



HAL
open science

Happywork : modélisation multi-agents de la satisfaction au travail

Kevin Chapuis

► **To cite this version:**

Kevin Chapuis. Happywork : modélisation multi-agents de la satisfaction au travail. Système multi-agents [cs.MA]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2016. Français. NNT : 2016PA066152 . tel-01401254

HAL Id: tel-01401254

<https://theses.hal.science/tel-01401254>

Submitted on 23 Nov 2016

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

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



THÈSE DE DOCTORAT DE
L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE

Spécialité

Informatique

École doctorale Informatique, Télécommunications et Électronique (Paris)

Présentée par

Kevin Chapuis

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR de l'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE

Sujet de la thèse :

Happywork : modélisation multi-agents de la satisfaction au travail

soutenue le 15 janvier 2016

devant le jury composé de :

M. Jean-Pierre Müller	Rapporteur
M. Christophe Sibertin-Blanc	Rapporteur
M. Matthieu Latapy	Examineur
M. Camille Roth	Examineur
M. Jean-Daniel Kant	Encadrant de thèse
M. Nicolas Sabouret	Directeur de thèse

Résumé

Nous étudions dans cette thèse l'élaboration subjective de la satisfaction et l'impact de l'organisation du travail sur celle-ci. Nous traitons successivement le problème de la modélisation des processus psychologiques de la satisfaction, définie comme une attitude au travail, et celui de la modélisation de l'impact de l'organisation sur l'activité de travail. Nous nous inscrivons dans une démarche de modélisation sociale inédite dans l'étude de la satisfaction au travail : nous nous proposons de partir des théories et modèles en psychologie du travail et économie du bonheur pour représenter dans un modèle multi-agents les processus cognitifs qui amènent les individus à évaluer leur travail comme satisfaisant ou insatisfaisant. L'objectif est de fournir un modèle crédible de satisfaction qui permet de mieux comprendre l'impact de l'organisation du travail sur la satisfaction de ses employés. Pour ce faire nous avons confronté notre modèle à un scénario idéal de politique d'amélioration des conditions de travail initialisées sur des données réelles. Cette analyse a révélé que l'amélioration des conditions de travail ne conduit pas systématiquement à l'augmentation de la satisfaction : les profils cognitifs, qui représentent les manières typiques d'évaluer son attitude au travail, ont un impact considérable sur les conséquences de la politique. Dans un second temps nous avons appliqué notre modèle à un scénario d'évolution des conditions de travail représentant des données de panel. Nous avons été capables de reproduire en simulation les niveaux de satisfaction déclarée des individus à 9 et 7 mois d'intervalle. Par ailleurs, afin de proposer une représentation plus réaliste des scénarii de changement des conditions de travail, nous avons également développé un modèle d'activité en organisation. Nous avons d'abord analysé l'impact de diverses organisations du travail sur les performances des organisations, puis nous avons conduit une analyse de l'impact de l'activité en organisation sur la formation d'épisodes d'épuisement professionnel. Cette dernière étude a permis de faire apparaître l'importance de l'activité de travail sur le vécu des travailleurs ; l'objectif étant de proposer à terme un modèle couplé d'activité et de satisfaction au travail.

Abstract

We study in this thesis the subjective formation of job satisfaction and the impact of organization on employees satisfaction. First, we work on the modeling of psychological process of job satisfaction, defined as an attitude at work. Then, we propose a model to study the impact of work organization on work activity. Our research aims to study job satisfaction using an innovative methodological and theoretical approach in the domain of social simulation : based on major theories in the fields of organizational psychology and economy of well-being, our goal is to produce an agent-based model of the cognitive aspects of job satisfaction. Our purpose is to provide a theoretically as well as empirically grounded model of job satisfaction that fosters the understanding of organizational impact on employees' satisfaction. To do so, we tested our model on an ideal scenario of work conditions improvement policy. The results revealed that this policy do not systematically causes a global improvement on job satisfaction : agent's cognitive profil, that is a typical way to evaluate job satisfaction, have a great impact on policy outcomes. Next, we tested our model using a scenario based on a panel survey of work conditions conducted in a big french organization during 2013/14. We were able to reproduce declared individual levels of job satisfaction. Furthermore, in order to provide a more realistic representation of work improvement policy, we have also developed a work activity model. Firstly, we analyzed the impact of various work organizations on organizational performance, then we conducted an analysis of the impact of work activity on the formation of burnout episodes. This last study helped us to bring up the importance of work activity and organization on employees' well-being ; the aim being eventually to propose a coupled model of work activity and job satisfaction.

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier l'ensemble des membres du jury, Christophe Sibertin-Blanc et Jean-Pierre Müller, rapporteurs de cette thèse, pour leur lecture critique et la qualité de leurs remarques ; Matthieu Latapy et Camille Roth pour l'intérêt porté à ma recherche ; et Nicolas Sabouret qui m'a fait l'honneur de diriger cette thèse.

J'adresse un remerciement tout particulier à Jean-Daniel Kant sans qui ce projet n'existerait pas. La qualité de ce travail lui doit beaucoup.

J'aimerais également remercier Jean-Claude Delgenes et Marc Chenaix, dirigeants de Technologia, pour le soutien et les ressources qu'ils ont apporté à ces travaux. J'adresse également mes remerciements à toutes les personnes avec qui j'ai échangé dans ce cadre, et plus particulièrement Gérard Rimbert et Rémi Bernard.

Je tiens également à remercier l'ensemble de l'équipe des Systèmes Multi-Agents du Laboratoire d'informatique de Paris 6 et particulièrement Amal El Fallah Segrouchni pour avoir facilité mon intégration. J'exprime également mes remerciements aux ingénieurs, notamment Christophe Boudier, Vincent Cuzin et Benoît Gayat pour leurs conseils techniques et leur bonne humeur. Je remercie également Anne Quezel pour sa gestion administrative irréprochable et sa gentillesse.

Je souhaite témoigner de l'honneur que j'ai eu à travailler au côté des mes collègues doctorants et amis, Thomas Huraux, Costin Caval, Olivier Gouder ; avec une pensée particulière pour Emmanuel Hadoux et Kei Brousmiche qui ont également eu un rôle particulier dans mon apprentissage des techniques les plus obscures de notre discipline.

Enfin, j'aimerais souligner avec toute ma gratitude le rôle primordial de ma famille et de mes ami(e)s dans l'aboutissement de ce travail. Je pense ici tout particulièrement à ma mère, mon père, ma fratrie, Léa, Louve, à qui j'adresse, avec émotion et admiration, un immense merci.

Acronymes

- AET Affective Event Theory. 43, 44
- AGR Agent Groupe Role. 109, 111
- ANACT Agence National pour l'Amélioration des Conditions de Travail. 166
- CMA-ES Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy. 92, 93
- COR Conservation of Ressources. 115
- COT Computational Organization Theory. 110
- De-C GCM Decision Centered Garbage Can Model. 115, 137, 138, 176
- E-R Effort-Recovery. 114, 115, 121, 129, 131, 135, 166
- ESSA European Social Simulation Association. 19
- GCM Garbage Can Model. 111, 114, 115, 122, 124, 153, 176
- JCQ Job Content Questionnaire. 72–74, 98
- JD-R Job Demand-Ressource. 73, 105, 176
- JDI Job Descriptive Index. 37, 72
- KAOS Keep All Objectives Satisfied. 108, 111
- LUM Lifetime Utility Model. 47, 48
- MASQ Multi-Agent Systems based on Quadrants. 109
- MASS Multi-Agent based Social Simulation. 18
- MDT Multiple Discrepancies Theory. 38, 39
- OWA Ordered Weighted Average. 64, 207
- RAR Ressource Acteur Relation. 110, 111

Acronymes

RPS Risques Psycho-Sociaux. 24, 72

SAM Selective Accessibility Model. 42, 58–60, 70

WOWA Weigthed OWA. 63, 66

Table des matières

1	Introduction	17
1.1	Les enjeux autour de la satisfaction au travail	18
1.1.1	Contexte social et crise du travail	18
1.1.2	Les conséquences du mal-être au travail	19
1.2	Motivation, problématiques et questions de recherche	19
1.3	Organisation du document	21
2	Simulation sociale multi-agents : thématiques, enjeux et approche	23
2.1	Introduction à la modélisation et la simulation multi-agents	24
2.1.1	La simulation sociale multi-agents : au coeur des systèmes complexes	25
2.1.2	La relation micro-macro dans la simulation sociale basée-agent	27
2.1.3	L'intégration des données issues des sciences sociales	29
2.2	Notre approche pour la modélisation multi-agents en sciences sociales	30
2.2.1	Sciences sociales et simulation multi-agents : un mariage heureux ?	31
2.2.2	Notre méthodologie pour répondre au défi de la modélisation multi-agents	33
2.3	La simulation sociale multi-agents et le monde de l'entreprise et du travail	35
I	Happywork : un modèle multi-agent de la satisfaction au travail	37
3	Etat de l'art : la satisfaction au travail	39
3.1	Vers une définition générale du concept de satisfaction au travail	40
3.2	Les modèles des besoins fondamentaux	41
3.2.1	Les modèles basés sur la satisfaction des besoins	41
3.2.2	Les modèles basés sur les caractéristiques de l'emploi	42
3.2.3	Apports des modèles basés sur les besoins fondamentaux	42
3.3	Les modèles classiques en psychologie du travail et des organisations	42
3.3.1	Le modèle value-percept	43
3.3.2	Le modèle Cornell	43

TABLE DES MATIÈRES

3.3.3	Le modèle des divergences multiples	44
3.3.4	Apports des modèles classiques	45
3.4	Les modèles théoriques de l'attitude au travail	46
3.4.1	Les modèles de l'évaluation cognitive du travail	47
3.4.2	Les théories des affects au travail	49
3.4.3	Les modèles des facteurs constants génétiques et de la personnalité	50
3.4.4	Les modèles comportementaux	51
3.4.5	Synthèse de l'attitude au travail	51
3.5	Les modèles en économie	52
3.5.1	Les modèles basés sur la notion d'utilité	52
3.5.2	Les modèles empiriques : l'économie du bonheur	55
3.5.3	Synthèse de l'étude économique de la satisfaction	55
3.6	Les modèles de simulation sociale	56
3.6.1	Les modèles computationnels de la satisfaction	56
3.6.2	Les modèles d'attitude en simulation sociale	58
3.6.3	Synthèse des modèles en simulation sociale	59
3.7	Conclusion	60
4	Happywork : un modèle basé agent de la satisfaction au travail	61
4.1	La dimension cognitive et le principe des divergences	61
4.1.1	Définition des divergences	63
4.2	Mécanismes de comparaison sociale	64
4.2.1	La sélection des individus référents	64
4.2.2	Hypothèse et test de similarité/dissimilarité	65
4.2.3	Interprétation des comparaisons par contraste ou assimilation	67
4.2.4	Agrégation des comparaisons sociales	69
4.3	Mécanismes de comparaison historique	70
4.3.1	Sélection des situations passées référentes	71
4.3.2	Interprétation des comparaisons par contraste	72
4.3.3	Agrégation des comparaisons historiques	72
4.4	Effet direct des caractéristiques	73
4.4.1	Agrégation des effets directs	74
4.5	Mécanismes d'agrégation des comparaisons sociales et historiques et de l'effet direct	75
4.6	Happywork en résumé	76
5	Simulation du modèle Happywork : Expérimentations, analyses et résultats	77
5.1	L'intégration des données d'enquêtes dans le modèle Happywork	78

TABLE DES MATIÈRES

5.1.1	La modélisation des conditions de travail	78
5.1.2	Les données du modèle Happywork	79
5.2	Analyse de sensibilité	81
5.2.1	Les aspects cognitifs de la satisfaction	81
5.2.2	Les profils cognitifs	87
5.3	Exploration d'une politique organisationnelle	90
5.3.1	Présentation de la politique	90
5.3.2	Analyse des résultats en fonction des profils cognitifs des agents cibles .	92
5.3.3	Les enseignements de l'étude de la politique simulée	98
5.4	Calibration sur données de panel	98
5.4.1	Définition du protocole de calibration : algorithme, initialisation et scénario	99
5.4.2	Analyse des résultats du CMAES	101
5.5	Conclusion	107
II	De-C GCM : un modèle d'activité en organisation	109
6	Etat de l'art : modélisation de l'activité de travail	111
6.1	Quelques approches en économie des organisations	112
6.2	Approche de modélisation multi-agents du processus organisationnel	113
6.3	Approche computationnelle de l'activité en organisation	115
6.4	Conclusion	117
7	De-C GCM : un modèle d'activité en organisation	119
7.1	Modéliser l'organisation à partir de l'activité des agents	120
7.2	Définitions des entités du De-C GCM	121
7.2.1	Les problèmes dans le De-C GCM	121
7.2.2	L'organisation dans le De-C GCM	121
7.2.3	Les agents du De-C GCM	122
7.3	Modéliser l'organisation à partir de l'activité des agents	123
7.3.1	La structure d'allocation	123
7.3.2	Construction de la matrice d'allocation	124
7.3.3	De la matrice d'allocation à la matrice d'organisation	126
7.4	Décision des agents	127
7.4.1	le processus de décision	127
7.4.2	Gestion des problèmes	129
7.4.3	Les modalités de la prise de décision	130
7.4.4	L'activité des agents	134

TABLE DES MATIÈRES

7.5	La dynamique de potentiel	134
7.5.1	Initialisation du potentiel des agents	135
7.5.2	Récupération du potentiel de l'agent	135
7.6	De-C GCM : La dynamique du modèle d'activité organisationnelle	138
7.6.1	Génération des problèmes	139
7.6.2	Répartition des problèmes entre agents	140
7.7	Le De-C GCM en résumé	141
8	Analyses et résultats de simulations du De-C GCM	143
8.1	L'analyse des organisations générées par le De-C GCM	144
8.1.1	Les types de relations dans le De-C GCM	144
8.1.2	Définition des indicateurs	145
8.1.3	L'étendue des rôles	147
8.1.4	Inclusion et partage des responsabilités	148
8.1.5	Proposition de typologie de structures organisationnelles	153
8.2	La gestion des problèmes dans le De-C GCM	159
8.2.1	Performance des organisations en fonction de la demande externe	160
8.2.2	Performance des organisations en fonction de la demande interne	161
8.2.3	Performance des organisations en fonction de la stratégie de gestion des problèmes	163
8.2.4	Synthèse des différents indicateurs	168
8.3	Les aspects cognitifs de l'activité organisationnelle	170
8.3.1	Micro-analyse de l'activité du De-C GCM	170
8.3.2	Analyse de l'épuisement du potentiel des agents	172
8.4	Conclusion	175
9	Conclusion	179
9.1	Les apports de la thèse	180
9.1.1	Apports à la modélisation de la satisfaction	180
9.1.2	Apport au domaine de la modélisation de l'activité en entreprise	182
9.2	Perspectives	183
9.2.1	Perspectives sur le modèle de satisfaction	183
9.2.2	Perspectives sur le modèle d'activité	184
9.2.3	Perspectives sur le couplage des modèles	185
	Bibliographie	187
	Annexe A Paramètres	209

TABLE DES MATIÈRES

Annexe B	Opérateurs d'agrégation	213
Annexe C	Questionnaire	217
Annexe D	De la structure d'organisation au réseau social	222
Annexe E	Graphiques	231

1

Introduction

« C'est parce qu'il n'y a pas dans notre société (sous peine de désœuvrement et de difficultés à structurer sa vie), individuellement, d'autres choix que celui de travailler que chacun, quel que soit le type d'emploi auquel il peut accéder, ressent le besoin d'en avoir un. C'est parce qu'il n'y a pas, pour rendre supportable son travail, aussi rebutant soit-il, d'autres possibilités, individuellement, que celle de s'y impliquer que l'on trouve chez chacun le désir, le besoin d'une implication. »

— Daniel Linhart, *La modernisation des entreprises*

Cette thèse aborde la question de la satisfaction au travail sous l'angle de la modélisation multi-agents. Il tente d'apporter des réponses à la compréhension du contexte de l'entreprise qui, constat troublant, consiste pour beaucoup d'employés et salariés à se demander si leur travail peut leur permettre d'être heureux. En nous appuyant sur une masse importante de données issues d'enquêtes, de travail de terrain et de réflexions théoriques et pratiques sur le monde du travail, nous proposons un modèle de simulation multi-agents pour explorer la satisfaction dans l'emploi.

1.1 Les enjeux autour de la satisfaction au travail

L'enjeu majeur de notre travail est donc de comprendre les raisons d'un désamour du travail : pourquoi le travail se transforme en source d'insatisfaction pour beaucoup de français, et en filigrane derrière cette question générale, quelles en sont les causes organisationnelles. Si le point d'intérêt est bien entendu la satisfaction au travail, le constat demeure : c'est l'insatisfaction au travail qui préoccupe journalistes, chefs d'entreprise, chercheurs en sciences sociales, et à plus forte raison les travailleurs eux-mêmes. En fait, il ne s'agit pas d'un nouvel état de fait, l'insatisfaction au travail n'étant à plusieurs égards ni inédite ni a priori plus importante, mais plutôt d'une nouvelle prise de conscience : le contexte du travail et de l'entreprise ayant évolué (e.g. [Linhart, 2004](#)), les causes et les conséquences du mal-être au travail ont changé et prennent aujourd'hui des formes dramatiques.

1.1.1 *Contexte social et crise du travail*

Diverses voix s'élèvent pour alerter sur la situation préoccupante des travailleurs français. Parmi celle-ci, la sociologie du travail souligne les contraintes nouvelles associées aux innovations organisationnelles et managériales des dernières décennies. [Linhart \(2004\)](#) parle d'autonomie contournée pour souligner la transformation des modalités de contrôle du travail : « Lorsque l'évolution de la nature du travail entre en contradiction avec la possibilité d'imposer une prescription détaillée, la solution consiste ainsi à transférer la charge de découvrir l'usage le plus efficace du temps sur chaque salarié lui-même. » [Lallemand \(2007\)](#) souligne le même type de contradictions dans la responsabilisation des salariés. En filigrane, la sociologie française du travail met en garde contre les formes contemporaines de management et d'organisation du travail : de l'idéal participatif à la réalité organisationnelle, de nouveaux malaises sont apparus entre les injonctions à suivre les procédures et celles demandant de générer ses propres règles de travail. Dans un courant similaire, [Gollac and Volkoff \(2007\)](#) ou [Meda \(2010\)](#) interpellent sur l'intensification et la fragmentation du travail, avec pour corollaire une dégradation des conditions de travail de nombre de français. Ces auteurs soulignent la diversification et la multiplication des demandes, impliquant plus de travail intense, plus de posture inconfortable ou encore le cumul de contraintes et de pénibilités. Par ailleurs, et dans un registre plus économique, [Askenazy \(2004\)](#) plaide pour une réévaluation des conditions de l'organisation du travail. Ainsi pour parer à l'individualisation de l'organisation commandée par le productivisme réactif, à la tendance à « psychologiser » la dureté du travail » qui par essence est une réalité collective sociale et économique, l'auteur propose de prendre la mesure des impacts des nouvelles formes d'organisation. Notamment il plaide pour la responsabilisation des organisations dans la crise du travail : « Le design de l'organisation du travail déterminé par l'employeur est un facteur majeur de malaise ou de bien-être collectif des travailleurs, d'amélioration ou de détérioration de la santé » ([Askenazy, 2004](#)). Enfin, on souli-

gnera un dernier exemple de constat alarmant concernant le monde du travail en France, et notamment les relations sociales au sein des entreprises : pour [Philippon \(2007\)](#), il n'y a pas de crise « du désir de travailler, mais de la capacité à travailler ensemble ». Dans cette dernière étude, c'est la culture d'entreprise française qui, conjuguée à l'importance accrue du facteur humain, a considérablement pénalisé le travail et les travailleurs, pris en tenaille entre une tradition paternaliste et un ensemble d'injonctions nouvelles à l'initiative et la responsabilisation de l'individu au travail.

1.1.2 Les conséquences du mal-être au travail

La situation actuelle des travailleurs français est précaire : quand ce n'est pas l'emploi qui manque, c'est le travail qui fait souffrir [Linhart \(2004\)](#) ; [Meda \(2010\)](#). Le constat est d'autant plus cinglant que plusieurs événements tragiques secouent le monde de l'entreprise à la fin des années 2000 en France : plusieurs dizaines d'employés se donnent la mort en invoquant directement leurs conditions de travail comme cause de leur mal-être. A ces événements tragiques s'ajoutent la longue liste des troubles chroniques que subissent nombre de travailleurs : TMS (troubles musculo-squelettiques), TCV (troubles cardio-vasculaire), troubles du sommeil, épuisement émotionnel, dépression, etc. Non seulement une partie de ces souffrances sont nouvelles (e.g. Analyse DARES n°056, septembre 2010), mais il semble que ces affections liées aux RPS se généralisent à l'ensemble des secteurs d'activités et non plus seulement aux professions à risques et/ou difficiles ([Gollac and Volkoff, 2007](#)). Par opposition, les employés satisfaits sont moins enclins à quitter leur emploi [Levy-Garboua et al. \(2007\)](#), à partir à la retraite plus tôt ([Clark et al., 2014](#)) ou plus disposés à aider leurs collègues [Murphy et al. \(2002\)](#). Enfin, la satisfaction semble influencer positivement sur la performance des agents ([Judge et al., 2001](#)).

1.2 Motivation, problématiques et questions de recherche

Notre motivation première est d'apporter notre contribution à l'étude des déterminants de la satisfaction au travail. Nous souhaitons le faire en proposant une approche novatrice dans le domaine : la modélisation multi-agents de la satisfaction au travail. Ce champ de recherche est à la croisée des thématiques abordées par les sciences sociales, la simulation multi-agents, les experts en RPS et acteurs de l'entreprise. Il nous est apparu que la dimension sociale et collective du travail et de l'entreprise se prêtait particulièrement bien à la modélisation multi-agents : autonomie, interaction, réseau social, organisation, etc. sont autant de thèmes et de réalités que chacun de ces domaines mobilisent.

La problématique de recherche Comme nous l'avons souligné plus haut, le rôle de l'organisation dans l'insatisfaction au travail est mis en cause par plusieurs recherches sociologiques [Lin-](#)

hart (2004) ; Meda (2010) et économiques Askenazy (2004) ; Philippon (2007). Mais d'aucun ne s'accorde pour identifier les causes effectives : dans un cas, ce sont les nouvelles méthodes de management (Linhart, 2004), dans l'autre la culture d'entreprise Philippon (2007) ou une crise de gouvernance Askenazy (2004). La problématique centrale de cette thèse est d'identifier l'impact de l'organisation sur la satisfaction au travail. Nous l'avons scindée en deux problématiques spécifiques, qui font chacune l'objet d'une partie dans ce manuscrit. La première soulève la problématique de la modélisation de la satisfaction au travail et la seconde celle de l'impact de l'organisation. Chacune d'elles a été abordée selon les principes du psychomimétisme : la modélisation doit partir des modèles et théories validées dans les sciences sociales. Nos propositions représentent donc les processus et mécanismes identifiés et validés par les experts des domaines que nous cherchons à modéliser. Nous résumons ci-dessous, les questions auxquelles notre recherche a contribué à apporter des réponses :

- P1 : Modéliser la satisfaction au travail.
 - Q1.1 : quels sont les antécédents et processus de l'élaboration subjective de la satisfaction ?
 - Q1.2 : comment représenter ces mécanismes psychologiques dans un modèle multi-agents ?
- P2 : Modéliser l'impact de l'organisation.
 - Q2.1 : comment l'organisation détermine les conditions de travail ?
 - Q2.2 : comment modéliser l'activité de travail dans les organisations ?

Les questions de recherche sur la modélisation de la satisfaction au travail Dans un premier temps nous avons choisi de nous référer aux recherches sur la satisfaction dans les domaines de la psychologie du travail, l'économie du bonheur et la simulation sociale. La réponse à la question Q1.1 doit faire apparaître les causes et les mécanismes qui permettent à un individu d'évaluer sa satisfaction au travail. Elle est abordée dans le chapitre 3. Dans un second temps, nous proposons de répondre à la question Q1.2 en représentant les mécanismes de la satisfaction sous la forme d'un modèle multi-agents. Nos propositions sont développées dans le chapitre 4.

Les questions de recherche sur la modélisation de l'impact de l'organisation Par ailleurs, la modélisation de la satisfaction a fait apparaître un aspect important de l'impact de l'organisation : les conditions de travail déterminées par l'organisation constituent la base de l'évaluation de la satisfaction au travail. L'impact de l'organisation se situe donc au niveau de l'organisation du travail des individus. La réponse à la question Q2.1 abordée dans le chapitre 6 a donc nécessité de définir les mécanismes qui conditionnent l'activité de travail au sein des organisations. Pour les identifier, nous nous sommes basés sur les théories et modèles de l'activité en organisation. A

partir de ces recherches, nous développons dans le chapitre 7 nos propositions pour représenter l'activité en organisations dans un modèle multi-agents.

La problématique de la modélisation sociale multi-agents Par ailleurs, nous avons appliqué à chacun des deux modèles que nous proposons, une méthodologie générale pour la modélisation sociale basée agent. Ainsi, nous avons tenté dans ce manuscrit de décrire les étapes successives de la conception et la validation de notre modèle, en passant par les aspects plus techniques de la mise en simulation. Notre démarche consiste : premièrement, à systématiquement fonder nos propositions de modélisation sur des théories et modèles validés empiriquement ; deuxièmement, à explorer le comportement du modèle de simulation en conduisant une analyse de sensibilité sur l'ensemble des paramètres ; et enfin, à valider notre modèle en reproduisant *in silico* les données empiriques à disposition. Notre approche de la modélisation multi-agents est discutée plus en détail dans le chapitre 2.

1.3 Organisation du document

Le manuscrit est divisé en deux grandes parties qui représentent chacune une facette de notre problématique. Notre travail traite de ces deux aspects en fournissant un modèle multi-agents de l'activité en organisation qui permet d'étudier la satisfaction au travail sous ses deux aspects cognitifs et organisationnels. Nous avons donc conçu le modèle de satisfaction Happywork, détaillé dans la 1^{er} partie de ce manuscrit, et le modèle d'activité dans l'organisation De-C GCM, défini dans la 2nd partie.

En amont de la présentation de nos deux modèles, le chapitre 2 détaille notre démarche de modélisation multi-agents. Nous y défendons notre approche de la modélisation multi-agents basée sur les recherches des sciences sociales, l'exploration systématique par la simulation et l'importance descriptive du modèle et sa capacité à intégrer les données empiriques. Dans ce chapitre, nous mettons en perspective notre démarche avec les débats épistémologiques classiques dans le domaine de la modélisation multi-agents.

Ensuite, la première partie traite explicitement de la modélisation de la satisfaction au travail : le chapitre 3 fait un état de l'art des recherches sur la satisfaction dans l'emploi. Nous y détaillons les différents courants de recherche et parmi les plus importants ceux concernant l'attitude dans l'emploi en psychologie organisation et l'économie du bonheur. Cette revue des études sur la satisfaction nous permet d'introduire les concepts centraux de notre modèle de satisfaction et notamment le consensus global sur la conception de la satisfaction comme étant une attitude sociale. Le chapitre 4 décrit le modèle de satisfaction Happywork. Il constitue le cœur de notre travail. Nous y développons notre vision de la satisfaction fondée sur les recherches en psychologie organisationnelle et économie du bonheur. Le modèle expose de manière claire et concise les mécanismes d'élaboration de la satisfaction par nos agents. Le chapitre 5 propose une étude du

modèle de satisfaction via la simulation : nous y exposons la démarche d'intégration des données empiriques, l'exploration des paramètres du modèle à l'aide d'une analyse de sensibilité, ainsi que deux expérimentations basées sur des scénarii, le premier mimant une politique organisationnelle d'amélioration des conditions de travail, et l'autre reprenant des données de panel pour calibrer la simulation.

La seconde partie du manuscrit s'attaque à la question de la modélisation d'un environnement de travail crédible pour les agents du modèle de satisfaction. Le premier chapitre 6 est un état des lieux des recherches sur la modélisation multi-agents du contexte de l'entreprise. Nous verrons que malgré l'importance de ces structures dans nos sociétés, il n'existe qu'un petit nombre de modèles qui puissent répondre à nos besoins de modélisation. Après une revue de la littérature sur la modélisation des entreprises, nous avons choisi d'étendre un modèle existant. Nous proposons une modélisation de l'activité de travail en organisation qui insiste sur sa dimension cognitive : le chapitre 7 détaille notre modèle d'activité en organisation De-C GCM. Nous y adoptons une perspective bottom-up, c'est-à-dire que l'organisation n'est définie qu'au niveau de l'activité des agents. A partir de ce principe, nous élaborons une dynamique d'activité de travail. Enfin, le chapitre 8 décrit notre analyse du modèle d'activité en deux temps : au niveau de l'organisation, puis au niveau de la dimension cognitive de l'activité des agents.

L'ultime chapitre 9 clôt ce manuscrit en revenant sur les résultats et apports de la thèse. Nous proposons pour conclure un ensemble de perspectives d'amélioration de notre modèle qui ouvrent de nombreuses possibilités de recherches.

2

Simulation sociale multi-agents : thématiques, enjeux et approche

« Au-dessus du sujet, au-delà de l'objet immédiat, la science moderne se fonde sur le projet. Dans la pensée scientifique, la méditation de l'objet par le sujet prend toujours la forme du projet »

Gaston Bachelard, *Le nouvel esprit scientifique*

En préambule de notre travail, nous proposons une brève introduction à la modélisation et simulation sociale basée-agent. L'objectif est de discuter de problématiques épistémologiques en rapport avec notre démarche, plutôt que de détailler les travaux de recherche voisins. Notre ambition est de présenter ce qui motive notre projet scientifique, c'est-à-dire la perspective que nous avons adoptée tout au long de cette recherche. Le choix de commencer par un exposé général de notre approche de la modélisation multi-agents plutôt que par un détail des modèles de satisfaction et d'activité est motivé par deux raisons : premièrement, nous nous trouvons, de par notre problématique, à la croisée de plusieurs domaines scientifiques qui seront abordés tour à tour en début des deux parties de ce manuscrit. Ce chapitre a vocation à discuter et défendre notre démarche générale. Deuxièmement, de part nos choix de modélisation et notre thématique, nous

2.1. INTRODUCTION À LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION MULTI-AGENTS

nous sommes trouvés quelque peu isolés des tendances de modélisation en simulation sociale, notamment du courant de modélisation de la dynamique des opinions et attitudes (e.g. [Deffuant et al., 2000](#) ; [Urbig and Malitz, 2005](#) ; [Chattoe-Brown, 2014](#)) : à notre connaissance, ce travail constitue le premier modèle multi-agents de la satisfaction au travail conçu comme une attitude au travail.

La simulation sociale multi-agents Le domaine de la simulation sociale multi-agents est né du croisement de deux champs de recherche : les sciences sociales, au sens large de tentatives d'études relatives à l'interaction d'entités sociales (e.g. la sociologie, la psychologie ou l'économie) et la modélisation et simulation basée agent. D'un point de vue informatique, la simulation multi-agents empreinte nombre de thématiques aux sciences sociales, parmi lesquelles les normes, l'organisation ou la coordination ([Davidsson, 2002](#) ; [Frigg and Reiss, 2008](#)). A l'inverse, les sciences sociales sont de plus en plus amenées à mobiliser les outils de simulation et notamment les techniques de modélisation et de simulation multi-agents (e.g. le volume 55 de la Revue Française de Sociologie en 2014). Ce chapitre n'a pas vocation à retracer la naissance d'un tel domaine interdisciplinaire. Nous n'avons pas cherché à faire une synthèse des approches ou une revue exhaustive des recherches entreprises en simulation sociale basée-agent. Plus modestement, nous évoquons les concepts centraux qui nous permettront de nous positionner par rapport aux recherches existantes.

Nous abordons dans la section 2.1 les thématiques suivantes : la complexité comme articulation des deux domaines, l'émergence comme un apport majeur des Multi-Agent based Social Simulation (MASS) aux sciences sociales puis de l'intégration de données empiriques comme apport majeur des sciences sociales à la modélisation multi-agents. Dans la section 2.2 suivante nous explicitons notre démarche : nous y défendons notre approche de la modélisation et de la simulation multi-agents de phénomènes sociaux. Enfin, la partie 2.3 sera l'occasion de cadrer notre discours sur l'objet spécifique de nos recherches, en soulignant les enjeux scientifiques d'une modélisation multi-agents de la satisfaction et de l'activité de travail en organisation.

2.1 Introduction à la modélisation et la simulation multi-agents

Bien que la simulation informatique soit un outil de recherche bien ancré dans un grand nombre de disciplines scientifiques (notamment en biologie et en physique, e.g. [Knuuttila et al., 2006](#) ; [Varenne, 2007](#)), il en va sensiblement différemment en sciences sociales. On fixera l'émergence d'un courant de recherche affilié à la simulation sociale aux années 90 (e.g. [Gilbert and Conte, 1995](#) ; [Epstein and Axtell, 1996](#)). C'est à cette période que la puissance de calcul des ordinateurs a permis de concevoir la création de société virtuelle ([Gilbert and Conte, 1995](#)). A cela s'ajoute la consolidation du paradigme de programmation orienté-objet et de manière concomitante à l'émergence des systèmes multi-agents en informatique ([Ferber, 1997](#)). Ceci a concouru à la for-

2.1. INTRODUCTION À LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION MULTI-AGENTS

mation dans les années 90 d'unités de recherche, de sociétés et associations scientifiques (e.g. European Social Simulation Association (ESSA)), ainsi que de revues spécialisées (e.g. JASSS, CMOT). On notera également la multiplication des plateformes de modélisation qui rendent encore plus accessible la modélisation multi-agents notamment pour les non informaticiens, e.g. Netlogo (Wilensky, 1999), Repast (North et al., 2013) ou GAMA (Grignard et al., 2013).

2.1.1 *La simulation sociale multi-agents : au coeur des systèmes complexes*

La complexité se définit par l'imbrication – du latin *complectere* : embrasser – d'un grand nombre d'éléments divers (Morin, 1977). Les systèmes complexes sont donc des entités qui intègrent et combinent un grand nombre d'éléments divers dont la réunion forme un ensemble, i.e. le système. Historiquement, la naissance des travaux sur les systèmes complexes a principalement deux sources (Prigogine and Stengers, 1979) : l'émergence de courants scientifiques interdisciplinaires, d'une part, et l'affaiblissement du principe de causalité dans les sciences naturelles, d'autre part. A ce titre la biologie est un exemple d'un tel bouleversement, notamment avec la difficulté à concilier les anciens principes darwinistes et les avancées de la génomique (Monod, 2014). Les découvertes qui devaient aboutir à la naissance de la physique quantique ont également rapidement questionné les fondements déterministes de la science newtonienne (Prigogine and Stengers, 1979). Le principe de causalité y est bouleversé : la connaissance des lois du mouvement combiné à la connaissance de l'état d'un système complexe ne permet pas d'en prédire le devenir, ni même de revenir aux causes de son état actuel. Par ailleurs, l'émergence d'objets de recherche inter-disciplinaires a défini les contours de domaines de recherche complexes : la géographie de la ville (Sanders, 2010) forgée par des lois géologiques, environnementales, juridiques, sociales et individuelles ou les recherches sur le développement durable (Belem et al., 2011) et l'intégration des principes écologiques naturels et artificiels ; pour ne citer que deux exemples. Dans chacun de ces champs disciplinaires et chacune de ces thématiques, la simulation s'est imposée comme une alternative aux méthodes analytiques ou expérimentales classiques qui ont montré leurs limites.

La complexité a d'abord émergé comme thématique diffuse, puis s'est consolidée en un champ à part entière, notamment avec son institutionnalisation (cours, instituts, conférences, chaires, etc.). Cependant, la démarche et le domaine scientifique associé restent difficiles à définir. Néanmoins, on peut s'entendre sur une propriété centrale (Prigogine and Stengers, 1979 ; Morin, 1990) : les systèmes complexes résistent à l'analyse systématique par les méthodes scientifiques conventionnelles (e.g. modèles d'équations différentielles, modèles probabilistes ou statistiques). La simulation sociale s'inscrit dans un tel renouvellement des approches en science sociale (e.g. en sociologie Macy and Willer, 2002 ; Manzo, 2014 et en psychologie Ilgen and Hulin, 2000 ; Vancouver and Weinhardt, 2012). La question que nous sommes en droit de poser est la suivante : quelles résistances particulières les phénomènes humains imposent à l'étude scientifique classique issue des sciences de la nature ? La réponse la plus courante consiste à considérer cette

2.1. INTRODUCTION À LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION MULTI-AGENTS

limitation comme intrinsèque à l'étude des phénomènes humains ; notamment parce que nos actions sont par essences associées à des raisons (Boudon, 2003) et non soumises à la causalité des lois universelles (Dépelteau, 2000). Sur ce point la modélisation multi-agents constitue un nouvel élément de réponse (Kant, 2012). En s'appuyant sur la spécificité de l'étude des faits sociaux, nous montrerons dans les deux prochains paragraphes les avantages d'une approche par modélisation et simulation multi-agents, tout en soulignant ses faiblesses et l'attention particulière qu'elle doit susciter.

Complexité des phénomènes sociaux et modélisation multi-agent Les faits sociaux sont par essence des phénomènes complexes : ils impliquent un grand nombre d'éléments hétérogènes, avec beaucoup d'interactions de natures variées, sans que les limites du système soient claires ; mais surtout la modélisation mathématique (e.g. modèles statistiques, analyse fonctionnelle) n'a pas donné les mêmes résultats que dans les sciences de la nature. La complexité inhérente aux faits sociaux les rend hermétiques à une approche déterministe classique : le démon de Laplace n'est en principe pas autorisé à pénétrer les mécanismes du monde social (Deffuant et al., 2015). En marge des tentatives d'analyse classiques des phénomènes sociaux, essentiellement en économie (Le Moigne, 1998), ce sont donc développées des méthodes herméneutiques basées sur l'observation et l'interprétation (Berthelot, 2001). Par exemple, l'expérimentation en laboratoire en psychologie, l'observation directe ou l'entretien en sociologie. Un large corpus de données empiriques (e.g. compte rendu d'observations ou d'entretiens, données de questionnaires), de diverses méthodes d'analyses statistiques ou compréhensives (e.g. analyse factorielle, analyse textuelle) et de constructions théoriques plus ou moins formelles constituent l'ensemble des pratiques et résultats des sciences sociales – leur contexte méthodologique et paradigmatique selon Berthelot (2001). La simulation sociale permet une approche alternative aux principes explicatifs de la démarche scientifique classique et aux principes interprétatifs de l'épistémologie de rupture des sciences sociales. Sans se substituer aux méthodologies d'observation et d'analyse, elle permet de dépasser certaines limites intrinsèques :

- (i) l'expérimentation et l'exploration systématique *in silico*, avec notamment la répliquabilité des expériences, l'introduction de perturbation aléatoire, le contrôle expérimental, etc. (e.g. Deffuant et al., 2003)
- (ii) la possibilité de représenter toutes les composantes de l'objet social étudié, et notamment une attention toute particulière apportée à la relation des entités du système (micro) aux propriétés globales de l'ensemble (macro).
- (iii) la possibilité de proposer des épreuves aux théories (Manzo, 2007). Nous développons cette idée sous deux aspects : la nécessité d'intégrer les données empiriques et théoriques des sciences sociales dans la modélisation et simulation sociale multi-agents (Edmonds

2.1. INTRODUCTION À LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION MULTI-AGENTS

and Moss, 2005), et les problèmes de traduction¹ qu’implique cette assimilation, (Knuutila, 2005 ; Varenne, 2007).

