ensemble de normes partagées socialement portant sur le type d'émotion et la façon de l'exprimer dans certaines situations (toujours selon [Barsade et Gibson, 1998]).

[Parkinson, 1995] fait de plus la différence entre deux types de norme :

- les prescriptions restrictives, normes qui indiquent ce qui ne doit pas être ressenti ou exprimé.
- les prescriptions expansives, normes qui indiquent ce qui doit être ressenti ou exprimé.

[Parkinson *et al.*, 2005] croise ces distinguos (expression ou expérience, prescriptions restrictives ou expansives) avec la différenciation entre les normes portant sur le type d'une émotion (c'est-à-dire l'interdiction ou l'obligation de ressentir ou d'exprimer un type précis d'émotion) et les normes portant sur le degré d'une émotion (c'est-à-dire portant sur l'intensité de l'émotion ressentie ou exprimée); cette classification peut être observée sur le tableau 2.1, page 31. À titre d'exemple, une norme portant sur le type et l'expression d'une émotion peut être l'interdiction de montrer



Aspect de l'émotion affectée	Type de règle	Prescriptions restrictives	Prescriptions expansives
Degré de l'émotion	Règle d'expression émotionnelle	Exprimer moins intensément les émotions	Exprimer plus intensément les émotions
	Règle d'expérience émotionnelle	Ressentir moins intensément les émotions	Ressentir plus intensément les émotions
Type de l'émotion	Règle d'expression émotionnelle	Interdiction d'exprimer certaines émotions	Obligation d'exprimer certaines émotions
	Règle d'expérience émotionnelle	Interdiction de ressentir certaines émotions	Obligation de ressentir certaines émotions

TAB. 2.1 – Tableau présentant les normes possibles d'un groupe (adapté de [Parkinson *et al.*, 2005]).

sa peur au sein du groupe, dans le cas d'une prescription restrictive. Les schémas 2.8, page 30, et 2.9, page 31, présentent respectivement l'influence de ces normes dans le modèle émotionnel et l'acquisition des normes émotionnelles du groupe d'un point de vue extérieur.

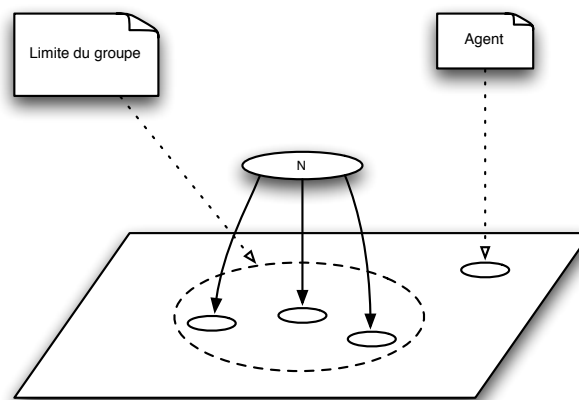


FIG. 2.9 – Schéma présentant le transfert des normes émotionnelles vers les membres du groupes.

### 2.2.3 Topologies

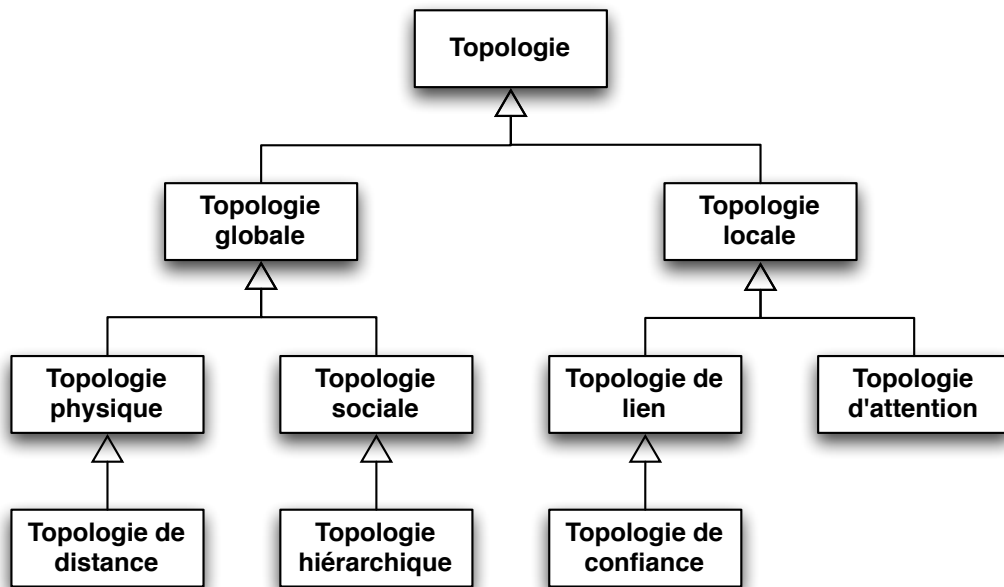


FIG. 2.10 – Diagramme présentant un exemple des différentes topologies possibles.

Dans ce travail, nous utilisons diverses topologies représentant les différentes distances séparant les agents. Celles-ci peuvent représenter tant la proximité physique que sociale entre les agents. Le diagramme 2.10, page 32, présente, sans être exhaustif, un panel de topologies et leur organisation.

Les **topologies globales** représentent, comme leur nom l'indique, les liens globaux entre agents ; ces topologies sont partagées par tous les agents ayant une position dans ces dernières. La caractéristique principale de ces topologies est que le déplacement d'un agent modifie les distances le séparant de tous les autres agents. Ainsi, par exemple, si l'on suppose que deux agents  $A$  et  $B$  sont côte à côte et qu'un troisième agent  $C$  se rapproche de  $A$ , il se rapprochera alors de  $B$  par la même occasion.

Les topologies globales se subdivisent en deux groupes : les topologies physiques et les topologies sociales. Les premières représentent une zone où les agents se déplacent "physiquement" ; un espace en deux dimension en est un excellent exemple. Les topologies sociales représentent, comme leur nom l'indique, des distances sociales, par exemple dans le cadre hiérarchique ou familial.

Les **topologies locales** représentent les liens personnels qui attachent un agent

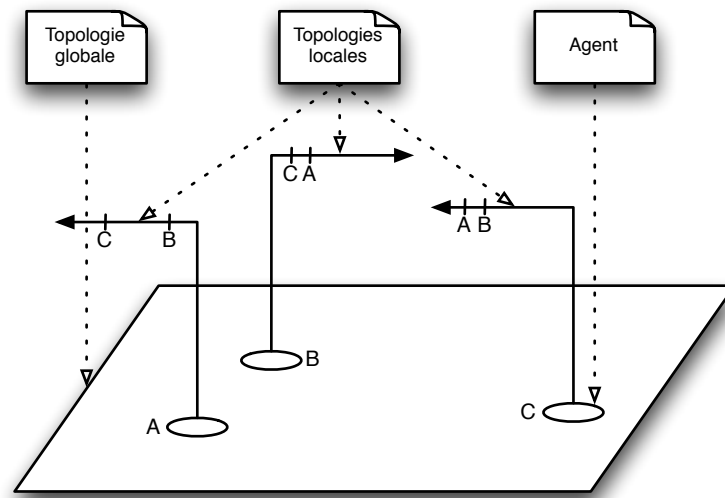


FIG. 2.11 – Schéma présentant plusieurs topologies, par exemple une topologie globale physique et plusieurs topologies locales de confiance.

aux autres ; ces topologies sont des attributs propres aux agents et par conséquent chaque agent possède ses propres topologies locales qu’il ne partage pas avec ses semblables. La caractéristique principale différenciant les topologies locales des topologies globales est que le déplacement d’un agent dans une de ces topologies ne modifie pas les distances le séparant de tous les autres agents.

Si l’on prend l’exemple particulièrement parlant de la confiance<sup>12</sup>, lorsqu’un agent *A* se rapproche d’un autre agent *B*, lui-même proche d’un troisième agent *C*, cela n’implique pas que *A* se rapproche de *C*. Il peut même arriver que *C* (où même *B*) s’éloigne de *A* dans le même temps.

Le schéma 2.11, page 33, exhibe la différence entre les topologies globales et locales.

Notons de plus l’existence d’une topologie locale spéciale, la **topologie d’attention**, qui représente, comme son nom l’indique, l’attention que porte un agent sur le monde. Ainsi, une forte proximité entre l’agent et un élément (par exemple un autre agent ou un évènement) dans cette topologie indique une forte attention du premier sur le second.

Nous supposons que la topologie d’attention ne contient pas nécessairement tous les éléments de l’environnement dans lequel évolue l’agent, celui-ci n’ayant pas forcément conscience de tout ce qui l’entoure ; tout élément absent de cette topologie

<sup>12</sup>Un thème qui n’est pas traité ici.

n'est alors pas considéré par l'agent.

### 2.2.4 Architecture du système

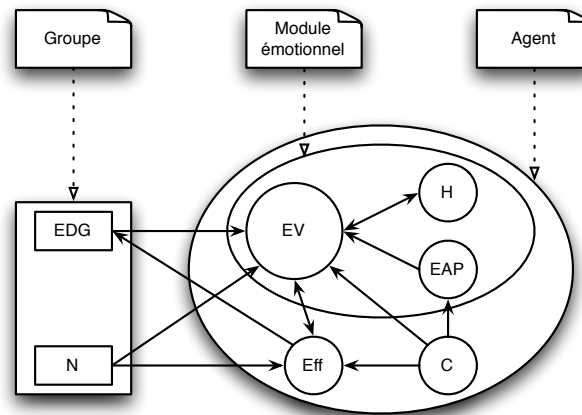


FIG. 2.12 – Modèle émotionnel présenté dans sa totalité ; *EV* correspond aux émotions vives, *H* à l'humeur, *EAP* à l'émotion ambiante perçue, *EDG* à l'émotion de groupe, *N* aux normes émotionnelles du groupe, *C* au capteur émotionnel et *Eff* à l'effecteur émotionnel.

Les émotions collectives ne peuvent exister sans la présence des émotions individuelles. Ce point, s'il semble évident, impose néanmoins une architecture spécifique. En effet, ce système nécessite que les agents possèdent des caractéristiques particulières ; le schéma 2.12, page 34, résume l'ensemble<sup>13</sup> du modèle émotionnel des agents.

De plus, les différents processus ont besoin à la fois des émotions individuelles ressenties par les agents, puisque nous ne traitons pas directement ces dernières, et des informations provenant de l'environnement, telles que les positions ou les événements. Le système ne peut donc exister par lui-même et prend ainsi la forme d'une couche qu'il est possible de rajouter à un système multi-agents pour obtenir des processus d'émotions collectives. Le schéma 2.13, page 35, montre les informations nécessaires au bon fonctionnement du système.

Ces contraintes architecturales garantissent un système réutilisable et extensible, notamment en permettant l'ajout de nouvelles fonctionnalités, par exemple le traitement d'autres processus émotionnels tels que l'empathie, la modification

<sup>13</sup>Notons que cela n'implique pas que les agents doivent posséder uniquement ces caractéristiques ; ils peuvent par exemple disposer d'un module de raisonnement.

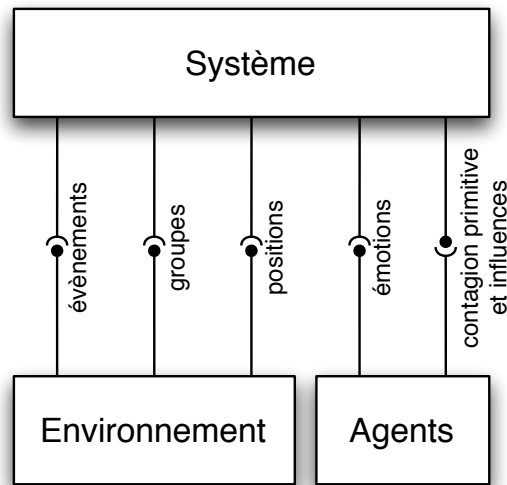


FIG. 2.13 – Représentation schématique des informations nécessaires pour le système.

de fonctionnalités présentes, comme l'attention, ou l'adaptabilité à n'importe quelle implémentation des émotions individuelles<sup>14</sup>.

## 2.3 Formalisation

### 2.3.1 États du système

Dans cette partie, nous nous emploierons à formaliser notre modèle ; nous utiliserons à cette fin le formalisme d'états-transitions. Nous nous intéresserons dans un premier temps aux états du système, qui sont des visions globales du système à des instants précis, puis aux transitions entre ces états traduisant l'évolution du système. Enfin, nous étudierons les processus d'émotions collectives à travers le prisme de cette formalisation.

Soient

- $\Sigma$  l'état du système.
- $AGT = \{a_1, a_2, \dots\}$  l'ensemble des agents du système.
- $\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots\}$  l'ensemble des événements possibles. De plus,  $\Phi = \Phi^{ext} \cup \Phi^{int}$ , où  $\Phi^{ext}$  et  $\Phi^{int}$  sont respectivement l'ensemble des événements externes au système possibles et l'ensemble des événements internes au système possibles<sup>15</sup>. Notons que, par commodité,  $\phi_j$  représente sans distinction un événement externe ou interne.

<sup>14</sup>Dans la mesure où la conception des agents respecte le modèle émotionnel.

<sup>15</sup>Se reporter à la section 2.3.2, page 38, pour de plus amples détails concernant les évolutions externes et internes au système.

$\Sigma$	
$\mathcal{E}$	$\{\phi_j \mid j \in [1, n]\}$
$\mathcal{A}$	$\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} \rangle$
	$\langle a_i, \text{sens}_{a_i}, \text{exp}_{a_i} \rangle$
	$\langle a_i, \text{émotion}_{\text{eff}}, \text{int} \rangle$
	$\langle a_i, \text{eap} \rangle$
$\mathcal{T}$	$\langle a_i, \text{pos}_{\text{topo}_t, p} \rangle$
	$\langle \phi_j, \text{pos}_{\text{topo}_t, p} \rangle$
	$\text{TOPO}$ $D_{\text{topo}_t}$
$\mathcal{G}$	$\langle gr_u, \text{memb}_{gr_u}, \text{edg}, \text{norm} \rangle$

TAB. 2.2 – Tableau représentant les tuples traduisant l'état du système.

- $GR = \{gr_1, gr_2, \dots\}$  l'ensemble des groupes du système.
- $TOPO = \{topo_1, topo_2, \dots\}$  l'ensemble des topologies du système.
- $P = \bigcup_{t=1}^m POS_{topo_t}$  l'ensemble des positions possibles du système au sein des  $m$  topologies, où  $POS_{topo_t} = \{pos_{topo_t,1}, pos_{topo_t,2}, \dots\}$  est l'ensemble des positions de la topologie  $topo_t$ .
- $EMO = \{emotion_1, emotion_2, \dots\}$  l'ensemble des émotions possibles. De plus,  $EMO = EMO^+ \cup EMO^-$ , où  $EMO^+$  est l'ensemble des émotions positives possibles et  $EMO^-$  est l'ensemble des émotions négatives possibles<sup>16</sup>.

À tout instant, le système peut être décrit grâce à quatre ensembles différents :  $\mathcal{G}$ ,  $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{T}$  et  $\mathcal{E}$  tels que  $\Sigma = \mathcal{G} \cup \mathcal{A} \cup \mathcal{T} \cup \mathcal{E}$ . Le tableau 2.2, page 36, résume ces ensembles.

**L'ensemble  $\mathcal{E}$**  correspond à l'environnement et contient les évènements qui ont lieu dans l'état courant du système. Ainsi, nous avons

$$\mathcal{E} = \{\phi_j \mid j \in [1, n]\} \quad (2.4)$$

avec  $n$  le nombre d'évènements existant dans l'état courant du système. Ainsi,  $\mathcal{E} \subseteq \Phi$ .

**L'ensemble  $\mathcal{A}$**  contient les tuples correspondant aux agents, c'est-à-dire :

- Les différentes émotions des agents

$$\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} \rangle \quad (2.5)$$

<sup>16</sup>À titre d'exemple, la *joie* et la *fierté* sont des exemples généralement acceptés d'émotions positives tandis que la *tristesse* et la *colère* sont généralement acceptées en tant qu'émotions négatives; le lecteur pourra par exemple se reporter à [Lazarus, 1991] pour une liste plus complète des émotions positives et négatives.

où  $a_i$  est un agent tel que  $a_i \in AGT$ ,  $\phi_j$  est un évènement tel que  $\phi_j \in \mathcal{E}$  (c'est donc un évènement ayant lieu dans l'état courant du système),  $émotion_k$  est une émotion déclenchée lors l'évaluation de l'évènement  $\phi_j$  par l'agent  $a_i$  telle que  $émotion_k \in EMO$  et  $int$  l'intensité de cette émotion telle que  $int \in [0, +\infty[$ .

Notons que, par ce formalisme, nous faisons l'hypothèse que si un évènement n'a plus lieu, les agents n'auront automatiquement plus d'émotion par rapport à lui (sans tenir compte ici de la diminution normale dans le temps de l'intensité d'une émotion, aspect que nous ne traitons pas car dépendant des émotions à un niveau individuel).

- Les caractéristiques des agents

$$\langle a_i, sens_{a_i}, exp_{a_i} \rangle \quad (2.6)$$

où  $sens_{a_i}$  et  $exp_{a_i}$  sont respectivement la sensibilité et l'expressivité de l'agent  $a_i$ . Notons que si stocker la sensibilité et l'expressivité d'un agent est obligatoire (car ces attributs peuvent être modifiés par les normes du groupe), l'humeur est quant à elle calculée. La section 2.3.4.2, page 43, relate ce calcul et se penche plus amplement sur l'humeur en tant que processus d'influence.

- Les effecteurs émotionnels des agents

$$\langle a_i, émotion_{eff}, int \rangle \quad (2.7)$$

où  $émotion_{eff}$  est l'émotion d'intensité  $int$  affichée par l'effecteur émotionnel de l'agent  $a_i$ .

Dans un souci de simplification, nous prenons pour hypothèse le fait que les agents ont un seul effecteur émotionnel<sup>17</sup> ne pouvant afficher qu'une seule émotion à la fois ; cette émotion étant l'émotion de plus forte intensité. Pour alléger le texte, nous utiliserons dans la suite de ce travail le terme *effecteur* pour nous référer à un effecteur émotionnel.

- L'émotion ambiante perçue

$$\langle a_i, eap \rangle \quad (2.8)$$

où  $eap$  est le type d'émotion ambiante que l'agent  $a_i$  perçoit autour de lui.

**L'ensemble  $\mathcal{T}$**  contient les positions des agents et évènements au sein des différentes topologies du système.

$$\langle a_i, pos_{topot,p} \rangle \quad (2.9)$$

$$\langle \phi_j, pos_{topot,p} \rangle \quad (2.10)$$

---

<sup>17</sup>Cette contrainte peut être levée si besoin est mais nécessite alors de stocker des tuples supplémentaire pour chaque agent.

où  $pos_{topo_t,p}$  est la position de l'agent  $a_i$  ou de l'évènement  $\phi_j$  dans la topologie  $topo_t$ . Ainsi,  $\mathcal{T} \subset (AGT \times P) \cup (\mathcal{E} \times P)$ , où  $AGT$  est l'ensemble des agents du système,  $P$  est l'ensemble des positions possibles du système et  $\mathcal{E}$  est l'ensemble des évènements existant dans l'état courant du système.

Il est particulièrement important de noter que nous n'imposons pas aux évènements d'avoir une position ; bien au contraire, nous considérons que l'évènement de mimétisme ne peut pas avoir de position. Il n'est à ce titre perceptible que de l'agent ayant déclenché cet évènement exclusivement.

De plus, nous disposons d'une fonction de mesure des distances dans les topologies

$$D_{topo_t} : POS_{topo_t} \times POS_{topo_t} \rightarrow dist \quad (2.11)$$

où  $dist$  est un nombre<sup>18</sup> représentant la distance entre deux positions d'une même topologie  $topo_t$ .

Les agents et évènements peuvent avoir une position dans plusieurs topologies différentes, néanmoins nous posons pour hypothèse l'impossibilité pour un agent ou un évènement d'avoir plusieurs positions différentes au sein d'une même topologie. Par conséquent, si  $\exists \beta$  un agent  $a_i$  ou un évènement  $\phi_j$  et  $\exists pos_{topo_t,1}, pos_{topo_t,2} \in POS_{topo_t}$  tels que  $\langle \beta, pos_{topo_t,1} \rangle$  et  $\langle \beta, pos_{topo_t,2} \rangle$ , alors  $pos_{topo_t,1} = pos_{topo_t,2}$ .

L'ensemble  $\mathcal{G}$  contient les tuples concernant les groupes.

$$\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle \quad (2.12)$$

où  $gr_u$  est un groupe tel que  $gr_u \in GR$ ,  $memb_{gr_u}$  est l'ensemble des agents appartenant au groupe  $gr_u$  tel que  $memb_{gr_u} \subseteq AGT$ ,  $edg$  est l'émotion de groupe et  $norm$  est l'ensemble de normes s'appliquant aux membres du groupe<sup>19</sup>.

Il est important de noter que nous ne traitons pas la notion de groupe dans toute sa complexité et qu'à ce titre, nous ne nous penchons pas sur les facettes autres qu'émotion de groupe et normes.

### 2.3.2 Transitions entre les états du système

Il nous faut à présent modéliser la dynamique du système en utilisant des transitions entre les différents états du système. Nous avons ainsi plusieurs cas possibles d'évolution (changement d'état) du système que nous classons en trois catégories.

<sup>18</sup>Ce nombre peut être de nature différente selon la topologie considérée ; il pourra par exemple être un entier dans le cas d'une topologie hiérarchique ou un réel dans le cas d'une topologie physique

<sup>19</sup>L'émotion de groupe et les normes font partie du patrimoine de ce groupe ; se reporter à la section 2.3.4.5, page 53, pour une description rapide de la notion de patrimoine.



- Les évolutions externes au système<sup>20</sup>, c'est-à-dire les changements sortant du cadre de ce travail :
  1. L'apparition ou la disparition d'un évènement.
  2. L'évaluation d'un évènement (externe au système) donnant lieu à l'apparition d'une nouvelle émotion ou la disparition d'une émotion lorsque l'évènement lié n'a plus lieu.
  3. Le changement de position des agents et évènements dans les topologies.
  4. La création de groupes et les entrées (et sorties) de membres dans ces groupes<sup>21</sup>.
  
- Les évolutions ayant pour origine un processus individuel :
  5. Le changement de l'émotion (et/ou de son intensité) affichée par un effecteur, c'est-à-dire le processus normal d'affichage de l'émotion de plus forte intensité.
  6. La modification des intensités par le calcul et l'influence de l'humeur.
  7. Le changement de l'émotion (et son intensité) affichée par un effecteur d'agent par la copie de l'effecteur d'un autre agent, c'est-à-dire le mimétisme.
  8. L'apparition d'une émotion grâce au sous-processus de rétroaction ("*feedback*"), que nous considérons comme l'évaluation de l'évènement (interne au système) de mimétisme.
  
- Les évolutions ayant pour origine un processus collectif :
  9. La modification des intensités par le calcul et l'influence de l'émotion ambiante perçue, c'est-à-dire le processus de contagion émotionnelle sociale.
  10. La modification des intensités par le calcul et l'influence de l'émotion de groupe.
  11. La modification des émotions et de leur intensité par les normes de groupe.

---

<sup>20</sup>Nous considérons ces évolutions comme gérées extérieurement au système et laissons la possibilité de rajouter des modules pour remplir ces tâches ; il est donc possible aux concepteurs de gérer de la façon qu'ils souhaitent ces aspects. De plus, si ces évolutions sont externes au système, cela ne signifie pas pour autant qu'elles sont externes aux agents. Par exemple, le déplacement d'un agent peut venir d'une prise de décision et donc de son module de raisonnement ; l'évaluation d'un évènement est quant à elle directement liée au module émotionnel de l'agent.

<sup>21</sup>La création de groupes sort du cadre de ce travail car elle nécessite d'autres notions que les seules émotions. Néanmoins, nous mettons en place la création de "pré-groupes" émotionnels basés sur la similarité des agents au niveau de l'émotion affichée (se reporter à la section 2.3.4.5, page 50, pour de plus amples détails).

### 2.3.3 Protocoles des processus non traités

Dans cette section, nous nous penchons très rapidement sur les processus que nous ne traitons pas (ou du moins, que nous traitons seulement en partie) dans ce travail.

#### Apparition et disparition d'évènements

L'apparition d'évènements occasionne des modifications de l'ensemble  $\mathcal{E}$ , plus précisément par l'ajout d'un évènement  $\phi_j$  à  $\mathcal{E}$  tel que  $\phi_j \in \Phi$ . De façon analogue, la suppression d'évènement suscite des modifications de l'ensemble  $\mathcal{E}$ , ici en retirant un évènement  $\phi_j$  de ce dernier.

#### Évaluation d'évènements

---

**Algorithme 1** Algorithme de rafraîchissement des émotions.

---

```

1: fonction REFRESHÉVALEVENT( $a_i$ )
2:   // Nous supposons l'existence d'une fonction d'évaluation d'évènements
3:    $emotion \leftarrow a_i.evalEvent(event)$ 
4:    $a_i.refreshIntensity(emotion, a_i.getMood())$ 
5:    $a_i.refreshIntensity(emotion, a_i.getEAP())$ 
6:    $a_i.refreshIntensity(emotion, a_i.getEDG())$ 
7:    $a_i.refreshEmotion(emotion, a_i.getNorms())$ 
8:   retourner vrai
9: fin fonction

```

---

L'évaluation d'un évènement est le principal processus de création d'émotions. Celui-ci modifie l'ensemble  $\mathcal{A}$ , en particulier par l'ajout d'un tuple  $\langle a_i, \phi_j, émotion_k, int \rangle$ <sup>22</sup>.

L'évaluation d'un évènement de mimétisme est permise par le processus de rétroaction ; la section 2.3.4.3, page 47, traite ce point plus en profondeur.

Notons que la disparition d'un évènement provoque nécessairement la disparition de tuple ayant un rapport avec cet évènement. Ainsi, le tuple  $\langle a_i, \phi_j, émotion_k, int \rangle$  disparaîtra dans le cas où l'évènement  $\phi_j$  n'existe plus dans l'état courant du système.

Par ailleurs, il est particulièrement important de noter que toute création d'une émotion par évaluation d'un évènement implique un rafraîchissement dans l'instant de son intensité par les différents processus d'influences<sup>23</sup>, c'est-à-dire l'humeur, l'émotion ambiante perçue, l'émotion de groupe et les normes. Ce procédé permet

---

<sup>22</sup>Il n'y a ajout que si l'évaluation mène effectivement à une émotion. En effet, une évaluation ne peut avoir lieu que si l'évènement est perçu et ce dernier doit être pertinent pour l'agent.

<sup>23</sup>Si cela est possible ; un agent ne faisant pas partie d'un groupe ne subira pas de modification de l'intensité de son émotion nouvellement créée par les processus d'émotion de groupe et de normes.

d'assurer en permanence la conformité de l'émotion créée et de son intensité avec les processus susnommés. L'algorithme 1, page 40, présente de quelle façon ce conformisme<sup>24</sup> peut être mis en place.

Si l'ordre de rafraîchissement par les processus ne pouvant influencer que l'intensité importe peu, les normes doivent quant à elles se trouver exclusivement en toute fin, symbolisant l'autorité du groupe et de ses directives sur l'agent ; ainsi placée en dernière place, l'influence des normes est la plus importante. Ce point est crucial car le processus des normes est le seul pouvant forcer l'apparition d'une émotion ou l'annuler.

### Changement de position

Le changement de position, c'est-à-dire le déplacement, d'un agent  $a_i$  cause la modification de  $\mathcal{T}$  par la suppression du tuple  $\langle a_i, old\_pos \rangle$  représentant l'ancienne position de l'agent et l'ajout du tuple  $\langle a_i, new\_pos \rangle$  représentant la nouvelle position de  $a_i$ .

De plus, nous supposons également que les événements peuvent, de façon analogue, changer de position au fil du temps<sup>25</sup>, notamment dans le cas de la topologie d'attention des agents, par la suppression du tuple  $\langle \phi_j, old\_pos \rangle$  et l'ajout du tuple  $\langle \phi_j, new\_pos \rangle$ .

### Création et dynamique des groupes

Comme nous l'avons vu plus tôt, nous ne traitons que de façon succincte la création et la dynamique (c'est-à-dire les entrées et sorties d'agents) des groupes. Néanmoins, comme nous le verrons dans la section 2.3.4.5, page 50, nous mettons en place une création de "pré-groupes" émotionnels basée sur la similarité des émotions affichées par les agents.

Toutefois, nous pouvons discerner quatre cas de modification de l'état du système en fonction des groupes :

- La création d'un groupe  $gr_u$ , introduisant un nouveau tuple  $\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle$  dans l'ensemble  $\mathcal{G}$ , avec  $memb_{gr_u}$  l'ensemble des agents ayant créé le groupe et  $edg$ , l'émotion ayant mené à la création de ce groupe.
- L'entrée d'un agent  $a_i$  dans un groupe  $gr_u$ , modifiant le tuple  $\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle$  par l'ajout de  $a_i$  à l'ensemble  $memb_{gr_u}$  tel que  $a_i \in AGT$ .
- La sortie d'un agent  $a_i$  d'un groupe  $gr_u$ , modifiant le tuple  $\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle$  par la suppression de  $a_i$  de l'ensemble  $memb_{gr_u}$ .

<sup>24</sup>Un tel procédé permet de laisser intact le module d'évaluation d'évènement d'un agent, autorisant par là même le concepteur d'utiliser le module de son choix.

<sup>25</sup>À l'exception des événements de mimétisme qui n'ont pas de position et ne peuvent donc se déplacer.

- La disparition d'un groupe  $gr_u$ , supprimant le tuple  $\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle$  de l'ensemble  $\mathcal{G}$ .

Il est important de noter que nous ne traitons pas les deux derniers points car, comme nous le supposons dans la section 2.3.4.5, page 50, les agents ne peuvent quitter leur groupe après y être entrés ; un groupe ayant forcément des membres, il ne pourra disparaître<sup>26</sup>.

### 2.3.4 Protocoles des processus traités

Dans cette section, nous nous penchons sur les protocoles de chacun des processus que nous traitons dans ce travail.

Notons que dans les algorithmes présents au fil de cette section, *retourner vrai* indique qu'un changement de l'état du système a eu lieu alors que *retourner faux* indique l'inverse.

#### 2.3.4.1 Affichage de l'émotion

---

**Algorithme 2** Algorithme d'affichage de l'émotion de plus forte intensité.

---

```

1: fonction DISPLAYMOSTINTENSEEMOTION( $a_i$ )
2:    $emotion \leftarrow a_i.getMostIntenseEmotion()$ 
3:    $intensity \leftarrow emotion.getIntensity()$ 
4:    $expressivity \leftarrow a_i.getExp()$ 
5:    $effector.setEmotion(emotion, intensity * expressivity)$ 
6:   retourner vrai
7: fin fonction

```

---

Comme nous l'avons vu plus tôt, l'affichage des émotions d'un agent se fait à travers un effecteur spécifique, l'*effecteur émotionnel*. Nous supposons qu'en temps normal (c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de mimétisme), l'émotion de plus forte intensité est celle affichée par l'effecteur de l'agent.

Ainsi, un agent  $a_i$  ayant le tuple  $\langle a_i, \phi_j, émotion_k, max\_int \rangle$ , représentant son émotion d'intensité maximale, aura un tuple  $\langle a_i, émotion_{eff}, eff\_int \rangle$ , représentant l'affichage de l'émotion, tel que  $émotion_k = émotion_{eff}$  et  $eff\_int = max\_int * exp_{a_i}$ , où  $exp_{a_i}$  est l'expressivité de l'agent (voir l'équation 2.6, page 37). Notons que l'affichage de la baisse d'intensité dans le temps est naturellement traité par ce procédé, l'intensité du tuple d'affichage étant liée à celle de l'émotion de plus forte intensité.

L'émotion de plus forte intensité va changer au fil du temps et des événements que l'agent va évaluer. Ainsi, plusieurs cas peuvent occasionner un changement d'émotion

---

<sup>26</sup>Ceci suppose que ne plus avoir aucun membre est la seule configuration permettant de voir disparaître un groupe.

de plus forte intensité : l'apparition d'une émotion d'intensité plus forte encore, la disparition de l'évènement ayant mené à l'émotion de plus forte intensité courante et, le cas échéant<sup>27</sup>, la baisse naturelle de l'intensité au cours du temps.

**Changements du système occasionnés par ce processus** Lorsque l'émotion de plus forte intensité change, le tuple  $\langle a_i, old\_émotion_{eff}, old\_int \rangle$  est supprimé du système et remplacé par un nouveau tuple  $\langle a_i, new\_émotion_{eff}, new\_int \rangle$ , où  $old\_int$  et  $new\_int$  sont respectivement les intensités de l'ancienne émotion de plus forte intensité  $old\_émotion_{eff}$  et de la nouvelle émotion de plus forte intensité  $new\_émotion_{eff}$ . L'algorithme 2, page 42, présente cet affichage. Notons que dans cet algorithme, nous ne cherchons pas à savoir si l'émotion de plus forte intensité change effectivement.

### 2.3.4.2 Humeur

---

**Algorithme 3** Algorithme du processus d'influence de l'humeur.

---

```

1: fonction MOODCONGRUENCE( $a_i$ )
2:    $mood_{new} \leftarrow a_i.computeMood()$ 
3:   si  $a_i.getMood() = mood_{new}$  alors
4:     retourner faux
5:   sinon
6:      $a_i.setMood(mood_{new})$ 
7:      $a_i.refreshIntensities(a_i.getMood())$ 
8:     retourner vrai
9:   fin si
10: fin fonction

```

---

Dans ce travail, nous considérons l'humeur d'un agent comme un état émotionnel ayant une valence<sup>28</sup> positive ou négative et résultant, comme nous l'avons vu plus haut, de la somme des intensités de ses émotions positives moins la somme des intensités de ses émotions négatives. Par conséquent, lors d'un changement dans les émotions, ou leur intensité, de cet agent, l'humeur est recalculée par la formule suivante :

$$\gamma = \sum int_{EMO_{a_i}^+} - \sum int_{EMO_{a_i}^-} \quad (2.13)$$

où

- $EMO_{a_i}^+ \subseteq EMO^+$  est l'ensemble des émotions positives de l'agent  $a_i$

---

<sup>27</sup>C'est-à-dire si le module émotionnel des agents inclut la dégradation de l'intensité des émotions dans le temps.

<sup>28</sup>La valence possède plusieurs sens, notamment en psychologie, tel que le caractère attractif d'un objet ou d'un évènement. Pour ce travail, la valence est utilisée en tant que caractéristique permettant la catégorisation des émotions en deux ensembles opposés que sont les émotions positives et les émotions négatives. Notons par ailleurs que l'humeur peut également être neutre.

- $EMO_{a_i}^- \subseteq EMO^-$  est l'ensemble des émotions négatives de l'agent  $a_i$

Ainsi, si

- $\gamma > 0$ , l'humeur est positive
- $\gamma < 0$ , l'humeur est négative
- $\gamma = 0$ , l'humeur est "neutre", c'est-à-dire qu'elle n'est ni positive, ni négative.

L'intensité de l'humeur est alors égale à  $|\gamma|$ .

Une fois ce calcul effectué, nous utilisons l'humeur en tant que premier mécanisme d'influence sur les émotions de l'agent. Ce processus est appelé *effet de congruence* :

*"Quand on est d'humeur gaie, on tient plus facilement compte des éléments favorables que des autres, et inversement quand on est d'humeur triste. C'est ce qu'on appelle l'effet de congruence." ([Livet, 2002])*

Nous considérons donc que si l'humeur est positive, les intensités des émotions de même valence sont augmentées tandis que les intensités des émotions négatives sont rabaisées. Par exemple, un agent de bonne humeur va voir croître les intensités de ses émotions positives telles que la joie ou la fierté ; les intensités des émotions négatives telles que la colère ou la peur vont quant à elles être dégradées.

Étudions la procédure (voir également l'algorithme 3, page 43) :

1. Lors d'une modification d'un des tuples représentant ses émotions, l'agent  $A$  recalcule son humeur par la formule ci-dessus. Deux cas sont alors possibles.
2. Dans le cas où l'humeur ne change pas, c'est-à-dire si  $Mood_t = Mood_{t-1}$ , l'influence de l'humeur ne change pas.
3. Dans le cas où l'humeur recalculée est différente de celle au pas de temps précédent, c'est-à-dire si  $Mood_t \neq Mood_{t-1}$ , il y a un changement dans l'influence de l'humeur ; les tuples représentant les émotions de l'agent vont donc être modifiés.