Dans les deux sous sections suivantes nous abordons successivement la problématique du lien entre les entités microscopiques et les régularités macroscopiques (ii en section 2.1.2) et la question de l’intégration des données empiriques et théoriques des sciences sociales dans la modélisation et la simulation multi-agents (iii en section 2.1.3).

2.1.2 *La relation micro-macro dans la simulation sociale basée-agent*

La simulation multi-agents permet d’explicitier la relation entre les entités constitutives d’un phénomène social – e.g. individu, famille, organisation – et la dynamique globale – e.g. convergence d’attitude, ségrégation résidentielle, diffusion d’innovations. Dans cette optique, on peut considérer que l’interaction des entités du système fait émerger des propriétés macroscopiques quand celles-ci dépassent la simple agrégation de leurs attributs respectifs (Epstein, 1999 ; Desalles et al., 2007) : il y a émergence quand la somme des éléments qui composent un système produit plus que la simple collection de ces éléments ; “more is different” (Anderson 1972). L’émergence se caractérise par ailleurs par une explicitation complète des mécanismes au niveau microscopique mais qui conduit à des conséquences inattendues au niveau macroscopique. L’exemple le plus fameux étant l’émergence d’une ségrégation spatiale forte alors même que les agents du modèle de Schelling (1971) ont de très faibles préférences de localisation résidentielle (i.e. une faible proportion de voisins identiques est acceptable mais conduit malgré tout à une ségrégation forte). D’après Epstein (1999) ou Gilbert (1995), ce qui caractérise en particulier l’approche de la simulation sociale se trouve justement dans cette générativité : obtenir des conséquences surprenantes alors même que tous les mécanismes sont explicites. A la limite, l’émergence dans la simulation sociale se définit par l’apparition d’effets imprévisibles (i.e. sensibilité aux conditions initiales chez Epstein, 1999). Sans toutefois imposer une spécificité aussi restrictive, on arguera que la possibilité offerte par la modélisation multi-agents de réduire la complexité des phénomènes sociaux, se situe précisément dans sa capacité à expliciter les propriétés et interactions de chacune des entités du système indépendamment les unes des autres, d’une part, et de la dynamique et des attributs globaux du système, d’autre part. C’est précisément le programme que définit la simulation individu-centrée pour la modélisation en sciences sociales (e.g. Deffuant et al., 2003). On retrouve dans cette perspective les deux caractéristiques d’autonomie des individus par rapport au système modélisé et de leur capacité à interagir entre eux et sur l’ensemble du

1. Ce terme renvoie directement aux travaux de la sociologie de la traduction, Akrich et al. (2006) ; ainsi qu’aux différentes épistémologies constructivistes, e.g. (Shapin, 1989 ; Morgan and Morrison, 1999). Le concept de traduction est issu des travaux de M.Serre en philosophie. Dans le domaine de la simulation Varenne (2007) propose le terme de sous-symbolisation pour décrire la représentation des théories et modèles thématiques dans un langage de simulation : dans notre cas il s’agit de traduire les modèles de satisfaction en psychologie et économie dans un modèle multi-agents

2.1. INTRODUCTION À LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION MULTI-AGENTS

système. On considère donc également la possibilité d'une influence des entités macroscopiques (e.g. l'organisation, la famille) sur les entités microscopiques (i.e. les individus) comme une propriété essentielle des phénomènes sociaux (Varenne, 2011). La causalité descendante exprime la rétroaction des effets collectifs émergents sur le comportement et les propriétés des agents (e.g. conventions, normes). Il s'agit alors d'une influence faible : les entités macroscopiques ne sont pas explicitement modélisées ; mais leur émergence rétroagit sur les entités microscopiques. L'articulation des niveaux micro et macro que défend l'individualisme méthodologique (e.g. Manzo, 2014) reconnaît ce type d'influence (e.g. Coleman's boat, self-fulfilling theory). L'institution, c'est-à-dire l'inscription – ou, pour reprendre les termes de Morin (1980), l'engrammation – par les entités macroscopiques de comportements ou attributs microscopiques traduit l'immersion (Conte et al., 2007). Cette forme forte d'influence nécessite la modélisation de différents niveaux : groupe, équipe, organisation, etc. A ce niveau d'interaction, la nécessité de modéliser explicitement les entités et comportements macroscopiques pose la question de la pertinence d'une définition de l'émergence basée sur l'apparition inattendue de régularités macroscopiques (O'Sullivan and Haklay, 2000).

On voit alors se dessiner une vision de la complexité des sociétés artificielles : la démarche consiste à modéliser un système social délimité à partir de ses éléments individuels (individualisme) pour faire émerger des propriétés nouvelles (générativité) au niveau global (Epstein, 1999). Ce cadre tente de ranimer le démon de Laplace en lui conférant un pouvoir limité par la simplification du contexte – réduction de l'univers entier au système modélisé – tout en bénéficiant des capacités de calcul des ordinateurs actuels (troisième vision de la complexité chez Deffuant et al., 2015). Cette tendance de modélisation, principalement issue de la perspective économique (Le Moigne, 1998), se définit selon nous par deux principes méthodologiques : une simplicité dans l'énoncé des règles et entités du modèle en appliquant le principe du rasoir d'Ockham, souvent identifiée à l'acronyme KISS ("keep it simple, stupid" ; Axelrod, 1997) et une approche des phénomènes sociaux réductionniste issue de l'individualisme méthodologique. Ce courant sociologique établit qu'un phénomène social est en premier lieu (émergence) et en dernier recours (causalité descendante faible) issu des interactions entre individus (e.g. Boudon, 2003, et pour une description adaptée à la simulation sociale : Manzo, 2007) : la seule entité constituante d'un système social est l'individu, le reste (e.g. institution, organisation) est le fruit de l'émergence par le jeu des interactions entre individus. Cette perspective s'est développée avec le soutien d'une approche analytique des phénomènes sociaux qui établit une méthodologie très proche des principes KISS (e.g. Hedström, 2005 ; Gross, 2009).

Dans la section qui suit, nous souhaitons souligner un point qui nous semble primordial à la relation micro-macro : l'importance de conférer aux agents des attributs et comportements vraisemblables afin de générer des régularités globales significatives et le rôle essentiel que doit y jouer les sciences sociales. Le paragraphe suivant aborde l'intégration des données issues des sciences sociales sous deux aspects : celle de la mobilisation des données empiriques et celle de l'utilisa-

tion des théories et modèles des sciences sociales dans la modélisation. Ces deux points nous conduiront à introduire une vision complémentaire de la modélisation de société virtuelle.

2.1.3 *L'intégration des données issues des sciences sociales*

Comme nous l'avons suggéré plus haut, les sciences sociales se démarquent dans leur démarche scientifique par leur caractère empirique et ce au moins à deux égards : elles produisent une masse importante de données issues de l'observation des phénomènes sociaux, et par ailleurs leur raisonnement scientifique relève au moins partiellement d'un régime herméneutique, c'est-à-dire que la démarche propre aux sciences sociales part de l'observation pour aller vers la compréhension et non l'explication théorique. Nous identifions trois manières d'utiliser ce corpus empirique dans la simulation sociale :

- (i) Comme base de la modélisation en s'appuyant sur la description empirique et théorique de l'objet pour en établir les caractéristiques d'intérêts, c'est-à-dire ce qu'il importe de modéliser (Edmonds and Moss, 2005).
- (ii) En alimentant la simulation, à l'initialisation (e.g. variable, réseau de relations, spatialisation des agents) mais aussi dans sa dynamique en élaborant des scénarii (e.g. politique publique sur le marché du travail, introduction de facteurs exogènes tel qu'un virus en épidémiologie ou un nouveau produit dans l'étude de la diffusion des innovations). On peut également évoquer la simulation participative comme un moyen de mobiliser des données de terrain (Ramanath and Gilbert, 2004).
- (iii) Pour la validation des résultats en utilisant les données pour calibrer les paramètres de la simulation afin de reproduire des cibles empiriques, ou en comparant les sorties de la simulation avec un ensemble de faits empiriques stylisés (statistiques descriptives et générales) ou ciblés (enquêtes, expériences, sondages, etc.) (e.g. Windrum et al., 2007)

D'après Gilbert (2004) le programme informatique est une troisième manière de représenter une théorie, en plus d'une représentation mathématique ou en langage naturel. Dans le cadre de la simulation sociale, le modèle multi-agents est une autre manière de symboliser (« une sous-symbolisation » Varenne, 2011) une théorie exprimée le plus souvent en science sociale sous forme discursive ou mathématique (modèle statistique ou analytique). La modélisation consiste alors à trouver une manière de transposer les énoncés d'une théorie sous une forme algorithmique computable. Ainsi représentée, la théorie peut être testée à travers des expériences mises en place par simulation (Deffuant et al., 2003). Par ailleurs, cette transposition implique de combler de nombreux aspects non explicites des modèles théoriques (Varenne, 2007). Ainsi la nécessité d'explicitier tous les mécanismes dans un programme soulève souvent des problématiques implicites dans les théories mobilisées. Nous traitons plus en détail ce point dans la section 2.2.

2.2. NOTRE APPROCHE POUR LA MODÉLISATION MULTI-AGENTS EN SCIENCES SOCIALES

Le rôle majeur des théories et données empiriques dans la modélisation multi-agents En réponse à la perspective réductionniste (voir section 2.1.2 précédente), [Edmonds and Moss \(2005\)](#) ont fait remarquer qu'en se basant sur un ensemble de théories et de données empiriques dans la constitution d'un modèle de simulation, il n'était pas possible a priori de déterminer les aspects nécessaires et ceux susceptibles d'être ignorés ou simplifiés. Ils proposent alors de définir une approche de modélisation en simulation sociale qui part de la richesse descriptive théorique et empirique des sciences sociales pour ensuite en proposer un modèle condensé et simplifié, approche dite KIDS [Edmonds and Moss, 2005](#).

D'autre part, l'utilisation de théories validées dans les sciences sociales permet de s'appuyer sur un ensemble d'énoncés, par ailleurs vérifiés, qui garantissent un minimum de vraisemblance (e.g. [Conte et al., 2001](#) ; [Edmonds and Moss, 2005](#) ; [Chattoe-Brown, 2014](#)). Par exemple, en s'appuyant sur les théories majeures et empiriquement validées en psychologie dans la modélisation du comportement des agents, on assure une micro-validation minimale. Dans ce cas, on parlera de psychomimétisme ([Kant, 1999](#)) pour caractériser la nécessité d'une vraisemblance du comportement des agents d'un point de vue psychologique. Ce principe doit également être une contrainte dans la manière de représenter la théorie ou le modèle issus des sciences sociales, jusque dans l'implémentation de celui-ci.

Par ailleurs, quand l'utilisation des données empiriques imprime le processus complet de modélisation, de la constitution du modèle à sa validation, on parle alors d'approche orientée donnée ("data-driven approach" ; [Hassan et al., 2008](#)). Par exemple, pour modéliser les conditions de travail, nous avons intégré la méthodologie et les données d'enquêtes dans le domaine des Risques Psycho-Sociaux (RPS), de l'économie du travail ou de la psychologie organisationnelle. Cette représentation des modèles du domaine se traduit également dans notre simulation par une initialisation des agents à partir de ces données. Cette perspective contribue à enrichir l'approche générative décrite dans la section précédente. Notamment, le couplage du processus de modélisation et des ressources des sciences sociales permet de repenser le lien entre la simulation et l'objet simulé. Cela ne passe plus systématiquement par la capacité générative du modèle (i.e. modélisation au niveau micro / émergence de régularité macro) mais également par un ensemble de connexions au niveau empirique (i.e. modéliser des théories validées en sciences sociales et application de la simulation sur des cas empiriques). Dans la section suivante, nous tenterons de préciser notre approche qui met en avant les interactions entre modélisation et sciences sociales, au niveau du modèle et de la simulation.

2.2 Notre approche pour la modélisation multi-agents en sciences sociales

Nous avons opté dans ce travail pour une orientation descriptive et l'utilisation de données de terrain. Nous soutenons en effet qu'il faut partir des énoncés théoriques et des modèles élaborés

2.2. NOTRE APPROCHE POUR LA MODÉLISATION MULTI-AGENTS EN SCIENCES SOCIALES

en sciences sociales si l'on souhaite modéliser et simuler des phénomènes sociaux. Par ailleurs, notre recherche s'inscrit dans une démarche pratique, celle de l'intervention en entreprise dans la prévention des RPS. Ce champ de recherche s'intéresse aux manifestations physiologiques et psychologiques de l'individu face à sa situation de travail : cela inclut par exemple le stress, l'épuisement professionnel, la satisfaction ou encore le harcèlement moral ou sexuel. Par le biais du travail de terrain de notre partenaire Technologia, nous avons pu bénéficier de l'accès à une masse de données empiriques qui nous a permis d'intégrer à notre modèle de simulation les expertises du domaine. Notre approche de la modélisation à l'intersection des sciences sociales et de la simulation multi-agents est dictée par le souci de consolider la représentativité de notre modèle : en mobilisant théories et données issues des sciences sociales et du travail de terrain de notre partenaire, nous confortons le lien entre modèle simulé et objet modélisé. Dans cette section nous souhaitons revenir sur les multiples formes que prennent cette représentation de l'objet par le modèle de simulation. Cela nous conduira à insister sur l'importance de relier modélisation multi-agents et sciences sociales et défendre une modélisation riche et descriptive (KIDS ; Edmonds and Moss, 2005), basée sur l'intégration de données empiriques ("data-driven approach" ; Hassan et al., 2008) et le psychomimétisme (Kant, 1999) dans l'objectif d'augmenter la vraisemblance du modèle proposé. Cependant, la vraisemblance n'est pas une garantie mais simplement un principe nécessaire selon nous.² L'objectif est de consolider le lien entre modèle et réel. Nous souhaitons également évoquer les verrous spécifiques à la validation des modèles de simulation sociale multi-agents.

2.2.1 Sciences sociales et simulation multi-agents : un mariage heureux ?

In fine, l'objectif d'un modèle de simulation sociale basée-agent est de représenter un phénomène social. Les définitions vernaculaires (source Larousse) évoquent deux dimensions de la simulation : l'imitation et la dissimulation. Ainsi une simulation a vocation à imiter l'objet simulé par la représentation de son comportement au moyen d'un modèle matériel, d'abord conceptuel puis computable. Néanmoins le mimétisme est limité, il s'agit pour une simulation de copier certaines manifestations de l'objet et d'en délaissier (dissimuler) d'autres. Dans la section 2.1 précédente, nous avons discuté deux perspectives : l'une abstraite qui s'attache à reproduire des régularités macroscopiques émergentes et l'autre descriptive qui tente de représenter des propriétés empiriques observées de l'objet cible. On peut résumer ces deux perspectives comme suit : pour la première on définit des principes simples qui permettent de faire apparaître des effets abstraits (e.g. convergence des attitudes en mobilisant un modèle simple de diffusion Deffuant et al. (2000) ; Hegselmann and Krause (2002)) ; dans le second cas, le point de départ est une description exhaustive qui permet de reproduire un ou plusieurs cas empiriques (e.g. dans une

2. Cette affirmation nécessiterait de longs développements et nous renvoyons ici le lecteur aux arguments défendus par Edmonds and Moss (2005), Le Moigne (1998) ou Sawyer dans Conte et al. (2001)

2.2. NOTRE APPROCHE POUR LA MODÉLISATION MULTI-AGENTS EN SCIENCES SOCIALES

version remaniée de la dynamique des opinions appliquée à un cas empirique [Chattoe-Brown \(2014\)](#)). Dans ce cas, on cherche à reproduire des sorties typiques (e.g. reproduire la courbe en U de la satisfaction en fonction de l'âge) ou alors des données empiriques issues d'enquêtes (e.g. reproduire le niveau de satisfaction déclaré d'un ensemble d'individus dans une enquête de satisfaction).

KISS et l'approche abstraite Par perspective générative nous entendons que le modélisateur se donne pour objectif de faire émerger une propriété macroscopique avec les principes individualistes (i.e. agent) les plus simples. Dans cette perspective le lien entre phénomène social et le modèle s'établit sur un plan méthodologique et théorique. L'aspect méthodologique se traduit par la nécessité de minimiser la complexité du modèle : conserver les seules propriétés nécessaires au niveau micro à l'émergence des propriétés macro attendues. Théoriquement l'adage KISS se traduit par un réductionnisme des phénomènes sociaux : réduire l'émergence de propriétés sociales à l'interaction des seules entités microscopiques ([Marchionni and Ylikoski, 2013](#)). Les réussites du réductionnisme en économie ont contribué à valider le réductionnisme individualiste dans la simulation sociale ([Le Moigne, 1998](#)) et à l'implanter comme un schéma incontournable. Néanmoins, le réductionnisme fait l'objet de nombreuses critiques, d'abord de la part des tenants d'une approche plus empirique et descriptive (e.g. [O'Sullivan and Haklay, 2000](#) ; [Edmonds and Moss, 2005](#)), et plus récemment parmi les partisans de l'individualisme méthodologique (e.g. [Marchionni and Ylikoski, 2013](#) ; [Hedström and Manzo, 2015](#)). L'approche est dite abstraite dans la mesure où la modélisation permet d'abstraire un phénomène social de son ancrage empirique pour en déterminer les mécanismes génériques (principe abstrait) de causalité (principe génératif).

KIDS et l'approche descriptive Par perspective descriptive nous entendons que le modélisateur s'attache à reproduire le plus fidèlement possible son objet. Dans cette perspective le point de départ est une description aussi complète que possible du modèle fondée sur l'ensemble des ressources théoriques et empiriques issues des sciences sociales. Le travail de modélisation consiste alors à élaborer une solution qui simplifie en discriminant les dimensions nécessaires de l'objet et celles qui peuvent être omises. In fine, il s'agit de proposer un modèle qui conjugue la complexité nécessaire à un niveau de description acceptable et la simplicité suffisante pour en permettre la compréhension ([Edmonds and Moss, 2005](#) ; [Gilbert and Ahrweiler, 2009](#)). L'objectif est de maintenir un principe qui nous apparaît essentiel à la démarche scientifique : concevoir une représentation qui soit la plus proche possible de l'objet d'étude, sur les plans conceptuels et empiriques. Comme le dit Bachelard dans la citation d'introduction à ce chapitre, il faut que l'objet de la recherche s'actualise dans un projet et c'est la disponibilité des modalités techniques de cette actualisation (i.e. les modèles conceptuel, formel et implanté) qui garantit sa scientificité ([Bachelard, 1993](#)). Le second cadre de modélisation que nous tentons de circonscrire se carac-

2.2. NOTRE APPROCHE POUR LA MODÉLISATION MULTI-AGENTS EN SCIENCES SOCIALES

térise selon nous par la volonté de réaffirmer le lien du modèle de simulation avec l'objet social qu'il représente virtuellement. Cela passe par l'intégration des données empiriques disponibles, la construction et confrontation du modèle avec les théories et modèles en sciences sociales et in fine par l'intégration du problème lui-même dans le monde social (e.g. la simulation participative, [Ramanath and Gilbert, 2004](#) ; ou l'aide à la décision).

2.2.2 *Notre méthodologie pour répondre au défi de la modélisation multi-agents*

L'entreprise de modélisation et simulation sociale basée agent confrontent le modélisateur à trois grandes problématiques. Tout d'abord il faut déterminer les propriétés de l'objet d'étude que doit contenir le modèle et comment celles-ci doivent être construites. C'est la première étape de modélisation. Ensuite, se pose la question de la compréhension du modèle simulé. C'est la seconde étape d'exploration. Enfin, se pose la délicate question de l'examen du modèle multi-agents, où il s'agit d'apporter les arguments de la validité du modèle. C'est la dernière étape de validation. Dans les trois paragraphes qui suivent, nous détaillons les solutions et la méthodologie que nous avons mises en place pour chacune de ces trois problématiques.

La problématique de la modélisation Concernant la modélisation multi-agents, nous avons proposé dans les sections précédentes plusieurs pistes. Dans un premier temps, il nous apparaît nécessaire de faire une description exhaustive de l'objet d'étude sur la base des théories et modèles en science sociale. C'est à l'aide de cette description complète du phénomène que l'on peut concevoir un modèle multi-agents : celui-ci intègre alors ceux des modèles et théories qui représentent les aspects les plus importants de l'objet d'étude.

Par ailleurs, notre méthodologie de conception d'un modèle multi-agents s'établit sur les principes du psychomimétisme ([Kant, 1999](#)) : les concepts des sciences sociales sont traduit dans un langage multi-agents et doivent être représentés jusqu'à l'implémentation même du modèle (i.e. micro-fonder le modèle). Cependant, la transposition d'une théorie ou d'un modèle en sciences sociales dans un langage multi-agents n'est pas triviale : il existe par exemple des ambiguïtés sémantiques quand les théories ou modèles sont exprimés en langage naturel ; celles-ci doivent alors être dissipées. Il peut également exister des mécanismes implicites qu'il faut alors expliciter ([Busemeyer and Diederich, 2010](#)). Par exemple, dans les modèles psychologiques de la comparaison sociale (voir section 4.2) l'espace social n'est pas modélisé : il faut donc faire appel à d'autres théories ou modèles pour construire un réseau de relations et des moyens de communication au sein de l'organisation. Dans notre cas, nous avons eu recours à plusieurs théories et modèles, comme la théorie des divergences (3.4) ou l'heuristique Peak-End (3.5.1), pour aboutir à une représentation multi-agents globale de la satisfaction dans l'emploi (voir chapitre 4).

2.2. NOTRE APPROCHE POUR LA MODÉLISATION MULTI-AGENTS EN SCIENCES SOCIALES

La problématique de l'exploration du modèle Concernant l'exploration du modèle, nous avons établi une méthodologie qui s'appuie sur une analyse de sensibilité pour déterminer des comportements types du modèle. Ces régularités sont ensuite testées sur des scénarii afin d'affiner la compréhension des mécanismes qui les font émerger.

Dans cette perspective, la simulation devient un laboratoire virtuel (Merz, 2006) et permet d'explorer le comportement du modèle ; mais également de se confronter à ce qu'il produit. En effet, la mise en place de résultats intelligibles n'est pas trivial dans la simulation sociale (Gilbert, 2004). Nous avons choisi de cibler les indicateurs du comportement de nos agents pour reproduire des comportements identifiés par la littérature. Par exemple, nous avons cherché à caractériser deux types d'agents en fonction de la manière dont ils agrègent l'évaluation des caractéristiques de leur travail : nous avons alors identifié des profils pessimiste et optimiste (voir section 5.2.2). Pour ce faire, nous avons mis en place une exploration systématique du modèle sous la forme d'une analyse de sensibilité sur l'ensemble des paramètres de la simulation (Deffuant et al., 2003). La définition des sorties de la simulation est un point crucial de sa compréhension, et la garantie nécessaire d'une vérification du lien qui unit le modèle conceptuel au programme (modèle formel) et la simulation (modèle implanté) à l'objet simulé (la cible du modèle) (Sibertin-Blanc, 2010) : les résultats de l'analyse conduisent à la compréhension du modèle mais également à sa validation.

La problématique de la validation du modèle La validation des modèles multi-agents est une problématique difficile et ouverte (Windrum et al., 2007). Nous proposons dans ce travail deux types de validation : la première est une micro-validation inhérente au psychomimétisme et la seconde est une validation sur donnée empirique.

D'abord, notre méthodologie de modélisation intègre une validation a priori : en intégrant dans le modèle multi-agents des théories et modèles par ailleurs validés empiriquement, les mécanismes du modèle bénéficient d'une validation en amont. Le second élément de validation « faible » est l'utilisation à l'initialisation de données empiriques. Notre modèle s'adapte alors à la situation concrète étudiée. Cette capacité d'intégration est un argument de plus pour représenter avec pertinence l'objet d'étude : le lien du modèle avec le phénomène qu'il représente s'enrichit de données d'observation et devient empirique.

Ensuite, l'argument majeur de validation se situe dans la capacité du modèle à reproduire les données empiriques. Cette validation « forte » est assurée dans notre cas à deux niveaux : dans la capacité du modèle à reproduire des faits stylisés (e.g. la satisfaction au travail des femmes équivalente à celle des hommes, malgré de moins bonnes conditions de travail) ou typiques (e.g. un niveau de satisfaction agrégé moyen élevé), d'une part, et sa faculté à reproduire des données d'enquêtes spécifiques, d'autre part. Sur ce dernier point nous avons été capable de calibrer notre modèle de satisfaction pour reproduire avec fidélité le niveau de satisfaction de 100 individus réels sur 17 mois (voir section 5.4).

Dans la dernière section de ce chapitre, nous revenons sur les problématiques spécifiques à la modélisation multi-agents de la satisfaction et de l'activité au travail.

2.3 La simulation sociale multi-agents et le monde de l'entreprise et du travail

Dans les chapitres 6 et 3, nous revenons sur les recherches dans les deux domaines de l'entreprise que sont l'activité et la satisfaction au travail. Nous souhaitons ici souligner le caractère isolé de notre entreprise de modélisation : la dimension psychologique du travail est quasiment absente de la simulation sociale (Vancouver and Weinhardt, 2012), que ce soit au niveau de l'activité de travail (Carley and Gasser, 1999) ou au niveau de la satisfaction dans l'emploi (Ilgen and Hulin, 2000). Dans ce dernier domaine, la quasi totalité des modèles sont statistiques (e.g. Sousa-Poza and Sousa-Poza, 2000 ; Clark, 2001 ; Davoine, 2006 ; Skalli et al., 2008 ; Larguem, 2009). De fait ils sont également statiques : ils considèrent moins les processus qui mènent à un état qu'aux conditions qui caractérisent ou déterminent (boîte noire) la satisfaction ou l'insatisfaction des travailleurs. On se retrouve dans la situation que décrit Edmonds and Moss (2005) de devoir modéliser des mécanismes et processus quand les modèles et théories disponibles ne proposent que des états et des relations entre états (e.g. les femmes sont, toutes choses égales par ailleurs, plus satisfaites dans leur travail que les hommes). Cependant, il existe à notre connaissance une contribution dans le domaine de la simulation multi-agents, présentée dans Tarvid (2011) et étendue dans Tarvid (2014). La démarche de l'auteur n'est pas d'étudier la satisfaction au travail, mais d'utiliser la satisfaction comme un mécanisme comportemental dans la dynamique du marché du travail. Notre modèle se démarque parce qu'il n'est pas simplement inspiré des théories et modèles en psychologie : il les traduit dans un langage de modélisation multi-agents. Par ailleurs, nous avons été capable d'initialiser notre simulation avec des données empiriques sur la satisfaction. De plus, nous avons validé les mécanismes de notre modèle en les calibrant pour reproduire les niveaux de satisfaction déclarée dans une enquête de panel.

La modélisation du travail en organisations a fait l'objet de plus nombreuses recherches en simulation multi-agents. Nous renvoyons le lecteur au chapitre 6 pour avoir un détail de notre revue de littérature. Nous soulignons ici la spécificité de notre démarche : nous ne cherchons pas à capter les principes de l'organisation, mais bien à modéliser l'activité de travail en entreprise. Cette orientation restrictive de l'organisation nous coupe d'une large littérature dans le domaine multi-agents (Horling and Lesser, 2004). Elle nous a conduit à nous intéresser plus aux recherches de modélisation entreprises au croisement de la simulation multi-agents et des sciences sociales (e.g. Chang and Harrington, 2006 en économie, ou Ilgen and Hulin, 2000 en psychologie), pour les aspects théoriques, et au courant de recherche de modélisation de cas réels de systèmes de production, aussi appelé "engineering modelisation" (Carley and Gasser, 1999).

PARTIE I



Happywork : un modèle multi-agent de la satisfaction au travail

3

Etat de l'art : la satisfaction au travail

« Moods, emotions, and long-term cognitive judgements of one's life each capture something different about one's reaction to her life [...] all grouped under the capacious canopy of Subjective Well-being »

— Kim Prieto, Diener, Tamir, Scollon & Diener, Integrating the Divers Definitions of Happiness : A Time-Sequential Framework of Subjective Well-Being

Les premiers travaux sur la satisfaction au travail s'inscrivent dans la lignée des théories scientifiques du travail (Worrell, 2004). C'est l'émergence d'une problématique managériale, qui étudie l'impact du travail sur les objectifs de l'organisation. Les recherches se focalisent sur le facteur humain de production, fait nouveau, mais dans l'objectif de mieux l'intégrer aux buts poursuivis par l'organisation. On notera notamment que satisfaction et motivation sont très proches voir synonymes dans les études pionnières. A partir des années 70, la satisfaction au travail constitue un champ de recherches à part entière et devient dominant dans les études de psychologie industrielle et organisationnelle. A partir des études séminales de Locke (1969, 1976), la satisfaction au travail est étudiée pour elle même, et surtout dans l'objectif d'améliorer la qualité de vie des employés. C'est l'émergence de la thématique du bonheur comme problématique transdisciplinaire (Easterlin, 2006) ; la satisfaction au travail en étant l'avatar le plus étudié (Spector, 1997 ;

3.1. VERS UNE DÉFINITION GÉNÉRALE DU CONCEPT DE SATISFACTION AU TRAVAIL

Hulin and Judge, 2003).

3.1 Vers une définition générale du concept de satisfaction au travail

Les premières préoccupations pour la satisfaction au travail remontent au début du 20^{ème} siècle : Le travail monographique de **Roethlisberger and Dickson (1939)** commencé à la fin des années 20 aux usines de la Western Electric de Chicago est à ce titre tout à fait représentatif des premières investigations en psychologie industrielle. La satisfaction au travail y était envisagée sous l'angle de l'impact des conditions de travail (température, éclairage, nombre d'heures de travail, fatigue, etc.) sur la motivation et la productivité des travailleurs. C'est une étape importante dans la prise en compte de la subjectivité du salarié comme facteur de productivité, là où le management scientifique (Taylor, 1911) réduisait le rapport du travailleur à son emploi à l'unique indice donné par le salaire horaire (**Worrell, 2004**). On peut également se référer à l'ouvrage de **Hoppock (1935)** l'un des premiers à traiter explicitement de la satisfaction au travail et à en proposer une mesure. Selon l'auteur la satisfaction au travail est la combinaison de caractéristiques psychologiques, physiologiques et de l'environnement de travail qui conduit une personne à exprimer sa satisfaction ou son insatisfaction. Depuis, nombre de contributions – **Locke (1969)** en dénombreait plus de 4000 dans le domaine de la psychologie industrielle entre les années 30 et 1968 ; **Jex and Britt (2008)** avançaient un nombre de 21375 publications dans le domaine et 23500 pour **Judge et al. (2012)** – ont cherché à raffiner cette approche. Il existe aujourd'hui beaucoup de définitions de la satisfaction au travail, souvent très proches de la conception d'Hoppock, sans toutefois qu'une d'entre elles fasse consensus. Par ailleurs, les économistes, psychosociologues, chercheurs en management / gestion et en sociologie du travail ont petit à petit investi ce champ de recherches, venant ajouter à la prolifération des concepts et des perspectives. **Locke (1976)** dans les années 70, **Spector (1997)** dans les années 90 et **Warr (1999, 2007)** plus récemment ont cherché à synthétiser les contributions du domaine mais ont chacun été confrontés à l'éclatement du champ et au manque de consensus autour de la définition de la satisfaction.

Comme nous le soulignons plus haut, si globalement l'approche reste sensiblement la même que celle que proposait **Hoppock (1935)** au début du 20^{ème} siècle, la controverse est beaucoup plus vive ; par exemple, sur l'articulation des dimensions cognitive et affective (e.g. **Judge and Kammeyer-Mueller, 2012 ; Weiss, 2002**), sur les conséquences en terme d'efficacité pour l'organisation (e.g. **Judge et al., 2001 ; Saari and Judge, 2004 ; Harrison et al., 2006**) ou encore sur la contribution des antécédents les plus saillants comme l'âge (**Clark et al., 1996**) ou le genre (**Clark, 1997**). Dans cette section, nous proposons de détailler dans un premier temps les modèles de satisfaction en psychologie. Tout d'abord nous évoquerons les modèles basés sur les besoins fondamentaux (section 3.2) dominant en psychologie jusqu'aux années 1970. Nous décrirons ensuite les modèles « classiques » qui ont émergé à la suite des travaux de **Locke (1976)** et de sa critique

de la pertinence des besoins universels (section 3.3). Enfin, nous parlerons des modèles actuels qui se caractérisent par les empreints à la théorie de l'attitude sociale et au nouveau consensus autour de l'attitude au travail (section 3.4). Dans un second temps, nous évoquerons les modèles de satisfaction en économie, notamment les modèles d'utilité (section 3.5.1) et les modèles empiriques (section 3.5.2). Et pour finir, dans la dernière partie, nous évoquerons les rares modèles computationnels de la satisfaction (section 3.6.1) ainsi que les modèles voisins de dynamique d'attitude (section 3.6.2). L'objectif de ce chapitre faire ressortir les éléments qui nous serviront de base à la modélisation présentée dans le chapitre suivant.

3.2 Les modèles des besoins fondamentaux

Les besoins fondamentaux ont orienté les recherches en psychologie industrielle et organisationnelle jusqu'au milieu des années 70 (Jex and Britt, 2008). Elles ont contribué à exprimer la satisfaction des individus en terme de satisfaction de besoins et constituaient l'approche dominante (Spector, 1997). De ce point de vue, motivation et satisfaction sont intimement corrélées : un individu satisfait est un individu motivé et inversement (e.g. Baard et al., 2006 ; Ali et al., 2014). D'un point de vue théorique cela a contribué à consolider le paradigme hédoniste (Warr, 2007) de la satisfaction, i.e. la recherche d'un état de complétude. Cette conception de la satisfaction, très proche de la motivation, a concouru à établir l'approche top-down de la satisfaction (Diener et al., 1999) – i.e. les conditions de travail déterminent la satisfaction – comme dominante jusqu'à un passé très récent (Spector, 1997).

3.2.1 Les modèles basés sur la satisfaction des besoins

Dans la théorie des besoins fondamentaux, les individus sont motivés à satisfaire leurs besoins en vue d'atteindre un état nécessaire, e.g. la sécurité ou la reconnaissance. Ces besoins sont plus ou moins moteurs en fonction des théories : chez Alderfer (1969) ou Maslow (1943) il existe respectivement un niveau et une hiérarchie des nécessités. Au-delà d'un niveau de réalisation ou d'un niveau de hiérarchie dans les besoins, leur appétence ne relève plus du nécessaire mais du désirable. Certains des besoins associés au travail relèvent de la première catégorie : il s'agit d'assurer les besoins de l'existence à partir notamment du salaire, comme par exemple manger ou être en sécurité. En revanche, la plupart des besoins associés au travail relèvent de la seconde catégorie, i.e. ceux que l'on désire, comme par exemple le besoin d'amour ou d'estime de soi.

La théorie de l'auto-détermination (Deci and Ryan, 1985, 2000) étend les propositions de Maslow (1943). Notamment, cette théorie se base sur l'idée de besoins psychologiques fondamentaux. Les auteurs en définissent trois : les besoins d'autonomie, de compétence et relationnel. Dans la théorie de l'auto-détermination la réalisation des besoins n'est jamais entièrement possible.

3.3. LES MODÈLES CLASSIQUES EN PSYCHOLOGIE DU TRAVAIL ET DES ORGANISATIONS

3.2.2 *Les modèles basés sur les caractéristiques de l'emploi*

Les modèles des caractéristiques de l'emploi (Hackman and Oldham, 1976) et bi-factoriels (Herzberg et al., 1959) sont les principaux modèles de satisfaction issus de cette perspective. Ils reprennent l'idée d'une détermination de la satisfaction à partir de la faculté des conditions de travail à satisfaire un ensemble de besoins. Dans la théorie des caractéristiques de l'emploi (Hackman and Lawler, 1971 ; Hackman and Oldham, 1976), le travailleur est satisfait dans la mesure où son emploi lui permet de satisfaire ses besoins de haut niveau ("higher order needs").¹ Les auteurs en identifient quatre : la variété, l'autonomie, l'identité de la tâche et le feedback. Par ailleurs, ils identifient également les aspects du travail qui caractérisent la satisfaction de besoins de bas niveau et les associent, à l'instar des facteurs d'hygiène dans la théorie "two factors" (Herzberg et al., 1959), à des facteurs nécessaires mais non suffisants pour être satisfaits. Que ce soit la théorie de Hackman and Lawler (1971) ou Herzberg et al. (1959), la satisfaction est synonyme de travail motivant. De ce point de vue un travail satisfaisant est directement lié « au développement d'une congruence entre la satisfaction des besoins individuels et la satisfaction [achievement] des objectifs de l'organisation » (Hackman and Lawler, 1971).

3.2.3 *Apports des modèles basés sur les besoins fondamentaux*

Les modèles et théories des besoins fondamentaux mettent en avant la capacité des caractéristiques de l'emploi à satisfaire les besoins fondamentaux, qu'ils soient physiologiques ou psychologiques. Nous identifions ce mécanisme à l'effet direct des conditions de travail sur la satisfaction des travailleurs. Cette perspective a été critiquée principalement sur deux points : la difficulté à identifier clairement les besoins fondamentaux (Locke, 1976) d'une part, et l'absence de prise en compte des divergences et préférences individuelles (Wright, 2006).

3.3 Les modèles classiques en psychologie du travail et des organisations

Les modèles dits classiques en psychologie ont émergé sur la base de la critique de la lecture universaliste de la satisfaction entendue comme satisfaction des besoins. Notamment, l'enjeu pour ces nouveaux modèles était de traduire les différences individuelles dans l'expression de la satisfaction : qu'est-ce qui amène deux individus avec les mêmes conditions de travail à ne pas être également satisfaits.

1. Ce modèle a permis d'élaborer un questionnaire d'étude des caractéristiques du travail, le Job Descriptive Survey (JDS)

3.3. LES MODÈLES CLASSIQUES EN PSYCHOLOGIE DU TRAVAIL ET DES ORGANISATIONS

3.3.1 *Le modèle value-percept*

L'article de [Locke \(1969\)](#) est un moment clé de la recherche en psychologie sur la satisfaction au travail. L'auteur y développe le programme de recherche qui va durablement influencer les études en psychologie industrielle et organisationnelle : il consiste à déterminer les processus psychologiques qui conduisent un individu à se sentir satisfait ou insatisfait dans son travail. L'introduction du terme mécanisme fait référence à la critique majeure qu'il adresse à la théorie des besoins fondamentaux : il est impossible d'identifier ces besoins et à plus forte raison ce qui mène à leur satisfaction. Il élabore alors un modèle de satisfaction qui établit les processus qui mènent à la satisfaction ou l'insatisfaction. Dans l'équation 3.1, nous avons reproduit l'expression classique de ce modèle formulée par [Judge et al. \(2012\)](#) :

$$S = (V_c - P) \times V_i \quad (3.1)$$

Le modèle percept-value discrepancy ([Locke, 1976](#)) peut être résumé comme suit : la satisfaction S est un état émotionnel résultant de l'appréciation des divergences entre les perceptions P des caractéristiques de l'emploi et les valeurs abstraites V_c que l'individu souhaite avoir ou obtenir pour ces caractéristiques, pondérées par l'importance subjective V_i de ces valeurs. Ainsi, la satisfaction est le fruit de l'évaluation pondérée de l'écart entre la situation réelle perçue et celle désirée.

Les critiques de ce modèle se sont principalement attachées à la définition des valeurs et leur importance : au même titre que les besoins, ils apparaissent difficiles à définir ([Weiss, 2002](#)). Par ailleurs, [Jackson and Corr \(2002\)](#) ont montré que la perception de la situation réelle intègre a priori l'importance accordée aux caractéristiques évaluées : il y a redondance entre la perception d'une facette de l'emploi et l'importance qu'on lui accorde.

3.3.2 *Le modèle Cornell*

Le modèle Cornell a été conçu par [Smith et al. \(1969\)](#) dans le cadre du développement d'une échelle de mesure empirique de la satisfaction. Le fruit de cette recherche est le Job Descriptive Index (JDI), le questionnaire de satisfaction le plus communément utilisé en psychologie [Spector \(1997\)](#) ; [Hulin and Judge \(2003\)](#) ; [Judge et al. \(2012\)](#). Le principe de ce modèle est d'établir la satisfaction à partir de la balance entre contributions et bénéfices au travail : si les avantages retirés de l'emploi ne sont pas au moins équivalents aux investissements, l'individu est insatisfait. En revanche, s'ils dépassent l'investissement de l'individu dans son travail, alors il sera satisfait. Le modèle est représenté dans le diagramme 3.3.1 ci-dessous. Suite aux critiques concernant la manière d'évaluer les contributions et bénéfices, les auteurs ont fait évoluer leur modèle pour intégrer les schémas de référence de l'individu ("Frames of Reference"). Ces derniers permettent

3.3. LES MODÈLES CLASSIQUES EN PSYCHOLOGIE DU TRAVAIL ET DES ORGANISATIONS

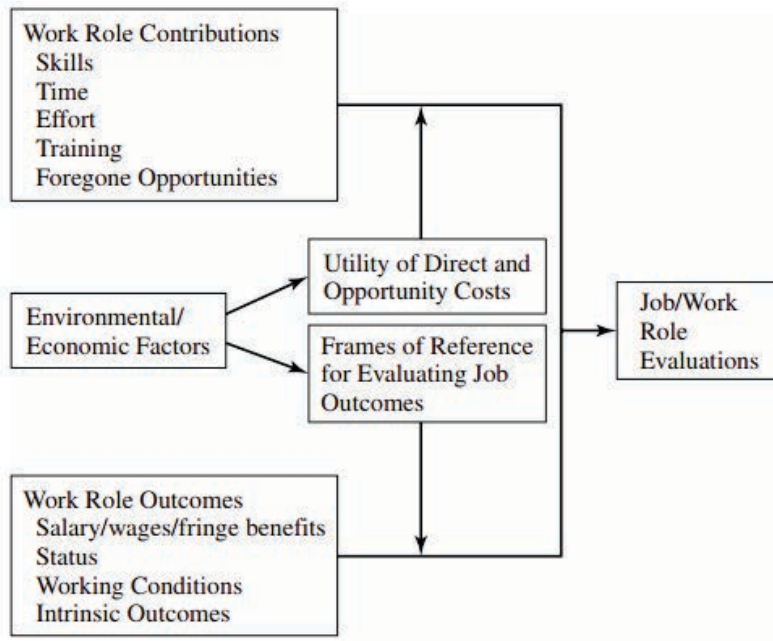


Figure 3.3.1 : Modèle Cornell de la satisfaction dans l'emploi d'après Hulin and Judge (2003)

d'interpréter les coûts du travail et la valeur des bénéfices retirés à partir du contexte économique.

Le modèle Cornell a été principalement critiqué pour l'importance qu'il accorde au contexte économique. Notamment l'inclusion de facteurs associés à l'environnement social et économique global (i.e. externe à l'individu et l'organisation) souligne la tendance du modèle à décontextualiser l'évaluation du travail : elle ne prend pas en compte l'environnement social et organisationnel de l'individu.

3.3.3 Le modèle des divergences multiples

Le modèle Multiple Discrepancies Theory (MDT) a opéré la synthèse des approches classiques que Lawler (1971) a regroupé sous l'ensemble des théories des divergences : la satisfaction résulte de l'évaluation des différences entre le travail tel qu'il est perçu par l'individu et la ou les valeurs de références. Michalos (1985) propose une synthèse des standards qui permettent à un individu d'établir sa satisfaction dans l'emploi : le travail actuel est mis en perspective avec, (a) ce que l'on désire (b) ce que les autres ont (c) ce qu'on a eu de mieux dans le passé (d) ce que l'on désirait dans le passé (e) et ce que l'on désire pour l'avenir (f) ce qu'on mérite et (g) ce dont on a besoin. Le modèle est résumé dans le diagramme 3.3.2 ci-dessous. L'apport majeur de ce modèle est de fonder le processus d'élaboration de la satisfaction sur la comparaison des perceptions des caractéristiques de l'emploi aux valeurs de différents standards. La satisfaction est alors

3.3. LES MODÈLES CLASSIQUES EN PSYCHOLOGIE DU TRAVAIL ET DES ORGANISATIONS

une agrégation, i.e. une évaluation globale, sur l'ensemble des divergences conçues comme des comparaisons. La MDT a également permis d'identifier plusieurs des standards de comparaison les plus importants.

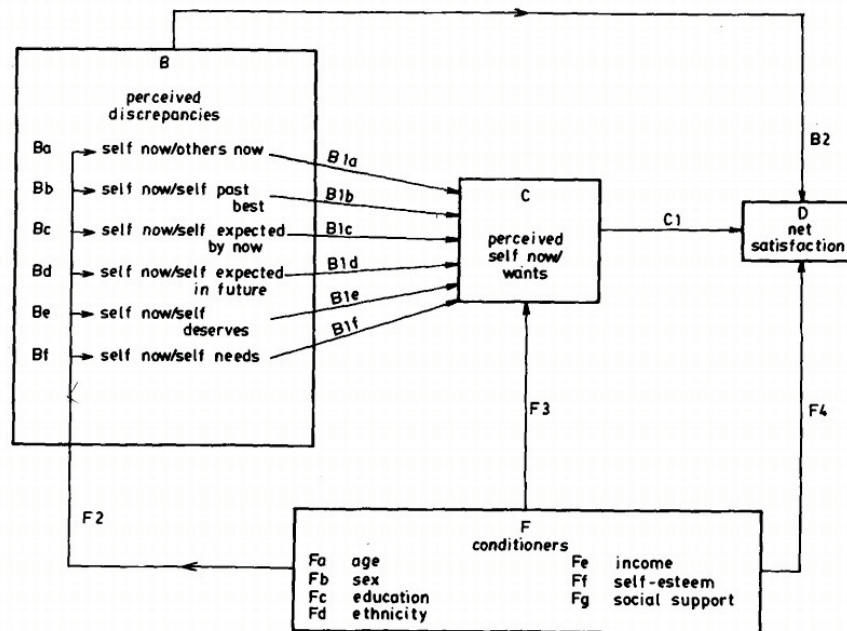


Figure 3.3.2 : Modèle MDT (Michalos, 1985)

La critique majeure faite aux recherches de Michalos (1985) se situe au niveau de l'expression des comparaisons : les mécanismes d'évaluation des divergences ne sont pas identifiés, seul est pris en compte le résultat de la comparaison. Dans le modèle qu'il propose, rien n'indique comment un individu interprète les différences entre sa situation et les situations de référence.

3.3.4 Apports des modèles classiques

Les modèles classiques ont permis d'identifier des mécanismes centraux de la satisfaction. Nous résumons leur apport comme suit : la satisfaction découle de l'évaluation des caractéristiques du travail. Cette évaluation est modélisée sous la forme de multiples divergences entre situation perçue et standards de comparaison. Les modèles ont identifié plusieurs type de standards, comme les besoins, les autres individus ou encore les situations vécues par le passé. En revanche, les modèles classiques ne donnent aucune indication sur le contenu du processus de comparaison et se bornent à identifier le rôle des divergences dans l'élaboration de la satisfaction.

3.4 Les modèles théoriques de l'attitude au travail

Les recherches les plus récentes sur la thématique s'orientent vers un glissement théorique de la satisfaction au travail vers l'attitude au travail (Veenhoven, 2009 ; Warr, 2012 ; Judge et al., 2012 ; Davoine, 2012). Cette évolution sémantique traduit une nouvelle approche de la satisfaction : la satisfaction dans l'emploi est envisagée comme cause et conséquence d'un ensemble de mécanismes cognitifs, affectifs et comportementaux déterminés par les conditions de travail et les événements au cours de l'activité professionnelle (Hulin and Judge, 2003). Ce changement de paradigme a pour origine l'étude du bonheur ou la satisfaction globale ("Subjective Well-Being") qui s'articule autour de trois raisonnements explicatifs (Veenhoven, 2008, 2009, 2010) :

- (i) hypothèse affective où la satisfaction est envisagée comme une réaction émotionnelle
- (ii) hypothèse dispositionnelle où la satisfaction est l'expression des caractéristiques durables de la personne
- (iii) hypothèse socio-cognitive où la satisfaction est le résultat d'une évaluation relationnelle de sa situation par rapport à un ensemble de situations référentes

Par ailleurs, ce domaine de la psychologie a mis en lumière l'aspect composite de la satisfaction (e.g. Spector, 1997 ; Jackson and Corr, 2002 ; Warr, 2012) : on distingue une satisfaction non orientée (i.e. par rapport à la vie en générale), la satisfaction orientée domaine (i.e. par rapport à un domaine particulier comme le travail ou la famille) et la satisfaction orientée aspect (i.e. la satisfaction par rapport aux différentes facettes d'un domaine, par exemple le salaire dans l'emploi ou l'éducation des enfants dans la famille).

Les théories contemporaines de la satisfaction dans l'emploi se sont construites sur ces déterminants et ce découpage en domaines et facettes. Une synthèse globale émerge aujourd'hui autour de la notion d'attitude au travail (Wright, 2006). Elle est admirablement résumée par Judge and Kammeyer-Mueller (2012) : "Job satisfaction is an evaluative state that expresses contentment with, and positive feelings about, one's job. As is apparent in this definition, we include both cognition and affect. It also implies that overall or global job satisfaction results from a process of evaluation typically, that consists of evaluation of one's job facets or characteristics". Cette conception générale fait aujourd'hui consensus (e.g. Spector, 1997 ; Warr, 1999 ; Weiss, 2002 ; Kim-Prieto et al., 2005 ; Fisher, 2010). Elle intègre l'apport des recherches sur (i) l'évaluation de l'emploi et la masse dominante des recherches orientées vers la représentation des processus cognitifs de la satisfaction, (ii) les réactions émotionnelles au travail et le renouvellement de la place des affects dans la satisfaction (iii) l'ensemble des études autour des comportements et conséquences comportementales associées à la satisfaction. Ces trois facettes recouvrent la tri-partition classique de l'attitude sociale (Eagly and Chaiken, 1993) définie comme « une tendance psychologique qui s'exprime par l'évaluation d'une entité particulière avec un degré de favorabilité ou de défavorabilité. »

3.4.1 Les modèles de l'évaluation cognitive du travail

La partie cognitive de la satisfaction est largement la plus étudiée depuis 5 décennies (Hulin and Judge, 2003). Elle constitue le cœur de la formation des attitudes et l'élément principal de la détermination de la satisfaction (Locke, 1976 ; Spector, 1997 ; Judge et al., 2012). Les modèles dans ce domaine s'inspirent essentiellement des théories et modèles classiques présentés dans la section précédente. On notera cependant deux contributions majeures : le modèle théorique de l'attitude au travail de Hulin and Judge (2003) ; Judge and Kammeyer-Mueller (2012) et le modèle des jugements multiples Warr (2007, 2012) :

Le modèle théorique de l'attitude au travail Hulin and Judge (2003) ont opéré dans leur article une synthèse des théories de l'attitude dans l'emploi et proposent une représentation générale des mécanismes cognitifs. Ce modèle est basé sur la théorie des divergences : il identifie la perception des caractéristiques, leur évaluation par comparaison avec des standards et l'influence de celle-ci sur l'attitude au travail. Le graphique 3.4.1 représente le résumé de leur travaux.

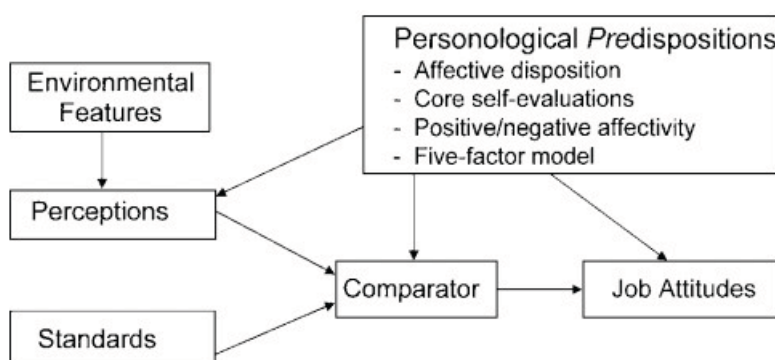


Figure 3.4.1 : Modèle théorique de l'attitude au travail d'après Hulin and Judge (2003)

On voit que les auteurs insèrent le facteur de la personnalité qui joue sur (i) la perception des caractéristiques du travail (ii) l'évaluation des comparaisons et (iii) l'attitude elle-même. Seuls les standards ne font pas l'objet d'une influence de la personnalité.

L'avantage de ce modèle est son aspect synthétique : il résume l'approche par divergence en identifiant les mécanismes centraux. Cependant, chacun de ces processus n'est défini que sur un plan théorique. Warr (2007) a proposé un modèle qui étend le modèle théorique de l'attitude au travail.

Le modèle des jugements multiples Ce modèle récent s'articule autour de la définition des processus mentaux qui conduisent au bonheur dans le travail ("subjective well-being at work")

3.4. LES MODÈLES THÉORIQUES DE L'ATTITUDE AU TRAVAIL

(Warr, 2012). Il identifie deux sources principales d'influence : l'influence des caractéristiques de l'environnement et celle intérieure à l'individu. La dimension cognitive de ce modèle est entièrement développée dans le second point qui se caractérise par deux aspects : les causes à long terme, tel que l'extraversion ou le névrotisme, et les causes à court terme, représentées par 3 jugements comparatifs. L'individu est donc amené à moduler sa satisfaction au travail en se comparant avec d'autres individus (e.g. des collègues ou le conjoint), avec des situations attendues ou alternatives (e.g. une offre d'emploi) et avec les anticipations passées et futures. L'individu complète ces trois sources de comparaison par l'évaluation de son efficacité, de la capacité de son emploi à générer de la nouveauté et par le sens qu'il donne à son travail.

Les théories de la comparaison sociale Les mécanismes de la comparaison sociale s'inspirent directement des recherches les plus récentes dans le domaine de la psychologie (pour une synthèse : Suls and Wheeler, 2012). Dans la lignée des travaux pionniers de Festinger (1956), ces recherches considèrent la comparaison sociale avant tout comme un moyen de s'évaluer dans un contexte social donné (Suls et al., 2002). Par extension, elle s'applique également à l'évaluation d'objets à propos desquels nous élaborons spontanément une attitude sociale, comme la religion ou le travail (Ajzen, 2001 ; Bandura, 2001). Quelques travaux ont d'ailleurs été entrepris dans le domaine de la comparaison sociale au sein des organisations (Greenberg et al., 2007 ; Goodman and Haisley, 2007 ; Brown et al., 2007 ; Buunk et al., 2011).

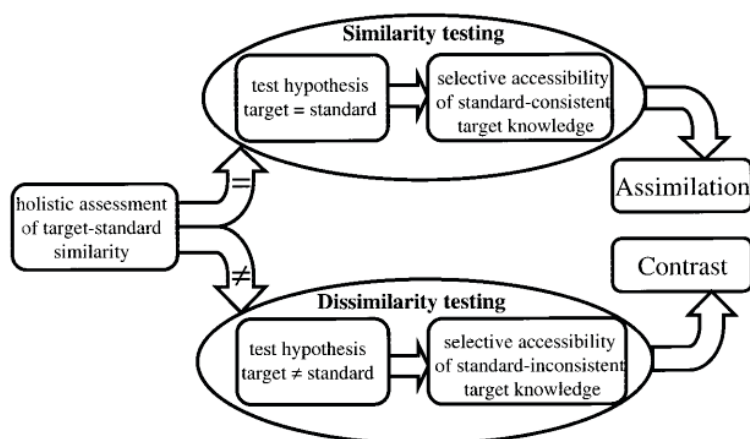


Figure 3.4.2 : Selective Accessibility Model (SAM) d'après Mussweiler (2003)

Dans ce champ, le modèle SAM de Mussweiler and Strack (1999) ; Mussweiler (2003) ; Mussweiler et al. (2004) est le plus largement utilisé. Nous l'avons reproduit dans la figure 3.4.2 ci-dessus. L'auteur y décrit le processus de comparaison sociale en trois étapes : l'ancrage ou hypothèse de similarité, le test de l'hypothèse et l'impact sur l'attitude. Les deux première étapes

3.4. LES MODÈLES THÉORIQUES DE L'ATTITUDE AU TRAVAIL

conduisent un individu à déterminer s'il est similaire ou plutôt différent de la personne avec qui il se compare. En fonction du résultat de cette évaluation spontanée, la comparaison débouche dans le premier cas sur l'assimilation et dans le second sur le contraste. Dans le premier cas l'évaluation de l'attitude va converger vers celle du comparant, alors qu'elle aura tendance à diverger dans le second cas.

Apports et critiques des modèles cognitifs L'apport principal des modèles cognitifs est d'étendre le principe des divergences en identifiant plus clairement les différents processus et standards à l'oeuvre dans l'évaluation comparative des caractéristiques de l'emploi. Notamment, les mécanismes et l'impact sur l'attitude de la comparaison avec d'autres individus ont été modélisés avec précision. L'élaboration de l'attitude sur la base de l'évaluation comparative des caractéristiques du travail est le modèle empiriquement fondé le plus largement accepté.

Par ailleurs, les modèles cognitifs de la satisfaction ont été critiqués parce qu'ils n'incorporent pas l'influence des émotions dans les évaluations (Weiss and Cropanzano, 1996 ; Weiss, 2002) alors même que la définition consensuelle de la satisfaction tend à confondre réaction affective et évaluation cognitive (Weiss and Cropanzano, 1996 ; Mignonac, 2004 ; Judge et al., 2012). Notamment, Judge and Kammeyer-Mueller (2012) parlent de "methodological stalement" pour qualifier la contradiction entre l'étude conceptuelle et théorique de la satisfaction envisagée comme une évaluation affective, et les données et méthodologies d'enquêtes qui explorent essentiellement les raisonnements et évaluations cognitives de la satisfaction des individus. Cette problématique a profondément modifié le champ de recherche sur les affects dans l'attitude au travail (Fisher, 2010).

3.4.2 Les théories des affects au travail

La dimension affective de la satisfaction est de plus en plus étudiée en psychologie (e.g. Weiss, 2002 ; Fisher, 2010 ; Judge et al., 2012 ; Thompson and Phua, 2012). Ces études s'attachent à caractériser la dimension affective de l'attitude dans l'emploi. Notamment, ce nouveau courant de recherche s'est forgé sur la distinction entre satisfaction comme un raisonnement évaluatif, d'une part, et comme un ensemble de réactions affectives, d'autre part (Weiss and Cropanzano, 1996 ; Weiss and Beal, 2005). Cependant, l'étude de l'affect sur le lieu de travail souffre d'un manque de données empiriques, puisque la plupart des enquêtes et travaux empiriques du domaine explorent la dimension cognitive de la satisfaction (Spector, 1997 ; Weiss, 2002). Le modèle proposé par Weiss and Cropanzano (1996) se base sur le déclenchement d'émotions au cours de l'activité. Il est résumé dans le graphique 3.4.3 ci-dessous :

Le modèle AET se fonde sur deux antécédents majeurs de l'attitude au travail : les émotions induites par les événements au cours du travail, et l'évaluation cognitive des caractéristiques du

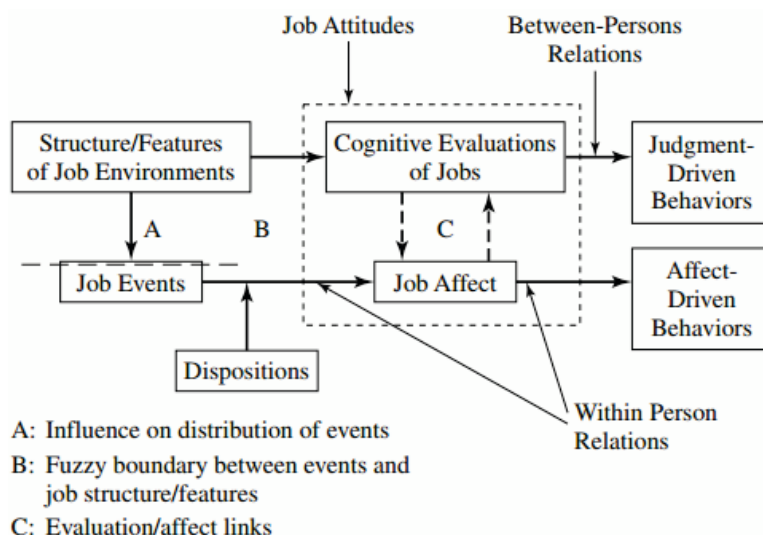


Figure 3.4.3 : Modèle Affective Event Theory (AET) d'après Weiss and Cropanzano (1996)

travail. Dans leur modèle, les affects s'organisent en épisodes temporels qui vont structurer l'expérience professionnelle et ainsi influencer l'humeur (Brief et al., 1995 ; Fisher, 2000), les jugements et évaluations (Weiss, 2002 ; Garcia-Prieto et al., 2005) et l'activité de travail (e.g. créativité, withdrawal and organizational citizenship behavior ; Brief and Weiss, 2002). Une part importante des réactions suite aux événements, tient aux dispositions affectives des individus, avec notamment un courant de recherche important sur l'impact de la personnalité sur le vécu au travail (Ilies and Judge, 2002 ; Judge et al., 2008).

3.4.3 Les modèles des facteurs constants génétiques et de la personnalité

Une des énigmes de l'étude de la satisfaction est la stabilité des indicateurs dans les enquêtes de satisfaction (Staw and Ross, 1985 ; Diener et al., 1999). L'explication la plus communément admise est issue des recherches sur le bonheur hors contexte et a été notamment identifiée sous le terme "hedonic treadmill" (Staw and Cohen-Charash, 2005 ; Diener et al., 2006). La remarquable stabilité des indicateurs de satisfaction a été associée à divers phénomènes : Diener et al. (1999) parle de niveau de satisfaction de base (baseline level), Cummins et al. (2012) de facteurs homéostatiques ; mais il a également souvent été question de facteurs génétiques (Arvey et al., 1989 ; Lykken and Tellegen, 1996).

A cet égard, de nombreuses recherches tentent d'identifier la place de la personnalité dans la constance de la satisfaction dans le temps (Furnham et al., 2002 ; Judge et al., 2008). Divers modèles issus de la psychologie ont été étudiés en insistant sur un aspect de l'attitude au travail : e.g. les émotions avec le modèle PA/NA (Thoresen et al., 2003), les évaluations et l'activité de

3.4. LES MODÈLES THÉORIQUES DE L'ATTITUDE AU TRAVAIL

travail avec le "Five-factor" (Judge et al., 2002). Par ailleurs Judge et al. (1998) ont développé un modèle de personnalité "core-self evaluation" pour évaluer les liens entre satisfaction au travail et personnalité sous l'angle particulier du monde du travail. Ces auteurs développent un modèle qui identifie quatre aspects de la personnalité : l'estime de soi, l'efficacité ressentie ("self-efficacy"), le locus of control et l'absence de névrotisme. Chacun de ces traits de personnalité va jouer sur la satisfaction de l'individu en modifiant la perception des caractéristiques de l'emploi, les réactions émotionnelles, l'évaluation cognitive ou encore les performances (Bono and Judge, 2003).

3.4.4 Les modèles comportementaux

La relation entre attitude et comportement demande une extrême précaution Ajzen (2001). Elle doit notamment identifier une relation générale entre attitude et disposition, puis entre des attitudes plus spécifiques et des comportements limités et conditionnés par la personnalité, les anticipations, les valeurs de l'individu, etc.

A partir d'un constat d'échec (Spector, 1997) d'étude de la relation entre attitude au travail et performance, (Ajzen, 2011) développe le modèle théorique de l'action raisonnée pour mieux saisir la relation : l'idée est de considérer non pas directement l'impact de la satisfaction sur le déclenchement de comportement, mais d'envisager une médiation. Notamment, (Harrison et al., 2006) nous expliquent que la satisfaction dans l'emploi est une attitude générale et ne peut pas en tant que telle être utilisée comme antécédent d'un comportement en particulier. D'après les auteurs, il est primordial de prendre en compte le caractère général de la satisfaction dans l'emploi, qui n'est pas une attitude envers un type d'action ou un contexte particulier. En d'autres termes, l'attitude n'implique qu'une intention, là où pour déclencher un comportement beaucoup d'autres conditions psychologiques doivent être réunies.

3.4.5 Synthèse de l'attitude au travail

Dans cette section nous avons résumé les tendances de l'étude de la satisfaction au travail en psychologie : celle-ci se caractérise par le consensus récent autour de la conception de la satisfaction comme une attitude au travail. Ce nouveau champ de recherche est dominé par l'approche cognitive, essentiellement représentée par la théorie classique des divergences. Les modèles issus de cette théorie ont clairement identifié l'évaluation comparative de l'emploi comme le mécanisme cognitif central dans l'élaboration de la satisfaction au travail. Les recherches de Hulin and Judge (2003) ont permis de montrer les processus à l'œuvre, alors que le modèle des jugements multiples de Warr (2012) a permis de caractériser plus précisément l'évaluation des standards de comparaison.

Deux tendances récentes ont ouvert de nouveaux champs d'analyse : les émotions sur le lieu de travail et l'importance de la personnalité dans les évaluations et affects au travail. L'approche des émotions manque cependant de données empiriques validées. Mais elle a permis d'atteindre un

consensus à propos de l'objet des études empiriques : elles investissent la dimension cognitive de la satisfaction. En cohérence avec nos types de données, nous avons donc préféré nous concentrer sur la dimension cognitive. Par ailleurs, la personnalité est plus souvent étudiée en relation avec les affects. Nous n'avons pas trouvé de modèle qui permette de relier personnalité et évaluation de l'emploi. Enfin, la dimension comportementale de l'attitude a été écartée parce qu'elle nécessite un travail de modélisation à part entière pour caractériser les intermédiaires nombreux entre élaboration de la satisfaction et déclenchement du comportement, comme le montrent les modèles récents.

Dans la section suivante, nous détaillons le second domaine d'étude majeur sur la satisfaction dans l'emploi : les recherches dans le domaine économique.

3.5 Les modèles en économie

Dans son travail séminal, [Easterlin \(1974\)](#) pose la question fondamentale de la place du développement économique dans le bonheur des nations. Sa contribution perdure aujourd'hui sous la forme d'un paradoxe : la croissance économique ne fait pas le bonheur de tous. Par extension, ce paradoxe général est aujourd'hui augmenté d'une contradiction touchant directement les travailleurs : malgré l'amélioration globale de la qualité du travail depuis la fin des trente glorieuses, la satisfaction au travail semble stagner voire reculer ([Baudelot and Gollac, 2003](#) ; [Gollac and Volkoff, 2007](#) ; [Larguem, 2009](#)). Un champ de recherche s'est ouvert en économie pour élucider ces paradoxes et étudier l'impact du bonheur au travail sur l'économie des organisations [Van Praag and Ferrer-i Carbonell, 2004](#). Dans la première section 3.5.1, nous revenons sur les modèles en économie qui étendent la notion d'utilité pour étudier la satisfaction au travail. La seconde section 3.5.2 est consacrée à l'émergence de l'économie du bonheur et le développement des modèles empiriques

3.5.1 Les modèles basés sur la notion d'utilité

Deux verrous essentiels à la prise en compte de la satisfaction dans les études économiques ont été levés au cours du 20^{ème} siècle [Davoine \(2012\)](#) : le premier aspect tient à la réhabilitation des principes de psychologie dans l'étude des faits économiques ([Simon, 1972](#)), et le second au retour à une conception de l'utilité basée sur l'expérience subjective plus que sur les manifestations objectives [Kahneman et al. \(1997\)](#). La conséquence directe de ce changement théorique est une prise en compte des données empiriques pour tester les modèles en économie. Ensuite, les modèles d'utilité avérée ont peu à peu laissé place aux modèles d'utilité expérimentée, dont plusieurs ont été adaptés à l'étude de la satisfaction au travail

Le modèle input / output Le modèle de [Sousa-Poza and Sousa-Poza \(2000\)](#) est fortement inspiré du modèle Cornell de [Smith et al. \(1969\)](#). Il a vocation à discerner les causes d'une différence de satisfaction entre les pays, en se fondant sur la perception subjective des travailleurs. Le modèle s'articule sur une bi-partition des caractéristiques du travail en input (les plaisirs) et output (les peines). Les "work-role inputs", c'est-à-dire ce que l'individu apporte à son emploi comme les diplômes et compétences, temps de travail ou son effort, diminue, toute chose égale par ailleurs, la satisfaction dans l'emploi. Les "work-role outputs", c'est-à-dire ce que l'individu retire de son emploi comme le salaire, les avantages non pécuniaires, son statut et les aspects intrinsèques, augmente, toute chose égale par ailleurs, la satisfaction dans l'emploi. Les demandes (work-role inputs) et gains (work-role outputs) sont établis subjectivement et font l'objet d'une agrégation calibrée sur données empiriques.

La principale critique adressée au modèle input / output est son caractère statique : il ne prend pas en compte l'évolution des caractéristiques de l'emploi. Seul compte le déséquilibre entre plaisirs et déplaisirs immédiats. [Kahneman et al. \(1997\)](#) a par exemple remplacé l'utilité anticipée (par rapport aux événements attendus dans le futur) ou remémoré (par rapport aux événements vécus par le passé) au coeur de l'étude économique du bonheur. Par ailleurs, ce modèle ne permet pas de mieux définir les avantages et inconvénients de l'emploi que ne le faisait le modèle Cornell (voir section 3.3) : la distinction entre apports et bénéfices du travail n'est pas toujours claire, elle fait par exemple abstraction des bénéfices intrinsèques [Davoine \(2012\)](#) ou de l'accomplissement dans le travail [Deci and Ryan \(2000\)](#).

L'heuristique Peak-End Le concept d'heuristique développé par [Kahneman et al. \(2003\)](#) a été utilisé dans le cadre de l'étude du bonheur, notamment pour caractériser l'évaluation rétrospective, positive ou négative, d'un épisode passé. Les auteurs développent un modèle d'utilité considéré comme la somme des plaisirs et des déplaisirs vécus : ils s'inscrivent dans l'étude économique du bonheur et la notion benthamienne d'utilité ([Kahneman et al., 1997](#)). Ainsi l'individu établit sa satisfaction à différents niveaux : utilité remémorée qui agrège les expériences associées à un épisode passé, celle prédite qui anticipe les expériences futures et celle totale qui intègre uniformément l'ensemble des expériences d'un individu. Dans ce paragraphe, nous nous intéressons plus précisément à l'heuristique "Peak-End". Elle a été développée par [Kahneman \(2000\)](#) pour évaluer l'utilité remémorée d'un épisode qui s'établit sur deux aspects : le sentiment remémoré le plus fort au cours de l'épisode et ceux les plus proches dans le temps. L'objectif est de comprendre comment un individu évalue les situations du passé : plutôt que de prendre en compte l'ensemble des émotions vécues, l'individu sélectionne les deux informations les plus saillantes, à savoir la dernière et la plus forte émotion ressentie. Il opère alors une agrégation de ces deux impressions.

En appliquant ce modèle à l'étude du bonheur dans la vie, [Diener et al. \(2001\)](#) ont identifié l'effet "James Dean" : les individus ont tendance à préférer ressentir des émotions fortes et posi-

tives durant leur vie quitte à vivre des événements récents négatifs, plutôt qu'un ressenti égal sur l'ensemble de leur vie. La force des épisodes majeurs permet de compenser en partie une situation d'un passé récent ressentie négativement.

Lifetime Utility Model (LUM) Le modèle développé par [Levy-Garboua and Montmarquette \(2004\)](#) puis étendu dans [Levy-Garboua et al. \(2007\)](#) se base sur le principe de gaps d'utilité expérimentée : la satisfaction résulte de la différence entre ce qui arrive effectivement et ce qui aurait pu advenir. Concrètement, les auteurs mettent en place une fonction (figure 3.5.1) à trois termes, reproduite ci-dessous :

$$J^{a*} \equiv \sum_{t=1}^a \frac{y_t - y_t^*}{(1+r)^{t-1}} + \frac{E_a V_a - E_a V_a^*}{(1+r)^a} + v_a - v_a^* \quad \text{and}$$

$$J^a = \begin{cases} 1, & \text{if } J^{a*} > 0 \\ 0, & \text{if } J^{a*} \leq 0 \end{cases}$$

Figure 3.5.1 : Modèle LUM d'après [Levy-Garboua and Montmarquette \(2004\)](#)

La variable interne J^{a*} , qui représente la satisfaction expérimentée, est fonction de la somme pondérée des différences entre revenus actuels (y_t) et revenus alternatifs (y_t^*), revenus espérés ($E_a V_a$) et alternatifs dans le futur ($E_a V_a^*$) et l'ensemble des avantages non pécuniaires actuels (v_a) et alternatifs (v_a^*). a représente la dimension temporel du modèle : la satisfaction se fonde sur l'agrégation d'une succession de gaps perçus dans le présent et dans le passé proche. En effet, la pondération des termes de la fonction correspond à un taux de décroissance en fonction de l'éloignement de la différence perçue dans le temps. En d'autres termes, plus un épisode est loin dans le temps, moins l'évaluation des divergences entre la situation et les alternatives passées aura de poids dans la satisfaction actuelle. La variable J^a est la satisfaction déclarée des individus et s'exprime sous une forme binaire.

Apport et critique des modèles basés sur la notion d'utilité L'apport des modèles d'utilité est essentiellement d'avoir proposé une manière de modéliser l'évaluation des situations passées. Le principe général est une comparaison de la situation présente avec des événements pris dans un passé proche ou associés à une émotion forte. La critique majeure des modèles basés sur l'utilité est de ne pas directement représenter les mécanismes de la comparaison ou de mémorisation : ils se limitent à exprimer les résultats du processus, sans en développer les aspects dynamiques.

3.5.2 *Les modèles empiriques : l'économie du bonheur*

L'économie du bonheur est un courant principalement économétrique qui s'est consolidé au cours des années 90 (Davoine, 2012). A la suite du paradoxe séminal souligné par Easterlin (1974), différentes régularités empiriques soulèvent des questions similaires, par exemple, la courbe en U de la satisfaction en fonction de l'âge (Brush et al., 1987 ; Clark et al., 1996). D'après ces études empiriques, la satisfaction dans l'emploi est importante au début de la vie active, diminue jusqu'à l'âge de 40 ou 50 ans environ, et remonte jusqu'au moment de la retraite. Différents mécanismes ont été avancés pour expliquer ce phénomène. Parmi ceux-ci deux sont particulièrement étudiés : le modèle de l'habituation Hulin (1991) et le modèle des aspirations Büssing and Bissels (1998). Le premier postule que l'adaptation aux conditions de vie fait peu à peu diminuer l'apport positif de l'indépendance due à l'entrée dans le monde du travail faisant ainsi chuter la satisfaction. Néanmoins, cette perspective a été abandonnée parce qu'elle ne permettait pas de comprendre le regain de satisfaction après 50 ans. Dans le second modèle la satisfaction découle de la comparaison entre situation présente et la situation à laquelle on aspire dans l'immédiat ou le futur proche. L'hypothèse qui découle de ce modèle est la plus communément admise : la satisfaction élevée en début de vie active diminue en raison d'aspirations fortes, puis remontent par réajustements stratégiques Poggi (2010).

D'autres questions de ce type animent la recherche en économie du bonheur : la meilleure satisfaction des femmes à conditions de travail équivalentes voire inférieures aux hommes (Hodson, 1989 ; Clark, 1997), la satisfaction faiblement corrélée aux variations de revenu (Clark and Oswald, 1996 ; Van Praag and Ferrer-i Carbonell, 2002 ; Senik, 2009) et négativement à celui du niveau d'études (Clark and Oswald, 1996). Cependant, ces constats empiriques sont largement nuancés et les études statistiques convergent rarement, notamment en tenant compte des différences internationales (Clark, 1998 ; Davoine, 2006 ; Skalli et al., 2008) mais également méthodologiques au niveau des outils de mesure (Iglesias et al., 2010) ou d'analyse (Spector, 1997).

3.5.3 *Synthèse de l'étude économique de la satisfaction*

En réhabilitant les données subjectives et les mécanismes psychologiques dans les phénomènes économiques, H.Simon et D.Kahneman ont ouvert la voie à l'étude de la satisfaction en économie. Cela s'est traduit par l'émergence de l'économie du bonheur. L'apport de ce domaine à notre problématique est double : d'abord, plusieurs modèles fournissent une représentation des évaluations de la situation de travail en comparaison avec les situations passées et celles auxquelles on aspire à l'avenir. Deuxièmement, les régularités empiriques des études statistiques dessinent un horizon de validation à long terme pour notre projet de recherche : reproduire la courbe en U de la satisfaction ou le faible impact des revenus sur la satisfaction, représentent par exemple des perspectives de validation.