**Changements du système occasionnés par ce processus** Dans le cas où il y a un changement d'humeur, l'influence sur l'agent  $A$  est donc modifiée instantanément, entraînant la modification des tuples  $\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} \rangle$  caractérisant les émotions de cet agent ; les tuples définissant les émotions de même valence (positive ou négative) que celle de l'humeur vont ainsi voir leur intensité augmenter d'une valeur  $\Delta$  tandis que les tuples des autres émotions vont subir une baisse d'intensité de cette même valeur. Notons que si l'humeur est neutre, elle n'influence pas les

intensités des émotions.

Nous obtenons ainsi des tuples de la forme

- $\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} \rangle$  si  $\gamma = 0$ ,
- $\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} + \Delta \rangle$  si  $\gamma \neq 0$  et  $\text{valence}(\text{émotion}_k) = \text{valence}(\text{mood})$ ,
- $\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} - \Delta \rangle$  si  $\gamma \neq 0$  et  $\text{valence}(\text{émotion}_k) \neq \text{valence}(\text{mood})$ .

Où  $\text{valence}(\alpha)$  permet de connaître la valence (positive ou négative) de l'émotion ou de l'humeur  $\alpha$ .

Notons que si cela est souhaité, l'intensité de l'humeur  $\gamma$  peut être utilisée comme modificateur de l'intensité des émotions, en lieu et place d'une valeur choisie arbitrairement. Dans ce cas là,  $\Delta = |\gamma|$ .

### 2.3.4.3 Contagion émotionnelle primitive

La contagion émotionnelle primitive est le résultat de deux mécanismes, un mimétisme suivi d'une rétroaction ("*feedback*"). Pour cela, nous utiliserons une topologie spéciale, la topologie d'attention, indiquant par des distances l'attention que porte un agent sur les agents et événements alentour.

#### Mimétisme

Étudions tout d'abord le sous-processus de mimétisme par étapes (voir également l'algorithme 4, page 46) :

1. Soit  $A$  un agent sélectionnant l'élément (agent ou événement) le plus proche de lui sur sa topologie d'attention. Deux cas sont alors possibles.
2. Dans le cas où l'élément sélectionné est un événement, aucune contagion primitive n'est possible,  $A$  faisant plus attention à cet événement qu'à un agent alentour.
3. Dans le cas où l'élément sélectionné est un agent, l'effecteur émotionnel de l'agent  $A$  va alors copier l'effecteur émotionnel de sa cible. Cette copie traduit le mécanisme de mimétisme.

Notons que les détails quant aux caractéristiques faisant qu'un agent ou un événement apparaisse<sup>29</sup> dans la topologie d'attention sont laissés à la discrétion des concepteurs. Un exemple de calcul de l'attention des agents est néanmoins donné dans la section 3.2.2, page 61.

<sup>29</sup>Pour rappel, un agent (ou événement) apparaissant dans la topologie d'un autre agent est considéré comme ayant de l'importance – proportionnellement à la distance les séparant dans la topologie – par ce dernier; inversement, un agent (ou événement) n'apparaissant pas dans cette même topologie est considéré comme n'ayant aucune importance.

---

**Algorithme 4** Algorithme du processus de mimétisme.

---

```

1: fonction MIMICRY( $a_i$ )
2:    $target \leftarrow a_i.getAttentionTopo.getCloser()$ 
3:   si  $target.isEvent()$  alors
4:     retourner faux
5:   fin si
6:    $effector \leftarrow a_i.getEffector()$ 
7:    $effector.copy(target)$ 
8:    $state \leftarrow effector.getState()$ 
9:    $emotion \leftarrow a_i.getMostIntenseEmotion()$ 
10:  //  $compareEmotionsAndIntensities()$  renvoie vrai si les deux
11:  // émotions comparées sont égales, et faux sinon
12:  si  $compareEmotionsAndIntensities(emotion, state)$  alors
13:    retourner faux
14:  fin si
15:  // S'il existe déjà un évènement de mimétisme, on le supprime
16:  // (l'émotion liée à cet évènement est donc supprimée également)
17:   $event \leftarrow getMimicryEvent(a_i)$ 
18:  si  $event \neq null$  alors
19:     $removeMimicryEvent(event)$ 
20:  fin si
21:   $createMimicryEvent(a_i)$ 
22:  retourner vrai
23: fin fonction

```

---

Indépendamment de cette copie, tout changement de l'état<sup>30</sup> de l'effecteur implique un processus de comparaison<sup>31</sup> entre le tuple représentant l'émotion affichée par l'effecteur et le tuple représentant l'émotion de plus forte intensité; notons que la fonction de comparaison (voir la ligne 12 de l'algorithme 4, page 46) est laissée à l'appréciation du concepteur, ce dernier peut ainsi choisir de ne faire une comparaison que sur le type d'émotion ou bien prendre également en compte les intensités, par exemple. Deux cas sont alors possibles.

1. Dans le cas où l'émotion affichée correspond à l'émotion de plus forte intensité,

---

<sup>30</sup>L'état d'un effecteur est simplement l'émotion qu'il affiche.

<sup>31</sup>Ce procédé est indispensable si l'on veut éviter un problème de "boucle émotionnelle" lors du processus de rétroaction. En effet, l'absence de comparaison implique que tout changement de l'état de l'effecteur mène à un évènement de mimétisme qui va être évalué. Ainsi, l'émotion produite par l'évaluation d'un évènement va être affichée par l'effecteur (en supposant qu'elle soit l'émotion de plus forte intensité). L'état de l'effecteur alors modifié déclenche un évènement dont l'évaluation peut donner lieu à une émotion différente de plus grande intensité qui va donc être affichée à son tour et déclenchant elle-même une nouvelle évaluation de l'effecteur débouchant potentiellement sur une émotion d'une intensité plus grande encore, et ainsi de suite.

Comparer l'émotion affichée avec l'émotion de plus forte intensité permet de résoudre ce problème.



alors il n'y a pas eu de mimétisme (si l'élément le plus proche sur la topologie d'attention n'est pas un agent ou bien si l'agent affiche la même émotion que sa cible, c'est-à-dire en cas de convergence émotionnelle) et aucun évènement n'est donc déclenché.

2. Dans le cas où l'émotion affichée ne correspond pas, une copie d'émotion a eu lieu ; un évènement symbolisant le mimétisme est alors déclenché, celui-ci pouvant être évalué comme tout évènement grâce au processus de rétroaction. Par ailleurs, dans le cas où un autre évènement de mimétisme existait déjà, ce dernier est alors supprimé.

**Changements du système occasionnés par ce processus** Lors d'un mimétisme, le système change d'état par la suppression du tuple  $\langle a_i, old\_émotion_{eff}, old\_int \rangle$  représentant l'émotion affichée par l'agent  $a_i$  avant la copie et l'ajout d'un nouveau tuple  $\langle a_i, new\_émotion_{eff}, new\_int \rangle$  correspondant à l'affichage de l'émotion copiée, où  $new\_émotion_{eff}$  est égal à l'émotion affichée par la cible de  $a_i$ . De plus, un évènement  $\phi_{mim,a_i} \in \Phi^{int}$ , représentant le fait que  $a_i$  est en train de copier un autre agent, est ajouté à  $\mathcal{E}$ .

### Rétroaction

---

**Algorithme 5** Algorithme du processus de rétroaction.

---

```

1: fonction FEEDBACK( $a_i$ )
2:   // Il ne peut y avoir par définition qu'un seul évènement de mimétisme
3:    $event \leftarrow getMimicryEvent(a_i)$ 
4:   si  $event = null$  alors
5:     retourner faux
6:   sinon
7:      $effector \leftarrow a_i.getEffector()$ 
8:      $emotion \leftarrow effector.getDisplayedEmotion()$ 
9:      $intensity \leftarrow effector.getDisplayedIntensity()$ 
10:     $sensibility \leftarrow a_i.getSens()$ 
11:     $a_i.createEmotion(event, emotion, intensity * sensibility)$ 
12:    retourner vrai
13:  fin si
14: fin fonction

```

---

Nous considérons le sous-processus de rétroaction comme l'évaluation des évènements (internes au système) de mimétisme (voir l'algorithme 5, page 47). Il implique à ce titre les mêmes changements qu'une évaluation "standard".

La seule différence, de taille, vient des évènements de mimétisme eux-mêmes. Comme nous l'avons spécifié plus haut, les évènements de mimétisme n'ont pas de position, notamment dans la topologie d'attention. Aucun agent ne peut donc porter une attention active sur ce type particulier d'évènement. La conséquence immédiate

est que ces évènements ne pourront jamais être évalués de façon similaire aux évènements qui ont une position ; en particulier, aucune perception ne sera possible ce qui réserve donc l'évènement de mimétisme à l'agent l'ayant déclenché.

Nous imposons par conséquent que l'évaluation d'un évènement de mimétisme soit possible en tout instant, et uniquement par l'agent l'ayant déclenché, sans tenir compte de sa topologie d'attention<sup>32</sup> ; ceci symbolisant l'évaluation "inconsciente" par un agent d'un évènement local.

Notons que le mécanisme de rétroaction n'est pas lié, à dessein, à l'agent qui est copié et qui donc donne lieu au mimétisme car c'est seulement l'évaluation de l'évènement qui mène à l'émotion.

**Changements du système occasionnés par ce processus** La rétroaction occasionne l'ajout d'un tuple  $\langle a_i, \phi_{mim,a_i}, émotion_k, int \rangle$  à l'ensemble  $\mathcal{A}$ , tuple représentant la nouvelle émotion  $émotion_k$  résultante de l'évaluation de l'évènement de mimétisme  $\phi_{mim,a_i}$  ; en supposant que nous ayons un tuple  $\langle a_i, émotion_{eff}, int' \rangle$  décrivant l'effecteur, nous avons  $émotion_k = émotion_{eff}$  et  $int = int' * sens_{a_i}$ , où  $sens_{a_i}$  est la sensibilité de l'agent  $a_i$ .

#### 2.3.4.4 Contagion émotionnelle sociale

---

**Algorithme 6** Algorithme du processus de contagion émotionnelle sociale.

---

```

1: fonction SOCIALCONTAGION( $a_i$ )
2:    $target \leftarrow a_i.getAttentionTopo.getCloser()$ 
3:   si  $target.isEvent()$  alors
4:     retourner faux
5:   fin si
6:    $emotions \leftarrow a_i.perceptSurroundingEmotions()$ 
7:    $eap_{new} \leftarrow a_i.computeEAP(emotions)$ 
8:   si  $a_i.getEAP() = eap_{new}$  alors
9:     retourner faux
10:  sinon
11:     $a_i.setEAP(eap_{new})$ 
12:     $a_i.refreshIntensities(a_i.getEAP())$ 
13:  retourner vrai
14:  fin si
15: fin fonction

```

---

Comme nous l'avons vu plus haut, la contagion émotionnelle sociale provient de la théorie de la comparaison sociale, que l'on applique ici par le fait qu'un agent va

---

<sup>32</sup>L'évènement de mimétisme doit néanmoins avoir lieu pour qu'il puisse être évalué, il faut donc obligatoirement qu'un agent soit l'élément le plus proche sur la topologie d'attention.

se lancer dans une comparaison sociale pour savoir si son état émotionnel convient avec celui des agents alentour ; l'agent va alors subir une influence par l'émotion ambiante<sup>33</sup> ainsi perçue.

Étudions la procédure (voir également l'algorithme 6, page 48) :

1. Un agent  $A$  perçoit les informations émotionnelles autour de lui et calcule l'émotion ambiante (l' $EAP$ , pour *émotion ambiante perçue*). Deux cas sont alors possibles.
2. Dans le cas où l' $EAP$  ne change pas, c'est-à-dire si  $EAP_t = EAP_{t-1}$ , l'influence de l'émotion ambiante ne change pas.
3. Dans le cas où l' $EAP$  calculée est différente de celle au pas de temps précédent, c'est-à-dire si  $EAP_t \neq EAP_{t-1}$ , il y a un changement dans l'influence de l'émotion ambiante ; le système change donc d'état par la modification du tuple  $\langle a_i, eap \rangle$  représentant l' $EAP$  actuellement perçue par l'agent.

De façon analogue à la contagion émotionnelle primitive, la topologie d'attention est utilisée pour annuler ce mécanisme lorsqu'un évènement est plus prioritaire. Par conséquent, si l'élément le plus proche de l'agent sur sa topologie d'attention est un évènement, il n'y a pas de calcul de l' $EAP$ , traduisant le fait que l'agent porte plus d'attention à l'évènement qu'aux autres agents présents autour de lui.

Toutefois, dans le cas inverse, nous supposons qu'il prend en compte l'ensemble des agents dans son rayon de perception, contrairement à la contagion émotionnelle primitive qui ne prend en compte que l'agent le plus proche ; tout agent dans le rayon de perception va donc influencer sur l' $EAP$ .

**Changements du système occasionnés par ce processus** Dans le cas où il y a un changement d' $EAP$ , l'influence sur l'agent  $A$  est donc modifiée sur-le-champ. Par conséquent, la modification du tuple  $\langle a_i, eap \rangle$ <sup>34</sup> représentant l'émotion ambiante perçue par  $a_i$  entraîne la modification des tuples  $\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} \rangle$  caractérisant les émotions de cet agent ; les tuples définissant les émotions de même type que celui de l' $EAP$  vont ainsi voir leur intensité augmenter d'une valeur  $\Delta$  tandis que les tuples des autres émotions vont subir une baisse d'intensité de cette même valeur. Notons que si l' $EAP$  est neutre, c'est-à-dire si les moyennes des intensités des différents types d'émotions perçues sont égales, elle n'influence pas les intensités des émotions.

Nous obtenons ainsi des tuples de la forme

- $\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} \rangle$  si  $eap = \text{"neutre"}$ ,
- $\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} + \Delta \rangle$  si  $eap \neq \text{"neutre"}$  et  $\text{émotion}_k = eap$ ,

<sup>33</sup>Notons que nous ne faisons ici qu'une simple moyenne pour le calcul de l'émotion ambiante, plus précisément la moyenne des intensités des émotions affichées par les agents étant dans le rayon de perception de l'agent procédant au calcul.

<sup>34</sup>Par la suppression du tuple  $\langle a_i, \text{old\_eap} \rangle$  et l'ajout du tuple  $\langle a_i, \text{new\_eap} \rangle$ .

–  $\langle a_i, \phi_j, \text{émotion}_k, \text{int} - \Delta \rangle$  si  $eap \neq \text{"neutre"}$  et  $\text{émotion}_k \neq eap$ .

### 2.3.4.5 Émotion de groupe

Dans ce travail, nous voyons l'émotion de groupe, tout d'abord, en tant que caractéristique identitaire, phénomène "*bottom-up*" de création de groupe, menant, dans un deuxième temps, à considérer l'émotion de groupe comme un phénomène "*top-down*" d'influence qui va façonner dans une certaine mesure les émotions de ses membres.

#### Sous-processus "*bottom-up*"

---

**Algorithme 7** Algorithme du processus de création de groupe émotionnel.

---

```

1: fonction GROUPING( $a_i$ )
2:   si  $a_i.inGroup()$  alors
3:     retourner faux
4:   fin si
5:    $target \leftarrow a_i.getAttentionTopo.getCloser()$ 
6:   si  $target.isEvent()$  alors
7:     retourner faux
8:   fin si
9:    $targetEmotion \leftarrow a_i.perceptEmotion(target)$ 
10:   $emotion \leftarrow a_i.getMostIntenseEmotion()$ 
11:  //  $compareEmotionsAndIntensities()$  renvoie vrai si les deux
12:  // émotions comparées sont égales, et faux sinon
13:  si  $!compareEmotionsAndIntensities(emotion, targetEmotion)$  alors
14:    retourner faux
15:  fin si
16:   $a_i.sendGroupingRequest(target)$ 
17:   $targetMessage \leftarrow a_i.waitGroupingAnswer(target)$ 
18:  si  $targetMessage.getContent() = \text{"Ok"}$  alors
19:     $group \leftarrow a_i.createGroup()$ 
20:     $a_i.sendGroupRef(target)$ 
21:    retourner vrai
22:  sinon si  $targetMessage.getContent() = \text{"inGroup"}$  alors
23:     $group \leftarrow targetMessage.getGroup()$ 
24:     $a_i.joinGroup(group)$ 
25:    retourner vrai
26:  sinon
27:    retourner faux
28:  fin si
29: fin fonction

```

---

L'émotion de groupe, c'est-à-dire l'émotion en tant que patrimoine<sup>35</sup> du groupe, est tout d'abord à voir sous un angle d'identification : [Parkinson *et al.*, 2005] présente quatre définitions (et une variation d'une de ces définitions) du groupe. Celle qui nous intéresse traite du processus de *auto-catégorisation* où un groupe se forme lorsque ses membres (virtuels, au sens philosophique) se voient comme étant dans la même catégorie sociale ; catégorie sociale s'établissant par la similarité avec certaines personnes et la différence avec d'autres, créant ainsi des frontières sociales. L'émotion pourrait être un de ces critères de similarité/différence entre les personnes (toujours selon [Parkinson *et al.*, 2005]), ayant ainsi une place importante dans les dynamiques de groupes.

Nous inspirant de ce constat, nous nous penchons dans ce travail sur le côté identitaire de l'émotion pour la création dynamique<sup>36</sup> de groupe, c'est-à-dire une création de groupe n'étant pas prédéterminée par le concepteur. Néanmoins, ne nous penchant que sur une partie infime du processus de création de groupe, nous traitons l'émotion comme un procédé de pré-crédation de groupe.

De plus, puisque nous ne nous intéressons à ce mécanisme que pour la création et non pour une réelle dynamique de vie des groupes, nous contraignons les agents de telle façon qu'il leur est impossible de quitter le groupe une fois qu'ils en sont membres. Ceci nous permettra par la suite de nous concentrer sur le processus d'influence de l'émotion de groupe décrit dans la section 2.3.4.5, page 53.

Ainsi, nous faisons la supposition que des agents ayant une émotion affichée similaire<sup>37</sup> vont avoir tendance à se rassembler et à former des "pré-groupes" émotionnels qu'ils ne cherchent pas à quitter. Par la suite, nous désignerons sobrement ces pré-groupes par le terme *groupe* pour plus de simplicité.