3.6 Les modèles de simulation sociale

Les modèles de simulation de la satisfaction au travail sont très peu nombreux. A notre connaissance, il en existe deux : une simulation développée par [Vancouver and Weinhardt \(2012\)](#) dont l'objectif premier est didactique (i.e. diffuser les méthodes de modélisation par simulation en psychologie). Les auteurs appliquent leur démarche de modélisation à la satisfaction dans l'emploi à la manière d'un cas d'école. Le second modèle de simulation est développé par [Tarvid \(2011\)](#) et amélioré dans [Tarvid \(2014\)](#). Il s'agit du seul modèle multi-agents de la satisfaction à notre connaissance. L'objectif de l'auteur est de fournir une mécanique de décision au niveau des agents dans le cadre de leur comportement sur le marché du travail. Nous développons ces modèles dans la première partie (3.6.1) de cette section.

De part notre positionnement nous avons également été amenés à nous confronter au modèle de dynamique d'opinion. Ces modèles sont communément décrits comme des modèles de formation d'attitude, concept fortement associé à la satisfaction comme nous l'avons vu dans la section 3.4. Nous revenons, dans la dernière partie (3.6.2) de cette section, sur le modèle bounded confidence qui a fortement influencé ce courant de modélisation multi-agents et sur ses diverses extensions.

3.6.1 Les modèles computationnels de la satisfaction

Nous nous sommes trouvés relativement isolés dans notre démarche tant les modèles de simulation de la satisfaction manquent. Dans cette section nous proposons de revenir sur les deux contributions récentes qui ont ouvert ce champ de recherche.

Modèle cybernétique de satisfaction Le modèle de [Vancouver and Weinhardt \(2012\)](#) est un modèle computationnel basé sur l'attitude au travail. La satisfaction est représentée par une variable continue non bornée, calculée à partir des différences cumulées dans le temps entre perception des caractéristiques du travail et caractéristiques désirées par l'individu. Le modèle implémente donc le principe des divergences. Il intègre également la notion d'ajustement stratégique ("copying") : ce dernier modifie les perceptions des caractéristiques en fonction du niveau de satisfaction et des divergences. Le modèle complet est représenté dans la figure 3.6.1 ci-dessous. La critique que l'on peut adresser au modèle de [Vancouver and Weinhardt \(2012\)](#) est de ne pas explicitement modéliser les mécanismes identifiés dans la formation des attitudes : la satisfaction est une dérivée de la différence entre caractéristiques perçue et désirée. Les processus psychologiques ne sont donc pas explicitement modélisés. Par ailleurs, la valeur des caractéristiques n'intègre pas les spécificités de l'individu : la fonction de perception est une fonction objective de l'état de l'environnement. Enfin, les standards de comparaison (i.e. les caractéristiques désirées)

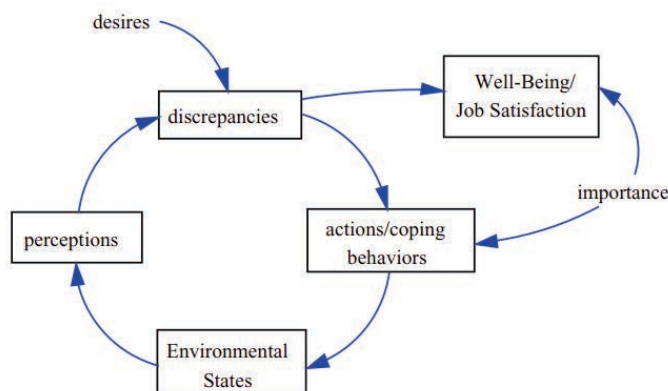


Figure 3.6.1 : Modèle de simulation de la satisfaction proposé par Vancouver and Weingardt (2012)

sont fixés a priori et ad hoc par le modélisateur. Néanmoins, l’auteur propose une manière simple et concise de représenter sous la forme d’un modèle de simulation la théorie des divergences.

Modèle multi-agents de la satisfaction À notre connaissance, il n’existe qu’un seul modèle multi-agents de la satisfaction au travail (Tarvid, 2011). Il a été développé comme antécédent des décisions des agents d’un modèle de marché du travail : l’auteur propose “a way to incorporate JS [job satisfaction] in an agent-based model of labour market, explicitly making several factors affect individuals’ decision-making.” C’est donc dans une perspective économique d’étude de marché que l’auteur mobilise un modèle de satisfaction.

Tarvid (2011) propose de modéliser le choix de quitter un emploi en considérant la différence entre satisfaction espérée et actuelle. La première peut être calculée pour tout emploi sur le marché du travail : elle dépend du ratio entre revenu proposé et revenu de réserve, ainsi que du nombre d’amis dans l’organisation. La satisfaction actuelle reprend les mêmes déterminants mais ajoute une variable stochastique qui traduit l’activité de travail réel de l’agent (“a stochastic component tracking the experience of the person on the job”). Dans Tarvid (2014) le modèle de satisfaction est étendu, et ce dernier aspect intègre deux caractéristiques binaires : le caractère manuel ou non du travail et la taille de l’entreprise (petite ou grande). La satisfaction est modélisée sous la forme d’une simple fonction d’utilité qui agrège ces 4 déterminants objectifs.

Nous nous démarquons du modèle Tarvid (2014) sur au moins trois aspects. Premièrement, la relation entre satisfaction et comportement est délicate, et la décision de quitter l’entreprise ne peut être fondée sur l’insatisfaction seule (voir section 3.4.4). Deuxièmement, le poids du soutien social ou de l’activité ne peut se résumer à des variables objectives : l’évaluation de ces caractéristiques majeures du travail relève de processus psychologiques complexes, notamment détaillés dans les modèles d’attitude au travail (voir section 3.4). Par exemple, rien n’indique que le sou-

3.6. LES MODÈLES DE SIMULATION SOCIALE

lien social est une fonction croissante du nombre d'amis dans l'organisation : pour les théories en psychologie, le soutien social intervient en premier lieu dans la gestion émotionnelle du travail (Sherbourne and Stewart, 1991) et l'aide fonctionnelle apportée dans l'activité de travail par les collègues et les managers (Karasek et al., 1998). Enfin, l'individu établit l'évaluation de son travail en prenant en compte les situations passées et la situation des autres individus dans l'organisation. Ces deux aspects majeurs sont absents du modèle proposé dans Tarvid (2014).

3.6.2 Les modèles d'attitude en simulation sociale

La modélisation multi-agents des dynamiques d'opinions s'attache essentiellement à voir comment un consensus émerge dans une population par l'interaction de ces membres. L'attitude d'un agent est alors le fruit de l'influence mutuelle des opinions exprimées par les autres agents. Nous développons dans les deux paragraphes qui suivent les modèles dominants dans ce champ.

Le modèle bounded confidence Le modèle bounded confidence (Deffuant et al., 2000) décrit l'attitude d'un agent sous la forme d'une valeur continue positive ou négative, comprise entre 1 et -1. Les agents interagissent par dyade : si les opinions des deux agents sont assez proches, l'interaction résulte en un rapprochement des attitudes ; à l'inverse, si elles sont trop opposées les deux agents restent sur leur position respective. Les simulations de ce modèle simple ont conduit à l'émergence de dynamiques globales hétérogènes, avec différents régimes de polarisation des attitudes : convergence unique vers une attitude consensuelle ou extrême, ou une bi-polarisation des attitudes. Par la suite, ce modèle a évolué pour intégrer une variable d'incertitude sur les attitudes. Le modèle de Relative Agreement (Deffuant et al., 2002) ajoute deux nouvelles mécaniques à l'interaction des agents : les agents dont l'incertitude est faible (i.e. ils sont convaincus de leurs opinions) sont susceptibles de plus influencer l'attitude des autres agents, et sont également moins sensibles à leur influence. Ce modèle augmenté a notamment permis d'étudier des dynamiques de polarisation aux extrêmes plus en accord avec les observations dans le domaine de la diffusion de l'innovation Deffuant et al. (2005) par exemple.

Malgré un consensus autour de ce modèle, il nous apparaît d'un faible apport pour notre problématique : la diffusion d'opinions et les mécanismes de persuasion n'ont pas été identifiés comme des antécédents de l'attitude au travail. Notamment, Salancik and Pfeffer (1977) et Salancik and Pfeffer (1978) ont proposé de fonder la satisfaction sur la diffusion d'informations. Si leur perspective a permis de questionner la pertinence des modèles des besoins fondamentaux en replaçant la satisfaction au niveau de l'évaluation des agents, elle a aujourd'hui été abandonnée dans le domaine de l'étude de l'attitude au travail, notamment parce qu'elle n'est pas empiriquement fondée (Weiss and Cropanzano, 1996 ; Spector, 1997).

Le modèle des attitudes multiples Dans le modèle de [Urbig and Malitz \(2007\)](#) l'attitude n'est plus représentée sous la forme d'une variable unique mais par un vecteur d'impacts. Ces impacts représentent l'évaluation des caractéristiques de l'objet par l'agent qui cherche à fixer son attitude. L'attitude de l'agent est élaborée comme une agrégation en moyenne de ces valeurs. La représentation des antécédents de l'attitude est un point important, même si la formation de ces évaluations n'est pas directement modélisée. En effet, ces impacts sont définis aléatoirement et la dynamique de l'attitude se résume ensuite à la loi d'évolution définie par le modèle Relative Agreement ([Deffuant et al., 2002](#)). On retrouve donc une logique de diffusion d'opinions plutôt qu'un mécanisme de formation d'attitudes à proprement parler.

L'inconvénient majeur du modèle des attitudes multiples est de ne pas modéliser explicitement la formation des évaluations qui vont déterminer l'attitude des agents. A l'instar du modèle bounded confidence, il se cantonne à modéliser la dynamique de diffusion des opinions à partir de règles d'interaction simples et d'étudier la répartition des attitudes qui en résulte. Cependant, l'ajout majeur est de considérer l'attitude comme l'agrégation d'un ensemble d'évaluation sur les caractéristiques de l'objet de l'attitude.

3.6.3 Synthèse des modèles en simulation sociale

Nous n'avons trouvé que deux modèles computationnels de la satisfaction dans l'emploi. Nous sommes dans un champ de recherche relativement peu exploré. Le manque d'investigation s'explique principalement par l'émergence récente et timide d'un courant de simulation informatique en psychologie [Ilgen and Hulin \(2000\)](#), alors que la satisfaction est principalement étudiée et modélisée dans ce domaine.

Par ailleurs, la modélisation des attitudes dominantes dans le champ de la simulation sociale est fondée sur un modèle de diffusion et de consensus. Comme nous l'avons vu, ces modèles sont plus adaptés à la modélisation d'attitudes envers des objets sociaux que d'attitudes à propos d'activités et de domaines de la vie plus intimement liés à la psychologie des individus. Par conséquent, l'attractivité de la satisfaction dans le domaine de la simulation des attitudes apparaît faible en comparaison des modèles bien établis de dynamiques d'opinions.

Nous souhaitons dans notre effort de modélisation proposer un modèle multi-agents de formation d'attitudes au travail. Nous nous démarquons principalement des modèles existants par notre volonté de représenter les mécanismes identifiés en psychologie dans l'élaboration cognitive de la satisfaction. Notamment la diffusion des attitudes y joue un rôle mineur, alors que l'évaluation des caractéristiques individuelles du travail est le point central.

3.7 Conclusion

Comme nous l'avons vu dans les section de ce chapitre, les données d'enquêtes sur la satisfaction reflètent essentiellement la dimension cognitive de l'évaluation de l'emploi (Weiss, 2002 ; Mignonac, 2004 ; Garcia-Prieto et al., 2005 ; Iglesias et al., 2010). Notre démarche a consisté à travailler en amont de la modélisation avec des données de terrain (voir chapitre 2) issues d'enquêtes². Cette base de travail nous a conduit à nous concentrer sur la dimension cognitive de la satisfaction dans l'emploi.

Nous avons présenté dans ce chapitre les grands courants de modélisation de la satisfaction dans l'emploi. Les apports théoriques de la psychologie nous semblent particulièrement adaptés à notre perspective. Nous avons identifié le modèle des divergences comme étant le plus en adéquation avec nos ressources, notre méthode et nos besoins : comme nous l'avons décrit dans ce chapitre, il fait l'objet de nombreuses recherches théoriques qui font consensus depuis sa première formalisation consistante dans les travaux de Locke (1969).

Enfin, ce modèle est particulièrement pertinent dans le cadre d'une modélisation mutli-agents qui permet d'identifier dynamiquement les standards de la comparaison, notamment sur le plan de la comparaison sociale. Les modèles économiques ont également servi à formaliser les mécanismes de la comparaison historique et peuvent facilement être intégrés au raisonnement des agents de notre modèle. A terme, les faits stylisés forment également un horizon de validation. Nous présentons dans le chapitre suivant, nos proposition de modélisation multi-agents de la satisfaction au travail.

2. Elles sont détaillées dans la section 5.1

4

Happywork : un modèle basé agent de la satisfaction au travail

Suite à une revue des modèles de satisfaction en psychologie (Locke, 1969 ; Hackman and Lawler, 1971 ; Michalos, 1985 ; Deci and Ryan, 1985 ; Weiss and Cropanzano, 1996 ; Spector, 1997 ; Hulin and Judge, 2003 ; Warr, 2007), économie (Kahneman, 2000 ; Sousa-Poza and Sousa-Poza, 2000 ; Levy-Garboua and Montmarquette, 2004 ; Skalli et al., 2008 ; Larguem, 2009 ; Clark, 2010) et simulation sociale (Tarvid, 2011 ; Vancouver and Weinhardt, 2012) nous avons identifié l'évaluation comparative des caractéristiques de l'emploi comme le mécanisme cognitif central d'élaboration de la satisfaction. Dans les sections qui suivent nous revenons sur la modélisation des processus de cette évaluation dans le modèle Happywork.

4.1 La dimension cognitive et le principe des divergences

L'évaluation cognitive de l'emploi de nos agents se fait à travers la comparaison de leurs caractéristiques à celles de standards. Sur la base de notre revue de littérature dans le chapitre 3 précédent, nous avons identifié trois types de standards de comparaison (Michalos, 1985 ; Senik, 2009 ; Veenhoven, 2009 ; Warr, 2007, 2012) :

1. sociale : comparaison avec les situations de travail occupées par d'autres individus - soit des référents sociaux r .

4.1. LA DIMENSION COGNITIVE ET LE PRINCIPE DES DIVERGENCES

2. historique : comparaison avec les situations de travail vécues par le passé - soit des référents historiques h .
3. contre-factuelle : comparaison avec les situations anticipées auxquelles on aspire ou qui se posent comme alternatives

Nous avons choisi de nous focaliser sur les deux premières, compte tenu des difficultés à concevoir les capacités d'évaluation des caractéristiques futures nécessaires à la dernière forme de comparaison. Par ailleurs, nous limitons notre modèle de comparaison au cadre de l'organisation ; nous ne prenons pas en considération l'interaction entre vie familiale et vie professionnelle, où les comparaisons entre conjoints jouent fortement (Senik, 2009 ; Clark and Senik, 2009) ; ou la comparaison avec les emplois alternatifs sur le marché du travail (Sousa-Poza and Sousa-Poza, 2000 ; Levy-Garboua and Montmarquette, 2004). Dans la mesure où l'évaluation de l'emploi n'est pas tout entière capturée par les comparaisons avec les autres employés et les situations passées, nous avons souhaité intégrer un troisième processus d'effet direct des conditions de travail sur la satisfaction (voir section 4.4). Ce dernier mécanisme représente un ensemble de sources d'évaluation non prises en considération, comme la satisfaction des besoins ou l'impact des caractéristiques sur la santé (voir section 4.4 pour plus de détails). Basé sur le principe des divergences, notre modèle cognitif de satisfaction est résumé dans le schéma suivant :

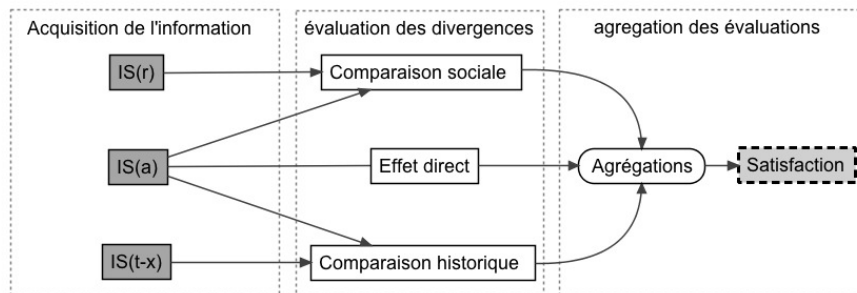


Figure 4.1.1 : Schéma du modèle cognitif d'élaboration de la satisfaction

Avec $IS(a)$ l'état interne de l'agent représenté par la perception des caractéristiques de son emploi, $IS(r)$ et $IS(t-x)$ l'état des conditions d'emploi et de travail des situations professionnelles référentes, respectivement sociales (section 4.2) et historiques (section 4.3). L'évaluation des divergences se fonde sur les théories de l'attitude au travail décrite dans la section 3.4 du chapitre précédent. Nous détaillons dans la section qui suit, la modélisation de cette évaluation que nous proposons.

4.1.1 Définition des divergences

D'après la théorie des divergences – discrepancies theory - le mécanisme central d'évaluation peut être décrit comme suit : l'individu met en parallèle les caractéristiques de son emploi - avec $IS(a) = [q_{1a}, \dots, q_{na}]$ le vecteur de perceptions q_a des caractéristiques de l'emploi $Q = \{q_1, \dots, q_n\}$ - et les éléments qui caractérisent l'emploi de référence - $IS(s) = [q_{1s}, \dots, q_{ns}]$ l'état de la situation référente sur ces mêmes caractéristiques. $\Delta(a, s)$ représente le vecteur des comparaisons caractéristique par caractéristique pour l'agent a se comparant à la situation référente s .

$$\Delta(a, s) = [\delta(a, s, q_1), \dots, \delta(a, s, q_n)] \quad (4.1)$$

Avec $s = [r, h]$, r un référent social et h une situation référente dans le passé. Les divergences - notées $\delta(a, s, q)$ sur la caractéristique q pour a et s - leur amplitude et leur signe déterminent le niveau de satisfaction de l'agent. Il constitue l'élément central de l'évaluation de l'emploi : elle représente des croyances ou connaissances relatives à des standards ; par exemple « je suis mieux payé qu'un tel » ou « par le passé, mon emploi était plus répétitif ». Les divergences se calculent comme des distances relatives entre deux caractéristiques ; avec $\max(q_i)$ et $\min(q_i)$ les valeurs respectivement maximum et minimum possibles pour la caractéristique q_i ; $q_i(a)$ et $q_i(s)$ la valeur de la caractéristique pour l'agent a et la situation référente s . La divergence s'établit comme suit :

$$\forall q_i \in Q \quad \exists \delta(a, s, q_i) \in [-1; 1]$$

$$\delta(a, s, q_i) = \frac{q_{ia} - q_{is}}{\max(q_i) - \min(q_i)} \quad (4.2)$$

En nous inspirant des théories de la comparaison sociale ([Suls and Wheeler, 2012](#)) on considère le contenu de la comparaison selon deux modalités : les comparaisons ascendantes et descendantes. Quand $\delta(a, s, q_i) > 0$ il s'agit d'une comparaison descendante : cela signifie que a considère qu'il est meilleur sur la caractéristique q que la situation de référence s ; et d'autant plus que cette valeur est proche de 1. A l'inverse, si $\delta(a, s, q_i) < 0$ il s'agit d'une comparaison ascendante : cela signifie que a s'évalue moins bon sur la caractéristique q que la situation de référence s ; et d'autant moins bon que cette valeur est proche de -1 . Si $\delta(a, s, q_i) = 0$, alors a juge que sa caractéristique q_i est identique à celle de s .

L'ensemble des caractéristiques de l'emploi est issu de données de questionnaires, tel que chaque question représente une caractéristique. Chacune d'elles doit être exprimée sous la forme d'une échelle de Lickert, c'est-à-dire par un ensemble de valeurs ordonnées parmi lesquelles l'individu enquêté choisit¹. Par ailleurs, chaque caractéristique q appartient à une dimension abs-

1. A titre d'exemple, nous avons reproduit en annexe C la partie du questionnaire utilisé dans nos simulations

traite d de l'emploi, avec $D = \{d_1, \dots, d_m\}$. Celles-ci sont directement issues des modèles utilisés dans la conception des enquêtes et des questionnaires. Nous avons sélectionné ces dimensions, en collaboration avec Technologia : Condition d'emploi, Latitude décisionnelle, Demande psychologique et Soutien social. Pour le détail des données utilisées dans les simulations, se référer à la section 5.1.

Dans les sections suivantes, nous décrivons successivement les deux mécanismes de comparaison puis l'effet direct des caractéristiques. La dernière section de ce chapitre aborde la question de l'agrégation des résultats de l'évaluation en satisfaction par dimension et puis dans un indicateur de satisfaction globale.

4.2 Mécanismes de comparaison sociale

Le processus de comparaison sociale se base sur le vecteur des divergences - $\Delta(a, r)$ - entre les caractéristiques de la situation professionnelle de l'agent a et d'un agent référent r

$$\Delta(a, r) = [\delta(a, r, q_1), \dots, \delta(a, r, q_n)] \quad (4.3)$$

Les mécanismes que nous avons retenus sont directement inspirés du SAM de [Mussweiler \(2001, 2003\)](#) ; [Mussweiler et al. \(2004\)](#). Ils peuvent être décrits en 3 étapes : (1) la sélection des référents (2) une étape intermédiaire de production d'hypothèse et d'un test approfondi, (3) et enfin, l'évaluation des conséquences du contenu de la comparaison. Dans les sections qui suivent nous revenons sur les trois éléments séquentiels du processus complet de comparaison entre agents.

4.2.1 La sélection des individus référents

Pour la première étape, les référents de la comparaison sociale sont classiquement définis par leur similarité avec le comparant ([Suls et al., 2002](#) ; [Buunk and Gibbons, 2007](#) ; [Corcoran et al., 2011](#)). Cette démarche spontanée de sélection de référents peut également s'accompagner d'un choix stratégique : certains référents sont stratégiquement choisis en fonction des réactions attendues de la comparaison ; par exemple, [Suls and Wheeler \(2012\)](#) évoquent le principe d'une valorisation de soi par la comparaison, "self-enhancement motives". Dans le domaine de la comparaison au sein des organisations, les référents sont typiquement les personnes avec qui nous interagissons ([Hodson, 1985](#) ; [Shah, 1998](#) ; [Senik, 2009](#) ; [Clark and Senik, 2009](#)) et plus globalement les personnes dont nous sommes proches ([Greenberg et al., 2007](#)). En l'absence de données concernant les relations sociales au sein de l'entreprise, il est nécessaire d'édicter les règles de la proximité sociale : dans notre cas, un ensemble d'agents référents $SR(a)$ est sélectionné dans le réseau social de l'agent a . Dans un premier temps, les référents sont représentés par les voisins directs dans le réseau. Ce principe est cohérent avec la notion de proximité dans la sélection des référents ([Greenberg et al., 2007](#)). Mais l'agent peut être amené à se comparer à d'autres agents

au sein de l'organisation : par exemple, lors de rencontres occasionnelles durant une pause ou au moment du repas. Nous avons donc choisi de considérer un ensemble de référents occasionnels, noté $SR^C(a)$, susceptibles de changer dans le temps et sélectionnés aléatoirement dans le réseau.

$$SR(a) = \underbrace{SR^U(a)}_{\text{Constant}} \cup \underbrace{SR^C(a)}_{\text{Occasionnels}} \quad (4.4)$$

L'ensemble des référents sociaux intègre donc, une portion de collègues et/ou de supérieurs hiérarchiques (voir section D.2 pour une définition formelle de ces deux concepts) stables et une proportion $RN^C \in [0, 1]$ de référents qui changent au cours du temps. Nous détaillons dans la section suivante les modalités de la comparaison de l'agent a avec un référent quelconque r pris dans l'ensemble $SR(a)$.

4.2.2 Hypothèse et test de similarité/dissimilarité

A l'instar d'autres modèle multi-agents d'attitudes (Deffuant et al., 2000 ; Hegselmann and Krause, 2002 ; Urbig and Malitz, 2007), l'impact de l'interaction de deux agents est fonction de la proximité de ceux-ci. Les mécanismes d'évaluation de cette proximité sont dans notre cas fondés sur les théories de la comparaison sociale en psychologie, conformément aux principes psychométriques que nous soutenons (voir chapitre 2). Elle ne s'établit donc pas directement sur l'attitude, comme dans le modèle "bounded confidence" Deffuant et al. (2002) ; Hegselmann and Krause (2002) mais sur les caractéristiques de l'agent et de son référent. Plus précisément la proximité des comparants découle d'une évaluation cognitive de similarité sur les caractéristiques des deux agents a et r .

D'après le modèle SAM les conséquences d'une comparaison dépendent essentiellement de deux aspects : le premier est le contenu de la comparaison, i.e. une comparaison ascendante ou descendante, et le second est la tendance à se sentir similaire ou au contraire plutôt différent de son référent – ou selon les termes employés par l'auteur : "category membership assessment" (Mussweiler, 2003). La similarité/dissimilarité des comparants est capturée à la suite d'un processus de formation d'hypothèse puis de confirmation par l'agent qui se compare : le $mod(a, r) \in [0, 1]$ représente l'évaluation spontanée des dissimilarités entre a et r . Le concept utilisé par Mussweiler (2003) est l'ancrage : ce mécanisme psychologique permet d'évaluer rapidement une idée, une image ou un individu en utilisant un minimum d'informations considérées comme importantes ; ainsi l'individu dispose d'un ancrage psychologique pour élaborer un jugement pertinent et subjectivement fondé. Cet ancrage prend en compte un ensemble restreint de caractéristiques - noté $SF(Q)$ - saillantes, relativement objectives et accessibles, pour évaluer la proximité des comparants. Cette hypothèse de similarité (Mussweiler, 2003), élaborée spontanément, sert d'orientation principale au jugement qui suit (Tversky and Kahneman, 1974 ; Mussweiler and Strack, 1999). Par convention $mod(a, r) = 0$ signifie que a se sent en tous points

4.2. MÉCANISMES DE COMPARAISON SOCIALE

similaire à r et $\text{mod}(a, r) = 1$ que a s'estime en tous points différent de r . Le calcul s'élabore alors comme une distance relative sur le vecteur des caractéristiques saillantes calculée en mobilisant les divergences définies plus haut :

Algorithm 1 : Calcul de l'hypothèse de similarité

```
Result :  $\text{mod}(a, r)$ 
Procedure ANCHORING ( $a, r$ )
1  |  foreach  $q \in SF(Q)$  do
2  |  |  if  $|\delta(a, r, q)| \geq \beta^S$  then
3  |  |  |   $\text{mod}(a, r) \leftarrow \text{mod}(a, r) + \frac{1}{|SF(Q)|}$ 
```

Le vecteur des caractéristiques $SF(Q)$ représente l'information importante dans la formation de l'ancrage. D'après [Mussweiler and Strack \(1999\)](#) le contenu de l'information va déterminer sa pertinence dans le processus SAM : plus elle est accessible plus elle aura de chance de constituer un ancrage pour le jugement. Nous posons comme hypothèse que les données objectives de l'emploi constituent ce type d'information. Le salaire, les horaires ou le niveau de diplôme sont des exemples de caractéristiques facilement transmissibles et non ambiguës. Par souci de simplicité les agents ont accès à l'ensemble de ces caractéristiques chez leurs référents sans aucun biais.

Par ailleurs le processus de formation de l'hypothèse d'ancrage (ou hypothèse de similarité) se base sur le paramètre β^S qui détermine la différence maximale entre deux caractéristiques pour que l'agent les considère similaires : en effet, dans le modèle SAM il ne s'agit pas d'une similarité parfaite mais d'un jugement subjectif qui procède par détermination de l'appartenance à une même catégorie établie sur des critères qualitatifs. Dans ce cadre β^S caractérise l'étendue des valeurs qui délimitent la similarité. Par exemple, il est vraisemblable que deux agents considèrent avoir un salaire identique non pas seulement s'ils ont exactement le même salaire, mais s'ils ont un salaire compris dans la même tranche. C'est cette catégorisation de la similarité, qualitative et subjective, que ce paramètre cherche à capter. Si $\beta^S = 0$ alors seule une égalité stricte transcrit la similarité ; en revanche, plus la valeur s'approche de 1, plus l'agent aura tendance à considérer les divergences comme négligeables et donc identifier des similarités en dépit de différences fortes sur les caractéristiques comparées.

L'agent sélectionne le processus d'évaluation des divergences parmi trois mécanismes concurrents en fonction de l'hypothèse d'ancrage formulée au préalable. Nous détaillons dans la section suivante le mécanisme de disqualification ("deflection") ([Suls et al., 2002](#)) ainsi que les deux modalités d'interprétation des comparaisons que sont l'assimilation et le contraste ([Suls and Wheeler, 2012](#)).

4.2.3 Interprétation des comparaisons par contraste ou assimilation

Les deux principales modalités de comparaison sont l’assimilation et le contraste. Ce sont deux manières d’interpréter le contenu de la comparaison, c’est-à-dire de déterminer l’impact cognitif de la comparaison sur l’évaluation de l’attitude de l’agent. L’effet de contraste peut être défini comme la conséquence intuitive de la comparaison : pour une personne mieux (moins bien) dotée que moi dans un domaine, la comparaison aura un impact négatif (positif) sur mon attitude (Mussweiler et al., 2004). L’assimilation, que l’on peut comprendre comme un principe d’empathie ou de projection, débouche sur la conséquence inverse (Wheeler and Suls, 2007) : pour une personne meilleure (moins bonne) que moi sur un aspect, la comparaison aura un impact positif (négatif) sur mon attitude. Nous faisons l’hypothèse d’un impact direct de la comparaison sur l’attitude dans l’emploi et pas sur l’évaluation des caractéristiques. En effet, rien n’indique dans les études en psychologie que la comparaison débouche sur la révision de la perception par les agents des caractéristiques comparées, comme c’est le cas dans les modèles de dynamiques d’opinions (Deffuant et al., 2002 ; Urbig and Malitz, 2007). Par exemple, si un agent compare son salaire, cela ne va pas le conduire à augmenter ou diminuer celui-ci mais à réviser l’impact que son niveau de salaire aura sur lui.

Dans notre modèle, $IC(a, r, q) \in [-1; 1]$ (impact comparison) représente l’impact de la comparaison sur l’attitude de a se comparant avec son référent r sur la caractéristique q : si cette valeur est positive, alors la comparaison aura un impact positif, toute chose égale par ailleurs, sur la satisfaction ; si elle est négative, alors la comparaison aura un impact négatif, toute chose égale par ailleurs, sur la satisfaction. Les impacts positifs ou négatifs de la comparaison en fonction de l’assimilation et du contraste sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	r est meilleur $\Rightarrow \delta(a, r, q) < 0$	a est meilleur $\Rightarrow \delta(a, r, q) > 0$
Assimilation	$IC(a, r, q) > 0$	$IC(a, r, q) < 0$
Contraste	$IC(a, r, q) < 0$	$IC(a, r, q) > 0$

Table 4.2.1 : Interprétation des divergences par assimilation ou contraste

Le tableau 4.2.1 ci-dessus se lit comme suit : en situation d’assimilation, un référent meilleur (1^{er} ligne, 1^{er} colonne) aura un impact positif sur l’attitude au travail de a . Par exemple, si je m’identifie à mon collègue et qu’il me dit avoir bénéficié d’une promotion, je serais alors enclin à penser que je pourrais également bénéficier d’une promotion. A l’inverse, un référent moins bien loti peut avoir un effet négatif (1^{er} ligne, 2^{er} colonne). Si par exemple, ce même collègue me déclare avoir peur de perdre son emploi, je peux également craindre que mon emploi soit menacé. En situation de contraste (2^{eme} ligne), l’impact $IC(a, r, q)$ conserve le signe de la divergence $\delta(a, r, q)$: soit un effet positif quand l’agent a se sent meilleur que r et négatif quand a se sent moins bon. Dans ce cas le mécanisme est plus intuitif. Par exemple, si mon voisin gagne plus d’argent, je serais enclin

à le jalouser ou à évaluer négativement mon salaire ; de la même manière, si je considère être moins autonome au travail que mon voisin, je serais enclin à considérer mon niveau d'autonomie comme insatisfaisant. L'impact de la comparaison par contraste est donc donné par la divergence elle-même :

$$IC(a, r, q) = \delta(a, r, q) \quad (4.5)$$

L'impact de l'assimilation dans la comparaison sociale fait l'objet de controverses (Collins, 1996 ; Smith, 2000 ; Wheeler and Suls, 2007). Notamment, si les circonstances de son déclenchement restent incertaines², Wheeler and Suls (2007) indiquent que les effets d'assimilations ne sont jamais complets : ils s'accompagnent d'effets de contraste. Mussweiler (2003) insiste sur le fait que la comparaison nécessite de considérer une part de différences et donc déclenche systématiquement un effet de contraste même minime. En situation de similarité avec le référent, l'agent pondérera l'interprétation des divergences par assimilation avec un élément résiduel de contraste. La pondération des deux effets est déterminée par le paramètre a^C et la réaction de l'agent à une comparaison par assimilation calculée comme suit :

$$\begin{aligned} IC(a, r, q) &= \overbrace{(1 - a^C) \cdot -\delta(a, r, q)}^{\text{assimilation}} + \overbrace{a^C \cdot \delta(a, r, q)}^{\text{contraste dans l'assimilation}} \\ &= \delta(a, r, q) \cdot (2 \cdot a^C - 1) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Le calcul de l'impact final de la comparaison de l'agent a à son référent r sur la caractéristique q est décrit dans l'algorithme 2 ci-dessous. On peut le résumer ainsi : dans un premier temps, l'agent teste la valeur de l'hypothèse $mod(a, r)$, puis en fonction du résultat du test il ajuste le mécanisme de comparaison. Il optera alternativement pour (a) l'arrêt de la comparaison (b) l'interprétation de la comparaison par assimilation ou (c) par contraste. Si l'ajustement conduit à une trop grande proportion de différences, i.e. que la variable d'ancrage $mod(a, r)$ est supérieure au seuil σ^D , l'agent considère qu'il se distingue trop de son référent pour que la comparaison soit pertinente (ligne 2). Il passe alors au référent suivant. En revanche, si l'ajustement indique une assez faible proportion de différences (ligne 5), i.e. que la variable d'ancrage est inférieure au seuil acceptable σ^A , alors l'agent interprétera les divergences par assimilation avec ce référent. Enfin, si l'agent n'est ni trop différent, ni trop semblable à son référent (ligne 8), il optera pour une interprétation de la comparaison par contraste.

L'algorithme opère sur tous les référents sociaux $SR(a)$ de l'agent a , et débouche sur l'interprétation de toutes les caractéristiques q contenues dans l'état de l'agent $IS(a)$ et qu'il connaît de l'état

2. Smith (2000) ; Wheeler and Suls (2007) avance que l'assimilation est le plus souvent associée à des effets positifs, et qu'elle pourrait être déclenchée stratégiquement (e.g. self-enhancement). Par ailleurs, il semble que des variables de personnalités, tels que le locus of control ou l'estime de soi, ou encore la croyance dans la possibilité de voir sa situation évoluer, constituent des conditions d'une réaction positive à une comparaison par assimilation (Collins, 1996)

Algorithm 2 : interprétation des divergences dans le modèle de comparaison sociale

```

Procédure COMPARISON( $a, SR(a)$ )
1   for  $r \in SR(a)$  do
2      $mod(a, r) \leftarrow ANCHORING(a, r)$ 
3     if  $mod(a, r) \geq \sigma^D$  then
4        $SR(a) \setminus r$ 
5     else
6       if  $mod(a, r) \leq \sigma^A$  then
7         for  $q_i \in IS(a) \cup IS(r)$  do
8            $IC(a, r, q_i) \leftarrow \delta(a, r, q_i) \cdot (2 \cdot \alpha^C - 1)$ 
9         else
10        for  $q_i \in IS(a) \cup IS(r)$  do
11           $IC(a, r, q_i) \leftarrow \delta(a, r, q_i)$ 

```

de ses référents $IS(r)$ avec $r \in SR(a)$. Comme nous l'avons souligné plus haut, nos agents sont en situation de communication pure et parfaite et interprètent donc l'ensemble des caractéristiques via la comparaison.

4.2.4 Agrégation des comparaisons sociales

L'évaluation de l'ensemble des comparaisons sociales notée $SC(a, d) \in [-1 : 1]$ se calcule en agrégeant les impacts $IC(a, r, q)$ pour chacune des dimensions de l'emploi. Le nombre de valeurs à agréger dépend du nombre de caractéristiques présent en compte ainsi que du nombre de référents de l'agent. Étant donné que le processus de comparaison sociale débouche potentiellement sur un grand nombre de réactions $IC(a, r, q)$, il est important de considérer le processus d'agrégation avec attention.

Nous nous sommes tournés vers des opérateurs d'agrégation moins usuels que les moyennes arithmétiques ou pondérées pour éviter notamment les effets trop prononcés de compensation ([Grabisch and Perny, 2003](#)). L'opérateur choisi appelé moyenne ordonnée doublement pondérée ([Torra, 1997](#)) ou Weighed OWA (WOWA), intègre une moyenne pondérée (WA) et une moyenne pondérée ordonnée (OWA).³ L'opérateur OWA permet de définir des profils d'agrégation pessimistes, neutres ou optimistes : les premiers vont insister sur les valeurs les plus faibles, les seconds n'opèrent pas de préférence alors que les derniers vont plus insister sur les valeurs les plus élevées. De part leur comportement, ces profils s'apparentent aux modèles de personnalité utilisés en psychologie organisationnelle et notamment le modèle positive/negative affectivity largement mobilisé dans les études empiriques sur la satisfaction au travail (e.g [Furnham et al., 2002](#) ; [Judge et al., 2008](#)).

3. Pour une description exhaustive de cet opérateur voir l'annexe B.

4.3. MÉCANISMES DE COMPARAISON HISTORIQUE

Le processus consiste à agréger les caractéristiques puis les référents. Dans un premier temps, il s'agit pour l'agent d'élaborer un score par dimension pour chaque référent - $ICD(a, r, d_j) \in [-11]$ - c'est-à-dire d'opérer une synthèse des impacts par caractéristique en suivant l'agrégation définie dans l'équation 4.7 :

$$ICD(a, r, d) = \underset{q \in d}{WOWA_{w, \gamma}} \left(\pi(w_i, \gamma_q) \cdot IC(a, r, q)_{\sigma(i)} \right) \quad (4.7)$$

Le vecteur de pondérations $\Gamma^Q = \{\gamma_{q_1}, \dots, \gamma_{q_n}\}$ traduit l'importance accordée aux caractéristiques dans l'agrégation. Dans notre cas, les questionnaires, sur lesquels se fondent les données, appliquent une pondération aux caractéristiques afin de calculer un score agrégé par dimension. Le vecteur des pondérations est donné par [Karasek et al. \(1998\)](#) en cohérence avec les outils d'enquêtes mis en place par l'entreprise Technologia.⁴ Par ailleurs, le calcul des poids w_i de l'Ordered Weighted Average (OWA) se fait en utilisant le paramètre $\kappa^A > 1$: il représente la tendance individuelle à évaluer avec un certain optimisme (ou pessimisme) les aspects abstraits du travail ; c'est-à-dire la tendance à considérer positivement ou négativement ses conditions d'emploi, le soutien social ou l'autonomie, par exemple.