Étudions le processus menant à la création d'un groupe émotionnel (voir également l'algorithme 7, page 50) :

1. Lorsqu'un agent  $A$ , n'étant pas déjà dans un groupe, porte son attention sur un autre agent  $B$  (c'est-à-dire que  $B$  est l'élément le plus proche dans la topologie d'attention de  $A$ ), il procède à une comparaison de son émotion de plus forte intensité avec celle affichée par  $B$  ; notons que, de façon analogue à l'algorithme de mimétisme, la fonction de comparaison (voir la ligne 13 de l'algorithme 7, page 50) est laissée à l'appréciation du concepteur. Deux cas sont alors possibles.
2. Dans le cas où il n'y a pas de correspondance entre l'émotion de plus forte

<sup>35</sup>L'émotion de groupe et les normes font partie du patrimoine de ce groupe ; se reporter à la section 2.3.4.5, page 53, pour une description rapide de la notion de patrimoine.

<sup>36</sup>Il sera bien sûr possible de spécifier des groupes statiquement, c'est-à-dire par la main du concepteur et avant l'exécution du programme.

<sup>37</sup>Dans ce travail, nous considérons uniquement le simple affichage d'émotion comme critère de formation de groupe et non, par exemple, une création de groupe basée sur des émotions similaires ayant pour origine le même événement, nécessitant l'introduction de croyances sur les raisons de l'apparition d'émotions chez les autres agents.

intensité de  $A$  et l'émotion affichée par  $B$ ,  $A$  n'entame aucune démarche pour créer ou joindre un groupe.

3. Dans le cas où il y a une correspondance,  $A$  va entamer une interaction avec  $B$  dans le but de se joindre à lui; cette démarche peut néanmoins prendre plusieurs formes suivant la situation de  $B$  :
  - (a) Si  $B$  n'appartient pas à un groupe, il envoie un message à  $A$  pour lui signifier son accord<sup>38</sup>.  $A$  se charge alors de créer le groupe et l'indique à  $B$ .
  - (b) Si  $B$  appartient à un groupe, il répond à  $A$  par la négative en lui indiquant le groupe dont il fait partie.  $A$  va alors rejoindre ce groupe.

Lorsqu'un groupe est créé<sup>39</sup>, le type d'émotion ayant mené à cette création (par similarité entre les agents) devient l'émotion de groupe ( $EdG$ ). Cette émotion pourra éventuellement changer au fil du temps; pour cela, nous utilisons un mécanisme "*bottom-up*" de calcul de l'émotion moyenne du groupe, tel que décrit dans [Barsade et Gibson, 1998] sous le nom de "*mean-level affect*". Ainsi, un groupe recalcule son  $EdG$  à chaque changement le concernant<sup>40</sup>: pour chaque type d'émotion, le groupe calcule la somme des intensités des émotions affichées par ses membres puis sélectionne le type d'émotion ayant la plus forte intensité.

**Changements du système occasionnés par ce processus** Comme nous l'avons précédemment vu, nous considérons deux cas qui ont des effets différents sur l'état du système.

Dans le cas (a) : l'état du système va ici changer par l'ajout d'un nouveau tuple  $\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle$  décrivant le groupe venant d'être créé, où  $memb_{gr_u}$  contient les agents  $A$  et  $B$  ayant créé le groupe et  $edg$  représente l'émotion du groupe  $gr_u$ , c'est-à-dire l'émotion que partageaient ces derniers agents.

Dans le cas (b) : l'état du système va changer par la modification d'un tuple  $\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle$  représentant le groupe existant accueillant un nouveau membre. Plus précisément, c'est l'ensemble  $memb_{gr_u}$  qui est modifié par l'ajout d'un nouveau membre.

Qu'il soit à l'origine d'un nouveau groupe ou qu'il rejoigne un groupe existant, l'agent fait alors en sorte d'être cohérent avec l'émotion de son groupe, ce qui nous

---

<sup>38</sup> Il est important de noter qu'avec les hypothèses posées précédemment, si  $A$  se trouve en similarité avec  $B$ , il en va obligatoirement de même pour  $B$  envers  $A$ . Ainsi, dans ce travail, nous ne considérons pas le cas où  $B$  examine tout d'abord  $A$  avant d'accepter de créer un groupe puisqu'il acceptera fatalement.

<sup>39</sup> Notons que nous n'abordons pas les émotions liées aux groupes, par exemple lorsqu'un groupe est créé ou qu'un agent rejoint un groupe; nous considérons en effet que ces émotions proviennent de l'évaluation des agents, et, par conséquent, celles-ci ne sont pas traitées dans ce travail.

<sup>40</sup> Nouvel arrivant, modification de l'émotion affichée par un membre, etc.

mène au point suivant.

### Sous-processus "*top-down*"

---

**Algorithme 8** Algorithme du processus d'influence de l'émotion de groupe.

---

```

1: fonction GROUPEMOTION( $a_i$ )
2:    $group \leftarrow a_i.getGroup()$ 
3:    $edg_{new} \leftarrow group.getEDG()$ 
4:   si  $a_i.getEDG() = edg_{new}$  alors
5:     retourner faux
6:   sinon
7:      $a_i.setEDG(edg_{new})$ 
8:      $a_i.refreshIntensities(a_i.getEDG())$ 
9:     retourner vrai
10:  fin si
11: fin fonction

```

---

Nous considérons également le procédé inverse, c'est-à-dire "*top-down*", où le fait d'appartenir à un groupe implique d'accepter et de s'associer aux attributs qui sont vus comme typiques de ce groupe ([Parkinson *et al.*, 2005]); c'est ce que nous appelons le patrimoine du groupe. Les seuls attributs que nous considérons dans ce travail sont l'émotion et les normes (voir la section 2.3.4.6, page 54) du groupe.

Ainsi, nous nous représentons ce phénomène par une influence du groupe sur les membres ; en effet, ayant accepté le patrimoine du groupe, les membres se doivent de le respecter en tout instant<sup>41</sup>, ce qui se traduit par la tendance des agents à afficher une émotion de même type que celle du groupe ; par exemple, si l'émotion de groupe se trouve être de type *tristesse*, les agents vont automatiquement faire en sorte de ressentir plus de tristesse tout en réduisant l'intensité des autres émotions.

L'émotion de groupe peut donc être vue, dans sa facette "*top-down*", comme un mécanisme d'influence sur les agents à l'instar de la contagion émotionnelle sociale. Néanmoins, l'émotion de groupe n'a lieu que dans une dimension exclusivement réservée aux membres du groupe. Elle est donc à la fois plus générale, car prenant en compte tous les membres du groupe et donc potentiellement plus que ce que peut voir un simple agent, et plus restreinte car ne pouvant toucher que les membres d'un groupe et non les agents n'appartenant pas à ce groupe, là où la contagion émotionnelle sociale prend en compte tout agent perceptible, qu'il soit ou non dans un groupe.

L'émotion de groupe se traduit ainsi, de façon analogue à la contagion émotionnelle sociale, par une hausse de l'intensité des émotions individuelles qui sont de

---

<sup>41</sup>À ce titre, on ne tient pas compte de la topologie d'attention dans ce processus. Un agent respectera l'émotion de son groupe qu'il porte son attention sur un évènement ou un agent.

même type que l'émotion de groupe, et une baisse de l'intensité des autres émotions. Étudions ce processus (voir également l'algorithme 8, page 53) :

1. Comme nous l'avons vu précédemment, l'émotion de groupe ( $EdG$ ) est recalculée lors d'un changement concernant le groupe. Deux cas sont alors possibles.
2. Dans le cas où l' $EdG$  ne change pas, c'est-à-dire si  $EdG_t = EdG_{t-1}$ , l'influence de l'émotion de groupe ne change pas.
3. Dans le cas où l' $EdG$  calculée est différente de celle au pas de temps précédent, c'est-à-dire si  $EdG_t \neq EdG_{t-1}$ , l'influence de l'émotion de groupe est modifiée.

Nous supposons que les agents ont un accès direct au patrimoine du groupe et qu'ils ont, le cas échéant, instantanément connaissance du changement de l' $EdG$  de leur groupe.

**Changements du système occasionnés par ce processus** Par cet accès direct, si un changement d' $EdG$  a lieu, l'influence sur les agents est modifiée séance tenante. Par voie de conséquence, la modification du tuple  $\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle$  représentant le groupe  $gr_u$ , et en particulier de  $edg$ , entraîne la modification des tuples  $\langle a_i, \phi_j, émotion_k, int \rangle$  dépeignant les émotions des agents étant membres de ce groupe ; ainsi, les tuples représentant les émotions de même type que celui de l' $EdG$  vont voir leur intensité augmenter d'une valeur  $\Delta$  tandis que les tuples des autres émotions vont subir une baisse d'intensité de cette même valeur. Notons que si l' $EDG$  est neutre, c'est-à-dire si les sommes des intensités des différents types d'émotions affichées par les membres du groupe sont égales, elle n'influence pas les intensités des émotions.

Nous obtenons ainsi des tuples de la forme

- $\langle a_i, \phi_j, émotion_k, int \rangle$  si  $edg = \text{"neutre"}$ ,
- $\langle a_i, \phi_j, émotion_k, int + \Delta \rangle$  si  $edg \neq \text{"neutre"}$  et  $émotion_k = edg$ ,
- $\langle a_i, \phi_j, émotion_k, int - \Delta \rangle$  si  $edg \neq \text{"neutre"}$  et  $émotion_k \neq edg$ .

#### 2.3.4.6 Normes du groupe

Tel que nous l'a présenté la section 2.2.2.2, page 29, nous étudions ici les normes pouvant s'appliquer aux groupes et ainsi influencer les membres ; à ce titre, l'algorithme 9, page 55, présente le fonctionnement des normes dans notre système.

Notons tout d'abord que nous ne considérons la création (et la suppression) de normes que de façon peu approfondie, ceci dépassant de loin le cadre de notre sujet ; nous supposons ainsi qu'elles ne peuvent être créées et supprimées que par le concepteur.

En outre, nous présumons qu'une norme peut s'appliquer au regard d'un ensemble d'événements particuliers ou de tous les événements possibles. Ceci peut être illustré par la colère pouvant être interdite au regard d'un événement particulier comme l'agression verbale d'un supérieur hiérarchique (dans le contexte de l'entreprise par



---

**Algorithme 9** Algorithme du processus d'influence des normes de groupe.

---

```

1: fonction GROUPNORMS( $a_i$ )
2:    $group \leftarrow a_i.getGroup()$ 
3:    $norms_{new} \leftarrow group.getNorms()$ 
4:   si  $a_i.getNorms() = norms_{new}$  alors
5:     retourner faux
6:   sinon
7:      $a_i.setNorms(norms_{new})$ 
8:      $a_i.refreshEmotions(a_i.getNorms())$ 
9:     retourner vrai
10:  fin si
11: fin fonction

```

---

exemple) tout en restant autorisée concernant l'agression verbale d'une personne inférieure hiérarchiquement ; la peur peut par ailleurs être complètement interdite pour tous les événements possibles (et éventuellement remplacée par le courage grâce à une autre norme, par exemple).

Nous formalisons les normes présentées dans le tableau 2.1, page 31, par un prédicat *norme* ayant cinq attributs :

- $norme(degré, expression, \pm, émotion, \Phi')$
- $norme(degré, expérience, \pm, émotion, \Phi')$
- $norme(type, expression, interdiction/obligation, émotion, \Phi')$
- $norme(type, expérience, interdiction/obligation, émotion, \Phi')$

où *degré* et *type* indiquent respectivement que la norme porte sur le degré ou le type de l'émotion, *expression* et *expérience* indiquent respectivement que la norme porte sur l'expression ou l'expérience de l'émotion,  $\pm$  indique simplement si la norme implique une hausse ou une baisse de l'intensité de l'expérience ou de l'expression, *interdiction* et *obligation* indiquent respectivement l'interdiction ou l'obligation de ressentir ou exprimer une émotion, *émotion* indique le type d'émotion concerné par la norme et  $\Phi'$  est l'ensemble d'événements concernés par la norme tels que  $\Phi' \subseteq \Phi$ , avec  $\Phi$  l'ensemble des événements possibles. Par mesure de simplification, nous supposons que si l'ensemble  $\Phi'$  est vide, alors tout événement est concerné par la norme.

Par ailleurs, les normes faisant également partie du patrimoine du groupe à l'instar de l'émotion de groupe, nous supposons qu'elles sont accessibles directement par les agents étant membres du groupe. Nous considérons ainsi que les agents ont à tout moment connaissance des normes en vigueur dans leur groupe.

Notons que dans ce travail, nous ne considérons pas le problème des conflits entre les normes de différents groupes puisque, comme nous l'avons vu plus haut, les agents sont supposés ne pouvoir appartenir qu'à un seul groupe à la fois. De plus, nous ne considérons pas non plus le problème de conflit entre but d'un agent

et norme de groupe puisque les normes étudiées ici ne s'appliquent qu'à l'expérience ou l'expression de l'émotion ; nous supposons à ce titre qu'il est impossible pour un agent d'avoir pour but le fait d'avoir où d'exprimer une émotion particulière.

**Changements du système occasionnés par ce processus** Nous considérons que tout changement de norme<sup>42</sup> constitue un changement d'état du système par la modification du tuple  $\langle gr_u, memb_{gr_u}, edg, norm \rangle$  décrivant le groupe et en particulier  $norm$ , représentant l'ensemble des normes émotionnelles du groupe.

Ainsi, une modification d'un tuple de groupe entraîne la modification des tuples  $\langle a_i, \phi_j, émotion_k, int \rangle$  caractérisant les émotions de cet agent ; la nature de la modification dépend du type de la norme ajoutée (respectivement retirée), par exemple une norme restrictive portant sur le degré de l'expression d'une émotion particulière va impliquer une baisse (respectivement augmentation) de l'intensité d'expression pour les agents affichant cette émotion, c'est-à-dire une modification du tuple  $\langle a_i, émotion_{ef}, int \rangle$ .

## 2.4 Conclusion

Ce chapitre aura eu pour but de présenter un modèle permettant le support des différents processus, inspirés des travaux faits en psychologie et sociologie, de propagation et d'influence occasionnant le phénomène d'émotion collective. Notre système a été pensé comme une couche à apposer sur l'environnement et sur les émotions individuelles des agents, fournissant en retour les émotions nées de la propagation ainsi que les diverses influences.

Le premier enjeu fut de modéliser une architecture émotionnelle pour nos agents de façon à constituer une armature viable pour les différents processus traités, architecture utilisant de nombreux éléments et introduisant de nouvelles notions telles que les capteurs et effecteurs émotionnels ou l'émotion ambiante perçue. Notre modèle utilise de plus différentes topologies pour le calcul des distances nécessaires à la contagion émotionnelle primitive ainsi qu'à l'attention que porte les agents sur leur environnement.

Notre système a ensuite été formalisé au moyen d'un formalisme états-transitions, où les états, sorte de photographies instantanées, et les transitions représentent respectivement des visions globales et les évolutions de ce système. Un état contient des informations concernant les événements, les agents, les positions et les groupes ; les processus d'émotion collective constituent alors certaines des évolutions occasionnant des changements dans le système, faisant ainsi passer d'un état de ce système à un autre.

De façon à évaluer effectivement l'intérêt de tels processus, des simulations sont nécessaires. L'étape suivante est donc d'implémenter notre système en suivant la

---

<sup>42</sup>Là encore, un changement de norme peut être un ajout ou une suppression de norme ; la modification d'une norme étant la suppression de cette norme et l'ajout d'une nouvelle la remplaçant.

modélisation présentée dans ce chapitre, et ce afin d'en tester la réelle utilité. Ainsi, le chapitre suivant présente en détail l'implémentation de cette modélisation et se penche sur deux scénarios montrant les bénéfices liés à l'utilisation des processus de l'émotion collective pour les systèmes multi-agents.



# EXPÉRIMENTATION

---

*Se demander si un ordinateur peut penser est aussi intéressant que de se demander si un sous-marin peut nager.*

---

EDSGER DIJKSTRA

## Sommaire

---

<b>3.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>59</b>
<b>3.2</b>	<b>Présentation générale de l'implémentation</b>	<b>60</b>
3.2.1	Plateforme utilisée	60
3.2.2	Implémentation des agents	61
3.2.3	Implémentation des groupes	63
3.2.4	Implémentation des divers processus	63
<b>3.3</b>	<b>Scénario 1 : contagion émotionnelle et transfert d'informations</b>	<b>66</b>
<b>3.4</b>	<b>Scénario 2 : normes et orientation comportementale</b>	<b>69</b>
<b>3.5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>72</b>

---

## 3.1 Introduction

Une modélisation ne se réalisant que dans son utilité applicative, nous nous intéressons dans cette section à l'implémentation de la formalisation présentée dans la section 2.3, page 35.

Destinés à exposer les applications possibles de notre travail, les scénarios que nous proposons illustrent, nous l'espérons, l'intérêt des processus d'émotions collectives et d'influences pour les systèmes multi-agents.

Comme il sera possible de le voir au cours de ce chapitre, nous utiliserons à l'occasion une notion, les *rôles*, qui n'est pas formalisée dans le modèle, principalement car celle-ci, bien qu'étant liée, s'écarte fortement du sujet initial. Les rôles seront présentés dans la section correspondante au scénario où ils sont utilisés.

Ainsi, nous examinerons tout d'abord les lignes générales de notre implémentation dans la section 3.2, puis nous nous pencherons tout à tour sur deux scénarios, le scénario 3.3 montrant l'intérêt de la contagion émotionnelle dans un contexte d'agents situés pouvant être endommagés et le scénario 3.4 exposant les normes et leur utilité pour l'orientation comportementale d'un groupe d'agents.

## 3.2 Présentation générale de l'implémentation

Cette section se propose de présenter les divers choix d'implémentation de notre modélisation. Nous étudierons tout d'abord la plateforme destinée à recevoir cette implémentation, puis nous développerons ses points principaux, c'est-à-dire l'implémentation des agents, des groupes et des processus d'émotions collectives que nous avons modélisées.

### 3.2.1 Plateforme utilisée

Pour l'implémentation de notre modélisation, notre choix s'est porté sur *NetLogo*<sup>1</sup>, environnement de développement de système multi-agents destiné à la simulation de phénomènes collectifs. Descendant du langage *Logo*<sup>2</sup>, il bénéficie, de par cet héritage, d'une syntaxe particulièrement aisée à prendre en main. La forme se faisant ainsi oublier au profit du fond, *NetLogo* se révèle ainsi parfait pour la modélisation des systèmes complexes donnant lieu à des phénomènes d'émergence<sup>3</sup>.

Son environnement de développement se charge de plus de la partie visuelle qui, par sa simplicité, offre une visualisation claire et compréhensible. En outre, il définit un *monde*, zone constituée de "*patches*"<sup>4</sup> dans laquelle les agents se déplacent, que nous utilisons en tant que topologie physique (voir la section 2.2.3, page 32).

N'étant pas le sujet de ce rapport, nous laissons le lecteur s'orienter vers l'adresse donnée dans la note 1, page 60, pour une explication plus détaillée quant au fonctionnement et aux spécificités techniques de *NetLogo*. Nous pouvons néanmoins noter que ce dernier accuse certains défauts, dont le principal est l'absence de primitives concernant l'envoi et le traitement de messages entre agents, primitives primordiales dans ce travail pour la création de groupes émotionnels.

<sup>1</sup>Développé par *Uri Wilensky* et disponible à l'adresse <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>.

<sup>2</sup>Lui-même adapté du langage *Lisp*, dont il facilite la manipulation tout en préservant l'expressivité.

<sup>3</sup>Un système dont il n'est possible de prédire le résultat, alors que les règles sont connues, est dit complexe ; la simulation d'un tel système est alors le seul moyen pour en connaître l'évolution et éventuellement le résultat. L'émergence est, quant à elle, le phénomène consistant en l'apparition de nouvelles propriétés d'un système, propriétés n'appartenant à aucune des parties de ce système. Le lecteur intéressé pourra se reporter à, entre autres, [Corning, 2002] pour de plus amples détails.

<sup>4</sup>Les "*patches*" sont des carrés dont il est possible de modifier plusieurs paramètres, la couleur le plus souvent, ainsi que définir de nouveaux attributs pour le besoin des simulations. Nous nous servons de ces carrés dans nos scénarios pour représenter les points d'importance que nos agents sont susceptibles de percevoir.

Une librairie, que propose [Sakellariou *et al.*, 2008]<sup>5</sup>, a toutefois été conçue pour pallier ce manque ; celle-ci respecte le standard *FIPA-ACL*<sup>6</sup> qui spécifie un langage de communication entre agents reposant sur la théorie des actes de langage<sup>7</sup>.

### 3.2.2 Implémentation des agents

Cette section se destine à présenter et expliquer l'implémentation des agents, c'est-à-dire les attributs principaux<sup>8</sup> permettant le fonctionnement des processus d'émotions collectives. Notons que les attributs spécifiques sont expliqués dans les sections correspondantes

Commençons par l'élément sans qui aucune implémentation concernant les émotions ne pourrait avoir lieu : les émotions elles-mêmes. Chaque agent possède ainsi un attribut **emotions**, liste stockant l'ensemble des émotions que cet agent éprouve. Une émotion est elle-même une liste de trois éléments : le type d'émotion, l'intensité et l'évènement ayant conduit à cette émotion. Par exemple, considérons un agent ayant deux émotions, de *peur* et de *colère*, ayant respectivement une intensité de 45 et de 60, et étant causées par des évènements quelconques *ev1* et *ev2* ; son attribut **emotions** sera alors de la forme :

```
[ [ "fear" 45 "ev1" ] [ "anger" 60 "ev2" ] ]
```

L'attribut **displayed-emotion** représente, comme son nom l'indique, l'émotion actuellement affichée par l'agent. Cet attribut peut se voir affecter l'émotion de plus forte intensité, c'est-à-dire l'élément de la liste **emotions** ayant la plus grande intensité, ou la liste [ "no-displayed-emotion" ] indiquant que l'agent ne montre aucune émotion ; ceci peut arriver dans le cas évident où cet agent n'a aucune émotion ou bien dans le cas où il ne peut afficher aucune émotion (dans le cas des normes par exemple).

Notons que dans le cas où l'agent affiche une émotion, l'intensité de cette dernière peut être différente de celle de l'émotion de plus forte intensité, et ce du fait de l'attribut **expressivity**. En effet, lorsqu'une émotion doit être affichée, son intensité est multipliée par la valeur affectée à **expressivity**.

<sup>5</sup>Cet article se penche également sur un point particulièrement intéressant et cruellement manquant en *NetLogo* : les agents *BDI*.

<sup>6</sup>Pour *Foundation for Intelligent Physical Agents - Agent Communication Language*.

<sup>7</sup>Introduite lors d'une conférence donnée par *John Austin* à Harvard en 1955, la théorie des actes de langage s'oppose à l'idée selon laquelle le langage sert principalement à décrire la réalité, ce qu'il appelle l'*illusion descriptive*, et se base sur l'existence d'énoncés, c'est-à-dire une *séquence de paroles émises par un locuteur, délimitée par un silence ou par l'intervention d'un autre locuteur* ([Larousse, 2004]), décrivant le monde ou accomplissant une action. Le lecteur pourra se reporter également sur [Searle, 1969] qui développa ces travaux.

<sup>8</sup>À ce titre, nous ne parlons pas de l'attribut **incoming-queue**, obligatoire pour l'utilisation de la librairie de communication ; nous laissons le lecteur se reporter à [Sakellariou *et al.*, 2008] pour une description de cet attribut.

Propre au processus de contagion émotionnelle primitive, l'attribut **mimicry-event** indique si l'agent affiche une émotion différente que son émotion de plus forte intensité et donc s'il est actuellement en train de mimer un de ses semblables. À cet attribut peuvent être affectées deux types de valeur : l'identifiant d'un agent ou la valeur *nobody*<sup>9</sup>.

Cet attribut sera alors testé<sup>10</sup> dans la procédure **feedback** qui créera, le cas échéant, une émotion. Notons que l'intensité de cette émotion nouvellement créée dépend, en plus de l'intensité de l'émotion affichée par l'agent mimé, de l'attribut **sensibility**, représentant sans équivoque la sensibilité de l'agent mime, ainsi que de la distance séparant les deux agents.

Les attributs **mood-valence**, **eap** et **edg** représentent respectivement l'humeur, l'émotion ambiante perçue et, le cas échéant, l'émotion de groupe influençant l'agent actuellement. Au contraire des deux premiers attributs, qui sont calculés par l'agent lui-même, le dernier est calculé par le groupe dont l'agent fait partie et que ce dernier récupère directement.

Lorsqu'un ou plusieurs de ces attributs sont modifiés, les processus d'influence correspondants remettent à jour les intensités des émotions de l'agent grâce à la procédure **emotion-evolution** (voir la section 3.2.4, page 63).

De plus, nous découplons les normes en deux attributs différents, **experience-norms** et **expression-norms** pour permettre un traitement simplifié de celles-ci. En effet, les normes d'expérience et d'expression ne sont pas utilisées au même "endroit" du code, la première l'étant pendant le processus principal d'évolution des émotions alors que la seconde ne l'est pas avant la procédure d'affichage des émotions (voir la section 3.2.4, page 63).

Les normes, qu'elles concernent l'expérience ou l'expression d'une émotion, sont des sous-listes des deux attributs précédemment cités, sous-listes adaptant le prédicat<sup>11</sup> vu dans la section 2.3.4.6, page 54.

Considérons une norme émotionnelle interdisant l'expérience de peur par rapport au fait d'être blessé ; l'attribut **normes-expérience** sera ainsi de la forme :

```
[ [ "type" "experience" "interdiction" "fear" "injured" ] ]
```

L'attribut **agent-group** représente le groupe auquel un agent appartient ; il peut prendre deux types de valeur : l'identifiant d'un groupe ou *nobody*, signifiant alors que l'agent n'est actuellement dans aucun groupe.

<sup>9</sup>Valeur spéciale de *NetLogo*, *nobody* est renvoyée par certaines primitives pour indiquer qu'aucun agent n'a été trouvé.

<sup>10</sup>Notons que l'identifiant en lui-même n'entre pas en jeu dans le processus de rétroaction, mais fonctionne à la manière d'un booléen. Le stocker est seulement une facilité de programmation, notamment pour vérifier le bon comportement du processus.

<sup>11</sup>Le deuxième élément du prédicat servant alors à déterminer dans quel attribut est stockée la norme.



### 3.2.3 Implémentation des groupes

Notons en tout premier lieu que les groupes, bien que se résumant comme nous l'avons vu dans notre modélisation à de "simples" patrimoines partagés, sont ici représentés par des agents *NetLogo*. Les agents groupes sont néanmoins différents des agents émotionnels<sup>12</sup>. Ce choix vient principalement du fait que cela simplifie grandement, entre autres, les calculs d'émotion de groupe et la gestion des normes émotionnelles et accessoirement du fait de l'impossibilité de faire autrement en *NetLogo*.

Un groupe possède bien moins d'attributs qu'un agent. Nous pouvons compter tout d'abord l'attribut **members** représentant par un ensemble d'agents les membres de ce groupe. Cet attribut sert, en dehors du calcul de position<sup>13</sup>, à calculer l'émotion de groupe, représentée par l'attribut **group-emotion**, que les agents vont récupérer comme nous l'avons vu plus haut.

Un groupe possède de plus deux attributs, **group-experience-norms** et **group-expression-norms**, que les agents vont, là aussi, récupérer et stocker dans leurs propres attributs.

### 3.2.4 Implémentation des divers processus

L'implémentation des processus respectant en grande partie les algorithmes proposés dans la section 2.3, page 35, nous ne présenterons ici que ce qui s'en détache ; ceci pouvant arriver pour des raisons de performance ou parce que cela a été volontairement écarté lors de la formalisation.

Ainsi, nous nous pencherons tout d'abord sur la procédure maîtresse de notre implémentation : **emotion-evolution**. Bien que, lors de notre formalisation, nous ayons séparé tous les processus, ce procédé est trop exigeant en terme de ressources. En effet, pour chaque processus, nous devons parcourir entièrement la liste des émotions de chaque agent.

Pour économiser notre temps et nos processeurs, nous organisons la procédure **emotion-evolution** de façon à ce que nous n'ayons à parcourir la liste des émotions de chaque agent qu'une seule et unique fois. Ainsi, avant le parcours de la liste des émotions d'un agent, nous vérifions si les diverses influences ont changé ; si c'est effectivement le cas, chaque émotion va se voir appliquer à tour de rôle les différents processus correspondant à ces changements. Ceci peut être observé sur le listing A.1, page 79. La nouvelle intensité de l'émotion est alors décrétementée<sup>14</sup> pour simuler la

---

<sup>12</sup>*NetLogo* permet de déclarer des "races" ("*breeds*") d'agents ayant des attributs spécifiques ; tout agent appartenant à une race en hérite les attributs associés. Se reporter à l'adresse donnée dans la note 1, page 60 pour de plus amples détails.

<sup>13</sup>Un groupe peut avoir pour position la moyenne des positions de ses agents membres.

<sup>14</sup>Notons que la valeur décrétementant l'intensité est définie par un "*slider*", qui est une sorte de variable globale spécifique à *NetLogo* qu'il est possible de modifier pendant l'exécution.

dégradation de l'intensité dans le temps. Nous testons finalement si l'intensité de l'émotion est inférieure ou égale à zéro, auquel cas cette dernière est supprimée de la liste.

Il est également important de noter que c'est au début de cette procédure que nous procédons au processus de contagion émotionnelle primitive ; si ce choix peut paraître étrange, nous sacrifions la logique, voulant que cela soit plutôt fait lors de la perception, sur l'autel de la simplicité d'utilisation<sup>15</sup>.

Liée à la méthode présentée ci-dessus, et indispensable au processus de contagion émotionnelle primitive, la procédure `display-emotion` permet aux agents d'afficher, en temps normal, leur émotion ayant la plus forte intensité<sup>16</sup>, intensité que nous multiplions par l'expressivité de l'agent.

Le point le plus important ici est le traitement des normes d'expression des émotions ; en effet, nous parcourons la liste des émotions d'un agent, que nous avons soigneusement triée par ordre décroissant d'intensité auparavant, et nous sélectionnons le premier élément respectant l'ensemble des normes d'expressions. L'émotion ainsi affichée n'est donc pas forcément celle de plus forte intensité. Nous colorons ensuite l'agent suivant cette émotion affichée pour une lecture plus aisée.

Le processus de propagation d'émotions entre les agents, représentant contagion émotionnelle primitive, est implémenté par deux procédures distinctes. La première, nommée `cep-process`, gère le mimétisme des agents ; le listing A.3, page 81, présente son implémentation. Celle-ci se contente de copier l'effecteur de l'agent cible<sup>17</sup> puis de comparer l'émotion de plus forte intensité de l'agent à l'émotion qu'il affiche. Pour cette comparaison, la fonction `compare-emotions-and-intensities` est appelée, celle-ci renvoyant *vrai* si les deux émotions comparées sont de même type et si leur intensité est assez proche<sup>18</sup> ; le listing A.5, page 81, montre son implémentation. Dans le cas où elles ne correspondent pas, un évènement est déclenché, simulé ici par l'affectation de l'identifiant de l'agent copié à l'attribut `mimicry-event` ; dans le cas inverse, aucun évènement n'est déclenché, les agents ayant convergé émotionnellement.

La deuxième procédure, nommée `feedback`, régit la création d'une émotion dans le cas où un évènement de mimétisme a eu lieu ; son implémentation est observable sur le listing A.4, page 81. Dans ce cas là, l'intensité de la nouvelle émotion est calculée en tenant compte de l'intensité de l'émotion de la cible, de la sensibilité de l'agent mime et de la distance séparant les deux agents. Si l'intensité calculée est supérieure à zéro, l'émotion est effectivement créée.

---

<sup>15</sup>Pour rappel, notre travail s'organise sous la forme d'une librairie, laquelle ne traite pas la perception en elle-même.

<sup>16</sup>À condition bien sûr d'avoir au moins une émotion.

<sup>17</sup>Rappelons que le processus de contagion émotionnelle primitive n'est déclenché que lorsque l'élément le plus proche de l'agent dans sa topologie d'attention est un de ses semblables.

<sup>18</sup>Cette comparaison sur les intensités nous permet de considérer comme différente deux émotions de même type mais ayant des intensités très différentes, telles que la peur et la terreur.

Les différents processus d'influence sont gérés par les fonctions `mood-process`, `ces-process`, `edg-process`, `experience-norms-process` et `expression-norms-process`. Les trois premières fonctions étant très proches, nous ne présenterons que l'une d'entre elles, `ces-process` ; de façon analogue pour les deux fonctions concernant les normes, nous n'étudierons que `experience-norms-process`.

La fonction `ces-process` représente l'influence de l'émotion ambiante perçue sur les émotions d'un agent ; le listing A.6, page 82, présente son implémentation. Cette fonction prend deux paramètres, l'émotion dont il faut modifier l'intensité et le type de l'*EAP* au pas de temps précédent<sup>19</sup>, et procède à deux modifications de l'intensité de l'émotion. Tout d'abord, si l'*EAP* n'était pas neutre au pas de temps précédent, il faut annuler la précédente influence. Ainsi, si l'émotion passée en argument est de même type que l'*EAP* précédente – et donc différente de l'*EAP* actuelle – la valeur de modification du processus de contagion émotionnelle sociale est retranchée à son intensité ; de façon inverse, si l'émotion est différente de l'*EAP* au temps précédent, la valeur de modification est ajoutée de façon à annuler la baisse de son intensité. Vient alors la nouvelle influence dans le cas où l'*EAP* actuelle n'est pas neutre : si l'émotion est du même type que l'*EAP* actuelle, la valeur de modification est ajoutée à son intensité, et inversement dans le cas où l'émotion est de type différent.

La fonction `experience-norms-process` représente l'influence des normes émotionnelles sur l'expérience de certaines émotions, et se place à ce titre dans le corps de la procédure `emotion-evolution`, contrairement à la fonction `expression-norms-process` se plaçant quant à elle dans le corps de la procédure `display-emotion` ; le listing A.7, page 82, présente son implémentation. Très simple, cette fonction prend en paramètre une émotion, émotion pour laquelle un parcours des normes d'expérience est effectué. Pour chaque norme, nous testons si l'émotion y correspond, c'est-à-dire si le type de l'émotion et l'évènement l'ayant causée<sup>20</sup> correspondent respectivement au type d'émotion et au type d'évènement sur lesquels porte la norme. Ne nous intéressant qu'à l'interdiction de l'émotion de peur pour nos scénarios, nous n'avons programmé que cette norme ; si celle-ci s'applique à l'émotion traitée, cette dernière se voit recevoir une émotion égale à zéro, synonyme de suppression dans la procédure `emotion-evolution`. Quant à la fonction `expression-norms-process`, elle ne modifie pas l'intensité de l'émotion mais retourne une chaîne de caractère signifiant l'impossibilité d'afficher cette émotion.

Laissée au bon vouloir du concepteur lors de la formalisation, la topologie d'attention est néanmoins un point particulièrement important. Dans cette simulation, nous simulons cette topologie par un calcul de distance particulier, calcul réalisé par la fonction `get-attention-closer` qu'il est possible d'examiner sur le listing A.8, page 83. Ainsi, un agent sélectionne, au sein de son rayon de perception, le voisin

<sup>19</sup>Rappelons que cette fonction n'est appelée que lors d'un changement de l'*EAP*.

<sup>20</sup>Notons que le listing A.7, page 82, présente également un test de correspondance entre le rôle de l'agent et le rôle sur lequel porte la norme ; ceci est en rapport avec notre deuxième scénario présenté dans la section 3.4, page 69.

ayant la plus forte émotion affichée<sup>21</sup> sans tenir compte de la distance. Dans le cas où aucun de ses voisins n'a d'émotion affichée, il sélectionne celui étant le plus proche de lui. Une fois cela fait, il compare la distance le séparant de cet agent sélectionné avec la distance le séparant d'un éventuel évènement<sup>22</sup>; l'agent portera ainsi son attention sur l'élément le plus proche de lui.

Nous obtenons ainsi une topologie d'attention où les agents ayant une émotion ont plus tendance à recevoir l'attention de leurs pairs tandis que les agents n'ayant pas d'émotion, ou ne l'affichant pas, sont relégués au second plan; ceci favorise le transfert d'émotions par le processus de contagion émotionnelle. Les évènements, quant à eux, sont traités normalement, c'est-à-dire selon leur proximité physique avec les agents.