Enfin, la dernière étape consiste à agréger les référents pour obtenir une évaluation par dimension, $SCD(a, d)$. Aucune hypothèse n'est faite a priori sur le poids de chacun des référents ; c'est pourquoi nous avons recours à une simple OWA.

$$SCD(a, d) = \underset{r \in SR(a)}{OWA_w} \left(w_i \cdot ICD(a, r, d)_{\sigma(i)} \right) \quad (4.8)$$

Dans l'équation 4.8 les poids w_i sont calculés à l'aide du paramètre κ^R . Celui-ci correspond au penchant individuel à considérer positivement ou négativement la comparaison avec autrui. L'agrégation aura alors tendance à sur-pondérer les impacts cognitifs faibles (forts) si le profil d'OWA utilisé est pessimiste (optimiste), et d'autant plus que κ^R est élevé.

Après avoir détaillé les mécanismes de la comparaison sociale, nous explicitons la comparaison avec les situations de travail passées dans la section qui suit.

4.3 Mécanismes de comparaison historique

Compte tenu du petit nombre de recherches qui s'intéresse directement à la comparaison historique, nous nous sommes référés principalement aux travaux de [Kahneman et al. \(1997\)](#) ; [Kahneman \(2000\)](#) ; [Kahneman et al. \(2003\)](#) sur l'évaluation rétrospective d'épisodes passés et aux mécanismes développés dans le cadre de la comparaison sociale dans la section précédente. Le

4. Pour plus de détails sur les données empiriques utilisées dans le modèle de simulation, voir section 5.1

4.3. MÉCANISMES DE COMPARAISON HISTORIQUE

modèle Peak-End élaboré par [Kahneman \(2000\)](#) peut être décrit comme un modèle de formation d'attitudes ("experienced utility") par rapport à une expérience vécue par le passé. Il a notamment été utilisé dans le contexte de la psychologie hédonique pour comprendre la formation d'attitudes par rapport aux événements de la vie, et notamment à l'âge et aux conditions de fin de vie ([Diener et al., 2001](#)). Concrètement, nous avons modélisé un processus similaire à celui de la comparaison sociale en nous appuyant sur le vecteur des divergences entre la situation présente et celles passées. L'agent a établit donc une comparaison avec une situation passée - notée h - sur la base du vecteur de leurs divergences - noté $\Delta(a, h)$:

$$\Delta(a, h) = [\delta(a, h, q_1), \dots, \delta(a, h, q_n)] \quad (4.9)$$

La comparaison historique s'établit avec plusieurs référents, c'est-à-dire un ensemble de situations passées. A l'instar de la comparaison sociale, les divergences $\delta(a, h, q)$ sur l'ensemble des caractéristiques entre l'état présent de l'agent $IS(a)$ et les états passés $IS(t - x)$ se traduisent par un impact cognitif sur l'attitude, caractéristique par caractéristique, noté $IC(a, h, q)$. Dans les sections suivantes nous développons le calcul des impacts et de leurs agrégations dans une évaluation comparative de l'état présent de l'agent par rapport aux situations de travail passées.

4.3.1 Sélection des situations passées référentes

Dans un premier temps, l'agent sélectionne un ensemble de situations référentes vécues par le passé - avec $h \in HR(a)$ l'ensemble des situations passées de référence et $h = IS_a(t - x)$ l'état interne passé de l'agent a au temps $t - x$. Basé sur une heuristique de mémorisation, le modèle de Kahneman définit l'accessibilité d'épisodes mémorisés en fonction de deux règles : le Peak représente l'épisode le plus marquant (positivement ou négativement) et le End les épisodes les plus proches dans le temps.

$$HR(a) = \underbrace{\{IS_a(t - 1), IS_a(t - 2) \dots IS_a(t - f_a)\}}_{HR_{end}(a)} \cup \underbrace{\{IS_a(t_{max})\}}_{HR_{peak}(a)} \quad (4.10)$$

Avec f_a la taille de la mémoire de l'agent a en nombre de ticks et $IS_a(t_{max})$ l'état de la situation passée la plus marquante pour a par convention. La caractérisation de cet épisode au temps t se fait sur la base du niveau de satisfaction $sat_a^{(t)}$. L'agent mémorise alors la situation de son historique la plus satisfaisante ou insatisfaisante et la met à jour pour chaque pas de temps. La mise à jour de l'épisode Peak est faite comme suit : $t_{max} = \arg \max_t | sat_a^{(t)} |$. La situation $IS_a(t_{max})$ correspond donc à la situation passée qui a donné la plus forte satisfaction ou insatisfaction. La fenêtre de mémorisation est elle définie comme paramètre du modèle - notée f_a . Les agents évaluent alors leur passé avec une mémoire limitée et associative.

4.3.2 Interprétation des comparaisons par contraste

L'interprétation des divergences est systématiquement faite sur un mode de contraste. Ce choix se justifie par la valorisation de la progression professionnelle (e.g. promotion, plan de carrière, formation) inhérente au monde du travail (Clark, 1998 ; Larguem, 2009 ; Theodossiou and Zangelidis, 2009). L'entreprise en tant que milieu compétitif est également susceptible de favoriser les effets de contraste (Kemmelmeier and Oyserman, 2001 ; Greenberg et al., 2007). Par ailleurs, le contraste représente a priori la modalité de comparaison la plus courante (Mussweiler, 2003 ; Wheeler and Suls, 2007). A l'instar de la comparaison sociale, les divergences entre situations présentes et passées sont interprétées en termes d'impacts sur la satisfaction : la variable $IC(a, h, q) \in [-1; 1]$ est l'interprétation de la divergence entre la caractéristique q de a et de la situation référente h :

$$\forall h \in HR(a) \quad IC(a, h, q) = \delta(a, h, q) \quad (4.11)$$

4.3.3 Agrégation des comparaisons historiques

A l'instar de la comparaison sociale, les réactions à la comparaison avec les situations passées doivent conduire à élaborer une évaluation comparative globale par dimension par rapport au passé, notée $HC(a, d) \in [-1; 1]$. Pour arriver à ce résultat il est nécessaire d'agréger les interprétations des divergences par caractéristique et par situation référente passée. La première étape consiste à synthétiser les réactions par caractéristique en évaluation par dimension. Pour cette opération, on utilise exactement le même opérateur d'agrégation que dans le cas du processus de comparaison sociale, WOWA :

$$ICD(a, h, d) = WOWA_{w, \gamma} \left(\pi(w_i, \gamma_q) \cdot IC(a, h, q)_{\sigma(i)} \right)_{\forall q \in d} \quad (4.12)$$

Nous retrouvons les deux éléments de paramétrisation de l'opérateur : le vecteur de pondérations des caractéristiques du modèle de (Karasek et al., 1998) et κ^A qui permet de définir un opérateur optimiste, pessimiste ou neutre.

La deuxième étape consiste à agréger les référents pour obtenir une évaluation par dimension, notée $HCD(a, d) \in [-1 : 1]$. Contrairement à la comparaison sociale, l'agrégation des référents historiques nécessite une pondération en fonction de leur importance définie dans le cadre du modèle Peak-End. La deuxième étape qui consiste à agréger sur les référents, mobilise donc également une WOWA. Ainsi, le vecteur d'épisodes passés $HR(a)$ définit deux valeurs pour pondérer l'ensemble des éléments *Peak* et *End*. Ces deux valeurs sont respectivement attachées au référent $HR_{peak}(a) = IS_a(t_{max})$ unique et à l'ensemble des référents $HR_{end}(a) = \{IS_a(t-1), IS_a(t-2) \dots IS_a(t-\tau_a)\}$ (voir section 4.3.1). L'évaluation finale des compa-

4.4. EFFET DIRECT DES CARACTÉRISTIQUES

raisons avec les situations passées est calculée comme suit :

$$HCD(a, d) = \underset{h \in HR(a)}{WOWA_{w, \gamma}} \left(\pi(w_i, \gamma_h) \cdot ICD(a, h, d)_{\sigma(i)} \right) \quad (4.13)$$

Le vecteur $\Gamma^{HR(a)} = \{\gamma_{IS_a(t_{max})}, \gamma_{IS_a(t-1)}, \gamma_{IS_a(t-2)} \dots \gamma_{IS_a(t-f_a)}\}$ des poids associés à chaque référent passé est calculé de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \gamma_{IS_a(t_{max})} &= 1/2 \\ \gamma_{IS_a(t-x)} &= \frac{1}{2 \cdot \sum_{j=1}^{f_a} \frac{1}{(1+r_a)^j}} \quad x = \{1, \dots, f_a\} \end{aligned} \quad (4.14)$$

Chaque situation passée est indexée à un taux de décroissance que nous empruntons au modèle de [Levy-Garboua and Montmarquette \(2004\)](#). Ce taux est défini par $\frac{1}{(1+r_a)^x}$ où x définit l'éloignement dans le temps de la situation sur laquelle s'applique la fonction de décroissance. Dans les faits, plus la situation professionnelle est éloignée de la situation actuelle, moins elle aura de poids dans la comparaison ; et ce d'autant plus que le paramètre r_a augmente. En revanche, plus celui-ci tend vers 0 moins la pénalité liée au temps est importante : à l'extrême, quand $r_a = 0$ tous les épisodes passés ont le même poids dans l'agrégation des impacts de la comparaison historique. Cette étape d'agrégation par caractéristique (eq. 4.12) utilise le même paramètre κ^A , et l'agrégation finale (eq. 4.13) le paramètre κ^R .

Après avoir exposé les deux processus d'évaluation comparative, nous présentons ensuite la dernière source d'évaluation. La section suivante est consacrée au processus d'évaluation directe des conditions de travail.

4.4 Effet direct des caractéristiques

L'effet direct des caractéristiques traduit trois sources de satisfaction/insatisfaction au travail : (1) l'impact du travail sur la santé des employés, (2) les conditions de travail sur la réalisation des besoins et (3) les autres domaines de la vie sur le travail. Plusieurs éléments concourent à penser que les conditions de travail sont des facteurs prépondérants d'influence sur le niveau de santé perçu et/ou effectif des salariés ([Gollac and Volkoff, 2007](#)) et que celui-ci détermine au moins partiellement la satisfaction dans l'emploi ([Spector, 1997](#)). On notera également l'effet des autres domaines de la vie, comme la famille, les loisirs, les amis, etc. (e.g. [Judge and Watanabe, 1993](#) ; [Baudelot and Gollac, 2003](#) ; sur la satisfaction dans l'emploi - le "spillover model" de [Saari and Judge, 2004](#)). Dans les faits, le niveau déclaré d'une caractéristique joue directement sur le niveau de satisfaction. Nous représentons simplement cet effet sous la forme d'un score associé à la valeur

4.4. EFFET DIRECT DES CARACTÉRISTIQUES

d'une caractéristique q donnée pour l'agent a , de la manière suivante :

$$\Delta(a) = [Val_{q_1}(a), \dots, Val_{q_n}(a)] \quad (4.15)$$

L'effet direct ne prend pour l'instant en compte que les caractéristiques exprimées sous la forme de données ordonnées, i.e. échelle de Likert. Par ailleurs, il est nécessaire de bien valider en amont le sens de la relation à la satisfaction. En s'appuyant sur le questionnaire de [Karasek \(1979\)](#), on valide la relation des caractéristiques à la satisfaction : en effet, la relation du questionnaire JCQ à la satisfaction a été validée empiriquement ([Van Der Doef and Maes, 1999](#) ; [Fila et al., 2014](#)) et théoriquement ([Häusser et al., 2010](#)). Notamment, il est un cas particulier du modèle JD-R particulièrement utilisé dans le cadre du bien-être au travail ([Bakker and Demerouti, 2007](#) ; [Demerouti et al., 2009](#)).⁵

Afin d'exprimer l'évaluation directe des caractéristiques dans les mêmes termes que les deux précédents processus, il est nécessaire d'effectuer une transformation du vecteur d'état de l'agent, soit $\Delta(a) = f(IS(a))$. En effet, les données d'initialisation des agents s'expriment sous la forme de valeurs ordonnées positives, i.e. des échelles de Likert (voir section 5.1). On opère alors une transformation des valeurs de chaque caractéristique comme suit :

$$\begin{aligned} \forall q_i(a) \in IS(a) \quad Val_{q_i}(a) &\in [-1 : 1] \\ Val_{q_i}(a) &= \left(\frac{2 \cdot (q_i(a) - \min(q_i))}{\max(q_i) - \min(q_i)} \right) - 1 \end{aligned} \quad (4.16)$$

L'évaluation directe des caractéristiques est une transposition des valeurs de caractéristiques dans un intervalle $[-1 : 1]$. Chacune d'elle débouche donc sur un impact positif ou négatif, relativement aux valeurs maximum et minimum que prend cette caractéristique dans le questionnaire utilisé. Dans la section qui suit, nous revenons sur l'agrégation des évaluations directes sur les caractéristiques.

4.4.1 Agrégation des effets directs

Ici le choix c'est tourné vers une simple moyenne pondérée, mobilisant le vecteur de pondération Γ^Q défini dans [Karasek et al. \(1998\)](#) et déjà utilisé par ailleurs dans les deux autres processus. Comme l'essentiel de la variabilité de l'effet direct est capté dans la manière de calculer l'impact d'une valeur sur une caractéristique, il n'est pas besoin d'avoir recours à un opérateur d'agrégation spécifique. Nous faisons donc une moyenne pondérée, comme le préconise le modèle de

5. Pour plus d'information sur les données empiriques utilisées dans notre modèle, voir la section 5.1 du chapitre 5

4.5. MÉCANISMES D'AGRÉGATION DES COMPARAISONS SOCIALES ET HISTORIQUES ET DE L'EFFET DIRECT

Karasek (1979).

$$DSD(a, d) = \sum_{\forall q \in d} Val_q(a) \cdot p_q \quad (4.17)$$

Il nous reste maintenant à détailler les mécanismes d'agrégation des évaluations : d'abord sur chacun des trois processus d'évaluation, puis au niveau des dimensions du travail pour établir une satisfaction par dimension ; enfin, la troisième étape consiste à synthétiser ces satisfactions par dimension en un indicateur unique.

4.5 Mécanismes d'agrégation des comparaisons sociales et historiques et de l'effet direct

Chacun des trois processus ne s'applique pas de manière uniforme à l'ensemble des caractéristiques. Ainsi, le modélisateur peut établir à loisir des caractéristiques qui s'appliqueront à l'ensemble ou à un sous ensemble de processus d'évaluation. Pour les expérimentations sur le modèle, nous précisons ici que l'ensemble des caractéristiques est évalué à travers les trois processus qui constituent l'évaluation cognitive de l'emploi. Un indice d'impact qui synthétise les évaluations cognitives pour chacun des trois processus de comparaison - $SCD(a, d) \in [-1; 1]$ et $HCD(a, d) \in [-1; 1]$ - et d'effet direct - $DSD(a, d) \in [-1; 1]$ - est calculé. Une ultime agrégation intègre les effets conjugués de ses processus concurrents pour chaque dimension de l'emploi. La variable résultante est le niveau de satisfaction sur la dimension donnée - notée $sat(a, d) \in [-1; 1]$:

$$sat(a, d) = WOVA_{w, \Gamma} \left(\pi(w_i, \Gamma^{pc}) \cdot \{SCD(a, d), HCD(a, d), DSD(a, d)\}_{\sigma(i)} \right) \quad (4.18)$$

L'opérateur d'agrégation utilisé pour synthétiser les processus d'évaluation mobilise un vecteur de poids sur les processus. Cela s'explique par le fait que des différences intra et inter-individuelles existent dans l'importance accordée à chacune des sources d'évaluation de l'emploi. Par exemple, Buunk and Gibbons (2005) développent le concept de social comparison orientation (SCO), pour désigner la sensibilité individuelle à la comparaison sociale. S'ils considèrent que tout le monde est amené à se comparer, certains seront plus enclins à en ressentir la nécessité et les conséquences, bonnes ou mauvaises. De même, les individus ne sont pas tous également concernés par la comparaison de leur situation avec ce qu'ils vivaient dans le passé. Ainsi, l'agrégation utilise un vecteur de pondération sur chacun des processus, $\Gamma_a^{pc} = \{\gamma_a^S, \gamma_a^H, \gamma_a^D\}$. Cet élément est un paramètre du modèle et fait l'objet d'une analyse systématique de sensibilité dans le chapitre 5.

Enfin, les différents indices de satisfaction par dimension nous servent à inférer un score global de satisfaction dans l'emploi - noté $sat(a) \in [-1, 1]$ avec -1 représentant une totale insatisfaction et 1 une satisfaction complète. Nous avons établi un vecteur de poids, noté $\Gamma_a^{dim} = \{\gamma_a^{d_1}, \dots, \gamma_a^{d_m}\}$

qui associe à chaque dimension un poids dans la satisfaction finale. Il est toutefois utile de noter que la satisfaction par dimension est une information souvent plus riche d'enseignements qu'un signal unique de satisfaction (e.g. [Clark, 2001](#) ; [Jackson and Corr, 2002](#) ; [Skalli et al., 2008](#)).

$$sat(a) = WOWA_{w,\gamma} \left(\pi(w_i, \gamma_d) \cdot sat(a, d)_{\sigma(i)} \right) \quad (4.19)$$

A noter que les deux étages de l'agrégation des processus et des dimensions utilisent le paramètre κ^A pour calculer les poids w_i . En tout état, l'agent peut évaluer sa satisfaction à chaque pas de temps en considérant les informations dont il dispose sur ses référents sociaux, en se comparant également avec les informations qu'il aura mémorisées des épisodes passés ainsi qu'en évaluant l'impact direct de ses conditions de travail. Cette valeur est susceptible d'évoluer à mesure que les conditions de travail changent. Il importe de formuler un indicateur unique dans la mesure où nous disposons de cette donnée dans les enquêtes. Notamment, dans l'ultime section du chapitre 5, nous avons calibré notre modèle de satisfaction sur des données de panel fournies par Technologia.

4.6 Happywork en résumé

Happywork propose une représentation des mécanismes cognitifs d'élaboration de la satisfaction au travail qui intègre trois composantes majeures : la comparaison avec la situation des autres employés et avec les conditions de travail vécues par le passé, ainsi que l'effet direct des caractéristiques de l'emploi. Le premier processus a été conçu à partir du modèle SAM ([Mussweiler, 2003](#)) et intègre deux modalités reconnues de comparaison : l'assimilation et le contraste. Le second processus est basé sur l'heuristique Peak-End proposée par [Kahneman \(2000\)](#) ; [Kahneman et al. \(2003\)](#). Le dernier processus a été développé dans l'objectif de fournir une évaluation représentant divers déterminants de la satisfaction comme la santé perçue ou l'interaction entre vie professionnelle et familiale. L'agent agrège ensuite l'ensemble des évaluations produites par ces mécanismes pour établir un niveau de satisfaction dans son emploi. Dans cette ultime étape, nous nous sommes inspirés des mécanismes d'agrégation développés dans le cadre du domaine de l'agrégation multi-critères. Ce choix est apparu d'autant plus pertinent qu'il recoupe deux notions de personnalité associées à la satisfaction : l'optimisme (ou positive affectivity) et le pessimisme (ou negative affectivity).

Nous proposons dans le chapitre suivant de soumettre notre modèle à l'épreuve de la simulation : tous d'abord, nous revenons sur les données empiriques utilisées dans la simulation (section 5.1) ; ensuite nous explorons systématiquement le comportement du modèle à partir d'une analyse de sensibilité (section 5.2). Sur cette base nous identifions des comportements types que nous testons sur deux scénarii : le premier est une simulation de politique d'amélioration du contenu de l'emploi (section 5.3) ; le second est basé sur une enquête de panel (section 5.4).

5

Simulation du modèle Happywork : Expérimentations, analyses et résultats

Dans ce chapitre nous explorons par la simulation notre modèle multi-agents de la satisfaction. Tout d'abord la première section 5.1, détaille la manière dont nous avons intégré les données empiriques disponibles. Ce sera l'occasion également de parler du traitement empirique de la satisfaction dans la littérature et d'insister sur le caractère générique de notre démarche : notre modèle n'est pas à priori limité à l'utilisation d'une enquête particulière mais peut mobiliser toute enquête sur l'évaluation des conditions de travail. La seconde section 5.2 décrit l'exploration de la simulation à travers une analyse de sensibilité des paramètres cognitifs de nos agents. L'objectif est de définir un ensemble de profils types, i.e. des vecteurs de paramètres associés à des mécanismes cognitifs identifiables dans la littérature et des comportements typiques dans la simulation. Cette analyse s'inscrit dans la mise en place d'une méthode d'initialisation des agents à partir de ces profils. Les deux dernières sections 5.3 et 5.4 sont consacrées à l'expérimentation sur le modèle. D'abord nous avons exploré les conséquences d'une politique d'amélioration des conditions de travail ([Hackman and Oldham, 1976](#)) sur la satisfaction de nos agents. Cette analyse est un premier pas vers la prise en compte de l'impact de l'organisation sur les conditions de travail ; et notamment la possibilité pour l'organisation d'augmenter la satisfaction des salariés en appliquant une politique d'amélioration du contenu de travail. Puis nous terminons cette analyse par une calibration de la simulation intégrant un scénario d'évolution des conditions de travail basé sur une enquête de panel avec trois itérations du même questionnaire.

5.1 L'intégration des données d'enquêtes dans le modèle Happywork

Les données de terrain ont pleinement participé à l'élaboration du modèle de satisfaction. L'entreprise Technologia a fourni à cet effet un grand nombre de données associées à des enquêtes par questionnaire conduites dans de grandes entreprises françaises. Elle a également permis de mobiliser l'expertise dans le domaine de la prévention des risques psycho-sociaux pour définir les contours de la modélisation des conditions de travail. Cette section explore ces deux aspects : dans un premier temps nous détaillons la place des données d'enquêtes dans le modèle de satisfaction, puis nous décrivons les données que nous avons utilisées, dans un second temps.

5.1.1 La modélisation des conditions de travail

Les agents du modèle Happywork ont tous des conditions de travail spécifiques, i.e. $IS(a)$ dans le modèle de satisfaction (voir chapitre 4). Ils sont à cet égard hétérogènes. Pour chacun d'eux nous avons donc un vecteur qui représente les caractéristiques de leur emploi. Cette représentation de l'emploi est directement issue des enquêtes du domaine des RPS. Comme nous l'avons souligné dans le chapitre 3 consacré à l'état de l'art, il existe divers domaines empiriques dans l'étude de la satisfaction : on retrouve les grandes enquêtes d'opinion mobilisées par les économistes (section 3.5.2), les enquêtes en psychologie sur le rôle de la personnalité dans la satisfaction (section 3.4.3) ou sur les émotions au cours de l'activité de travail (section 3.4.2), et enfin les enquêtes de satisfaction au travail et en RPS (Spector, 1997). Concernant les dernières citées, il existe deux types de données : celles qui s'intéressent directement à la satisfaction, avec des échelles de mesure composites ou globales (pour une revue des échelles disponibles voir Van Saane et al., 2003 ; Iglesias et al., 2010), et celles qui établissent des indicateurs intermédiaires pour représenter la satisfaction (pour une revue voir Spector, 1997 ; Saari and Judge, 2004 ; Judge and Klinger, 2008). Le premier ensemble détermine la satisfaction sous la forme d'une seule question (e.g. Dolbier et al., 2005 ; Castel et al., 2011) ou d'un ensemble de questions à propos de la satisfaction par facette de l'emploi (e.g. MSQ, Weiss et al., 1967 ou JSS, Spector, 1985). Dans le second cas, il s'agit d'établir un niveau de satisfaction à partir de l'évaluation des caractéristiques de l'emploi (e.g. JDI, Smith et al., 1969 JCQ, Karasek et al., 1998 ou JDS, Hackman and Oldham, 1975). Dans cette perspective, les items de questionnaires ne correspondent pas explicitement à des constats sur la satisfaction : il s'agit pour les individus enquêtés d'évaluer des propositions sur leur travail. A titre d'exemple, nous avons reproduit en annexe C la traduction française du Job Content Questionnaire (JCQ) utilisé par Technologia. C'est avec cette évaluation de la situation de travail que nos agents sont initialisés (voir section 5.1.2 suivante). Dans ces enquêtes, le travailleur évalue sa situation et cette évaluation est ensuite interprétée, à partir du modèle qui a servi à l'élaboration du questionnaire, pour établir un niveau de satisfaction. La

5.1. L'INTÉGRATION DES DONNÉES D'ENQUÊTES DANS LE MODÈLE HAPPYWORK

perspective globale est celle défendue par Bakker and Demerouti (2007) : une mise en correspondance des demandes et des ressources de l'individu au travail pour établir un certain nombre d'indicateurs sur le vécu au travail : e.g. le job strain (Karasek et al., 1998), la satisfaction (Fila et al., 2014) ou l'engagement (Warr and Inceoglu, 2012). Notre modèle de satisfaction se base sur ce type de données : toute enquête qui étend le principe du modèle Job Demand-Ressource (JD-R) (Bakker and Demerouti, 2007) est susceptible d'être mobilisée pour représenter les conditions de travail de nos agents. Ces questionnaires s'articulent autour de dimensions du travail (e.g. demande psychologique, latitude décisionnelle et soutien social pour le JCQ; diversité des pratiques, identité de la tâche, signification de la tâche, autonomie et feedback pour le JDS) dans lesquelles un certain nombre de caractéristiques sont explorées. Pour chacune d'elles, l'individu est amené à évaluer une facette spécifique de son travail. Ces aspects du travail, quelque soit par ailleurs le questionnaire utilisé, sont appelés à définir les conditions de travail des agents de notre modèle de satisfaction.

5.1.2 Les données du modèle Happywork

Dans le cadre de nos simulations, nous avons utilisé deux types de données : pour l'analyse de sensibilité (section 5.2) et la politique d'amélioration du contenu de l'emploi (section 5.3) nous nous sommes appuyés sur les données d'une enquête auprès des cadres d'une grande entreprise industrielle française. L'intervention de Technologia visait à déterminer les causes d'une dégradation du bien-être et de la santé des salariés. La demande d'une enquête, qui comprenait également un volet qualitatif avec des entretiens individuels et collectifs, a été conjointement décidée par la direction et les instances de représentation des salariés (CHSCT, médecine du travail, syndicats). L'enquête par questionnaire a été conduite auprès de 195 salariés de plusieurs sites géographiques à la fin de l'année 2011. Le questionnaire se compose de 113 questions concernant les conditions de travail et d'emploi et 10 questions sur les déterminants socio-démographiques et sur le poste occupé. Les dimensions étudiées par Technologia se rapportent à des indicateurs références dans les RPS et quelques échelles développées en interne. La première partie du questionnaire est consacrée à l'étude du stress à l'aide de la version française du JCQ en 27 questions (version originale, Karasek, 1979 et traduction française, Niedhammer et al., 2006) ; elle est suivie par l'échelle Effort-Récompense et sur-investissement de Siegrist (1996) en 16 questions ; et enfin, par l'indicateur d'épuisement professionnel BMS-10 (Lourel et al., 2007), une version française du Burnout (Maslach and Jackson, 2013). Suivent divers indicateurs dont la conception est spécifiée par Technologia en fonction des nécessités empiriques de l'entreprise enquêtée : sens du travail, style de management, feedback, rythme de travail, vision de l'avenir, formations, etc. Nous avons sélectionné le sous ensemble des trois dimensions du modèle de Karasek et al. (1998) pour un total de 27 caractéristiques représentant le contenu du travail : la dimensions de la demande psychologique (9 questions), de la latitude décisionnelle (9 questions) et du sou-

5.1. L'INTÉGRATION DES DONNÉES D'ENQUÊTES DANS LE MODÈLE HAPPYWORK

lien social (9 questions). S'y ajoute le salaire, les horaires de travail, le nombre de subordonnés, le statut, la fonction et la direction, l'ancienneté et les déterminants socio-démographiques (e.g. âge, genre, niveau de diplôme, situation familiale). Enfin, nous avons également le niveau de satisfaction sous la forme d'une échelle globale correspondant à la question représentée par la figure 5.1.1 ci-dessous :

127. Par rapport à votre situation professionnelle prise dans sa globalité, vous vous trouvez :
 1. Pas du tout satisfait 2. Plutôt pas satisfait 3. Plutôt satisfait 4. Tout à fait satisfait

Figure 5.1.1

Au total 37 caractéristiques ont été choisies dans l'ensemble du questionnaire pour initialiser les agents au niveau des caractéristiques de l'emploi et du contenu du travail. Cette option a rapidement émergé puisque le questionnaire JCQ de Karasek (1979) est utilisé dans plusieurs études sur la satisfaction au travail, e.g. Van Der Doef and Maes (1999) ; Häusser et al. (2010) ; Fila et al. (2014). Dans la dernière version proposée par Karasek et al. (1998), la corrélation avec la satisfaction dans l'emploi du modèle de job strain qui a servi à construire ce questionnaire est explorée et validée par les auteurs. Par ailleurs, le codage des caractéristiques par les individus se fait sous la forme d'échelle de Likert, c'est-à-dire de données ordonnées (discrètes), comme le nécessite notre modèle de satisfaction. Le vecteur des caractéristiques de l'emploi des agents $IS(a)$ correspondent aux réponses des individus et sont codé à partir des échelles de Likert. Par exemple, dans la question représentée par la figure 5.1.1, la modalité « Pas du tout satisfait » correspond à un codage de 1, « Plutôt pas satisfait » à 2 et ainsi de suite. Dans le cadre du questionnaire JCQ, les caractéristiques sont évaluées sur des échelles codées entre 1 et 4. Ces modalités traduisant un ordonnancement explicite.

Concernant la calibration en section 5.4, les données sont issues d'une enquête par panel dans une autre grande entreprise française. Nous avons du utiliser une nouvelle enquête pour établir un scénario réaliste : contrairement aux données présentées ci-dessus, l'enquête par panel fournit l'évolution des caractéristiques des individus sur plusieurs mois.¹ Elle a été conduite en trois temps : la première itération en juin 2013, puis 9 mois plus tard en mars 2014 et enfin la dernière passation 7 mois plus tard, en octobre 2014. Dans les trois cas, l'enquête a été reconduite auprès des mêmes individus. Nous avons donc à disposition l'évolution des conditions de travail à 3 points dans le temps sur un peu plus d'une année et pour un ensemble de 318 individus. Pour la première itération, le questionnaire correspond à une version longue alors que les deux autres enquêtes du panel utilisent une version courte, dite baromètre. Comme la première inclut

1. Par ailleurs, nous avons disposé de ces données au début de l'année 2015. La plupart des analyses avaient déjà été conduite sur une autre enquête

la seconde version, nous n'avons travaillé que sur l'ensemble des caractéristiques communes aux trois itérations. Par conséquent nous avons repris la version baromètre du questionnaire. Elle correspond à la version courte du modèle de Karasek et al. (1998) qui comprend 4 questions pour chacune des trois dimensions de la demande psychologique, de la latitude décisionnelle et du soutien social ; accompagnée de données socio-démographiques (age et genre) et de questions associées au poste occupé (site de travail, niveau de poste, ancienneté et nombre de jour de télétravail), pour un total de 18 caractéristiques.

5.2 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité doit nous permettre d'identifier des régularités chez les agents dans l'élaboration de leur satisfaction. En faisant varier les paramètres, l'idée est de capter des comportements cognitifs types identifiés par la littérature. La procédure d'analyse définit une initialisation à l'identique des paramètres pour tous les agents. Ils conservent néanmoins leur hétérogénéité du fait de l'initialisation de leurs conditions de travail à partir des données de questionnaire. Les résultats de simulations sont moyennés sur 50 itérations pour niveler les composantes aléatoires de la dynamique (e.g. évolution des référents) et d'initialisation (e.g. historique de situations passées). Dans un premier temps, nous revenons sur les trois processus déterminants de la satisfaction de nos agents en étudiant l'impact des trois sources de formation de la satisfaction : la comparaison sociale et historique, ainsi que l'effet direct. Ensuite, nous proposons de synthétiser ces résultats sous la forme de profils cognitifs : un vecteur de paramètre qui décrit de manière cohérente un comportement identifiable dans la simulation et décrit par la littérature du domaine.

5.2.1 Les aspects cognitifs de la satisfaction

Nous revenons dans cette section sur les différents déterminants des processus cognitifs de nos agents. Nous étudions dans un premier temps 3 paramètres associés à la comparaison sociale : les seuils d'assimilation σ^A et de déflexion σ^D , ainsi que la proportion de contraste dans l'assimilation α^C . La limite de similarité entre deux caractéristiques β^S ne fait pas partie de l'analyse à cause de la nature catégorielle des données : les caractéristiques des agents sont évaluées sur des échelles de Likert, codées en valeur entière correspondant au niveau de réponse sur l'échelle (voir description des données dans la section 5.1.2). Comme l'ont montré Van Praag and Ferrer-i Carbonell (2004) les individus d'une même culture et d'une même langue identifie sans ambiguïté les différences entre catégorie de réponse sur des échelles de Likert. De ce point de vue, la seule similarité possible correspond à $\beta^S = 0$. Nous nous en sommes tenu à ce principe pour notre analyse de sensibilité. Ensuite, nous décrivons les effets de la comparaison historique en fonction de la fenêtre de mémorisation f et du taux de décroissance r du poids des situations passées. En-

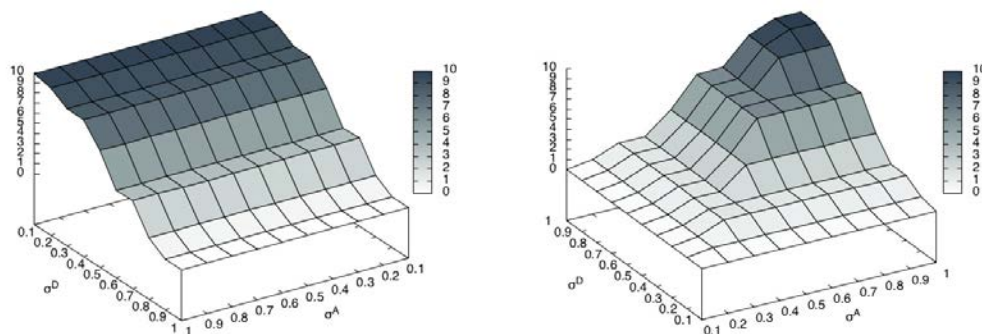
fin, nous concluons par l'analyse des mécanismes d'agrégation : les paramètres κ^R et κ^A associés aux diverses OWA et WOWA, ainsi que le vecteur de poids Γ^{Pc} associé aux différents processus cognitifs.

Pour cette analyse de sensibilité, chaque simulation est conduite sur un temps très court, i.e. 12 ticks, étant donné que seul le changement de référents sociaux constitue un aspect dynamique. Les résultats sont moyennés sur 50 simulations, et pour chaque analyse sur un ou deux paramètres, l'ensemble des autres paramètres est fixé aux valeurs par défaut listées dans la table de paramètres A.1.1 en annexe A.

Les paramètres associés au style de comparaison sociale

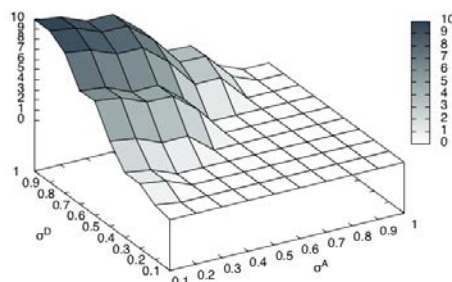
Dans un premier temps nous nous intéressons au processus de comparaison sociale. L'analyse intègre le paramètre σ^D qui détermine le seuil acceptable de différences avec le référent au-delà duquel l'agent se considère trop différent pour entreprendre la comparaison ; σ^A qui définit le niveau de différences en deçà duquel l'agent se compare par assimilation avec son référent ; et enfin a^C qui délimite la proportion d'effet de contraste dans une comparaison par assimilation (section 4.2.3). Nous avons étudié le déclenchement des trois modalités de comparaison, i.e. disqualification, assimilation et contraste, en examinant l'effet croisé des deux seuils déterminants σ^D et σ^A .

Dans les graphiques 5.2.1 on affiche successivement le nombre de référents disqualifiés (figure 5.2.1a), le nombre de comparaisons en assimilation (figure 5.2.1b) et le nombre en contraste (figure 5.2.1c). On constate très simplement que le nombre de comparaisons par contraste augmente quand σ^A diminue, c'est-à-dire quand les agents deviennent plus exigeant sur le nombre de similarités dans l'ajustement du type de comparaison (voir section 4.2.3). A l'inverse, la comparaison par assimilation augmente symétriquement quand σ^A augmente, c'est-à-dire quand l'agent se focalise moins sur les divergences. Dans la première figure 5.2.1a, on voit que le nombre d'agents disqualifiés augmente en fonction linéaire de σ^D : plus celui-ci est faible plus le nombre de référents disqualifiés est important. Dans l'ensemble, on constate une relative homogénéité dans les paramètres : quand $\sigma^D > 0.5$ la disqualification devient plus importante en nombre, quand $\sigma^A \leq 0.5$ l'assimilation devient dominante, et enfin quand $\sigma^A > 0.5$ c'est le contraste qui est majoritaire. Concernant le contraste résiduel dans l'assimilation représenté par le paramètre a^C , on observe des effets triviaux. Ce paramètre joue dans les situations où l'agent est en assimilation avec son référent. Dans ce cas, on peut déduire du calcul de l'impact en assimilation, qu'une valeur $a^C = 0.5$ donne une interprétation *IC* équivalente à 0 : conformément à l'équation 4.6, la part de contraste dans l'assimilation est strictement égale à l'effet d'assimilation, avec un impact *IC* nul. L'agent se trouve ici dans une situation d'indécision ou d'ambivalence avec deux tendances contradictoires (i.e. le contraste et l'assimilation) qui s'annulent. Par extension, plus la valeur de



(a) Nombre de référents disqualifiés en moyenne pour $RS(a) \simeq 10$ en fonction de σ^D et σ^A

(b) Nombre moyen de comparaisons par assimilation pour $RS(a) \simeq 10$ en fonction de σ^D et σ^A



(c) Nombre moyen de comparaisons par contraste pour $RS(a) \simeq 10$ en fonction de σ^D et σ^A

Figure 5.2.1 : Les différents types de comparaisons en fonction des seuils σ^D et σ^A

a^C est proche de la valeur 0.5, plus les évaluations par assimilation seront faibles. Si la valeur est plus importante, soit $a^C > 0.5$, alors le contraste l'emporte ; à l'inverse, si la valeur est plus faible, soit $a^C < 0.5$, alors l'assimilation l'emporte.