Enfin, notons également deux procédures, `create-emotion` et `remove-emotion`, permettant respectivement la création et la suppression d'une émotion. La première, dont l'implémentation est présentée sur le listing A.9, page 83, permet l'ajout d'une nouvelle structure dans la liste des émotions d'un agent en tenant compte des influences actuelles. Cette procédure procède à un parcours des émotions déjà ressenties par l'agent de façon à vérifier si elle existe déjà. Si c'est le cas, l'émotion existante voit son intensité être mise à jour selon l'argument qui a été donné et les diverses influences; dans le cas inverse, l'émotion est tout simplement ajoutée à la liste. La seconde procédure parcourt tout simplement la liste des émotions jusqu'à trouver celle à supprimer; le listing A.10, page 84, présente l'implémentation de cette procédure.

### 3.3 Scénario 1 : contagion émotionnelle et transfert d'informations

Les émotions individuelles ont prouvé leur utilité, notamment par les tendances à l'action<sup>23</sup>, pour les agents. En particulier, une émotion de peur peut mener un agent à fuir ([Lazarus, 1991]) et par là même lui permettre de sauver sa vie (ou du moins l'intégrité de son corps synthétique, dans le cas d'un agent non vivant). Mais une émotion individuelle ne peut, par nature, influencer le comportement d'un autre agent que celui ressentant cette même émotion. Il en découle que tout agent devra subir une blessure pour avoir peur et donc fuir.

Ainsi, pour ce scénario, nous mettons en place un ensemble d'agents se déplaçant en temps normal grâce à un comportement de "*flocking*", c'est-à-dire un déplacement collectif émergeant de règles internes à ces agents. De plus, le centre de la topologie physique dans laquelle les agents évoluent est de couleur jaune, symboli-

<sup>21</sup>Dans le cas où plusieurs agents ont une émotion d'intensité égale (mais dont le type peut être différent), il porte son attention sur l'un d'entre eux aléatoirement.

<sup>22</sup>Un évènement est représenté par un "*patch*", c'est-à-dire un carré ayant une couleur spécifique.

<sup>23</sup>Se référer à la note 7, page 9, pour une courte explication de cette notion.

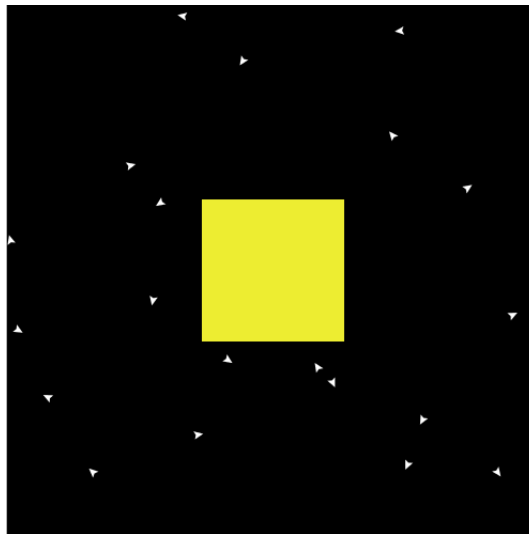


FIG. 3.1 – Disposition du premier scénario à l'initialisation. Les flèches et le carré clair au centre représentent respectivement les agents et la zone létale pour ces derniers.

sant une zone létale pour ces derniers. Ainsi, lorsque les agents se déplacent dans cette zone, le compteur représentant leur état de "santé" est décrémenté; un agent disparaît lorsque son compteur atteint zéro, signifiant qu'il est hors de service.

Cette disposition peut être observée sur la figure 3.1, page 67; remarquons par ailleurs que les agents sont placés au nombre de vingt et de façon aléatoire dans la topologie.

Par cette expérimentation, nous souhaitons montrer que le transfert automatique d'émotions permet une plus grande sauvegarde de l'état "physique" des agents, et ce tout en évitant une profusion de messages informatifs entre les agents. En effet, lorsqu'un agent se blesse, celui-ci expérimente une émotion de peur qui, en plus de le faire fuir<sup>24</sup>, est transmise à tous les agents proches (par le processus de contagion émotionnelle primitive vu dans la section 2.2.2.1, page 23), ceux-ci se mettant alors à fuir<sup>25</sup> au côté du premier et évitant, sans le savoir, un risque potentiel pour leur intégrité. La figure 3.2, page 68, montre le déroulement de ce processus.

Pour mesurer les résultats de cette expérience, nous donnons à chaque agent un total de cent points de santé, qui est décrémenté de dix points à chaque pas de temps

<sup>24</sup>Notons que nous n'avons pas la prétention d'implémenter un système réaliste de tendances à l'action, nous nous contentons d'une sélection d'action suivant l'émotion principale de l'agent. Le lecteur pourra porter son attention sur [Meyer, 2006] pour étancher sa soif de curiosité concernant la modélisation des tendances à l'action.

<sup>25</sup>Nous supposons qu'une émotion de peur copiée sur un de ses pairs amène un agent à fuir dans le sens de l'agent transmetteur.

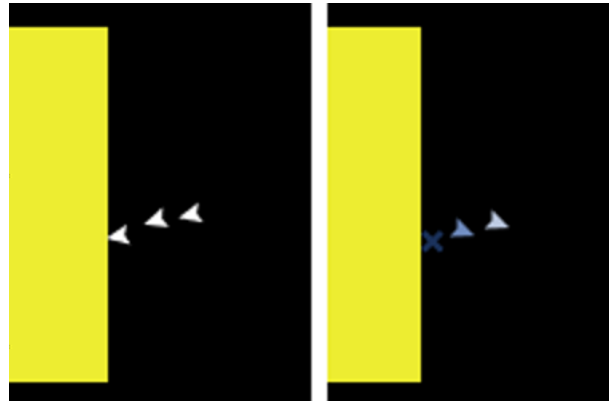


FIG. 3.2 – Illustration de la contagion émotionnelle primitive. L’agent en forme de croix est le seul à être réellement blessé ; l’émotion de peur qu’il affiche en prenant une teinte bleutée est transmise à ses semblables qui vont alors fuir dans la même direction que lui.

où l’agent est présent dans la zone létale, points qui sont ajoutés à un compteur représentant la perte globale de points de santé. Par ailleurs, chaque agent étant blessé regagne un quart de point de santé par pas de temps.

En outre, de façon à examiner l’intérêt de la contagion émotionnelle primitive, nous mettons en place trois configurations : la première n’utilisant pas d’émotions, la deuxième utilisant seulement les émotions individuelles et la troisième utilisant la contagion émotionnelle primitive. Pour chaque configuration, nous procédons à dix essais sur trois mille pas de temps. Les résultats sont observables sur le tableau 3.1, page 68.

	Sans émotion	Émotions individuelles	Contagion primitive
Nombre de pertes	17	0	0
Dégâts globaux	1860	521	245

TAB. 3.1 – Tableau présentant les résultats des trois configurations pour vingt agents et sur trois mille pas de temps. Ces résultats sont les moyennes des valeurs obtenues au cours de dix essais. Notons que dans ces essais, la sensibilité et l’expressivité des agents étaient égales à un, ces caractéristiques ne modifiant alors aucunement l’intensité de l’émotion copiée ou l’intensité de l’émotion affichée.

Ainsi, sans tenir compte de la première configuration prouvant seulement l’importance de l’utilisation des émotions, nous pouvons observer des dégâts environ deux fois inférieurs lorsque la contagion émotionnelle primitive est utilisée, montrant ainsi son intérêt.

Par ailleurs, il est important de noter l'apparition, dans certaines conditions, d'un phénomène que nous ne nous attendions pas à observer. Ainsi, lorsque certains des agents possèdent une expressivité ou une sensibilité supérieure à un, c'est-à-dire lorsque ces derniers affichent une émotion plus intense que celle qu'ils éprouvent réellement ou bien s'ils ressentent une émotion mimée plus intensément que celle de la cible copiée, les processus d'influence catalysant cette augmentation d'intensité, un phénomène de *spirale émotionnelle* peut apparaître. Ce phénomène se traduit par la propagation d'agent en agent d'une émotion de peur à chaque fois plus intense et accusant ainsi une hausse extrême. Cette émotion de peur, devenue panique – voire terreur – copiée sur d'autres agents entrave le bon fonctionnement des émotions individuelles et de leur aspect adaptatif. En effet, les agents, ayant alors largement plus peur par le fait de leurs semblables que des dangers de leur environnement, fuient en ne tenant plus compte de l'émotion de peur occasionnée par une blessure de la zone létale, occasionnant finalement leur destruction.

Ce phénomène, que nous n'avions pas prévu d'étudier originellement, se rapproche des phénomènes des troupes d'animaux fuyant et se jetant dans le vide lors d'une peur causée par un orage particulièrement violent ou, pour les humains, de peur panique collective, notamment dans le cas des foules, occasionnant des comportements considérés comme irrationnels et parfois, malheureusement, des victimes.

### 3.4 Scénario 2 : normes et orientation comportementale

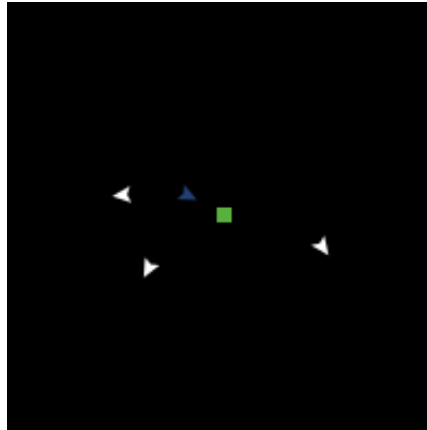


FIG. 3.3 – Illustration du deuxième scénario. Le carré et les flèches représentent respectivement la base et les agents dont un, de couleur bleue, retourne à la base pour recharger son énergie.

Bien que, comme nous avons pu le voir, les émotions soient particulièrement utiles pour les agents, celles-ci peuvent parfois se révéler gênantes, voire dangereuses dans un contexte collectif. Ce problème est le sujet de cette section, problème

que nous comptons résoudre grâce aux normes émotionnelles qui permettront une emprise générale sur le groupe plutôt qu'un contrôle individuel de chaque agent.

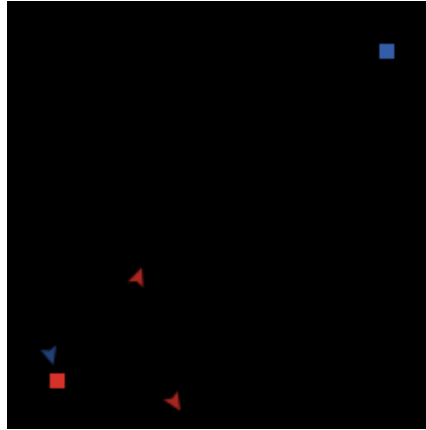


FIG. 3.4 – Illustration du dysfonctionnement de la base, située en bas à gauche. Les agents ne peuvent atteindre le problème, situé en haut à droite, car ils ne disposent pas d'assez d'énergie et, du fait de l'émotion de peur, devront retourner à la base.

Ainsi, nous nous rapprochons ici de la notion de *"Soft Control"* ([Han *et al.*, 2006]) dans le sens où les normes nous permettent d'orienter le comportement d'un ensemble d'agents sans en modifier les règles internes. En effet, ne recevant pas d'ordres concernant les actions à entreprendre, les agents ne sont pas contrôlés directement ; leur comportement est néanmoins orienté par l'intermédiaire des normes du groupe, rendant obligatoire ou interdisant certaines émotions et par extension les actions qui y sont associées. Si nous contrôlons effectivement le groupe, notamment dans les normes instaurées, celui-ci devient alors une interface entre agents et humains.

Le scénario que nous nous proposons d'étudier ici consiste en une base et un groupe d'agents vaquant à leurs occupations<sup>26</sup> et dont le compteur d'énergie est décrémenté à chaque pas de temps. Si celui-ci tombe en deçà d'un certain seuil, symbolisant la limite d'énergie permettant à l'agent de revenir à sa base, une émotion de peur est déclenchée chez ce dernier. L'action associée à une telle émotion est alors de se diriger vers cette base, située au centre de la topologie, afin de recharger l'énergie perdue au fil du temps. La figure 3.3, page 69, illustre la disposition initiale du scénario.

Nous provoquons alors un dysfonctionnement de la base lié à un problème se situant au-delà du rayon d'action des agents ; ceci est présenté par la figure 3.4, page 70. La base perd alors peu à peu de son énergie propre, ce qui déclenche une émotion

<sup>26</sup>Nous pouvons imaginer que ces occupations consistent à aller chercher des ressources, explorer, etc ; notre expérimentation se contente de les faire naviguer aléatoirement pour simuler de telles actions.



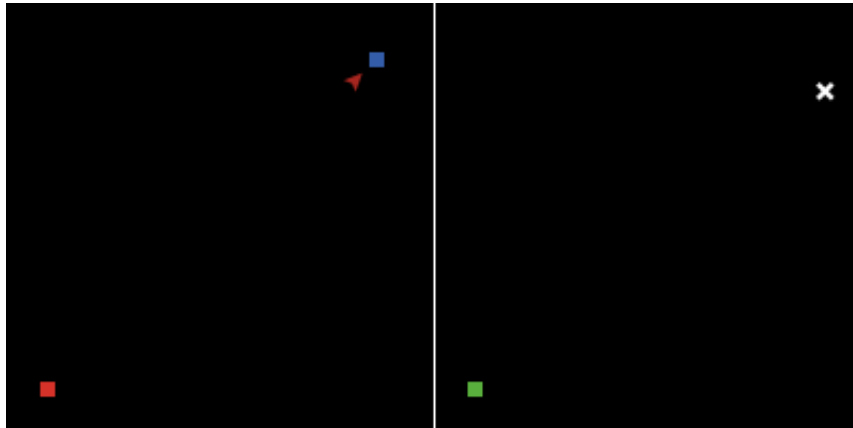


FIG. 3.5 – Illustration de la réparation du dysfonctionnement. L’agent réparateur se dirige vers le problème pour le corriger ; une fois cela fait, il ne tarde pas à tomber en panne, symbolisé alors par son aspect en forme de croix. La base reprend quant à elle son état normal, symbolisé par sa couleur à nouveau verte.

de colère chez les agents. Néanmoins, la survie individuelle étant la priorité<sup>27</sup> de tout agent, il ne sera possible à aucun d’entre eux de s’occuper de ce problème, si bien que la base n’est plus fonctionnelle au bout de quelques pas de temps et les agents, ne pouvant plus recharger leur énergie, tombent tous en panne.

Pour remédier à ce problème, nous introduisons dans notre scénario la notion de rôle que nous allons coupler avec les normes émotionnelles. Tous les agents ont, à l’initialisation, un rôle basique de *membre du groupe*, n’ayant comme action possible que le retour à la base en cas d’énergie trop basse. Nous ajoutons alors un rôle de *réparateur* qui possède<sup>28</sup> une action supplémentaire consistant à se diriger vers le problème et le corriger<sup>29</sup> lorsque l’agent éprouve une émotion de colère en rapport à l’état de sa base, rôle que nous affectons aléatoirement à un des agents.

En effet, si tout agent était autorisé à entreprendre l’action de réparation, l’ensemble des membres du groupe, éprouvant tous une émotion de colère, délaisserait leur besogne actuelle. Grâce à ce nouveau rôle, nous nous assurons qu’un seul des agents va tenter de corriger le problème, ses semblables continuant à vaquer à leurs occupations.

Notons néanmoins que celui-ci ne peut toujours pas atteindre l’objectif car il est encore susceptible d’être sous le coup d’une émotion de peur lorsque son énergie vient à manquer. L’agent réparateur va donc en permanence se diriger vers le problème

<sup>27</sup>Cette priorité vient du fait que l’émotion de peur a une intensité supérieure à celle de colère ce qui amène donc les agents à retourner à leur base quand l’énergie leur fait défaut.

<sup>28</sup>Les agents possèdent déjà en eux l’ensemble des actions possibles, les rôles permettant de sélectionner un sous-ensemble d’entre elles.

<sup>29</sup>Dans cette simulation, le simple fait de toucher le carré représentant le problème suffit à le corriger.

et revenir à sa base une fois son énergie trop basse.

Nous utilisons alors les normes, que nous restreignons<sup>30</sup> au seul rôle de réparateur, pour interdire l'émotion de peur. Par conséquent, les agents ayant un rôle de membre continueront, en raison de la peur liée au manque d'énergie, à revenir à leur base pour recharger leur énergie ; l'agent réparateur, n'ayant plus le droit de ressentir cette émotion, se dirigera sans tenir compte de son énergie vers le problème pour le corriger. Ayant dépassé son rayon d'action, celui-ci n'aura alors plus assez d'énergie pour retourner à la base et tombera donc en panne, ce qui peut être observé sur la figure 3.5, page 71. Un tel procédé permet ainsi de sacrifier un agent de façon à assurer la "survie" de la communauté.

### 3.5 Conclusion

Afin de montrer les bénéfices procurés par le phénomène de l'émotion collective, nous avons, au cours de ce chapitre, étudié l'implémentation de notre système ainsi que deux scénarios le mettant à contribution. Notre implémentation, inspirée du modèle émotionnel et de la formalisation présentés dans le chapitre 2, page 21, s'est faite sous la forme d'une librairie utilisable au sein de la plateforme multi-agent *NetLogo*, librairie permettant une certaine réutilisabilité des divers processus de propagation émotionnelle, d'influence ou d'affichage de l'émotion.

Le premier scénario présente le fonctionnement de la contagion émotionnelle primitive et son utilité quant au transfert rapide d'informations sur l'environnement, permettant aux agents de fuir une zone dangereuse avant d'être blessés. Ce scénario s'est révélé être un succès avec une valeur globale des dommages subis par les agents réduite, environ, de moitié. De plus, au cours de ce scénario, nous avons constaté l'apparition fortuite, dans certaines conditions, d'un phénomène de spirale émotionnelle n'étant pas escompté initialement.

Le deuxième scénario se penche quant à lui sur l'utilisation des normes émotionnelles pour l'orientation comportementale d'un groupe d'agents. Nous avons ainsi vu que ces normes, couplées à la notion de rôle, permettent à des agents bien précis d'accéder à des actions que les émotions individuelles n'autorisent pas en temps normal. Ce scénario présente plus précisément le problème des émotions individuelles, permettant la survie propre d'agents aux dépens de celle de la collectivité, où ces agents ne peuvent s'occuper, du fait d'une émotion de peur, d'un problème énergétique causant le dysfonctionnement de leur station de rechargement. Interdire l'émotion de peur à un rôle précis permet alors de "sacrifier" un agent pour qu'il puisse régler ce problème, aidant à la survie des autres membres de son groupe.

Ces scénarios aux résultats encourageants révèlent néanmoins des perspectives d'approfondissement ; celles-ci sont présentées dans le chapitre suivant.

---

<sup>30</sup>Cette restriction se fait par la modification du prédicat *norme* auquel nous ajoutons un sixième attribut relatif au rôle sur lequel s'applique la norme.

---

# Conclusion et perspectives

---

*Je ne suis peut-être pas allé là où je  
voulais aller, mais je pense que je suis  
arrivé là où je voulais être.*

---

Douglas Adams

Ce mémoire se fait le représentant d'une approche à la croisée de plusieurs disciplines qui, à première vue, n'ont rien en commun. La contribution principale de ce mémoire est ainsi d'offrir une modélisation et une formalisation de certains des processus de l'émotion collective ainsi que l'architecture émotionnelle des agents destinée à supporter ces processus. Ces derniers se subdivisent en deux types, le premier étant un mécanisme de propagation émotionnelle se faisant par l'intermédiaire de la contagion émotionnelle primitive, c'est-à-dire la tendance qu'ont les agents de mimer leurs semblables et ainsi de converger émotionnellement. Nous l'avons modélisé selon les travaux psychologiques l'ayant identifié, c'est-à-dire par une succession d'affichage de l'émotion, de mimétisme et de rétroaction.

Le deuxième type de processus regroupe plusieurs mécanismes d'influence de niveaux différents, *interne*, *local* et *global*. Le niveau interne représente l'influence de l'humeur des agents sur leurs émotions, traduisant l'*effet de congruence* ; celui-ci peut amener un agent à atténuer ou amplifier les influences des autres niveaux. Le niveau local représente quant à lui l'influence sociale proche, un agent ayant tendance à se rapprocher du climat émotionnel qu'il perçoit. Enfin, le niveau global, traduisant l'influence du groupe grâce à l'*émotion de groupe*, émotion calculée en fonction de celles affichées par les membres et influençant ces derniers, et aux *normes émotionnelles* permettant de réguler l'expression ou l'expérience des émotions de ces mêmes membres. Ces différents processus ont alors été implémentés et testés au cours de deux scénarios nous permettant de montrer leurs intérêts pour les systèmes multi-agents tels que les transferts d'information, l'orientation comportemental ainsi que l'apparition des spirales émotionnelles.

En outre, nous avons introduit une nouvelle notion pour le groupe, celle du patrimoine. Notre vision du groupe est ainsi à mi-chemin entre deux approches sociologiques qui s'affrontent : l'approche considérant le groupe comme une entité holistique valant plus que la somme, notamment émotionnelle, de ses membres et "l'entité" illusoire n'existant pas réellement au-delà des personnes en faisant partie ;

le patrimoine représente les caractéristiques, ici restreintes aux émotions, que les agents doivent respecter pour faire partie du groupe.

Par ailleurs, nous avons utilisé dans ce travail les topologies pour représenter et gérer de façon aisée les distances séparant les agents. Ces topologies, pouvant être globales ou locales aux agents, permettent de gérer des notions aussi variées que la position physique des agents, les distances sociales telles que la hiérarchie, la confiance d'un agent envers ses semblables, etc. Plus particulièrement, nous utilisons une topologie locale spéciale pour représenter l'attention des agents, c'est-à-dire la concentration de ces agents sur des éléments particuliers, agents ou événements, de leur environnement.

Ce travail abordant un domaine encore très peu exploré, les perspectives pour l'approfondir et améliorer notre travail sont nombreuses ; nous nous proposons d'en présenter certaines.

**Perspectives concernant le groupe** Tout d'abord, nous avons considéré des dynamiques de vie des groupes simplistes, ceux-ci étant créés par similarité émotionnelle entre agents, ce qui nous a amené à parler de *pré-groupes* émotionnels. De très nombreuses autres raisons peuvent conduire à la création d'un groupe, tels que la situation sociale, les croyances et buts communs ou la reconnaissance d'un groupe déjà existant, raisons qu'il est important d'étudier pour obtenir des cycles de vie de groupe plus fournis. Pour ce faire, une nouvelle topologie, la topologie de *similarité sociale*, peut être introduite. Cette topologie locale traduit, du point de vue d'un agent, son degré de similarité, ou du moins la croyance de similarité, avec d'autres agents. Un agent se sentant très similaire à un de ses semblables pourrait alors entamer une négociation pour créer un groupe. De la même façon, si la similarité s'amenuise, par exemple par des émotions de honte ou de colère, un agent pourrait quitter son groupe.

Par ailleurs, nos pré-groupes ne peuvent évoluer, hormis par l'absorption d'un nouveau membre. En effet, nous supposons dans notre travail, afin de le simplifier, que les agents ne peuvent quitter leur groupe une fois entrés, de sorte qu'un groupe ne peut ni disparaître ni éventuellement fusionner avec un autre groupe, même dans le cas où leurs agents sont similaires. De plus, un agent n'a pas la possibilité d'appartenir à plusieurs groupes, celui-ci ne cherchant plus à intégrer un nouveau groupe une fois qu'il en a trouvé un. Il serait donc intéressant de se pencher sur ces points et notamment traiter le problème des multiples influences, parfois contradictoires, lors de l'appartenance d'un agent à plusieurs groupes.

**Perspectives concernant les agents** Les points précédents impliquent un approfondissement très important. Nous avons, dans ce travail, fait le choix de ne pas inclure de modèle cognitif, de manière à nous concentrer sur les processus de

l'émotion collective. Néanmoins, un modèle tel que le *BDI*, prenant en compte les croyances des agents sur l'environnement ainsi que leurs désirs et intentions, permettrait, comme nous l'avons dit, d'étoffer les mesures de similarité entre agents, mais également d'amener à d'autres processus de l'émotion collective que nous n'avons pas traités. En effet, si nous considérons l'existence d'un groupe ayant eu pour genèse un désir commun à plusieurs agents, la satisfaction éventuelle d'un tel désir va mener à la création d'émotions partagées par ces agents qui se sentiront alors plus similaires, renforçant ainsi la cohésion du groupe. Un agent solitaire pourrait ainsi chercher un groupe dont les membres ont des buts similaires pour maximiser ses chances de les voir satisfaits.

Par ailleurs, un tel modèle cognitif permettrait de déclencher chez les agents la création d'émotion par rapport aux groupes et ainsi mener à des émotions intergroupes telles que, par exemple, la colère d'un groupe d'agents ayant besoin d'une ressource face à un autre groupe refusant de lui céder.

**Perspectives concernant les normes** D'autre part, nous occultons dans notre travail certains aspects des normes émotionnelles. Tout d'abord, nous ne traitons pas les conflits éventuels entre différentes normes, en particulier dans la perspective de permettre aux agents d'appartenir à plusieurs groupes. Il serait donc intéressant de se pencher sur ce point et d'étudier les possibilités de fusion de normes et les réactions des agents lorsqu'ils se trouvent dans une situation cornélienne de ce type.

De façon analogue, nous ne traitons pas le problème du conflit entre normes et buts. Un agent peut ainsi avoir pour but de ressentir ou d'exprimer une émotion particulière, par exemple dans le cas du "*travail émotionnel*", c'est-à-dire l'affichage d'émotions dicté par le contexte, notamment professionnel, plutôt que celles réellement éprouvées. Il serait à ce titre intéressant d'étudier les différents types de normes, coutumes ou règles institutionnelles, et la possibilité de les violer selon les situations, par exemple par des normes ayant des exceptions.

Par ailleurs, nous ne considérons la création des normes que par la main de l'humain. Si cette solution est intéressante, comme nous l'avons vu, dans notre optique d'orientation comportementale d'un groupe d'agent, elle manque d'autonomie. Il serait donc intéressant d'étudier les diverses façons qu'ont les agents pour ajouter ou supprimer des normes au sein de leur groupe. Pour ce faire, deux solutions semblent envisageables. La première, se rapprochant de la notion de convention, consiste en l'apparition de normes par l'habitude ; supposons l'existence d'un groupe au sein duquel certains agents éprouvent de la tristesse lors d'un certain événement et, par conséquent, voient leur productivité en souffrir ; si un ou plusieurs autres agents éprouvent une autre émotion, par exemple de la colère, et traitent cet événement de façon plus satisfaisante, il serait intéressant que les agents éprouvant originellement de la peur s'interdisent cette émotion. Il deviendrait ainsi normal, à terme, de ne pas ressentir une telle émotion, la norme se propageant ainsi parmi les agents.

La deuxième solution consiste à considérer la notion de rôle, notion dont nous verrons les perspectives dans le paragraphe suivant. Ainsi, l'action de créer, ou supprimer, des normes pourrait revenir à des agents ayant un rôle spécifique, dit *institutionnel*, éventuellement par rapport à des buts collectifs, après avoir analysé les résultats des autres membres du groupe ou encore par rapport à l'émotion de groupe actuelle.

**Perspectives concernant les scénarios** Nous concluons ces diverses perspectives en nous concentrant sur les scénarios que nous avons proposés pour montrer l'intérêt des processus évoqués dans ce mémoire. Tout d'abord, si nous avons utilisé de façon informelle les *rôles* dans l'un de nos scénarios, il est néanmoins important d'étudier cette notion de façon plus approfondie et de la formaliser, notamment dans la possibilité d'appliquer des normes émotionnelles à certains rôles précis ; l'exemple de l'employé d'une entreprise n'ayant pas le droit d'exprimer une émotion de colère à l'encontre de ses supérieurs hiérarchiques, l'inverse n'étant pas vrai, illustre bien l'utilité des rôles pour ces normes.

De plus, il pourrait être particulièrement bénéfique de coupler ces rôles à la notion de buts collectifs. En effet, en prenant l'exemple d'un équipe de travail ayant un but collectif global, nous pouvons imaginer l'affectation d'un sous-but à un rôle spécifique, rôle qu'un agent pourrait demander suivant plusieurs critères, tels que ses capacités, sa confiance, sa position hiérarchique, etc. Atteindre un tel sous-but serait ainsi une satisfaction pour l'ensemble des membres du groupe, car permettant de se rapprocher du but global, et mènerait par là même à une émotion partagée par ces derniers.

En outre, nous souhaitons nous pencher, grâce à un nouveau scénario, sur la possibilité de mettre en place un véritable comportement collectif utilisant les divers processus décrits dans ce mémoire. Ainsi, supposons l'existence d'un groupe d'agents ayant un but collectif global mais ne pouvant l'atteindre car ne possédant pas assez de membres. Cherchant à peupler son groupe, un agent prend alors un rôle d'assimilateur, et tente ainsi de faire entrer de nouveaux agents dans ce groupe. Utilisant la contagion émotionnelle primitive pour copier l'émotion d'un agent n'ayant pas de groupe, l'agent assimilateur va donc être émotionnellement similaire à sa cible ; suivant le processus de création de pré-groupe, l'agent cible va alors rejoindre le groupe de l'assimilateur. Une fois que le nombre de membres est suffisant, il reste à faire en sorte qu'ils procèdent aux actions nécessaires à l'achèvement du but global. Pour ce faire, un agent peut alors prendre un rôle d'incitateur, rôle ayant l'obligation d'afficher en continu une émotion précise de façon à la transmettre aux nouveaux membres ; ceux-ci, après acquis cette émotion par le processus de propagation de la contagion émotionnelle primitive, éventuellement catalysée par les processus d'influence pour la rendre plus effective, vont naturellement faire l'action y étant associée et ainsi travailler à l'achèvement du but global. Nous obtenons ainsi une orientation comportementale faite par certains agents de façon à atteindre un

but qu'ils n'auraient pu achever avec un nombre de membres trop restreint.

Enfin, l'apparition inopinée du phénomène de spirale émotionnelle au cours de l'un de nos scénarios est un résultat particulièrement surprenant et attrayant. Nous souhaiterions donc explorer plus avant cette conséquence inattendue de nos travaux pour tenter d'en comprendre et d'en modéliser l'origine. Ceci pourrait donner la possibilité de mettre en place des simulations permettant d'analyser ce phénomène afin de le comprendre et tenter éventuellement de l'endiguer.

En guise de remarque conclusive, nous avons vu au fil de ce chapitre que l'étude des émotions, à fortiori collectives, gagne un intérêt non négligeable en considérant des notions sociales telles que la similarité, les buts collectifs, les rôles ou encore les groupes et leur dynamique de vie complexe ; nous espérons que les travaux et leurs résultats présentés dans ce mémoire, associés aux perspectives que nous y voyons, permettent la mise en place d'une approche novatrice et pérenne du phénomène de l'émotion collective.





## EXTRAITS DE CODE SOURCE

---

```
1 to emotion-evolution
2   let attention-closer get-attention-closer
3
4   if is-turtle? attention-closer
5   [ cep-process attention-closer
6     feedback ]
7
8   let previous-mood-valence mood-valence
9   set mood-valence (compute-mood-valence compute-mood-gamma)
10
11  let previous-eap eap
12  set eap compute-eap
13
14  let previous-edg edg
15  if agent-group != nobody
16  [ set edg [ group-emotion ] of agent-group ]
17
18  let previous-experience-norms experience-norms
19  if agent-group != nobody
20  [ set experience-norms [ group-experience-norms ] of agent-group
21    set expression-norms [ group-expression-norms ] of agent-group ]
22
23  let cpt 0
24  let len length emotions
25  while [cpt < len] [
26    let emotion get-emotion cpt
27
28    if previous-mood-valence != mood-valence
29    [ set emotion (mood-process emotion previous-mood-valence) ]
30
31    if is-turtle? attention-closer and previous-eap != eap
32    [ set emotion (ces-process emotion previous-eap) ]
33
34    if agent-group != nobody and previous-edg != edg
```

```

35 [ set emotion (edg-process emotion previous-edg) ]
36
37 if agent-group != nobody and previous-experience-norms !=
   experience-norms
38 [ set emotion (experience-norms-process emotion
   previous-experience-norms) ]
39
40 let intensity get-emotion-intensity emotion
41 set intensity intensity - intensity-decreasing
42
43 ifelse intensity <= 0
44 [ set emotions remove-item cpt emotions
   set len len - 1 ]
45 [ set emotions (replace-item cpt emotions (replace-item 1 emotion
   intensity))
46 set cpt cpt + 1 ]
47 ]
48 end
49

```

Listing A.1 – Portion de code montrant la procédure d'évolution des émotions. Notons que certaines lignes de code ont été enlevées pour plus de lisibilité ; celles-ci concernent principalement des tests permettant de n'utiliser que certains processus.

```

1 to display-emotion
2 set displayed-emotion ["no-displayed-emotion"]
3
4 if not empty? emotions
5 [ let res get-most-intense-emotion
6
7   if agent-group != nobody
8   [ let sorted-emotions sort-by [ (item 1 ?1) > (item 1 ?2) ]
   emotions
9     let len length sorted-emotions
10    let cpt 0
11    set res "not-displayable"
12    while [cpt < len and res = "not-displayable" ]
13    [ set res (expression-norms-process (item cpt sorted-emotions))
   set cpt cpt + 1 ] ]
14
15
16 if res != "not-displayable"
17 [ let emotion res
18   let emotion-intensity ((get-emotion-intensity emotion) *
   expressivity)
19
20   if emotion-intensity > 0
21   [ let emotion-type get-emotion-type emotion
   let emotion-event get-emotion-event emotion
22     set displayed-emotion (list emotion-type emotion-intensity
   emotion-event) ]
23 ]
24 ]
25

```

```

26 | set color emotion-color displayed-emotion
27 | end

```

Listing A.2 – Portion de code montrant l’affichage d’émotion par un agent.

```

1 | to cep-process [ target ]
2 |   target-effector-copy target
3 |
4 |   let most-intense-emotion get-most-intense-emotion
5 |   if (item 0 displayed-emotion) != "no-displayed-emotion" and (not
      compare-emotions-and-intensities most-intense-emotion
      displayed-emotion)
6 |   [ set mimicry-event target ]
7 | end

```

Listing A.3 – Portion de code montrant le processus de mimétisme de la contagion émotionnelle primitive et l’éventuel déclenchement de l’évènement y étant lié.

```

1 | to feedback
2 |   if is-turtle? mimicry-event
3 |   [ let distance-from-agent (distance mimicry-event)
4 |     set distance-from-agent floor distance-from-agent
5 |     set distance-from-agent distance-from-agent + 1
6 |
7 |     let emotion-intensity ((get-emotion-intensity displayed-emotion) *
      sensibility * (1 / distance-from-agent))
8 |     set emotion-intensity round emotion-intensity
9 |     if emotion-intensity > 0
10 |    [ let emotion-type get-emotion-type displayed-emotion
11 |      let emotion-event mimicry-event
12 |      create-emotion emotion-type emotion-intensity emotion-event ]
13 |
14 |    set mimicry-event nobody ]
15 | end

```

Listing A.4 – Portion de code montrant la procédure de rétroaction, c’est-à-dire de création d’émotion lors d’un évènement de mimétisme.

```

1 | to-report compare-emotions-and-intensities [ emotion1 emotion2 ]
2 |   if (empty? emotion1) or (empty? emotion2)
3 |   [ report false ]
4 |
5 |   let type-emotion1 get-emotion-type emotion1
6 |   let type-emotion2 get-emotion-type emotion2
7 |   if type-emotion1 != "no-displayed-emotion" and type-emotion2 !=
      "no-displayed-emotion" and type-emotion1 = type-emotion2

```

```

8   [ let intensity-emotion1 get-emotion-intensity emotion1
9     let intensity-emotion2 get-emotion-intensity emotion2
10    if abs (intensity-emotion1 - intensity-emotion2) <
        compare-intensities-threshold
11    [ report true ] ]
12
13    report false
14  end

```

Listing A.5 – Portion de code montrant la fonction de comparaison entre deux émotions.

```

1  to-report ces-process [ emotion previous-eap ]
2    let emotion-type get-emotion-type emotion
3    let emotion-intensity get-emotion-intensity emotion
4    let emotion-event get-emotion-event emotion
5
6    let value-to-add 0
7    if previous-eap != "neutral"
8    [ ifelse emotion-type = previous-eap
9      [ set value-to-add (value-to-add - eap-modification) ]
10     [ set value-to-add (value-to-add + eap-modification) ] ]
11
12    if eap != "neutral"
13    [ ifelse emotion-type = eap
14      [ set value-to-add (value-to-add + eap-modification) ]
15      [ set value-to-add (value-to-add - eap-modification) ] ]
16
17    set emotion-intensity (emotion-intensity + value-to-add)
18    report (list emotion-type emotion-intensity emotion-event)
19  end