Les paramètres déterminants de la comparaison historique

Dans ce paragraphe nous revenons sur le processus de comparaison historique. Il est particulier dans la mesure où, en l'absence de changement dans les caractéristiques de l'emploi des agents, la comparaison donne un résultat nul. En effet, conformément au processus de comparaison défini comme interprétation des divergences (voir section 4.1), quand deux situations comparées sont identiques, le contenu de la comparaison est nul. Nous avons donc mis en place une génération aléatoire de situations passées pour nos agents. La procédure consiste à créer x situations $IS(t - x)$ sur la base de la situation présente $IS(a)$ en appliquant une baisse ou une

augmentation des valeurs de caractéristiques en suivant un tirage aléatoire. Les résultats obtenus dépendent de la distribution utilisée pour générer ces situations passées : en favorisant l'apparition de situations passées moins bonnes, la satisfaction augmente ; et à l'inverse, en favorisant la génération de situations passées meilleures, la satisfaction diminue.

Globalement, le mécanisme de comparaison historique débouche sur des conséquences attendues puisqu'il ne se base que sur l'interprétation des comparaisons par contraste : cela revient à évaluer une comparaison ascendante (meilleure situation passée) négativement et une comparaison descendante (moins bonne situation passée) positivement. Nous avons donc choisi des valeurs par défaut qui ne feront pas l'objet d'une exploration dans les scénarii de politique d'amélioration du contenu de l'emploi ou de calibration. En revanche, nous y analysons les conséquences d'une plus ou moins grande importance accordée à ce processus d'évaluation.

Les paramètres de l'agrégation : style d'agrégation et orientation des évaluations

Deux aspects sont ici traités conjointement puisqu'ils déterminent les mécanismes d'agrégations de l'effet direct et de la comparaison sociale et historique : il s'agit des deux paramètres κ^R et κ^A de l'OWA utilisée à différentes étapes de l'agrégation ; mais également du vecteur Γ^{Pc} de pondération des processus cognitifs, respectivement γ^S , γ^H et γ^D pour la comparaison sociale, historique et l'effet direct. Nous nous intéressons dans cette section aux conséquences des deux aspects de l'agrégation étudiés sur la moyenne des satisfactions de l'ensemble des agents, soit $\sum_{i=1}^n sat(a_i)/n$. Pour étudier l'impact des styles d'agrégation donnés par les deux paramètres κ^R et κ^A nous avons mis en place une variable intermédiaire. La variable k représente une transformation de κ tel que $k = f(\kappa)$ décrit dans la fonction 5.3 ci-dessous :

$$k = \begin{cases} \kappa & \text{profil optimiste} \\ 1 & \text{profil neutre} \\ -\kappa & \text{profil pessimiste} \end{cases} \quad (5.1)$$

Pour rappel, comme $\kappa \geq 1$, on a $k \leq -1$ ou $k \geq 1$, avec $k = -1$ et $k = 1$ représentant le profil neutre. La variable k nous permet de représenter sous une forme continue les trois types de profils d'agrégation optimiste, neutre et pessimiste décrits dans la section 4.2.4. Il nous servira également à l'initialisation des agents via les profils cognitifs définis dans la section suivante. Dans le graphique 5.2.2 les valeurs de k positives correspondent donc à un profil d'agrégation optimiste qui applique une pondération plus importante sur les impacts les plus élevés, et d'autant plus optimiste que k est grand. A l'inverse, quand k est négatif le profil d'agrégation est pessimiste, et applique un poids plus important sur les évaluations les plus faibles. Globalement on observe un fort impact du type d'agrégation sur la satisfaction agrégée : lorsque $k = -8$, c'est-à-dire un profil fortement pessimiste avec $\kappa^R = \kappa^A = 8$, la satisfaction agrégée est de -0.98 ; lorsque

$k = 8$, c'est-à-dire un profil fortement optimiste avec $\kappa^R = \kappa^A = 8$, la satisfaction agrégée est de 0.99. Par ailleurs on constate que le paramètre κ^A est plus déterminant : à partir du moment où $k^A > 1$ la satisfaction agrégée est strictement positive ; à l'inverse quand $k^A < -1$ la satisfaction agrégée est strictement négative.

Le paramètre k^R associé à κ^R n'a pas la même propriété même s'il conduit à améliorer la situation des pessimistes : quand $k^A = -8$ la satisfaction agrégée passe de -0.98 pour $k^R = -8$ à -0.57 pour $k^R = 8$. A l'inverse, il ne dégrade que très peu la satisfaction quand $k^A = 8$, puisqu'entre $k^R = 8$ et $k^R = -8$, on observe une baisse du niveau agrégé de satisfaction de l'ordre de -0.04 . Le poids plus important du paramètre κ^A s'explique par le fait que celui-ci concerne tous les processus, pour l'agrégation des caractéristiques ainsi que des dimensions ; alors que κ^R ne concerne que l'agrégation des référents dans les deux processus de comparaison.

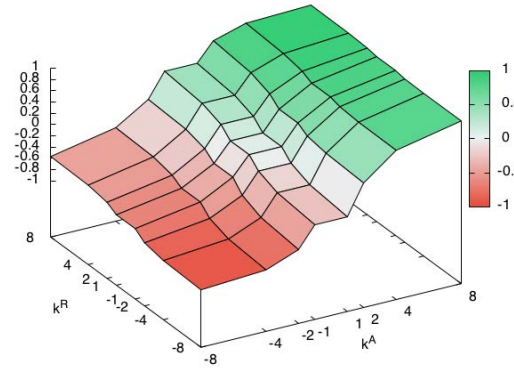


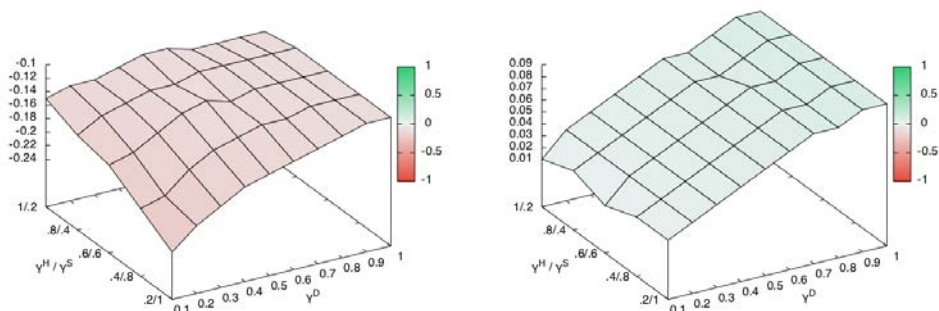
Figure 5.2.2 : Niveau agrégé de satisfaction, $\sum_{i=1}^n sat(a_i)/n$, en fonction des deux paramètres de l'OWA

On observe également qu'à partir du moment où $k \geq 2$, c'est-à-dire un profil optimiste sur les deux κ , la satisfaction minimum est positive : $\arg \min_{a \in \mathcal{A}} (sat(a)) = 0.39$. A l'inverse, lorsque $k \leq -2$ la satisfaction maximum est négative $\arg \max_{a \in \mathcal{A}} (sat(a)) = -0.25$. Globalement, le niveau de satisfaction individuel et agrégé est extrêmement sensible aux modalités de l'agrégation des évaluations.

Enfin, concernant l'agrégation des évaluations par processus nous avons croisé l'importance de l'effet direct des caractéristiques avec les poids conjugués des deux processus de comparaison. Dans les graphiques 5.2.3 ci-dessous, nous affichons le niveau de satisfaction minimum, agrégé et maximum en fonction de divers vecteurs de pondération des processus. On met en parallèle des valeurs de γ^D comprises entre 0.1 et 1, avec des couples de valeurs pour γ^H et γ^S . Ce choix des paramètres s'explique par la volonté d'opposer les mécanismes de comparaison à celui de l'effet direct.

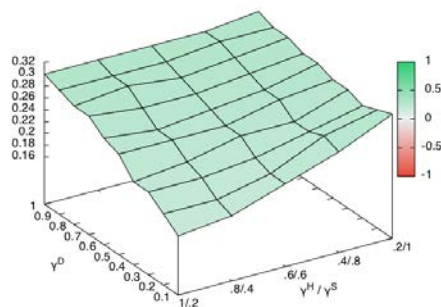
Dans la figure centrale 5.2.3b, on affiche le niveau agrégé de satisfaction (moyenne) sur l'ensemble des agents. On voit que plus l'effet direct est associé à un poids important plus la satisfaction agrégée s'améliore : de quasiment nulle (0.01), avec une faible prise en compte de l'effet direct, $\gamma^D = 0.1$; à 0.09 avec une prépondérance importante de l'effet direct, $\gamma^D = 1$.² Une

2. Nous rappelons ici que les pondérations dans le vecteur Γ^{Pr} indiquent l'importance relative des processus : par exemple, quand $\Gamma^{Pr} = \{0.4, 0.8, 1.0\}$ le premier processus est 2 fois moins important que le second et 2.5 fois moins que le dernier. Dans cet exemple, les pondérations après normalisation sont équivalentes à $\Gamma^{Pr} = \{0.4/2.2, 0.8/2.2, 1.0/2.2\}$.



(a) Satisfaction minimum, $\arg \min_{a \in \mathcal{A}} (sat(a))$, en fonction des poids γ^D et γ^H/γ^S dans l'agrégation des évaluations par processus

(b) Satisfaction moyenne, $\sum_{i=1}^n sat(a_i)/n$ en fonction des poids γ^D et γ^H/γ^S dans l'agrégation des évaluations par processus



(c) Satisfaction maximum, $\arg \max_{a \in \mathcal{A}} (sat(a))$ en fonction des poids γ^D et γ^H/γ^S dans l'agrégation des évaluations par processus

Figure 5.2.3 : Indicateurs de satisfaction en fonction de l'importance des différents processus cognitifs d'évaluation de l'emploi

pondération forte du processus d'effet direct des caractéristiques tend, toutes choses égales par ailleurs, à augmenter le niveau de satisfaction des agents.

Dans les graphiques 5.2.3a et 5.2.3c sont respectivement affichées la satisfaction minimum et maximum sur l'ensemble des agents. La poids accrue de la comparaison sociale ou historique tend à faire augmenter les valeurs de satisfaction extrêmes. Quand l'importance des impacts de la comparaison sociale dans l'évaluation finale est au plus fort, cela conduit à une diminution importante de la valeur de satisfaction la plus basse, avec $\arg \min_{a \in \mathcal{A}} (sat(a)) = -0.24$. Si la comparaison historique domine dans l'évaluation, la satisfaction minimale est de -0.15 ; alors qu'elle est de -0.12 quand l'effet direct est aussi important que la comparaison sociale.

Enfin, comme nous le soulignons plus haut (voir paragraphe précédent), en l'absence d'évolution des conditions de travail, la comparaison historique donne une évaluation nulle. Par consé-

quent, l'importance de ce processus se traduit par une satisfaction agrégée qui se rapproche de 0. Quand l'agent pondère fortement la comparaison historique, le niveau de satisfaction minimum est relativement élevé (5.2.3a). A l'inverse, la satisfaction maximum (5.2.3c) est relativement faible, équivalente à 0.16 contre 0.26 quand les agents prennent plus en considération la comparaison sociale et 0.32 pour l'effet direct.

Dans cette section, nous avons identifié l'impact des paramètres sur le type de comparaison sociale, sur les résultats de la comparaison historique et le style d'agrégation. Sur la base de ces enseignements, nous proposons dans la section suivante des jeux de paramètres qui représentent des tendances cognitives dans l'élaboration de la satisfaction dans l'emploi.

5.2.2 Les profils cognitifs

Dans cette section nous revenons sur la définition et la justification des profils cognitifs. Nous en avons défini trois types : les premiers centrés sur la comparaison sociale et les deux autres sur les facteurs d'agrégation intra et inter-processus cognitifs. Concrètement, un profil est un vecteur de valeurs d'un ensemble de paramètres. Nous retrouvons trois types de profils : celui associé aux types de comparaison sociale (ci-dessous CPT), qui rassemble les valeurs des quatre paramètres β^S , σ^D , σ^A et α^C ; un autre correspondant aux styles d'agrégation, que nous avons appelé état d'esprit (ci-dessous SoMPT) et qui rassemble les valeurs des deux paramètres κ^R et κ^A ainsi que le profil d'agrégation optimiste ou pessimiste ; et enfin un dernier qui caractérise l'importance des différents processus cognitifs dans l'évaluation, appelé profil d'orientation (ci-dessous OPT), avec les valeurs des paramètres γ^D , γ^H et γ^S . Chaque profil est un vecteur de paramètres et chaque agent dispose d'un profil de comparaison sociale, d'état d'esprit et d'orientation.

Les profils de comparaison sociale

Concernant le type de comparaison sociale, notre choix est justifié par la présence de style de comparaison identifiée dans la littérature (Suls et al., 2002 ; Mussweiler, 2003 ; Buunk and Gibbons, 2007) : l'assimilation et le contraste. Nous avons identifié trois nuances dans notre modèle autour de ces deux archétypes : un jeu de paramètres qui produit un fort taux de comparaison par assimilation (i.e. profil HA), un autre qui produit un fort taux de comparaison par contraste (i.e. profil HC) et un profil intermédiaire avec une proportion équivalente de comparaison par assimilation et contraste.

CPT (comparaison profil type) Profil cognitif de comparaison sociale :

HA (high assimilation) : profil avec une forte tendance à l'assimilation $\sigma^A = 0.6$, un contraste résiduel faible $\alpha^C = 0.2$ et une exigence de similarité importante dans la comparaison $\sigma^D = 0.5$ et $\beta^S = 0.4$. Soit $HA = \langle 0.6, 0.2, 0.5, 0.4 \rangle$

MA (moderate assimilation) : profil avec une tendance médiane à l'assimilation $\sigma^A = 0.4$, un contraste résiduel relativement faible $\alpha^C = 0.3$ et une exigence de similarité modérée dans la comparaison $\sigma^D = 0.6$ et $\beta^S = 0.2$. Soit $MA = \langle 0.4, 0.3, 0.6, 0.2 \rangle$

HC (high contrast) : profil avec une forte tendance au contraste $\sigma^A = 0.2$, un contraste résiduel élevé $\alpha^C = 0.6$ et une exigence de similarité faible dans la comparaison $\sigma^D = 0.8$ et $\beta^S = 0.1$. Soit $HA = \langle 0.2, 0.6, 0.8, 0.1 \rangle$

Le profil *HA* se caractérise par une tendance à minimiser l'importance des divergences dans le cadre de la définition d'un ancrage à la comparaison (voir section 4.2.2) : l'agent considère qu'avec au moins 40% de caractéristiques communes ($\sigma^A = 0.6$) dans le mécanisme d'ancrage (algorithme 1), il sera en assimilation avec son référent. Si le nombre de caractéristiques identiques est plus faible ($\sigma^D = 0.5$) que le nombre de caractéristiques divergentes, l'agent disqualifie son référent. En se référant à l'analyse de sensibilité, l'agent disqualifie plus d'un agent sur deux (62%) et établit une comparaison par assimilation avec les autres (38%). Par ailleurs, dans ce profil le mécanisme d'établissement de similarité entre deux caractéristiques est permissif : pour que deux caractéristiques soient considérées comme identiques, il faut que la différence relative n'excède pas 40% de l'amplitude maximale.

Le profil *HC* se caractérise à l'inverse par une forte contrainte de similarité pour déclencher l'assimilation : l'agent ne doit pas avoir plus de 20% de divergences ($\sigma^A = 0.2$) avec son référent. Conjugué à une tendance faible à disqualifier les référents ($\sigma^D = 0.8$, i.e. plus de 80% de caractéristiques divergentes pour disqualifier le référent), cela se traduit par 84% de comparaisons par contraste, 11% de disqualifications et 5% de comparaisons par assimilation. Par ailleurs, l'effet résiduel de contraste dépassent l'effet de l'assimilation ($\alpha^C = 0.6$) : l'assimilation dans le contraste correspond simplement à une forte diminution de l'effet de contraste. De plus, l'établissement de la similarité entre caractéristiques est beaucoup plus restrictive : les valeurs ne doivent pas diverger de plus d'un dixième ($\beta^S = 0.1$, pour une divergence de ± 0.3 dans le cadre des échelles de Likert à 4 échelons) de l'amplitude maximum. Tout concourt dans ce profil à établir la comparaison majoritairement par contraste avec le référent.

Du fait des tendances très fortes de chacun des profils, nous avons souhaité établir une tendance intermédiaire : dans le cas de l'assimilation modérée, la comparaison par assimilation se déclenche dans 25% des cas, par contraste dans 45% des cas, et pour 30% l'ancrage débouche sur une disqualification du référent. Le paramètre de similarité ($\beta^S = 0.2$) au niveau des caractéristiques autorise une divergence de 20% de l'amplitude maximale (± 0.6 dans le cadre de nos données).

Les profils d'état d'esprit

A propos du style d'agrégation, notre choix est fondé sur la définition de quantifieurs linguistiques (Yager, 1994). Ces quantifieurs se basent sur la définition d'opérateur identifié par Yager

(1994) et tel que définis par Majdan and Ogryczak (2012).³ En nous inspirant de leur tentative, nous avons défini trois profils d'agrégation : les deux profils optimistes et pessimistes, ainsi qu'un profil intermédiaire neutre.

SoMPT (state of mind profil type) Profil cognitif d'état d'esprit :

pessimiste : profil avec une tendance à sur-pondérer les évaluations négatives, aussi bien au niveau des référents $\kappa^R = 2$ que des dimensions et caractéristiques de l'emploi $\kappa^A = 2$. Soit $\kappa = f(k)$ (équation 5.3) avec $k = -2$

neutre : profil avec une agrégation qui pondère également les évaluations négatives et positives, aussi bien au niveau des référents $\kappa^R = 1$ que des dimensions et caractéristiques de l'emploi $\kappa^A = 1$. Soit $k = 1$

optimiste : profil avec une tendance à sur-pondérer les évaluations positives, aussi bien au niveau des référents $\kappa^R = 2$ que des dimensions et caractéristiques de l'emploi $\kappa^A = 2$. Soit $\kappa = f(k)$ (équation 5.3) avec $k = 2$

Compte tenu de la sensibilité forte des résultats de satisfaction (voir analyse en section 5.2) en fonction du type d'agrégation, nous avons choisi des valeurs peu élevées. Conformément à notre analyse de sensibilité sur les paramètres κ^R et κ^A , les profils optimiste ($k = 2$) et pessimiste ($k = -2$) donnent respectivement une satisfaction moyenne de $-0.46(\pm 0.08)$ et $0.54(\pm 0.08)$, alors que l'agrégation neutre donne une satisfaction moyenne proche de $0(\pm 0.08)$.

Les profils d'orientation

Les derniers paramètres à former un profil sont ceux associés à la pondération des processus dans l'agrégation des évaluations. Les différents processus cognitifs n'ont pas la même importance pour chacun des individus : dans la littérature, on retrouve l'idée d'un plus ou moins grand besoin individuel d'évaluer son attitude par rapport à autrui, sous la forme d'une orientation à la comparaison sociale (SCO) Buunk and Gibbons (2005). Par extension, le concept d'orientation est étendu aux deux autres processus cognitifs de notre modèle de satisfaction, pour lesquels ont défini une orientation à la comparaison historique (HCO) et à l'effet direct (DO).

OPT (orientation profil type) Profil cognitif d'orientation :

SCO (social comparison orientation) : profil avec une tendance à sur-pondérer les évaluations issues de la comparaison sociale $\gamma^S = 3 \times \gamma^H = 3 \times \gamma^D$. Soit $SCO = \langle 3/s, 1/s, 1/s \rangle$

HCO (historical comparison orientation) : profil avec une tendance à sur-pondérer les évaluations issues de la comparaison avec le passé $\gamma^H = 3 \times \gamma^S = 3 \times \gamma^D$. Soit $HCO = \langle 1/s, 3/s, 1/s \rangle$

3. Pour une définition exhaustive, voir annexe B

DO (direct orientation) : profil avec une tendance à sur-pondérer les évaluations directes des caractéristiques $\gamma^D = 3 \times \gamma^H = 3 \times \gamma^S$. Soit $DO = \langle 1/5, 1/5, 3/5 \rangle$

On distingue alors trois profils, selon que l'agent va plutôt orienter son évaluation des conditions de travail en se basant sur la comparaison sociale (profil SCO), la comparaison avec les situations passées (profil HCO) ou l'évaluation directe des caractéristiques (profil DO). La tendance à fonder un jugement plus sur un mécanisme qu'un autre, ne se traduit pas par une tendance exclusive mais par une pondération relativement plus importante. Nous avons choisi d'établir un poids trois fois plus important sur le processus d'orientation de l'évaluation.

5.3 Exploration d'une politique organisationnelle

Dans les paragraphes qui suivent, nous proposons de mettre notre modèle de simulation à l'épreuve d'un scénario de politique d'amélioration des conditions de travail des employés. L'ambition est de reproduire virtuellement une politique organisationnelle (i.e. job design, [Hackman and Lawler, 1971](#)) qui vise à augmenter la qualité du travail de ses employés dans l'objectif d'accroître leur motivation ([Hackman and Oldham, 1976](#)), leur engagement ([Ugboro, 2006](#)) ou leur performance ([Lawler, 1969](#)). Globalement, le principe d'une telle intervention est d'instaurer une attitude positive au travail. [Hackman and Lawler \(1971\)](#) à l'origine du modèle des caractéristiques de l'emploi, font explicitement le lien entre politique d'amélioration du contenu de l'emploi et augmentation du niveau de satisfaction des employés. L'objectif pour nous est d'identifier, dans le cadre de notre modèle, les résultats d'une telle politique en fonction du profil des individus visés par l'amélioration des conditions de travail. C'est un moyen pour nous d'explorer le lien entre (ré)organisation du travail et satisfaction : concrètement, il s'agit de faire varier la perception des caractéristiques (réponses au questionnaire) et soumettre ces nouvelles conditions de travail à l'évaluation de nos agents pour déterminer l'impact de la politique sur la satisfaction.

5.3.1 Présentation de la politique

Le changement organisationnel se concrétise sous la forme d'un scénario d'évolution des caractéristiques des agents. Celui-ci est défini par trois facteurs : le nombre de fois où la politique applique une amélioration des conditions de travail, l'ensemble des agents ciblés par cette amélioration et enfin les caractéristiques qui sont améliorées.

- La politique s'applique 10 fois, avec un intervalle de 8 ticks entre chaque itération. Avec un tick représentant une semaine, la politique améliore les conditions de travail tous les 2 mois.
- Les individus visés par l'amélioration des caractéristiques le sont en tenant compte de l'ensemble des satisfactions déclarées : elle s'applique sur 25% des agents, soit tous les agents dont la satisfaction est en dessous du 1^{er} quartile.

5.3. EXPLORATION D'UNE POLITIQUE ORGANISATIONNELLE

- L'amélioration s'applique à 3 caractéristiques, soit 12% des conditions de travail : elles correspondent systématiquement aux caractéristiques les plus faibles des agents ciblés

Les caractéristiques améliorées, sont sélectionnées spécifiquement pour chaque agent en tenant compte de l'évolution des caractéristiques : on améliore les 3 caractéristiques q_{ia} les moins bonnes sur l'ensemble des caractéristiques $IS(a)$ pour tous les individus a visés par la politique organisationnelle. L'amélioration se traduit par une augmentation de la valeur q_{ia} tirée aléatoirement dans l'intervalle $[0 : 1]$.

Pour interpréter les résultats de la politique en terme d'amélioration de la satisfaction des individus, il est important de mettre en relation les effets bénéfiques au niveau de la satisfaction avec les coûts globaux de la politique. Sur ce point notre scénario décrit un investissement important, puisqu'il conduit à améliorer 10 fois les conditions de travail, qu'à chaque application de la politique 12% des conditions de travail s'améliorent et ce pour $1/4$ des agents de l'organisation. Par ailleurs, pour mettre en place la politique, l'organisation doit connaître les niveaux de satisfaction de tous les agents pour déterminer les moins satisfaits et entreprendre d'améliorer leurs conditions de travail. Il faut également connaître les conditions de travail perçues afin de cibler les caractéristiques les plus mauvaises pour orienter la politique. Celles-ci sont distinctes pour chaque individu, ce qui augmente les coûts de mise en œuvre. Globalement, notre scénario décrit une politique qui dispose énormément de moyen et d'information.

Description du protocole de simulation Les simulations se déroulent sur 90 ticks : la politique s'applique dès le 1^{er} tick, puis tous les 8 ticks et s'arrête au tick 80 ; les 10 derniers ticks permettent à la simulation de se stabiliser. Le nombre d'agents a été fixé à 100 et le réseau social est un small-world généré à partir de l'algorithme de [Watts and Strogatz \(1998\)](#) avec une probabilité de ré-allocation de liens $p = 0.1$ et un degré moyen $k = 10$. Les paramètres des agents sont initialisés en utilisant les valeurs des profils cognitifs. En dehors des 9 paramètres qu'ils décrivent, tous les autres paramètres agents sont initialisés sur des valeurs par défaut (voir annexe A).

Nous avons défini trois protocoles de simulation. Le premier décrit les conséquences de la politique sur les profils de comparaison uniquement : nous avons défini des populations où tous les agents ont le même profil ; soit une simulation pour chacun des trois profils, *HA*, *HC* et *MA*. Le second détaille l'effet de la politique en faisant varier l'état d'esprit : nous avons défini des populations successivement pessimiste et optimiste. Par ailleurs, nous avons testé ces deux populations sur les trois précédentes initialisations, c'est-à-dire en faisant également varier le profil de comparaison sociale des agents. Enfin, l'ultime paragraphe explore une politique sur les profils d'orientation : à l'instar des deux précédentes analyses, nous avons défini des populations dont tous les agents ont le même profil d'orientation, successivement *SCO*, *HCO* et *DO*. Nous introduisons cette nouvelle dimension cognitive en l'intégrant aux deux précédentes initialisations sur les profils de comparaison et d'état d'esprit. Afin de déterminer les conséquences de la politique nous décrivons dans le paragraphe suivant les différents indicateurs d'intérêts utilisés pour établir

un diagnostique.

Diagnostic de politique : les indicateurs Afin de matérialiser les conséquences des politiques simulées sur plusieurs populations d'agents, nous avons développé trois indicateurs : (i) le premier s'attache à déterminer la différence entre situation pré et post politique, i.e. les variations du niveau agrégé de satisfaction dans le temps, (ii) le second s'intéresse plus précisément à la distribution de l'amélioration ou de la dégradation de la satisfaction des agents, (iii) et enfin le troisième caractérise les transitions entre états, i.e. les flux entre différents niveaux caractéristiques de satisfaction. Ces indicateurs nous permettent d'interpréter les conséquences de la politique sur la satisfaction des agents. Ils sont systématiquement moyennés sur 50 simulations, du fait des composantes aléatoires de l'amélioration des conditions de travail.

5.3.2 Analyse des résultats en fonction des profils cognitifs des agents cibles

Dans cette section nous cherchons à établir un diagnostic organisationnel qui sanctionne les conséquences au niveau de la satisfaction de la politique simulée d'amélioration du contenu de l'emploi. Nous étudions successivement l'application d'une telle politique dans des contextes cognitifs qui s'enrichissent au fur et à mesure de notre analyse : dans un premier temps nous expliquons les conséquences sur une population d'agents avec différents profils de comparaison ; puis nous intégrons les profils d'état d'esprit et enfin les profils d'orientation. La première étape consiste à faire varier le style de comparaison et voir les différences de réponses à la politique. Dans ce contexte les agents ont, par ailleurs, des profils d'agrégation par défaut, i.e. un profil d'état d'esprit neutre correspondant à $k = 0$ et un profil d'orientation spécifique qui pondère également les trois processus, soit $\gamma^D = \gamma^S = \gamma^H$.

Les profils de comparaison

Au niveau de la comparaison sociale, nous avons identifié deux types de réponses à la politique : un impact faible sur la satisfaction quand l'assimilation est forte et un impact fort positif pour les insatisfaits et négatifs pour les satisfaits dans le cas d'un contraste fort ou modéré. Les graphiques 5.3.1 montrent l'évolution dans le temps de la satisfaction $sat(a)$ agrégée par groupe de quartiles, dès 25% Q_1 les moins satisfaits en rouge, aux 25% Q_4 les plus satisfaits en vert. Les courbes correspondent à la moyenne des satisfactions sur l'ensemble des agents de chaque groupe, et l'intervalle couleur représente l'écart type autour de cette moyenne. Le graphique 5.3.1a montrent les conséquences au niveau de la satisfaction de ces groupes pour des agents en forte assimilation ; le graphique 5.3.1b pour des agents en assimilation modéré et le graphique 5.3.1c des agents en fort contraste.

Dans le cas d'une forte tendance à l'assimilation (graphique 5.3.1a) on constate une dégradation modérée de la situation des moins bien lotis Q_1 , la satisfaction moyenne de ce groupe

d'agents passant de $-0.1(\pm 0.05)$ à $-0.13(\pm 0.08)$, accompagnée d'une amélioration modérée de la condition des groupes intermédiaires, $+0.04$ et $+0.02$ respectivement pour Q_2 et Q_3 . A l'opposé, quand les comparaisons par contraste dominant (graphiques 5.3.1c) la situation des plus insatisfaits s'améliore, avec le groupe Q_1 qui voit la satisfaction agrégée augmenter de 0.15 , mais au détriment d'une dégradation de la satisfaction des mieux lotis Q_3 avec une diminution de -0.05 et Q_4 avec une diminution de -0.1 . On observe que l'assimilation modérée (graphique 5.3.1b) se rapproche plus de la comparaison forte par contraste mais intègre néanmoins les avantages de l'assimilation, avec une diminution moins élevée de la satisfaction des plus satisfaits. On observe donc une moindre amélioration, avec la moyenne de Q_1 augmentée de $+0.09$, mais également une moindre dégradation de la satisfaction agrégée du groupe des plus satisfaits Q_4 , avec une baisse de -0.07 .

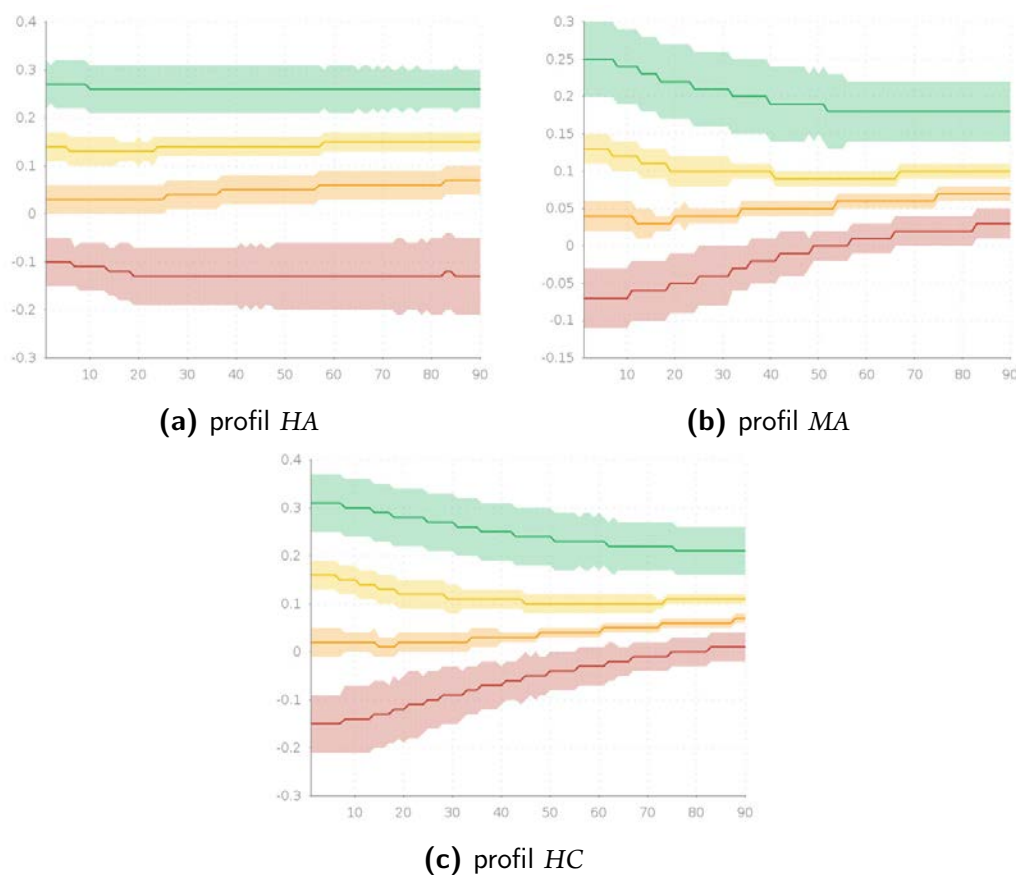


Figure 5.3.1 : Satisfaction $sat(a)$ agrégée (moyenne) par groupe de quartile, des agents les moins satisfaits Q_1 en rouge aux plus satisfaits Q_4 en vert.

Ces diverses réponses ont été identifiées dans [Chapuis and Kant \(2014a,b\)](#) ; notamment, les effets de compensation de l'application d'une politique dans un contexte de contraste : l'amélioration de la situation des uns se fait au déterminent de celles des autres. On remarque que seule la

politique appliquée à la population d'agents en assimilation n'arrive pas à garantir une satisfaction moyenne positive pour l'ensemble des groupe d'agents ; c'est néanmoins l'unique situation où les plus satisfaits conservent leur niveau élevé de satisfaction. La dégradation de la situation des agents les moins satisfaits Q_1 découle de l'interprétation des comparaisons descendantes en situation d'assimilation : comme leurs conditions de travail s'améliorent, ils ont de grandes chances de se trouver avec de meilleures caractéristiques, ce qui dans le cas de l'assimilation donne une évaluation négative (voir tableau 4.2.1). Ce genre de comportement a par exemple été étudiée dans le cadre des théories de la justice (Colquitt et al., 2001 ; Al-Zu'Bi, 2010) : si un individu considère qu'il est injustement sur-rétribué par rapport aux autres (i.e. justice distributive), cela peut conduire à une attitude négative par rapport à son emploi et son organisation. A l'inverse, pour les politiques appliquées dans des contextes où le contraste est fort ou modéré (MA), la satisfaction moyenne des 4 groupes est positive à l'issue de l'amélioration du contenu de l'emploi. La politique donne les meilleurs résultat d'amélioration de la satisfaction des plus insatisfaits dans une population en assimilation modérée : la satisfaction minimum est de -0.06 , alors qu'elle est de -0.17 et -0.36 respectivement dans le cas des profils par contraste ou assimilation fort.

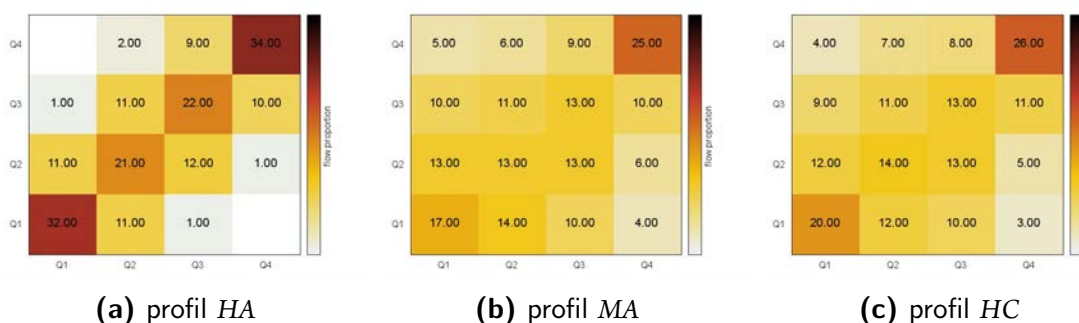


Figure 5.3.2 : Matrice des flux entre groupe de quartile, en nombre d'agents. Les groupes d'origine sont en ligne et les groupes d'arrivé en colonne

Afin d'approfondir la dynamique de la satisfaction des agents, nous avons souhaité nous attarder sur l'évolution de ces groupes. Notamment, en établissant des flux entre groupes quartiles, nous envisageons les conséquences de la politique sous un autre aspect : cela permet d'identifier les agents les plus impactés par la politique, et également de voir dans quelle mesure les changements affectent globalement l'organisation. Dans les graphiques 5.3.2 on affiche les flux d'agents entre groupes quartiles pour des populations en forte assimilation à gauche, assimilation modérée au centre et fort contraste à droite. Les figures se lisent comme suit : les lignes représentent le groupe dans lequel les agents se trouvaient avant la politique et en colonne le groupe d'appartenance à l'issue de la politique. Par exemple, dans la figure 5.3.2a concernant la population en forte assimilation, la première ligne concerne les agents qui étaient les plus satisfaits (groupe Q_4) avant la politique. On voit que 34 agents ont conservé ce statut (ligne 1 colonne 4), 9 sont

passés au groupe quartile en dessous, soit Q_3 (ligne 1 colonne 3) et 2 ont chuté jusqu'au groupe Q_2 (ligne 1 colonne 2). Aucun agent n'est passé du groupe des plus satisfaits Q_4 à celui des plus insatisfaits Q_1 .

En s'intéressant à la structure des flux entre groupes quantils, on voit à nouveau apparaître une bipartition : les organisations avec des agents à assimilation forte sont plus résistantes au changement organisationnel ; alors que le contraste aura tendance à générer plus de transitions entre groupes quartiles. Le profil d'assimilation forte génère moins de transitions, notamment pour les agents aux extrêmes, les 25% plus et moins satisfaits, qui voient leur situation stagner en majorité : 73% (77%) des agents les plus insatisfaits (satisfaits) sont toujours les plus insatisfaits (satisfaits) à l'issue de la politique. Cette proportion descend à 38% (56%) et 46% (58%) respectivement dans le cas de l'assimilation modérée et du contraste fort. Il semble alors que la politique donne ses meilleurs résultats sur une population avec un profil d'assimilation modérée : c'est dans cette configuration que l'on trouve le meilleur compromis entre maintien de l'avantage des agents satisfaits (i.e. 56% sont toujours les plus satisfaits) et amélioration de la condition des plus insatisfaits (i.e. 62% ne font plus partie des plus insatisfaits).

Introduction des profils d'agrégation : état d'esprit et orientation

Dans cette partie nous examinons l'impact des profils d'agrégation sur les résultats de la politique d'amélioration. Nous proposons d'introduire successivement les deux types de profils d'agrégation aux trois populations déjà étudiées. Ces profils cognitifs correspondent respectivement aux paramètres κ^R et κ^A associés aux divers opérateurs d'agrégation, dans le premier cas, et du vecteur $\Gamma^{proc} = \{\gamma^S, \gamma^H, \gamma^D\}$ de pondérations des processus utilisé pour définir une satisfaction agrégée par dimension, dans le second cas.

L'état d'esprit Les graphiques E.0.1 et E.0.2 en annexe E, proposent d'illustrer la dynamique en croisant le style de comparaison et une population d'agents pessimistes et optimistes. On y retrouve la dynamique de la moyenne de satisfaction sur les groupes quartiles et les diagrammes de flux.⁴ Globalement, on remarque que l'introduction de l'état d'esprit implique des valeurs agrégées de satisfaction par groupe très différentes : avant même que la politique n'influe sur l'évaluation des agents, les satisfactions agrégées par groupe sont systématiquement négatives dans le cas d'une population pessimiste, i.e. le groupe des « plus satisfaits » Q_4 a un indicateur agrégé de satisfaction de -0.23 au mieux (forte assimilation) ; et systématiquement positives dans le cas d'une population optimiste, i.e. le groupe des « moins satisfaits » Q_1 a un indicateur agrégé de satisfaction de 0.41 au pire (fort contraste). Comme nous le soulignons dans l'analyse de sensibilité (5.2.1), l'état d'esprit influe fortement l'évaluation des agents, positivement lorsqu'il s'agit

4. Nous rappelons ici que dans la précédente analyse le profil d'état d'esprit était neutre (état d'esprit par défaut) ; c'est pourquoi nous explorons l'impact de la politique sur des populations d'agents pessimistes ou optimistes.

d'un profil optimiste et négativement lorsqu'il s'agit d'un profil pessimiste.

En regardant plus précisément la dynamique des groupes de quartiles, on voit que la réponse de la population pessimiste (E.0.1) à la politique est sensiblement la même que pour les profils neutres : pour des styles de comparaison favorisant un contraste fort et modéré (*HC* et *MA*), l'amélioration de la satisfaction des plus insatisfaits, i.e. les groupes Q_1 et Q_2 , se fait au détriment des plus satisfaits, i.e. les groupes Q_3 et Q_4 . En revanche, dans une situation d'assimilation forte, la tendance entrevue sur le profil neutre s'accroît quand la population est pessimiste : les plus insatisfaits Q_1 le sont encore plus, avec une diminution de -0.05 de l'indicateur agrégé de satisfaction, mais bénéficie aux trois autres groupes quartiles de Q_2 à Q_4 avec une augmentation comprise entre $+0.05$ et $+0.09$. Cette amélioration s'explique par le fait que les agents en assimilation ont tendance à se projeter dans la situation de leurs référents : en rehaussant les caractéristiques des agents les plus insatisfaits, on rend paradoxalement leur situation plus enviable, ce qui conduit le reste des agents à également espérer bénéficier de l'amélioration. Cela explique que, dans un contexte pessimiste, le bilan de la politique sur une population en forte assimilation est plutôt positif : les moins insatisfaits Q_4 sont de 0.2 plus satisfaits que dans les 2 autres situations de comparaison. Néanmoins, à l'issue de la politique, les plus insatisfaits Q_1 sont bien plus insatisfaits, avec une satisfaction agrégée à -0.71 , de 0.15 inférieure à celle des deux autres populations.

Concernant les diagrammes de flux, on observe le même schéma que dans le cas d'état d'esprit neutre (graphiques 5.3.2) : les populations en assimilation ont tendance à résister aux transitions initiées par la politique, alors que la politique va générer plus de transitions sur une population avec une plus forte tendance au contraste. À noter cependant que l'introduction du profil pessimiste conduit à une plus forte résistance des plus insatisfaits Q_1 qui sont moins nombreux à monter dans les quartiles d'agents plus satisfaits : ils sont 85% à rester dans cette situation en assimilation forte et 54% dans le cas d'une assimilation modérée ou d'un contraste fort.

À l'opposé, l'application d'une politique d'amélioration avec des agents optimistes (E.0.2) donnent des résultats plus nuancés : dans le cas d'une tendance forte à l'assimilation, la dégradation de la situation des plus insatisfaits (-0.05) ne profite pas aux 3 autres groupes quartiles qui voient leur satisfaction agrégée stagner. Contrairement au cas des agents à assimilation modérée et contraste élevé qui donnent toujours de bons résultats sur le groupe des plus insatisfaits Q_1 , avec une augmentation de $+0.06$ et $+0.12$ respectivement, tout en opérant une moins grande compensation sur les agents les plus satisfaits Q_4 , avec une diminution de -0.03 et -0.06 . Le meilleur bilan de la politique sur des populations favorisant le contraste se confirme dans les diagrammes de flux : les plus satisfaits le restent en majorité (i.e. 76% et 72% des agents initialement dans le groupe Q_4 s'y trouvent toujours à l'issue de la politique) alors que les insatisfaits passent en plus grand nombre dans les groupes quartiles plus élevés, surtout dans le cas du contraste fort.

L'orientation Pour clore l'analyse de la politique nous avons introduit les profils d'orientation. Ils se caractérisent par une pondération accrue d'un processus cognitif dans l'évaluation de l'emploi (voir section 5.2.2). Dans cette dernière étape, nous examinons les résultats de la politique avec 3 profils différents pour la comparaison, l'état d'esprit et l'orientation. Ce qui donne un total de 27 populations différentes. Du fait de la trop importante quantité de combinaisons, nous nous contenterons donc d'observer globalement la dynamique, au niveau de la satisfaction agrégée en moyenne sur l'ensemble de la population. Le graphique 5.3.3 décrit la dynamique de la satisfaction agrégée en fonction des trois orientations pour les trois profils d'état d'esprit avec un profil de comparaison *MA*.

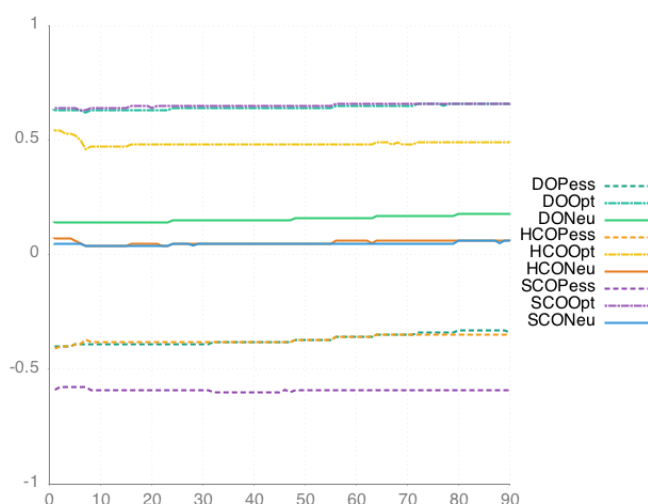


Figure 5.3.3 : Satisfaction agrégée $\sum_{i=1}^n sat(a_i)/n$, avec trois profils d'orientation, d'état d'esprit et une population en assimilation modérée

Dans le cas d'une population optimiste, ce sont les agents dont le jugement est fortement orienté par la comparaison historique qui bénéficient globalement le moins des effets positifs de la politique. Quand l'état d'esprit est neutre, c'est la politique sur les profils d'orientation directe qui donne les meilleurs résultats. Enfin, les conséquences de la politique sur des population d'agents pessimistes sont les plus décevantes dans le cas d'un fort poids de la comparaison sociale. Globalement, la politique donne les meilleurs résultats sur des agents au profil d'orientation directe (*DO*).

Les politique sur les profil favorisant la comparaison historique (*HCO*) donne des valeurs de satisfaction plus faible, qui traduit une situation d'ambivalence ni satisfaisante, ni insatisfaisante. Cela est dû au fait qu'en l'absence de modification des conditions de travail, le mécanisme de comparaison historique ne se base sur aucune divergence et donc débouche sur un impact neutre : dans notre politique, c'est le cas de $3/4$ des agents de l'organisation à chaque application de la po-

litique. Dans un contexte optimiste, cela aura tendance à diminuer l'impact positif des meilleures caractéristiques. A l'inverse, dans les conditions du profil pessimiste, cela aura tendance à diminuer l'impact des caractéristiques les plus négatives. Ce mécanisme a été identifié comme un comportement stratégique visant à protéger l'individu de valeurs de satisfaction trop éloignées du niveau de base ; aussi envisagé comme un processus homéostatique (Cummins et al., 2012).

Enfin, concernant les profils d'orientation à la comparaison sociale (SCO) on constate que les tendances détaillées dans les paragraphes précédents se confirment et s'accroissent : la politique donne ses meilleurs effets avec des profils favorisant le contraste quand les agents sont optimistes et avec des profils encourageant l'assimilation quand les agents sont pessimistes. Malgré l'amélioration globale, les profils d'orientation à la comparaison sociale ont tendance à introduire des effets de compensation dans les politiques : en contraste ce sont les plus satisfaits qui le sont moins, en assimilation ce sont les plus insatisfaits qui le sont encore plus.

5.3.3 Les enseignements de l'étude de la politique simulée

Dans cette section nous avons présenté et analysé les conséquences d'une politique d'amélioration des conditions de travail. Le profil cognitif des agents est apparu comme un élément primordial pour déterminer les conséquences d'une telle action sur les niveaux de satisfaction. Notamment, nous avons identifié des effets de compensation induit par les profils de comparaison sociale, la résistance des populations pessimistes ou encore la tendance de la politique à générer les meilleurs résultats sur une population au profil d'orientation direct. Globalement, le profil des agents est une variable importante à prendre en compte dans la mise en place de politique d'amélioration du contenu.

Dans la section suivante, nous proposons de soumettre notre modèle à un second examen : en s'appuyant sur des données de panel, nous chercherons à calibrer le modèle de simulation afin de reproduire les niveaux déclarés de satisfaction.

5.4 Calibration sur données de panel

Nous avons appliqué notre modèle à un second cas empirique : ce jeu de données correspond à une enquête de panel avec les mêmes individus interviewés à un intervalle de 9 puis 7 mois (pour un détail voir section 5.1.2). L'enjeu consiste à retracer les changements au niveau de la perception des caractéristiques (les réponses aux questionnaires) en définissant un scénario, et de reproduire les niveaux de satisfaction déclarés au niveau de nos agents en calibrant leur paramètres cognitifs. Dans ce chapitre, nous présentons le fonctionnement et les résultats de cette calibration. Dans la mesure où les données dont nous disposons permettent une granularité inédite, nous avons souhaité calibrer les paramètres agent par agent : il s'agit alors de trouver les paramètres spécifiques à chaque agent qui permettent de reproduire la satisfaction déclarée, spé-

cifique à l'individu de l'enquête que chaque agent représente. Dans la section 5.4.1, nous présentons en principe le fonctionnement de l'algorithme Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy (CMA-ES) choisi pour la calibration du modèle de simulation. Ensuite nous détaillons le problème à optimiser, à savoir les paramètres à calibrer ainsi que les objectifs à atteindre et la fonction de fitness associée. Enfin, nous présentons dans la section 5.4.2, les résultats obtenus.

5.4.1 *Définition du protocole de calibration : algorithme, initialisation et scénario*

Le CMA-ES de Hansen et al. (2003) est un algorithme de type évolutionnaire utilisé dans les problèmes d'optimisation dans un espace continu. Il est, entre autre, bien adapté à la calibration de modèles simulés (Hansen, 2006). Le principe général est d'explorer l'espace de paramètres en adaptant la recherche à une fonction de fitness. Concrètement, à la première itération l'algorithme lance des populations de simulations avec différents jeux de paramètres, puis calcule une distance entre les résultats obtenus par population et les objectifs définis par le modélisateur. Les paramètres à explorer pour les populations de simulations suivantes s'adaptent automatiquement en fonction des scores de fitness obtenus à l'itération précédente. Le processus s'achève lorsque le modélisateur estime que la distance entre résultats et objectifs est satisfaisante. L'algorithme prend trois paramètres : la taille de la population, c'est-à-dire le nombre de simulations concurrentes sur une itération, un vecteur de paramètre pour la première itération et une déviation standard. Le dernier paramètre cité concerne la variation aléatoire initiale et détermine l'étendue de l'espace de recherche de départ autour du vecteur d'entrée. Dans la section qui suit, nous revenons sur la définition de notre problème : l'ensemble des paramètres à ajuster, les objectifs à atteindre et la fonction de fitness.

Définition des paramètres à calibrer : initialisation des agents

La taille du problème que l'algorithme de calibration explore a un impact très important sur l'efficacité du CMA-ES, autant en termes de temps de calcul que de succès de la calibration (Hansen and Kern, 2004). En effet, l'algorithme a d'abord été conçu pour explorer des problèmes de taille réduite, i.e. $n < 10$, mais reste globalement l'algorithme le plus performant sur des problèmes plus grands (jusqu'à $n = 50$ dans Hansen and Kern, 2004). Néanmoins, il est nécessaire de réduire au maximum l'espace de recherche pour éviter de démultiplier les temps de calcul qui augmentent en fonction inverse du nombre de dimensions. L'augmentation des dimensions du problème augmente également la probabilité d'optimum locaux, et rend l'optimisation plus difficile. Hors, notre problème contient un très grand nombre de critères, à savoir potentiellement 9 paramètres par agent : en effet, nous nous concentrons sur la calibration des paramètres cognitifs déjà étudiés dans l'analyse de sensibilité (section 5.2) et le scénario de politique organisationnelle

(section 5.3).

Les paramètres des agents Dans l'objectif de réduire le nombre de paramètres à estimer, nous avons conçu une méthode d'initialisation basée sur les profils cognitifs. Celle-ci permet d'obtenir un paramètre par type de profil. Dans la section précédente, nous en avons identifié trois : les types de comparaison sociale, d'état d'esprit et d'orientation. Chaque agent dispose d'un paramètre pour chacun d'eux : $C_a^{CPT} \in [0 : 1]$ détermine le profil de comparaison sociale de l'agent, $C_a^{SoMPT} \in [0 : 1]$ le profil d'état d'esprit et $C_a^{OPT} \in \mathbb{Q}_+$ le profil d'orientation. Concrètement, si $C_a^{CPT} = 0$ alors l'agent a sera initialisé avec les valeurs du profil de comparaison d'assimilation forte ; si $C_a^{CPT} = 1$ avec les valeurs du profil de comparaison de contraste fort et enfin si $C_a^{CPT} = 0.5$ avec les valeurs du profil de comparaison d'assimilation modéré. Pour toutes les valeurs intermédiaires de C_a^{CPT} le profil de l'agent résulte d'une agrégation pondérée des profils : quand $0 > C_a^{CPT} > 0.5$ l'agent a un profil entre l'assimilation forte et modéré et quand $0.5 > C_a^{CPT} > 1$ l'agent a un profil entre l'assimilation modérée et le contraste fort. L'opération est similaire pour les profils d'état d'esprit : $C_a^{SoMPT} = 0$ correspond à un agent pessimiste et $C_a^{SoMPT} = 1$ à un agent optimiste, avec toute les variations entre ces deux extrêmes. Pour le dernier paramètre C_a^{OPT} la logique est un peu différente comme les profils ne s'ordonnent pas implicitement. L'absence de borne traduit l'idée que chacun des trois profils d'orientation peuvent s'agréger deux à deux : par exemple, un profil entre l'orientation directe et l'orientation à la comparaison sociale ou entre l'orientation directe et la comparaison historique. Le principe reste le même : les agents sont initialisées à partir d'une agrégation des valeurs de paramètre des profils cognitifs d'orientation.

Description du protocole de simulation L'algorithme de calibration doit permettre de trouver la meilleure estimation de la valeur de ces trois paramètres pour chacun des agents de la simulation. On notera que malgré la réduction du nombre de paramètres à 3 par agents, l'espace du problème reste vaste puisqu'il croît linéairement avec le nombre d'agents. C'est pourquoi nous avons d'abord conduit la calibration avec 10 agents, puis 30 et finalement 50 et 100. Pour chacune de ces calibrations, le problème est respectivement de dimension n équivalent à 30, 90, 150 et enfin 300. Pour les autres paramètres du modèle de satisfaction nous avons choisi les paramètres par défaut : soit $RN^C = 0.2$, $f = 8$ et $r = 0.5$. Le réseau utilisé est un small world avec une probabilité de ré-allocation fixée à 0.1. Les caractéristiques saillantes pour établir l'ancrage dans la comparaison ont été choisies parmi les conditions d'emploi disponibles : le lieu de travail, le nombre de jours en télétravail, l'ancienneté, le statut et la direction de rattachement. Dans la section qui suit, nous revenons sur le scénario d'évolution des conditions de travail.

Scénario d'évolution des conditions de travail

Dans la section 5.3 précédente, nous avons étudié la dynamique de la satisfaction à partir d'un scénario théorique basé sur un impact positif aléatoire sur les caractéristiques les plus faibles des agents insatisfaits. Ce scénario représente le déroulement idéal d'une politique organisationnelle d'amélioration des conditions de travail. Dans ce cas, il s'agit d'une pure fiction où l'organisation dispose de tous les moyens et de toute l'information pour conduire cette action. A l'inverse, le scénario d'évolution des conditions de travail mis en place pour la calibration se fonde sur des données empiriques. La structure de l'enquête en panel nous offre la possibilité d'identifier l'évolution caractéristique par caractéristique perçue par les individus enquêtés : par conséquent, nous disposons pour chaque agent des conditions de travail au temps T_0 , puis 9 mois plus tard celles au temps T_1 et enfin, 16 mois plus tard au temps T_2 . Nous avons choisi par convention de représenter une semaine par un tick de simulation : par hypothèse, les agents réévaluent leurs conditions de travail ainsi que leur satisfaction une fois par semaine sur les 16 mois du scénario. Nous avons donc initialisé les caractéristiques $IS(a, t_0)$ des agents sur les données de questionnaire à T_0 . Ensuite sur 32 ticks de simulation, soit l'équivalent de 9 mois, le vecteur $IS(a, t_0)$ initialisé sur les données à T_0 converge linéairement vers les conditions de travail déclarées au temps T_1 . La même opération est répétée pour atteindre en 28 ticks (7 mois) les valeurs du questionnaire au temps T_2 . Concrètement, pour tout agent a donné les caractéristiques évoluent de la manière suivante :

$$q(a, t + 1) = q(a, t) + \frac{q(a, T_{x+1}) - q(a, T_x)}{t(T_{x+1}) - t(T_x)} \quad (5.2)$$

Dans l'équation 5.2 la caractéristique $q(a, T_x)$ perçue au questionnaire T_x converge vers la valeur $q(a, T_{x+1})$ pour le questionnaire T_{x+1} par incréments de valeur fixe. Celle-ci correspond à la différence entre les caractéristiques des deux questionnaires divisée par l'éloignement en nombre de ticks des itérations de questionnaire $t(T_x)$ et la suivante $t(T_{x+1})$. L'évolution linéaire traduit l'hypothèse la plus neutre sur la manière dont ont évolué les caractéristiques des individus. De plus, à l'initialisation du scénario et pour chaque étape de convergence à $t(T_1)$ et $t(T_2)$ les conditions de travail se stabilisent sur 4 ticks, soit l'équivalent d'un mois. Sur cette période, seules les caractéristiques n'évoluent pas, puisque l'agent continue à ré-évaluer sa satisfaction. Cette période correspond à l'intronisation des questionnaires et représente la période d'enquête dans notre scénario. Celui-ci prend donc fin à $t(T_2) + 4$ et les résultats collectés sont moyennés sur 20 à 30 simulations en fonction du nombre d'agents calibré.

5.4.2 Analyse des résultats du CMAES

Dans cette section, nous revenons sur les résultats obtenus. Nous définissons dans un premier temps les objectifs, puis nous analysons les résultats d'abord au niveau des indicateurs globaux,

puis en regardant plus précisément la satisfaction des agents. Nous tentons de mettre en perspective les objectifs atteints avec les résultats de paramètres obtenus avec la calibration.

Définition des objectifs et de la fonction de fitness

Le grand nombre de paramètres à calibrer nécessite également de considérer un grand nombre de cibles. En la matière, les enquêtes fournissent le niveau de satisfaction déclaré par les individus sur les trois itérations du questionnaire. Par convention, pour l'agent a , les trois objectifs sont notés $Qsat(a, T_0)$, $Qsat(a, T_1)$ et $Qsat(a, T_2)$ pour les trois satisfactions déclarées. Celles-ci correspondent à une réponse sur l'échelle de Likert reproduites en figure 5.1.1 dans la section 5.1.2 ; soit $Qsat(a, T_x) \in \{1, 2, 3, 4\}$. Nous disposons d'un nombre équivalent de paramètres à calibrer et de cibles à atteindre, à savoir 3 par agent.

La satisfaction $sat(a) \in [-1 : 1]$ des agents n'est pas représentée dans le même intervalle que nos cibles. Le calcul de la fitness se base donc sur une transposition des valeurs réelles de satisfaction en valeur entière sur l'intervalle $[1; 4]$, comme c'est le cas dans les enquêtes. Par convention, la fonction $Likert(sat(a))$ permet de convertir les valeurs de satisfaction de nos agents afin de les comparer aux réponses du questionnaire, tel que :

$$Likert(sat(a)) = \begin{cases} 1 & \text{si } sat(a) < -0.5 \\ 2 & \text{si } -0.5 \leq sat(a) < 0.0 \\ 3 & \text{si } 0.0 \leq sat(a) < 0.5 \\ 4 & \text{si } 0.5 \leq sat(a) \end{cases} \quad (5.3)$$

Ensuite le calcul de la fitness est une fonction puissance de la distance entre la satisfaction transposée des agents et la satisfaction déclarée des individus qu'ils représentent, soit :

$$fit = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=1}^n \left(Likert(sat(a_i, T_j)) - Qsat(a_i, T_j) \right)^2 \quad (5.4)$$

Plus la fitness diminue, plus la calibration s'approche des objectifs fixés. En d'autres termes, plus la distance entre satisfactions déclarées et satisfactions des agents est faible, meilleure sera la fitness. Par ailleurs, comme nos objectifs sont exprimés sous la forme d'entiers, il est possible que l'algorithme permette de remplir tous les objectifs ; ce qui équivaut à $fit = 0$. Compte tenu de cette particularité nous avons élaboré deux indicateurs supplémentaires : un indicateur d'erreur qui correspond à la proportion (ou le nombre) de cibles qui ne sont pas atteintes ; et un indicateur de complétude qui correspond à la proportion d'agents pour lesquels les trois cibles ont été atteintes. Dans le premier cas, on comptabilise le nombre de satisfactions sur les trois itérations qui n'ont pu être reproduites ; alors que dans le second on ne comptabilise que les agents pour lesquels les trois satisfactions aux trois itérations ont effectivement pu être reproduites.

Dans les trois sections précédentes nous avons présenté le protocole de calibration : description de l'algorithme de calibration, du scénario de simulation et définition des objectifs et de la fonction de fitness. Dans les deux sections suivantes nous présentons les résultats de la calibration, d'abord globaux, en étudiant les résultats agrégés, puis spécifique, en utilisant un algorithme de classification de nos agents.

Interprétation des résultats à partir de la satisfaction

Nous avons appliqué l'algorithme de calibration sur différentes simulations : en faisant varier d'abord le nombre d'agents et donc la dimension du problème à optimiser ; puis nous avons fait varier le vecteur d'entrée et le paramètre de variabilité de l'espace de recherche dans les premières itérations afin d'orienter la calibration. En effet, nous avons constaté qu'avec un petit nombre d'agents (i.e. 10), soit un problème de dimension $n = 30$, l'algorithme arrive rapidement à une solution optimale. En revanche, dès que la taille du problème augmente, e.g. 30 agents avec $n = 90$, l'algorithme converge beaucoup moins rapidement et obtient une moins bonne résolution.

nombre d'agents	n = 10	n = 30	n = 50	n = 100	n = 200
<i>fit</i>	0	11	17	71	464
Erreur (prop)	0%	8%	11%	18%	54%
Erreur (nb)	0	9	17	64	331
Complet (prop)	100%	79%	72%	64%	18%

Table 5.4.1 : Résultats de *fitness* et d'erreurs pour des calibrations sur n agents

Nous avons alors calibré une simulation en définissant le vecteur de paramètres qui caractérise la meilleure solution trouvée par le CMAES en vecteur d'entrée. Par ailleurs, Compte tenu des temps de calcul très longs, nous avons conduit les calibrations sur la grappe de calculateurs : à titre d'exemple, pour 100 agents la meilleure solution trouvée a nécessité 8 jours de calcul avec 48 simulations en parallèles. Nous affichons dans le tableau 5.4.1 les résultats en terme de fitness (equation 5.4), d'erreurs et de proportion d'agents dont les trois satisfactions ont pu être reproduites par simulation. On constate que la résolution est d'autant moins satisfaisante que le nombre d'agents augmente. Pour 100 agents, nous avons 300 paramètres, ce qui contribue sans conteste à atteindre les limites de l'algorithme de calibration, puisqu'un problème à 300 dimensions est extrêmement délicat à optimiser. Cependant, on constate que malgré ces limitations, notre modèle permet de reproduire la satisfaction de 64 agents sur les trois itérations du questionnaire. Sur les 300 cibles seules 64 (18%) n'ont pas été atteintes. Dans le graphique 5.4.1 nous avons affiché la valeur agrégée en moyenne sur l'ensemble des agents pour les trois itérations. La courbe rouge (Objectif) décrit la moyenne des satisfactions déclarées agrégée sur l'ensemble

des individus enquêtés, alors que la courbe bleue (Résultat) décrit la moyenne des satisfactions simulées agrégée sur l'ensemble des agents. Nous avons également reproduit l'écart type (axe de droite) réel et simulé.

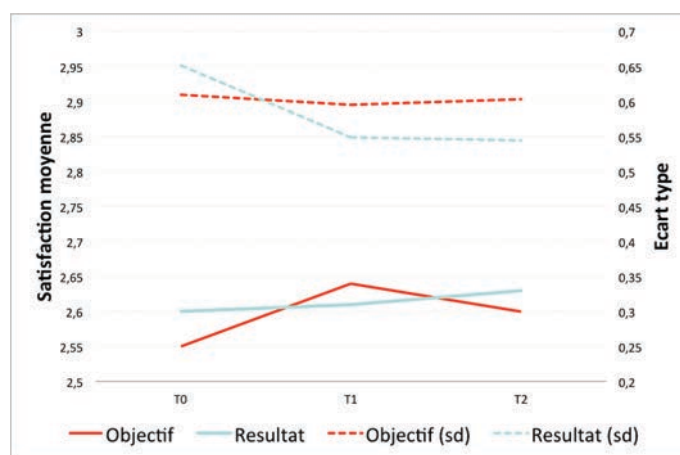


Figure 5.4.1 : Moyenne de satisfaction pour les trois itérations du questionnaire avec 100 agents

Globalement, la satisfaction agrégée moyenne simulée est très proche de la satisfaction réelle : l'écart absolu est toujours en dessous de $5/100$. Avec une moyenne comprise entre 1 et 4, l'écart relatif entre les données réelles agrégées et simulées est même inférieur à 2%. De plus, on voit que nous avons également été capable de reproduire l'écart type avec une bonne précision, puisque l'écart absolu est cette fois inférieur à $6/100$. Nous avons cependant souhaité regarder plus en profondeur les résultats. Nous nous sommes alors intéressé à la distribution de la satisfaction. Plus précisément, nous avons classé les individus en fonction de l'évolution de leur satisfaction déclarée : un groupe où la satisfaction s'est globalement dégradée entre T_0 et T_2 , un groupe où la satisfaction s'est améliorée dans le même temps, et enfin le groupe des individus dont la satisfaction est restée stable. Le premier groupe contient 28 individus, le second 30 et le dernier 42. Dans la figure 5.4.2 suivante, nous avons reproduit les niveaux de satisfaction moyens agrégés pour ces trois groupes, en valeurs réelles (Objectif) et simulées (Résultat).

On constate que la valeur simulée (bleu pointillée) de la satisfaction du groupe des individus ayant déclarés une satisfaction stable est très proche de la valeur réelle (bleue). L'écart absolu et relatif est ici négligeable. Nous avons par ailleurs réussi à reproduire la tendance à la baisse et à la hausse de la satisfaction des deux autres groupes : en vert une augmentation forte entre T_0 et T_1 , puis une augmentation plus faible entre T_1 et T_2 ; en rouge une augmentation peu importante entre T_0 et T_1 que T_1 et T_2 . Dans les deux cas, l'écart absolu est inférieur à 0,25, soit un peu moins de 8% d'erreurs relatives. Le gain de satisfaction réelle est de 1.16 et de 0.7 en simulé, alors que la

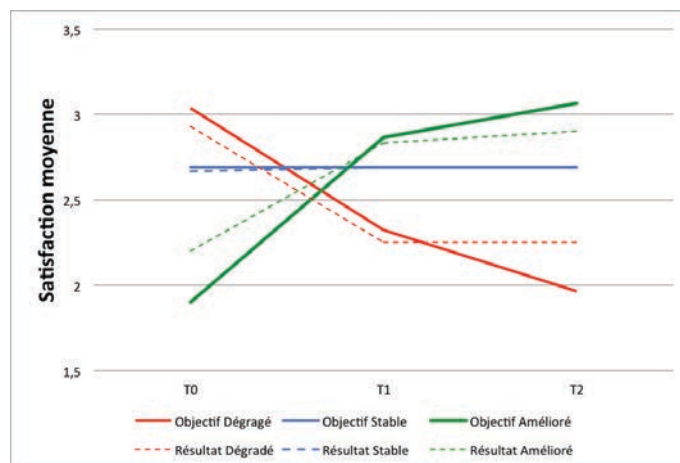


Figure 5.4.2 : Moyenne de satisfaction pour les individus ayant déclaré une satisfaction en hausse (vert), en baisse (rouge) ou stable (bleu) sur l'ensemble des trois itérations de l'enquête

baisse se traduit par un niveau moyen réel en recule de -1 et de -0.67 en simulé.

On observe globalement que ces tendances sont associées à une dégradation, une amélioration ou une stagnation perçues des conditions de travail. En effet, la moyenne des réponses au questionnaire pour les 12 questions du JCQ est de 2.65, 2.44 et 2.59 à T_0 , puis à 2.57, 2.6 et 2.58 à T_2 respectivement pour les groupes d'individus dont la satisfaction s'est dégradée, a augmenté et stagné. Cependant, on constate que la différence est bien moins importante que la variation de niveau de satisfaction : concernant les deux groupes dont la satisfaction a évolué, la perte ou le gain correspond en moyenne à 1 point, alors que l'évolution des caractéristiques donne une amplitude bien moindre, avec une perte de 0.08 et un gain de 0.14. Afin de comprendre ce qui conduit une évolution relativement faible des conditions de travail à une dégradation significative de la satisfaction, nous proposons de s'intéresser à la manière dont nos agents ont interprété ces évolutions. Les profils de nos agents sont un bon indicateur de la manière dont ils évaluent leurs conditions de travail. Dans le graphique 5.4.3, nous proposons une représentation synthétique des profils agents : le radar met en relation chacun des 8 paramètres⁵, avec en bleu les paramètres moyens pour les agents dont la satisfaction a stagné, en vert ceux pour qui la satisfaction a augmenté et en rouge ceux dont la satisfaction a diminué. Le premier constat frappant concerne l'état d'esprit qui démarque clairement les groupes : les agents représentant les individus ayant déclaré une satisfaction stable (bleu) ont un profil plutôt optimiste, alors que les deux autres groupes d'agents apparaissent pessimistes. De manière surprenante, le groupe des agents dont la satisfaction a augmenté, se trouve être pessimiste, avec un $k = -0.17$ en moyenne. Cette caractéristique

5. Les paramètres d'état d'esprit κ^R et κ^A sont tous deux représentés par la valeur κ puisqu'ils ont dans nos profils la même valeur définie par k

surprenante semble être compensée par l'orientation de ces agents : ils s'appuient globalement sur la comparaison pour évaluer leur situation, avec un profil d'orientation moyen correspondant à $\gamma^H = 0.61$, $\gamma^S = 0.58$ et $\gamma^D = 0.4$. Par ailleurs, nous avons vu que leurs caractéristiques évoluent positivement : à cet égard, ils bénéficient d'impacts positifs autant en se comparant avec leurs situations passées, qu'avec les autres agents, notamment ceux dont les conditions de travail se dégradent.

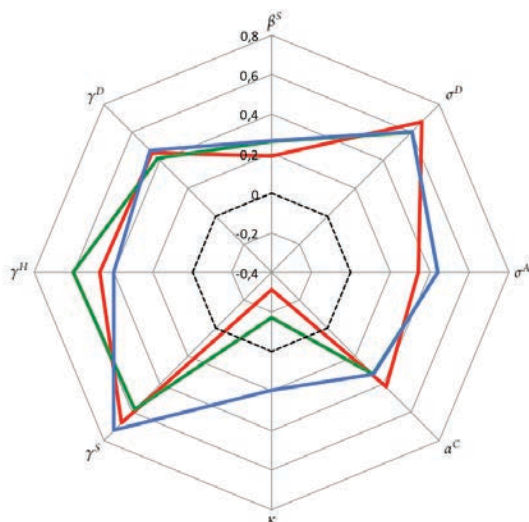


Figure 5.4.3 : Moyenne des paramètres des agents correspondant aux individus ayant déclaré une satisfaction en hausse (vert), en baisse (rouge) ou stable (bleu) sur l'ensemble des trois itérations de l'enquête

tendance à l'optimisme, cela conduit ce groupe d'agents à considérer leur satisfaction sur des critères stables (faible effet de la comparaison et effet direct avec des caractéristiques stables) et positifs (les meilleurs critères). Enfin, le dernier groupe se caractérise par deux propriétés marquantes : un pessimisme fort avec $k = -0.31$ et une orientation à la comparaison sociale importante $\gamma^S = 0.68$ couplée à une tendance à interpréter les comparaisons par contraste, avec $a^C = 0.42$, $\sigma^A = 0.34$ et $\sigma^D = 0.68$. Pour ces agents, la dégradation de leur conditions s'aggrave du fait qu'ils avaient tendance à évaluer positivement leur position avantageuse au départ. Ce qui par contraste était un avantage, devient un inconvénient d'autant plus fort que ces agents ont tendance à sur-évaluer leurs évaluations négatives.

Globalement, nous avons montré que notre modèle était capable de reproduire avec une grande fidélité des données d'enquêtes riches. Notamment, comme nous l'avons montré, l'évolution des conditions de travail seule ne pouvait permettre de comprendre les évolutions au niveau de la satisfaction. A l'aide de la calibration des profils cognitifs de nos agents, nous avons pu expliquer l'écart entre situation perçue et évaluation de la satisfaction.

L'écart entre l'augmentation de leurs caractéristiques et celle plus importante de leur satisfaction, s'explique donc par le fait qu'ils mettent en perspective leur évolution avec leur situation passée et la situation des autres agents. Le groupe des agents dont la satisfaction reste stable, représenté par le profil en bleu, pondère faiblement la comparaison avec les épisodes passés $\gamma^H = 0.38$ mais fortement la comparaison sociale $\gamma^S = 0.73$. De ce point de vue, on constate qu'ils sont sensibles à l'assimilation avec $\sigma^A = 0.44$ et $a^C = 0.32$. Cette tendance peut d'ailleurs expliquer la relative stabilité de l'indicateur : les effets de la comparaison sociale sont plus ambivalents puisque l'assimilation intègre les deux interprétations contraires (voir section 4.2.3). Conjuguée à la

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une analyse systématique de notre modèle de satisfaction. Tout d'abord, notre méthodologie d'analyse met en avant l'utilisation de données empiriques pour éprouver le modèle. La première section 5.1 détaille le travail de modélisation des conditions de travail qui nous a permis d'intégrer les données d'enquêtes dans notre simulation. Nous sommes redevables, à ce titre, envers notre partenaire Technologia qui a mis à notre disposition le travail d'enquête de nombreux experts sur plusieurs cas empiriques.

Nous avons également proposé un protocole d'exploration du modèle : l'analyse de sensibilité nous a permis de déterminer des comportements types capturés par des profils cognitifs d'agents que nous avons ensuite testés à l'aide d'un scénario. En section 5.2.2, nous avons pu élaborer trois types de profils qui concernent la comparaison sociale et l'agrégation des évaluations et des processus d'évaluation : le premier oppose la comparaison par assimilation (*HA*) à la comparaison par contraste (*HC*), avec un profil intermédiaire (*MA*), le second établit des profils d'état d'esprit optimiste, neutre et pessimiste, et le dernier identifie des profils dont l'évaluation est plutôt orientée par la comparaison sociale (*SCO*), la comparaison historique (*HCO*) ou l'évaluation directe des conditions de travail (*DO*).

Dans la section 5.3, nous avons proposé de tester de l'impact de ses profils sur les conséquences d'une politique organisationnelle d'amélioration des conditions de travail. Les résultats de la politique sur la satisfaction se sont avérés être plus ou moins efficace en fonction du profil cognitif des agents (voir section 5.3.2) : le contraste fort implique des effets de compensation où l'augmentation de la satisfaction des uns se traduit par l'insatisfaction des autres, alors qu'une politique entreprise sur des agents en assimilation aura tendance à creuser l'écart entre les plus insatisfaits et les plus satisfaits. Globalement c'est dans le contexte de l'assimilation modérée, que la politique donne les meilleurs résultats. Par ailleurs, nous avons vu qu'une politique entreprise sur des agents pessimistes ne permet pas d'améliorer leur satisfaction : dans ce contexte, il semble important d'agir d'abord sur l'état d'esprit des salariés avant de considérer une amélioration de leurs conditions de travail. Ces éléments sont des points cruciaux à prendre en compte dans la mise en place de telles politiques : l'organisation doit d'abord étudier le profil cognitif de ses employés afin de pouvoir adapter son action et obtenir des résultats satisfaisants.

Enfin, dans la dernière section 5.4 de ce chapitre, nous avons calibré les paramètres des profils cognitifs en simulant un scénario basé sur des données de panel. Notre modèle a réussi à reproduire les niveaux de satisfaction avec une précision élevée pour 100 agents. L'ajustement des profils a permis de comprendre pourquoi dans un même contexte des individus déclarent une satisfaction en baisse alors que d'autres déclarent une satisfaction à la hausse.

PARTIE II



De-C GCM : un modèle d'activité en organisation

6

Etat de l'art : modélisation de l'activité de travail

Les théories en psychologie et en économie identifient clairement les caractéristiques perçues du travail comme les déterminants majeurs de la satisfaction. Or, en modélisant la satisfaction il est apparu important de disposer d'un mécanisme dynamique qui puisse représenter ces déterminants : une représentation dynamique des conditions de travail, c'est-à-dire un modèle d'activité dans l'entreprise. En effet, les données dont nous disposons détaillent les caractéristiques perçues à un point unique dans le temps (voir section 5.1). Nous avons alors besoin d'un modèle qui permette à nos agents de percevoir dynamiquement leurs conditions de travail à partir de ce dernier. L'activité de nos agents doit définir les caractéristiques du travail qui sont utilisées dans l'élaboration de la satisfaction. Conformément au modèle JD-R (Bakker and Demerouti, 2007), il s'agit principalement des demandes et des ressources dont dispose le travailleur pour accomplir sa tâche. Dans nos données, il s'agit des dimensions de la latitude décisionnelle, de la demande psychologique et du soutien social (Karasek, 1979).