```

Listing A.6 – Portion de code montrant la fonction d'influence de la contagion émotionnelle sociale.

```

1  to-report experience-norms-process [ emotion ]
2    let cpt 0
3    let len length experience-norms
4
5    while [cpt < len] [
6      let norm (item cpt experience-norms)
7      if (item 0 norm) = "type"
8      [ ifelse (item 2 norm) = "interdiction"
9        [ if role = (item 5 norm) and (item 0 emotion) = (item 3 norm)
10         and (item 2 emotion) = (item 4 norm)
11         [ report replace-item 1 emotion 0 ] ] ]
12
13    set cpt cpt + 1

```

```

13 ]
14   report emotion
15 end

```

Listing A.7 – Portion de code montrant la fonction d’influence des normes émotionnelles portant sur l’expérience des émotions; notons que pour plus de lisibilité, nous ne montrons que le traitement de l’interdiction d’expérience d’une émotion.

```

1 to-report get-attention-closer
2   let target-set other agents in-radius agent-vision
3     with [ (get-emotion-type displayed-emotion) !=
4           "no-displayed-emotion" ]
5
6   let closer-agent max-one-of target-set [ item 1 displayed-emotion ]
7
8   if closer-agent = nobody
9     [ set closer-agent min-one-of other agents in-radius agent-vision [
10      distance myself ] ]
11
12  let closer-patch min-one-of patches in-radius agent-vision with [
13    pcolor != grey ] [ distance myself ]
14
15  if closer-agent = nobody and closer-patch = nobody
16    [ report "nothing" ]
17  if closer-agent != nobody and closer-patch = nobody
18    [ report closer-agent ]
19  if closer-agent = nobody and closer-patch != nobody
20    [ report closer-patch ]
21
22  let closer-agent-distance (distance closer-agent)
23  let closer-patch-distance (distance closer-patch)
24
25  ifelse closer-patch-distance < closer-agent-distance
26    [ report closer-patch ]
27    [ report closer-agent ]
28 end

```

Listing A.8 – Portion de code montrant la simulation de la topologie d’attention des agents.

```

1 to create-emotion [ type-emotion intensity event ]
2   let new-emotion (list type-emotion intensity event)
3
4   [ set new-emotion (mood-process new-emotion "neutral") ]
5   [ set new-emotion (ces-process new-emotion "neutral") ]
6   if agent-group != nobody
7     [ set new-emotion (edg-process new-emotion "neutral") ]

```

```

8   set new-emotion (experience-norms-process new-emotion []) ]
9
10  let emotion-already-here false
11  let cpt 0
12  let len length emotions
13  while [ cpt < len and not emotion-already-here ] [
14    let current-emotion item cpt emotions
15    let current-emotion-type item 0 current-emotion
16    let current-emotion-event item 2 current-emotion
17
18    if current-emotion-type = type-emotion and current-emotion-event =
        event
19    [ set emotions (replace-item cpt emotions new-emotion)
20      set emotion-already-here true ]
21
22    set cpt cpt + 1
23  ]
24
25  if not emotion-already-here
26  [ set emotions fput new-emotion emotions ]
27  end

```

Listing A.9 – Portion de code montrant la procédure de création d'émotion ; notons que les multiples "neutral" et la liste vide signifient que cette émotion, n'existant pas précédemment, n'a pu subir aucune influence.

```

1  to remove-emotion [ type-emotion event-emotion ]
2    let removed false
3    let cpt 0
4    let len length emotions
5    while [ cpt < len and not removed ] [
6      let current-emotion item cpt emotions
7      let current-emotion-type item 0 current-emotion
8      let current-emotion-event item 2 current-emotion
9
10     if type-emotion = current-emotion-type and current-emotion-event =
        event-emotion
11     [ set emotions (remove-item cpt emotions)
12       set removed true ]
13     set cpt cpt + 1
14   ]
15  end

```

Listing A.10 – Portion de code montrant la procédure de suppression d'émotion.

---

# Bibliographie

---

- [Adam, 2007] ADAM, C. (2007). *The emotions : from psychological theories to logical formalization and implementation in a BDI agent*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, France. 5, 6, 8, 9, 10, 22
- [Armon-Jones, 1986] ARMON-JONES, C. (1986). The thesis of constructionism. In [Harré, 1986], pages 32–56. 7
- [Arnold, 1950] ARNOLD, M. B. (1950). An excitatory theory of emotion. In REYMERT, M. L. (éditeur) : *Feelings and emotions*, pages 11–33. McGraw-Hill, New York, NY, US. 1, 9
- [Averill, 1980] AVERILL, J. (1980). A constructionist view of emotion. In PLUTCHIK, R. et KELLERMAN, H. (éditeurs) : *Emotion : Theory, research, and experience*, volume 1, chapitre 12. Academic Press, New York. 1
- [Barsade, 2002] BARSADÉ, S. G. (2002). The ripple effect : Emotional contagion and its influence on group behavior. *Administrative Science Quarterly*, 47:644–675. 23, 26, 27
- [Barsade et Gibson, 1998] BARSADÉ, S. G. et GIBSON, D. E. (1998). Group emotion : A view from top and bottom. In GRUENFELD, D., MANNIX, B. et NEALE, M. (éditeurs) : *Research on Managing on Groups and Teams*, pages 81–102. JAI Press, Stamford. 11, 22, 28, 29, 30, 52
- [Bates, 1994] BATES, J. (1994). The role of emotion in believable agents. *Commun. ACM*, 37(7):122–125. 1
- [Bosse et al., 2009] BOSSE, T., DUELL, R., MEMON, Z. A., TREUR, J. et WAL, C. N. (2009). A multi-agent model for emotion contagion spirals integrated within a supporting ambient agent model. In *PRIMA '09 : Proceedings of the 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems*, pages 48–67, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. 16, 18, 25
- [Cannon, 1927] CANNON, W. B. (1927). The james-lange theory of emotions : A critical examination and an alternative theory. *American Journal of Psychology*, 39:106–124. 8

- [Cañamero, 1997] CAÑAMERO, D. (1997). A hormonal model of emotions for behavior control. In *ECAL'97 : 4th European Conference on Artificial Life*, Brighton, UK. 14
- [Channouf et Rouan, 2002] CHANNOUF, A. et ROUAN, G. (éditeurs) (2002). *Emotions et cognitions*. Neurosciences & cognition. Édition De Boeck Université, Bruxelles, Belgique, 1ère édition. 4
- [Christophe, 1998] CHRISTOPHE, V. (1998). *Les Émotions. Tour d'horizon des principales théories*. Psychologie sociale. Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq, France, 1ère édition. 5, 8, 9, 10, 11
- [Corning, 2002] CORNING, P. A. (2002). The re-emergence of "emergence" : A venerable concept in search of a theory. *Complexity*, 7(6):18–30. 60
- [Czaplicka et al., 2010] CZAPLICKA, A., CHMIEL, A. et HOŁYST, J. A. (2010). Emotional agents at the square lattice. *ACTA PHYSICA POLONICA A*, 117:688–694. 17, 18
- [Damasio, 1994] DAMASIO, A. R. (1994). *Descartes' Error : Emotion, Reason, and the Human Brain*. Putnam Publishing, New York. 1
- [Darwin, 1872] DARWIN, C. R. (1872). *The expression of emotions in man and animals*. John Murray, Londres, UK. 1, 5
- [Descartes, 1948] DESCARTES, R. (1948). Les passions de l'âme. In *Oeuvres philosophiques et morales*. Bibliothèque des Lettres. 1
- [Ekman, 1992] EKMAN, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition and Emotion*, 6:169–200. 5
- [Ekman, 1999] EKMAN, P. (1999). Basic emotions. In DALGLEISH, T. et POWER, M. (éditeurs) : *Handbook of cognition and emotion*, chapitre 3. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 5
- [Ekman et al., 2002] EKMAN, P., FRIESEN, W. V. et HAGER, J. C. (2002). *Facial Action Coding System investigator's guide*. A Human Face, Salt Lake City, UT. 6
- [Elliott, 1992] ELLIOTT, C. D. (1992). *The affective reasoner : A process model of emotions in a multi-agent system*. Thèse de doctorat, Northwestern University, Evanston, IL, USA. 14
- [Fehr et Russell, 1984] FEHR, B. et RUSSELL, J. A. (1984). Concept of emotion viewed from a prototype perspective. *Journal of Experimental Psychology*, 113(3): 464–486. 1
- [Festinger, 1954] FESTINGER, L. (1954). A theory of social comparison processes. *Human Relations*, 7:117–140. 9, 26
- [Frijda, 1986] FRIJDA, N. H. (1986). *The emotions*. Cambridge University Press, New York. 9, 10, 22
- [Gratch et Marsella, 2004] GRATCH, J. et MARSELLA, S. (2004). A domain-independent framework for modeling emotion. *Journal of Cognitive Systems Research*, 5(4):269–306. 15



- [Han *et al.*, 2006] HAN, J., LI, M. et GUO, L. (2006). Soft control on collective behavior of a group of autonomous agents by a skill agent. *Journal of Systems Science and Complexity*, 19(1):54–62. 70
- [Harré, 1986] HARRÉ, R. (éditeur) (1986). *The Social Construction of Emotions*. Blackwell publishing, Oxford, UK. 7, 85
- [Hatfield *et al.*, 1992] HATFIELD, E., CACIOPPO, J. T. et RAPSON, R. L. (1992). Primitive emotional contagion. In CLARK, M. S. (éditeur) : *Review of Personality and Social Psychology : Emotion and Social Behavior*, volume 14, pages 151–177. Sage, Newbury Park, CA. 23, 24
- [Hatfield *et al.*, 1993] HATFIELD, E., CACIOPPO, J. T. et RAPSON, R. L. (1993). Emotional contagion. *Current Directions in Psychological Science*, 2(3):96–99. 13, 23
- [Hatfield *et al.*, 1994] HATFIELD, E., CACIOPPO, J. T. et RAPSON, R. L. (1994). *Emotional contagion*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 22, 23
- [James, 1884] JAMES, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9:188–205. 8
- [Kleinginna et Kleinginna, 1981] KLEINGINNA, P. R. et KLEINGINNA, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5(4):345–359. 4
- [Lange, 1885] LANGE, C. G. (1885). *Om sindsbevaegelser*. Kronar, Copenhague. 8
- [Lange et James, 1967] LANGE, C. G. et JAMES, W. (1967). *The emotions*. Hafner, New York. 1, 8
- [Larousse, 2004] LAROUSSE (éditeur) (2004). *Le Petit Larousse illustré 2005*. Larousse, Paris, France. 10, 61
- [Lazarus, 1991] LAZARUS, R. S. (1991). *Emotion and Adaptation*. Oxford University Press, New York. 10, 36, 66
- [Leventhal, 1984] LEVENTHAL, H. (1984). A perceptual motor theory of emotion. In SCHERER, K. R. et EKMAN, P. (éditeurs) : *Approaches to emotion*, pages 271–291. Erlbaum, Hillsdale, NJ. 11
- [Livet, 2002] LIVET, P. (2002). *Emotions et rationalité morale*. Presses Universitaires de France, Paris. 44
- [Luminet, 2002] LUMINET, O. (2002). *Psychologie des émotions : Confrontation et évitement*. Ouvertures Psychologiques. Édition De Boeck Université, Bruxelles, Belgique, 1ère édition. 4, 6
- [Lyons, 1992] LYONS, W. (1992). An introduction to the philosophy of the emotions. In STRONGMAN, K. T. (éditeur) : *International Review of Studies on Emotion*, volume 2, pages 295–314. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 4
- [Meyer, 2006] MEYER, J.-J. C. (2006). Reasoning about emotional agents. *International Journal of Intelligent Systems*, 21(6):601–619. 67
- [Niedenthal *et al.*, 2009] NIEDENTHAL, P. M., KRAUTH-GRUBER, S. et RIC, F. (2009). *Comprendre les émotions - Perspectives cognitives et psycho-sociales*. PSY - Individus, groupes, cultures. Éditions Mardaga, Wavre, Belgique. 5, 6, 7, 8, 9

- [Nowlis, 1966] NOWLIS, V. (1966). Research with the mood adjective check list. In TOMKIN, S. S. et IZARD, C. E. (éditeurs) : *Affect, cognition and personality*, pages 352–389. Springer, New York. 22
- [Oatley et Johnson-Laird, 1996] OATLEY, K. et JOHNSON-LAIRD, P. (1996). The communicative theory of emotions : Empirical tests, mental models, and implications for social interaction. In MARTIN, L. L. et TESSER, A. (éditeurs) : *Striving and feeling : Interactions among goals, affect, and self-regulation*, pages 363–393. Erlbaum, Mahwah, NJ. 6
- [Oatley et al., 2006] OATLEY, K., KELTNER, D. et JENKINS, J. M. (2006). *Understanding emotions*. Blackwell publishing, Malden, MA, 2ème édition. 6
- [Ortony et al., 1988] ORTONY, A., CLORE, G. L. et COLLINS, A. (1988). *The cognitive structure of emotions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 10
- [Parkinson, 1995] PARKINSON, B. (1995). *Ideas and Realities of Emotion*. Routledge, London. 30
- [Parkinson et al., 2005] PARKINSON, B., FISCHER, A. et MANSTEAD, A. S. R. (2005). Group emotion. In *Emotion in social relations : cultural, group, and interpersonal processes*, chapitre 4, pages 87–114. Psychology Press, New York. 12, 30, 31, 51, 53
- [Philippot, 2007] PHILIPPOT, P. (2007). *Émotion et psychothérapie*. PSY - Émotion, intervention, santé. Éditions Mardaga, Wavre, Belgique. 11
- [Picard, 1997] PICARD, R. W. (1997). *Affective Computing*. MIT Press, Cambridge, MA. 1
- [Platon, 1940] PLATON (1940). *Œuvres complètes*. Bibliothèque de la Pléiade. Gallimard, Paris, France. Traduction par Léon Robin. 1
- [Plutchik, 1980a] PLUTCHIK, R. (1980a). *Emotion : A psychoevolutionary synthesis*. Harper & Row, New York. 6, 22
- [Plutchik, 1980b] PLUTCHIK, R. (1980b). A general psychoevolutionary theory of emotion. In PLUTCHIK, R. et KELLERMAN, H. (éditeurs) : *Emotion : Theory, research, and experience*, volume 1 de *Theories of emotion*, pages 3–33. Academic, New York. 6
- [Rank, 2010] RANK, S. (2010). Designing an agent-based simulation of collective emotions. In R, T. (éditeur) : *Cybernetics and Systems 2010 - Proceedings of the Twentieth Meeting on Cybernetics and Systems Research*, pages 82–89, Austrian Society for Cybernetic Studies, Vienna, Austria. 17, 19
- [Reber, 1985] REBER, A. S. (1985). *Dictionary of psychology*. Penguin Books, New York. 22
- [Reilly, 1996] REILLY, W. S. N. (1996). *Believable social and emotional agents*. Thèse de doctorat, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA. 15
- [Sakellariou et al., 2008] SAKELLARIOU, I., KEFALAS, P. et STAMATOPOULOU, I. (2008). Enhancing netlogo to simulate bdi communicating agents. In *SETN*

- '08 : *Proceedings of the 5th Hellenic conference on Artificial Intelligence*, pages 263–275, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. 61
- [Sander et Scherer, 2009] SANDER, D. et SCHERER, K. R. (2009). *Traité de psychologie des émotions*. Psycho Sup. Éditions Dunod, Paris, France. 5
- [Schachter et Singer, 1962] SCHACHTER, S. et SINGER, J. E. (1962). Cognitive, social and physiological determinants of emotional state. *Psychological review*, 69:379–399. 9
- [Scherer, 1984] SCHERER, K. R. (1984). Emotion as a multicomponent process : A model and some cross-cultural data. *Review of Personality and Social Psychology*, 5:37–63. 10
- [Scherer, 1999] SCHERER, K. R. (1999). Appraisal theories. In DALGLEISH, T. et POWER, M. (éditeurs) : *Handbook of cognition and emotion*, pages 637–663. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 9
- [Schoenewolf, 1990] SCHOENEWOLF, G. (1990). Emotional contagion : Behavioral induction in individuals and groups. *Modern Psychoanalysis*, 15:49–61. 23
- [Searle, 1969] SEARLE, J. R. (1969). *Speech Acts. An Essay in the Philosophy of Language*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 61
- [Sloman, 2001] SLOMAN, A. (2001). Varieties of affect and the cogaff architecture schema. In *Proceedings Symposium on Emotion, Cognition, and Affective Computing AISB'01 Convention*, pages 39–48, University of York, UK. 15
- [Solomon, 1993] SOLOMON, R. C. (1993). The philosophy of emotions. In LEWIS, M. et HAVILAND, J. M. (éditeurs) : *Handbook of Emotions*, pages 3–15. Guilford Press, New York. 4
- [Staw et al., 1986] STAW, B. M., BELL, N. E. et CLAUSEN, J. A. (1986). The dispositional approach to job attitudes : A lifetime longitudinal test. *Administrative Science Quarterly*, 31:56–77. 22
- [Steiner, 2005] STEINER, P. (2005). Introduction : Cognitivisme et sciences cognitives. *Labyrinthe*, 20(1):13–39. Publié à l'adresse <http://labyrinthe.revues.org/index754.html>. 9
- [Strongman, 2003] STRONGMAN, K. T. (2003). *The Psychology of Emotion : From Everyday Life to Theory*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 5ème édition. 4, 5, 6
- [Tellegen, 1985] TELLEGEN, A. (1985). Structure of mood and personality and their relevance to assessing anxiety, with an emphasis on self-report. In TUMA, A. H. et MASER, I. D. (éditeurs) : *Anxiety and the Anxiety Disorders*, pages 681–706. Erlbaum, Hillsdale, NJ. 22
- [Valins, 1966] VALINS, S. C. (1966). Cognitive effects of false heart-rate feedback. *Journal of Personality and Social Psychology*, 4:400–408. 9
- [Velásquez et Maes, 1997] VELÁSQUEZ, J. D. et MAES, P. (1997). Cathexis : A computational model of emotions. In *AGENTS '97 : Proceedings of the First*

*International Conference on Autonomous Agents*, pages 518–519, New York, NY, USA. 14

[Watson et Clark, 1984] WATSON, D. et CLARK, L. A. (1984). Negative affectivity : The disposition to experience aversive emotional states. *Psychological Bulletin*, 96:465–490. 22