Nous nous sommes donc intéressés aux recherches sur l'activité dans les organisations. Il existe dans cette littérature deux grands courants : les théories "top-down" et "bottom-up". Les premières s'intéressent aux principes qui conditionnent la création des organisations et qui permettent leur maintien dans un environnement économique ; alors que les secondes s'intéressent plutôt à leur constitution interne, en décrivant leurs comportements à partir des entités de base et de leurs interactions. Compte tenu de notre problématique nous avons été naturellement enclins

à plus orienter nos recherches vers le second courant. Mais comme il nous est apparu nécessaire de concevoir un environnement organisationnel pour l'activité de nos agents, nous avons également investi le premier champ.

Dans les sections de ce chapitre nous détaillons ces deux perspectives. Nous revenons ainsi brièvement sur les problématiques "top-down" : la première section 6.1 décrit quelques unes des approches économiques les plus influentes. Ensuite, les deux dernières sections sont consacrées aux développements de l'approche concurrente essentiellement dans le domaine de la simulation : au niveau de la modélisation des processus organisationnels en section 6.2 et de l'activité organisationnelle sous ses aspects psychologique, sociologique et multi-agents en section 6.3.

6.1 Quelques approches en économie des organisations

Dans le contexte de l'économie classique, le travailleur n'existe pas en tant que tel - "The frictionless neoclassic model of the firm" [Andrews et al. \(2004\)](#). L'activité de l'entreprise se résume à une fonction de production et n'est pas intéressante dans le cadre de la modélisation multi-agents de l'activité organisationnelle ([Chang and Harrington, 2006](#)) : jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle, le fonctionnement de l'entreprise n'est pas micro-fondé en économie ([Simon, 1972](#) ; [Le Moigne, 1998](#)). Ce qui préoccupe en revanche les économistes est d'expliquer l'existence de deux formes distinctes d'organisation de l'activité économique : l'entreprise et le marché. Néanmoins certaines perspectives économiques s'attachent à étudier les motivations des acteurs au sein de l'organisation, notamment au contact des sciences de gestion et du management. Nous détaillons dans les paragraphes qui suivent les trois plus importantes.

Théorie des coûts de transactions et du principal-agent D'après cette théorie ([Williamson and Masten, 1999](#)), l'entreprise a pour vocation de faire diminuer les coûts associés à la production d'un bien sur un marché : le tout est de fixer les limites entre les tâches qui seront externalisées et soumises au prix du marché et celles que l'on organise en interne et dont les tâches seront soumises à contractualisation. Ainsi se forment les frontières de l'entreprise et par conséquent sa démarcation par rapport au marché. C'est à travers le contrat principal-agent que l'entreprise lie ses intérêts à ceux des individus qui s'y engagent. Par le jeu des incitations, le principal – l'organisation – est à même de gérer et coordonner la réalisation de ses objectifs par les agents – les employés – à moindre frais par rapport au marché. La relation principal-agent, issue des théories de l'agence ([Jensen and Meckling, 1976](#)), permet de justifier l'importance des relations de dépendance au sein de l'organisation. La problématique des incitations insiste sur les divergences d'intérêt qui peuvent apparaître entre l'agent et l'organisation quant à la réalisation de leurs objectifs communs et propres.

6.2. APPROCHE DE MODÉLISATION MULTI-AGENTS DU PROCESSUS ORGANISATIONNEL

Théorie des relations humaines et des contingences Ces deux courants issus des réflexions en gestion et management illustrent la transition qui s'est amorcée dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle dans l'étude de l'action au sein des organisations. Notamment, le courant des relations humaines vient briser le modèle de l'agent économique uniquement motivé par son intérêt financier. En effet, la relation simple entre salaire et productivité de l'activité de travail y est remodelée pour prendre en considération l'impact des besoins non financiers (Maslow, 1943), des conditions de travail (Roethlisberger and Dickson, 1939), ainsi que de l'environnement social et organisationnel (Argyris and Schon, 1974). Ainsi, l'efficacité d'un employé n'est plus une fonction simple et linéaire de son salaire. Concernant l'école des contingences, la problématique centrale est l'impact des spécificités du contexte organisationnel sur le déroulement de l'activité au sein de l'organisation. De nombreux aspects stratégiques de l'organisation sont abordés sous l'angle de leur impact sur l'activité interne de l'entreprise, notamment le type de système de production (Woodward, 1965), la stratégie de l'entreprise (Chandler, 1962) ou les déterminants culturels (Hofstede, 1987). Cela dit, la prise en compte de ces contingences concerne rarement l'employé mais plus souvent l'organisation en tant que structure ou entité autonome.

Théorie comportementale de la firme Ce courant est né avec l'ouvrage de March and Cyert (1992). La perspective est de considérer un petit nombre d'actions stratégiques prises par les firmes et de développer en amont un modèle du comportement des composants de la firme pour les expliquer. D'après Carley and Gasser (1999), c'est la première tentative d'envergure pour ouvrir la boîte noire de l'organisation dans le cadre d'une étude économique, avec l'objectif de briser la vision unitaire et élémentaire du comportement des organisations. Dans cette perspective, les décisions de l'organisation sont produites par une collection d'individus avec des préférences, une identité et des intérêts différents (Argote and Greve, 2007). Bien que fondées sur l'idée de prendre en compte les composantes de l'organisation, les théories comportementales de la firme n'ont pas directement inspirées de modèle de simulation. Cependant elles ont inspiré plusieurs courants de recherche et notamment les "engineering models" (voir section 6.2) et plus généralement le courant "Computational organizational theory" (Carley and Gasser, 1999) développé à la fin de ce chapitre, en section 6.3.

6.2 Approche de modélisation multi-agents du processus organisationnel

Il existe deux grandes perspectives dans ce domaine : le premier point de vue tente de représenter, sur le papier et/ou sous la forme d'un modèle computationnel, l'ensemble des connaissances que l'organisation a à propos d'elle-même ou de ce qu'elle devrait être (Koubarakis and Plexousakis, 2002). Cela se traduit par une modélisation descriptive et systématique des constituants de l'organisation, de leurs objectifs prescrits et des procédés mobilisés pour les accomplir.

6.2. APPROCHE DE MODÉLISATION MULTI-AGENTS DU PROCESSUS ORGANISATIONNEL

Par exemple, le méta-modèle de [Jureta and Faulkner \(2005\)](#) permet une description complète de l'organisation et de son activité à partir de quatre types d'entités : les méta-concepts d'agent, d'objectif et d'objet ; leurs relations (e.g. possède, requière, poursuit) ; leurs attributs (e.g. le pouvoir, l'intérêt, la motivation) et des obligations (e.g. pour accomplir tel objectif un agent doit avoir tel attribut et être en relation avec tel autre agent ou objet). L'articulation de ces entités de base permet une description complète d'un processus, en partant de l'autonomie des agents et des objectifs, mais également des objets physiques ou virtuels qu'ils produisent. La seconde perspective s'attarde plus sur le système de production, en décrivant l'ensemble des processus qui mènent à la réalisation des objectifs de l'organisation ([Aalst et al., 2010](#)). Les processus organisationnels sont modélisés sous la forme d'un système d'activités, tel que des procédures, méthodes, gestes, reliés à un ensemble d'objectifs divers, pouvant aller de l'intuition que se fait un agent des objectifs qui lui sont fixés, à une description fine du secteur d'activité de l'organisation. Par exemple, le modèle Keep All Objectives Satisfied (KAOS) ([Matulevicius and Heymans, 2005](#)) fournit un ensemble de concepts pour articuler un modèle d'objectifs avec un modèle de procédures pour les réaliser. Il permet de représenter des objectifs finis (operational goal) et non finis (softgoal), des sub et super objectifs (subgoals), avec un ensemble fini de leurs états (Maintain, Avoid, Achieve & Cease) ainsi que la possibilité de conflits d'objectifs. Parallèlement, un modèle d'opérations permet d'articuler les différentes composantes et attributs exhibés par ses objectifs dans le cours d'un processus. La procédure ainsi décrite est définie de manière abstraite comme une relation input (l'activité de l'agent) output (l'état de l'objectif), avec un ensemble défini de transitions entre états, à l'instar des principes de la micro-simulation.

Le champ de recherche associé à la modélisation de l'entreprise et de ses processus est principalement animé par les sciences de gestion et de management. La préoccupation principale de ces modèles de simulation est la représentation fine et systématique des processus organisationnels en vue de reconstruire ou améliorer l'activité de l'entreprise ([Jureta and Faulkner, 2005](#)). La représentativité et la portée normative de ses modèles sont donc fortes. De fait, ils exhibent bien souvent une granularité de conception très importante, notamment dans la modélisation des processus, avec de nombreux éléments de modélisation spécifiques au cas empirique représenté (e.g. KAOS). Pour reprendre la terminologie de [Carley and Gasser \(1999\)](#), ces modèles se situent plutôt dans une perspective d'ingénierie dont la vocation est de comprendre les implications de changements réalistes sur la productivité d'une organisation. Par ailleurs, il s'agit bien souvent de méta-modèles adaptables et spécifiables à des cas concrets de processus localisés, avec la nécessité d'une analyse approfondie de la situation empirique à modéliser. Ainsi il est nécessaire d'articuler des objectifs concrets, avec des procédures spécifiques dans le modèle ; objectifs et procédures qui ne sont pas transférables d'une organisation à une autre. En somme, des méta-modèles (e.g. jES ([Terna, 2003](#)) ; KAOS [Matulevicius and Heymans, 2005](#) ; HPM [Siebers, 2006](#)) sont élaborés puis adaptés, au cas par cas, à des situations empiriques délimitées par enquête et investigation.

6.3 Approche computationnelle de l'activité en organisation

la simulation multi-agents et l'organisation L'organisation et l'action des agents sont deux éléments indissociables et indispensables à la conception d'un système multi-agents. Par définition constitués d'agents autonomes en relation, les systèmes multi-agents sont systématiquement, quoiqu'à des degrés divers, confrontés à la problématique de leur organisation. Concrètement, on trouve deux tendances, l'une s'attachant à modéliser en profondeur l'aspect collectif de l'action (e.g. Brahms) et l'autre la dimension active de l'organisation (e.g. AGR). Parmi le premier ensemble de recherche, la problématique centrale est la coordination d'un ensemble d'agents dans l'objectif d'accomplir une activité commune. Brahms (Clancey, 2002), TalentSim (Prasad and Chartier, 1999) ou MAS for manufacturing (Vecht et al., 2009) sont tous trois des exemples de modèles multi-agents d'organisations du travail : chacun propose d'articuler la coopération des agents en fonction de procédures et d'objectifs définis par l'organisation. On s'approche d'une perspective d'ingénierie (section 6.2) sans toutefois nécessiter une adaptation aussi fine à une situation empirique déterminée. L'autre approche est plus théorique et définit une perspective globale sur les principes de l'organisation : e.g. comment se forme les groupes, comment se structure les relations, les rôles, comment s'établit une hiérarchie entre agents, objectifs, etc. MASQ et AGR (Ferber et al., 2009) sont des exemples de modèles permettant d'articuler l'activité d'agents autonomes, encadrés au sein de groupes, avec des rôles déterminés par l'organisation mais également des objectifs propres. Ce courant est plus généralement lié à l'organisation en tant qu'elle détermine les contours de groupes d'agents coopérants, plutôt que l'organisation en tant qu'entité de production. Ce courant cherche à modéliser l'organisation comme un phénomène émergent de l'activité des agents.

Agent-based computational economics Il existe relativement peu de modèles micro-fondés de l'entreprise : l'activité des agents de l'organisation n'est pas élaborée en cohérence avec les recherches en psychologie et en sociologie des organisations (Vancouver and Weinhardt, 2012). En effet, conformément à la vision classique de l'économie, l'organisation est souvent envisagée comme l'agent de base de la production (e.g. Axelrod, 1997 ; Chang and Harrington, 2006 ; Gibbons and Roberts, 2013). Par ailleurs, si la modélisation des organisations est un champ fécond, il n'existe pas encore de vision cohérente de l'organisation qui fasse consensus (Chang and Harrington, 2006). Néanmoins de nombreux modèles traitent des processus intra-organisationnels, en privilégiant quelques une des thématiques comme la diffusion de l'information (e.g. Miller, 2001), les normes et la culture d'organisation (e.g. Ostrom, 2000), le travail d'équipe (e.g. Axtell, 2013), l'exploration et l'apprentissage (e.g. NK modèle Kauffman and Levin, 1987), etc. La plupart de ces tentatives sont toutefois élaborées dans le cadre d'objectifs économiques, et notamment dans l'objectif de comprendre la création et le comportement de l'organisation dans son ensemble. En d'autres termes, les modèles en ACE s'intéressent au rôle de l'activité des agents dans

la mesure et pour étudier leur contribution à la production de l'organisation. Les courants Computational Organization Theory (COT) et l'émergence de modèles computationnels en psychologie ont favorisé la modélisation de l'impact de l'organisation du travail sur l'activité des agents.

Approche computationnelle en psychologie organisationnelle Tout récemment c'est ouvert un champ de modélisation computationnel en psychologie organisationnelle. Initié par **Ilgén and Hulin (2000)**, ce courant cherche à conjuguer modèle théorique du comportement des individus en organisation et simulation informatique. Sans être circonscrit à la modélisation multi-agents, les auteurs invoquent la simulation comme une nouvelle démarche scientifique orthogonale à la modélisation théorique et mathématique, ainsi que l'expérimentation en psychologie. Cependant, l'ouvrage cité reste assez isolé et les modèles de simulation peu nombreux (pour une revue de ces modèles, voir **Harrison et al., 2007**). Les diverses démarches de modélisation oscillent entre objectif didactique et tentative de légitimation de la démarche. **Vancouver and Weinhardt (2012)** ont récemment proposé une contribution significative à cet égard : leur modèle a pour objectif de modéliser le comportement des individus en organisation en se basant sur la théorie de l'attitude au travail. Mais le modèle qu'ils proposent est autant, si ce n'est plus, présenté et développé dans une démarche de justification de l'utilisation de la simulation, que de présentation de résultats via la simulation. Il élabore une modélisation fonctionnelle qu'il implémente ensuite, et justifie le recours à la simulation comme une alternative calculatoire plus proche de la micro-simulation¹ que de la modélisation multi-agents.

Computational Organization Theory Un domaine de recherche pluridisciplinaire s'est ouvert autour de la modélisation mathématique et computationnelle de l'organisation (**Carley and Gasser, 1999**). Les modèles micro-fondés existent (e.g. **Carley et al., 1992 ; Jin and Levitt, 1996**) mais se basent majoritairement sur les théories globales du comportement des organisations (**Vancouver and Weinhardt, 2012**). Le programme de recherche développé par **Carley and Gasser (1999)** cherche à réconcilier les modèles de l'organisation et les théories du comportement des agents au niveau psychosocial. Ainsi le modèle Plural-SOAR (**Carley et al., 1992**) cherche à conjuguer les apports des théories issues du courant de l'agence en économie et une modélisation du comportement des agents qui soit cohérente avec les théories en psychologie des organisations. Ainsi, les auteurs du modèle proposent de modéliser l'organisation sous la forme d'un ensemble d'agents dont le comportement s'oriente vers la résolution de problèmes ("search in problem spaces"). Cette résolution est basée sur un processus cognitif adaptatif et situé. Un autre exemple d'une

1. La micro-simulation se caractérise par des entités (éventuellement des agents) dont la dynamique est gouvernée par des probabilités de transition entre états. Par exemple, la probabilité de divorcé est une fonction du statut social, du nombre d'années de mariage, etc. sans que soit explicitement modélisée la décision. Il n'y a donc pas comme en modélisation multi-agents de représentation des mécanismes qui mènent à un état. La micro-simulation ne peut donc pas identifier les causes d'un phénomène mais simplement le reproduire en boîte noire

telle perspective peut être trouvée dans le modèle Ressource Acteur Relation (RAR) (Sibertin-Blanc et al., 2005 ; Mailliard, 2008 ; Sibertin-Blanc et al., 2013). Basée sur la théorie de Crozier and Friedberg (1977), les auteurs modélisent les systèmes d'action concrets qui traduisent l'ensemble des relations de dépendance et de maîtrise des ressources nécessaires à la conduite de l'action dans un cadre organisationnel. De ce réseau de relations asymétriques et évaluées découle un ensemble de cours d'actions stratégiques possibles. Néanmoins, dans ce dernier exemple, l'objectif est de représenter les activités stratégiques associées contrôle et à l'échange de ressources. L'activité de travail n'y est pas explicitement modélisée.

Parmi les modèles les plus discutés, le Garbage Can Model (GCM) (Cohen et al., 1972) fait l'objet de plusieurs tentatives récentes de modélisation multi-agents (e.g. Fioretti and Lomi, 2008 ; Troitzsch, 2012 ; Cowan et al., 2013). La contribution originale de ce modèle est de représenter les agents sous la forme de décideurs autonomes qui appliquent leur énergie à la résolution des problèmes de l'organisation. Si le modèle de Cohen et al. (1972) n'est fondé sur aucune théorie psychologique du comportement en organisation, les nouvelles contributions ont permis de combler ce déficit. La contribution de Cowan et al. (2013) étend le modèle de base en y intégrant une dynamique de stress au travail qui influe sur les capacités des agents. Troitzsch (2012) a également proposé une contribution qui permet d'intégrer une dynamique de travail en équipe dans le cadre du modèle augmenté du GCM proposé par Fioretti and Lomi (2008).

6.4 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre que la modélisation des organisations est entreprise dans de nombreux domaines. Notamment, très peu de modèles permettent d'intégrer l'activité de travail dans un modèle général de l'activité en organisation. La perspective bottom-up de modélisation des organisations est (i) soit élaborée à un niveau de finesse très important dans le cas des modèles dits d'engineering (e.g. KAOS ou jES) (ii) soit plutôt soucieuse des aspects génériques de l'organisation, comme la coordination (e.g. AGR) ou les relations de pouvoir (e.g. RAR), dans le domaine des systèmes multi-agents. Notre souhait de centrer notre modèle d'activité sur les aspects cognitifs du travail, nécessite de trouver un juste milieu entre simplicité de modélisation et représentativité de l'activité de travail la plus générale possible. Un tel modèle manque encore dans le domaine émergent de la psychologie computationnelle (Ilgen and Hulin, 2000).

De part la simplicité des énoncés du GCM, mais également par la pertinence des derniers développements autour de ce modèle, il nous est apparu comme la contribution la plus à même de répondre à notre problématique de modélisation de l'activité en organisation. Dans la section suivante, nous discutons de notre modèle d'activité en le reliant aux diverses propriétés et mécanismes du GCM. Nous verrons également que notre contribution a nécessité le recours aux théories en psychologie des organisations afin de mieux fonder le comportement de nos agents.

7

De-C GCM : un modèle d'activité en organisation

Comme nous l'avons mentionné au début du chapitre précédent, notre modèle d'activité a été pensé dans la perspective de fournir une représentation dynamique des conditions de travail aux agents de notre modèle de satisfaction. L'organisation permet alors de répondre à deux exigences de notre recherche : (i) établir dynamiquement les demandes et ressources de travail nécessaire à l'élaboration subjective de la satisfaction dans l'emploi ; mais aussi (ii) proposer une manière d'envisager l'impact de l'organisation sur la satisfaction à partir de l'activité de travail des agents. En effet, cette dernière relation est au cœur des préoccupations qui ont motivées ce travail (chapitre 1). D'une part notre problématique envisage de questionner le rôle de l'organisation dans la satisfaction des travailleurs, et d'autre part, il est apparu suite à nos recherches dans le domaine de la satisfaction (voir chapitre 4) que l'évaluation des caractéristiques de l'emploi était un élément majeur de la détermination de la satisfaction dans l'emploi. L'objectif est donc de proposer un modèle d'activité en organisation qui serve à définir les conditions de travail. C'est pourquoi nous avons opté pour une approche bottom-up de l'organisation : modéliser l'organisation à partir de l'activité des agents.

7.1 Modéliser l'organisation à partir de l'activité des agents

L'organisation est le plus souvent modélisée comme une fonction de résolution de problèmes (Cohen et al., 1972 ; Chang and Harrington, 2006 ; Lomi and Harrison, 2012 ; Gibbons and Roberts, 2013). Ces derniers représentent aussi bien des difficultés intervenant inopinément au cours de l'activité que les tâches prescrites par l'organisation : par exemple, dans une entreprise de conception de logiciel informatique, ce peut être un incendie ou une panne mais plus certainement coder une fonction dans un programme, mettre en place des tests ou déployer le logiciel chez un client. Au niveau des agents, l'activité consiste alors à résoudre ces problèmes à l'aide des ressources mises à disposition par l'organisation ou par d'autres agents. Par ailleurs, nous souhaitons que ce modèle d'activité permette à terme de caractériser les conditions de travail d'un point de vue psychologique (e.g. que le modèle permette aux agents d'établir leur charge de travail, le soutien que leur apportent leurs collègues ou leurs supérieurs hiérarchiques). Dans cette optique, notre modèle d'activité répond à deux aspects centraux : fournir une activité de travail aux agents et sur cette base permettre une perception subjective de leurs conditions de travail. Suite à une revue de littérature des modèles d'activités (chapitre 6), nous avons choisi de nous inscrire dans la lignée de la version du GCM de Cowan et al. (2013). C'est à notre connaissance, la tentative de modélisation qui s'approche le plus de nos objectifs : modéliser la dimension psychologique du travail – pour nous la satisfaction, dans l'article mentionné le stress – à partir de l'activité en organisation. Celle-ci est basée sur une version séquentielle du GCM (Cohen et al., 1972) : les agents ne solutionnent plus des problèmes pris aléatoirement, mais ils traitent séquentiellement ceux transmis par l'organisation.

Modéliser la dimension psychologique de l'activité en organisation Conformément aux prescriptions du GCM, l'activité des agents consiste à résoudre les problèmes de l'organisation (Cohen et al., 1972). Celle-ci passe par la décision d'investir l'énergie requise à leur résolution. L'organisation établit les droits d'accès des agents (voir section 7.3.1 sur les matrices d'allocation) : les types de problèmes qu'ils pourront résoudre. Ce sont les mécaniques de la prise de décision que nous avons choisi d'enrichir afin qu'il reflète mieux l'activité des employés, et notamment sa dimension cognitive : pour cela, nous avons modélisé la dynamique de dépense d'énergie à partir de la théorie Effort-Recovery (E-R) (Meijaman and Mulder, 1998) qui décrit les conséquences de l'effort et les mécanismes de récupération d'énergie. L'objectif des ajustements que nous proposons consiste à établir une représentation micro-fondée de l'activité des agents au sein du GCM. Ces modifications doivent nous permettre d'élargir le spectre de l'activité de travail, pour ne plus se cantonner à modéliser un aspect particulier de la décision des agents de l'organisation (i.e. l'organisation anarchique de la prise de décision selon Cohen et al., 1972). Cette montée en généralité reste soucieuse de conserver le cadre fixé par le modèle original : l'activité des agents consiste à résoudre des problèmes.

Nous souhaitons donc nous inspirer des différentes versions du GCM pour en proposer une extension centrée sur l'activité de décision. Contrairement au modèle original (et aux extensions proposées par [Fioretti and Lomi, 2008, 2010](#)) nous souhaitons insister sur la dimension psychologique du processus de décision mise en œuvre par les agents. Nous avons donc été conduits à enrichir le contenu des mécanismes qui mènent à la prise de décision, et notamment aux possibilités offertes aux agents d'influer sur leur activité de décision.

7.2 Définitions des entités du De-C GCM

Dans cette première section nous apportons une définition des entités de notre modèle, appelé Decision Centered Garbage Can Model (De-C GCM). En se basant sur leur lecture du modèle d'origine, nous suggérons d'étendre les propositions de [Cowan et al. \(2013\)](#) et [Fioretti and Lomi \(2008\)](#) pour intégrer la dimension psychologique de l'activité organisationnelle. Notamment nous proposons dans la section 7.5 de modéliser l'investissement en énergie des agents sur la base de deux théories majeures en psychologie du travail : les théories Conservation of Resources (COR) ([Hobfoll, 1989](#)) et E-R ([Meijaman and Mulder, 1998](#)).

7.2.1 Les problèmes dans le De-C GCM

Les problèmes sont les entités de base de notre modèle. Par ailleurs, comme ils n'ont pas d'action propre, se sont des artefacts plutôt que des agents. En revanche, leur état change en fonction des actions de l'organisation et des agents. Un problème se caractérise par deux attributs :

Problème $\forall p \in \mathcal{P} \quad p = \langle \tau_i, d_p \rangle$

$\tau_i \in \mathcal{T}$ le type d'indice i , avec $i \in \{1, \dots, m\}$, associé par l'organisation au problème p

$d_p \in \mathbb{N}_*$ la durée de travail prescrite par l'organisation pour résoudre le problème p

A chaque nouveau problème qui se pose à l'organisation, celle-ci lui associe un type et une durée nécessaires à sa résolution. Par exemple, programmer en java, rédiger un article scientifique ou encaisser les commandes sont des types de problèmes. Un problème de type "programmer en java" pourrait alors être : mettre en place des tests unitaires, programmer une fonction ou documenter une partie de code. L'organisation détermine pour chaque problème une durée prescrite pour que le problème soit résolu. Nous développons dans la section suivante, le rôle de l'organisation.

7.2.2 L'organisation dans le De-C GCM

Dans le De-C GCM, l'organisation se caractérise globalement par trois actions : elle identifie les problèmes entrants, opère une division du travail entre tous les agents et leur alloue les problèmes. La première consiste à identifier les types de problèmes. La seconde action consiste à répartir les types de problèmes entre tous les agents : chaque agent se voit attribuer un ensemble

de types de problèmes qui désigne son rôle dans l'organisation. Un rôle peut être constitué d'un ou plusieurs types de problèmes : par exemple, un employé peut avoir pour rôle de programmer en java, déployer des applications et donner des formations en génie logiciel. Enfin la troisième action consiste à transmettre les problèmes aux agents. L'organisation les alloue en fonction des types de problèmes contenus dans le rôle des agents. Par exemple, si le rôle d'un agent inclut de programmer en java, il sera susceptible d'écrire une fonction java ou mettre en place des tests unitaires sur un programme donné. Nous détaillons ci-dessous tous les attributs de l'organisation :

Organisation $O = \langle GC, \mathcal{T}, \mu_\tau, \nu_\tau, \mathcal{T}^{id}, \mathcal{P}^{id}, \zeta, Ep_o, dp_{max} \rangle$ L'organisation est l'environnement des agents. Elle relie les problèmes contenus dans le GC et les agents susceptibles de participer à leur résolution.

$GC = \langle \mathcal{P}, GC_{max} \rangle$ Le GC est le bac à problèmes de l'organisation : l'endroit où tous les problèmes sont stockés. Il se caractérise par un nombre maximum de problèmes, noté GC_{max} .

$\mathcal{P} = \{p_1, p_2, \dots, p_{GC_{max}}\}$ L'ensemble des problèmes contenus dans le GC. Les règles de génération de problèmes sont développées dans la section 7.6.1.

$\mathcal{T} = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m\}$ L'ensemble des types de problèmes définis par l'organisation, avec m le nombre de types de problèmes.

$\mu_\tau \in [0; 1]$, $\nu_\tau \in \mathbb{N}$ et $\mathcal{T}^{id} \in \mathbb{N}$ Les trois paramètres de génération de la matrice d'allocation $\mathcal{A} \times \mathcal{T}$ (voir section 7.3.2).

$\mathcal{P}^{id} \in \mathbb{N}$ et $\zeta \in \mathbb{Q}_+^*$ Les facteurs de gestion du GC (voir section 7.6.1)

$Ep_o \in \mathbb{N}^*$ et $dp_{max} \in \mathbb{Q}_+^*$ Les facteurs de gestion des problèmes (voir 7.6.1)

L'organisation est en charge d'assurer la résolution des problèmes principalement en les allouant aux agents susceptibles de les résoudre. Cela s'exprime sous la forme d'une structure d'allocation fixe (7.3.2), mais également sous la forme d'un mécanisme dynamique de répartition des contraintes de résolution des problèmes (7.6.2).

7.2.3 Les agents du De-C GCM

L'ensemble \mathcal{A} désigne les agents de l'organisation. Ils ont pour rôle de solutionner par la prise de décision les problèmes auxquels l'organisation les confronte. Les responsabilités (type de problème) et les problèmes qui s'imposent à l'agent sont déterminés par l'organisation. Nous décrivons les attributs des agents du modèle d'activité ci-dessous :

Agent $\forall a \in \mathcal{A} \quad a = \langle Dw_a, Ew_a, GC_a, \rho^{GC}, \lambda^L, \lambda^R, \psi, \theta^R, \theta^M \rangle$

$Dw_a \in [0; 24]$, $Ew_a \in [0; EB_a]$ et $EB_a \in \mathbb{N}^*$ Définissent le potentiel de l'agent, respectivement en temps disponible, en énergie disponible et en niveau d'énergie de base

$GC_a = \{p_1(a), \dots, p_i(a)\}$ La liste de problèmes courants que l'agent doit traiter, désignée comme le bureau ou le bac à problèmes personnels de l'agent a .

$\rho_a \in [0; 1]$ Définit l'ordonnancement des problèmes contenus sur le bureau de l'agent a (voir équation 7.7).

$\lambda_a^L \in [0; 1]$, $\lambda_a^R \in [0; 1]$ et $\psi_a \in [0; 1]$ Représente les trois paramètres associés à la dynamique d'épuisement et de récupération du potentiel d'effort de l'agent (voir section 7.5)

$\theta^R \in [0; 1]$ et $\theta^M \in [0; 1]$ Les facteurs de gestion de l'investissement de l'agent dans son activité

Concernant l'activité, les agents ont pour rôle essentiel de résoudre les problèmes qui se posent à l'organisation. En investissant temps et effort sur des problèmes ciblés, les agents tentent de satisfaire la contrainte de temps déterminée par l'organisation synonyme de résolution. Les principes de l'activité des agents sont détaillés dans la section 7.4.

7.3 Modéliser l'organisation à partir de l'activité des agents

Dans cette section nous revenons sur la définition de l'organisation. Dans notre modèle, c'est la définition de l'activité des agents qui fait l'organisation : la structure d'allocation des types de problème aux agents, en d'autre terme la division du travail. Dans la littérature, les diverses matrices d'allocations (ressources, tâches, autorité, etc.) sont également au cœur de la définition de l'organisation (Bressy and Konkuyt, 2008 ; Chang and Harrington, 2006). Dans notre cas, il s'agit de définir le rôle des agents, c'est-à-dire le type de problème qu'ils auront à charge de résoudre.

7.3.1 La structure d'allocation

Nous définissons la structure d'allocation des responsabilités en associant à chaque employé de l'organisation un ensemble de types de problèmes. Par conséquence, chaque type de problèmes est lié à un ou plusieurs agents. L'allocation des types de problèmes définit le rôle des agents au sein de l'organisation : dans la dynamique du modèle (voir section 7.6), si un agent est responsable d'un type, l'organisation est susceptible de lui transmettre tout problème de ce type. L'organisation attendra alors de la part de l'agent qu'il applique une décision sur ce problème afin de le résoudre. Les responsabilités de l'agent correspondent aux types de problèmes qu'il est susceptible de résoudre. Soit la matrice d'allocation $\mathcal{AT} = \mathcal{A} \times \mathcal{T}$ définie ci-dessous avec \mathcal{T} l'ensemble des types de problèmes τ et \mathcal{A} l'ensemble des employés a au sein de l'organisation.

$$\begin{aligned} \mathcal{T} &= [\tau_1, \dots, \tau_m] & \mathcal{A} &= [a_1, \dots, a_n] \\ \mathcal{AT} = \mathcal{A} \times \mathcal{T} &= (a\tau_{a,\tau})_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m} & a\tau_{a,\tau} &\in \{0, 1\} \end{aligned} \quad (7.1)$$

La matrice d'allocation \mathcal{AT} considère deux alternatives : si un agent a_i est responsable d'un type τ_j , alors $a\tau_{i,j} = 1$, sinon cette valeur est nulle $a\tau_{i,j} = 0$. Cette structure ne définit qu'une relation binaire d'allocation des responsabilités : un employé est responsable ou non d'un type de problèmes. Par ailleurs, un type peut être assigné à plusieurs employés.

		Types de problème									
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Agents	A1	1	1	1			1	1		1	1
	A2		1		1		1	1	1		
	A3			1		1		1	1		
	A4				1	1		1		1	
	A5					1	1		1		1
	A6						1		1		1
	A7						1	1		1	
	A8								1	1	1
	A9									1	
	A10										1

Figure 7.3.1 : Exemple de matrice avec 10 types de problèmes et 10 employés

La matrice ci-dessus est composée de 10 employés en ligne, $\mathcal{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$, et 10 types de problèmes en colonne, $\mathcal{T} = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{10}\}$. On notera \mathcal{T}_a le rôle de l'agent a c'est-à-dire l'ensemble des types de problèmes sur lesquels il est susceptible de travailler. De la même manière, \mathcal{A}_τ désigne l'ensemble des agents responsables d'un type de problèmes. A titre d'exemple, la première ligne représente le rôle de l'employé a_1 à qui il incombe la responsabilité de 7 types de problèmes, soit $\mathcal{T}_a = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_6, \tau_7, \tau_9, \tau_{10}\}$. En colonne sont représentées l'ensemble des responsabilités associées à un type de problèmes : par exemple, le type τ_{10} est du ressort de 5 employés $\mathcal{A}_{\tau_{10}} = \{a_1, a_5, a_6, a_8, a_{10}\}$.

7.3.2 Construction de la matrice d'allocation

L'algorithme de construction de la matrice est basé sur la procédure définie dans Cowan et al. (2013). Premièrement, le nombre de types à allouer à chaque agent est déterminé. Dans un second temps, les employés se voient assigner un ensemble de types de problèmes. Contrairement aux versions de Cohen et al. (1972) et Fioretti and Lomi (2008) la matrice d'allocation n'est pas déterminée de manière ad hoc : elle n'est pas donnée par le modélisateur mais générée à l'aide d'un algorithme paramétrable. Celui-ci permet de contrôler le nombre de responsabilités par agent et la distribution des types de problèmes dans leur rôle.

Distribution du nombre de responsabilités On tire aléatoirement un vecteur d'entiers – noté ci-après \mathcal{T}^{nb} – de cardinalité n . Chacune des valeurs de ce vecteur représente le nombre de responsabilités pour un agent : soit $\mathcal{T}_i^{nb} \in [1; m]$ avec $i = \{1, 2, \dots, n\}$, n le nombre d'agents et m

le nombre de types de problèmes. \mathcal{T}_i^{nb} correspond à l'étendue du rôle de l'agent i , c'est-à-dire, le nombre de types de problèmes contenus dans son rôle : cette valeur détermine la cardinalité de l'ensemble \mathcal{T}_{a_i} défini ci-dessus. Chaque valeur du vecteur est tirée dans l'intervalle $[1; m]$ selon une distribution de probabilité paramétrable, avec $NT(k)$ la probabilité spécifique à chaque agent de lui attribuer la quantité de types k , calculée à l'aide de la formule suivante :

$$NT(k) = \frac{w_k}{\sum_{l=1}^m w_l}$$

$$w_k = \frac{1}{(1 + |k - \mu_\tau \times m|)^{\nu_\tau}} \quad \forall k = \{1, 2, \dots, m\} \quad (7.2)$$

Dans l'équation ci-dessus, k représente le nombre de types de problèmes. La probabilité $NT(k)$ est la plus forte quand k est proche de $\mu_\tau \times m$, alors que la distribution des probabilités s'approche d'une loi uniforme quand ν_τ tend vers 0. Le nombre de responsabilités tiré pour l'agent i ne peut être nul, puisque $\mathcal{T}_i^{nb} > 0$, mais peut éventuellement embrasser l'ensemble des types de problèmes, soit $\mathcal{T}_i^{nb} = m$: on vérifie que $\forall a_i \in \mathcal{A} \quad 1 \leq |\mathcal{T}_i^{nb}| \leq m$ avec un rôle minimum contenant un type de problèmes et un rôle maximum contenant tous les types de problèmes.

Distribution des responsabilités Après avoir défini l'étendue du rôle des agents, il faut encore sélectionner les types de problèmes correspondant parmi l'ensemble des type \mathcal{T} . Concrètement il s'agit de déterminer l'indice des types dans l'ensemble des responsabilités \mathcal{T}_a d'un agent. Ce dernier point est crucial puisqu'il définit la répartition des responsabilités dans la matrice. Cela nous permet d'obtenir diverses formes de matrices et donc plusieurs types d'organisations (voir chapitre 8 section 8.1). En pratique, nous disposons d'un nombre de types à allouer par agent correspondant au vecteur \mathcal{T}^{nb} . Les indices de types sont sélectionnés à l'aide d'une distribution discrète de probabilité. Ainsi la probabilité de tirer le type τ_j notée $IT(j)$ est donnée par la fonction ci-dessous :

$$IT(j) = \frac{j^{\mathcal{T}^{id}}}{\sum_{l=1}^m l^{\mathcal{T}^{id}}} \quad i = \{1, \dots, m\} \quad (7.3)$$

Le paramètre $\mathcal{T}^{id} \in [0 : 2]$ permet de faire varier le poids de l'indice de la tâche dans le processus d'allocation : plus sa valeur augmente, plus la probabilité d'allocation augmente avec l'indice. Le tirage des types à attribuer aux agents se fait itérativement et sans remise. C'est-à-dire que pour l'agent i , on tire successivement $\mathcal{T}_i^{nb} \in \{1 \dots m\}$ indices de type, suivant la probabilité $IT(j)$, en excluant des tirages suivants l'indice choisi. De cette manière, un type de problèmes ne peut apparaître deux fois le rôle de l'agent i . Pour chaque tirage on inclut le type τ_j dans le rôle \mathcal{T}_{a_i} de l'agent et on répète cette opération pour tous les agents. A l'issue du processus, si un ou plusieurs types n'ont pas été attribués, on tire aléatoirement un agent pour qu'il prenne la responsabilité de ce type. On répète cette opération jusqu'à ce que tous les types de problèmes soient effectivement alloués à au moins un agent. Nous faisons ici l'hypothèse que tous les types de problèmes

identifiés par l'organisation peuvent être traités par au moins un agent dans l'organisation.

7.3.3 De la matrice d'allocation à la matrice d'organisation

Nous définissons une variante de cette matrice, notée \mathcal{AT}^* et qui correspond au partage des responsabilités au sein de l'organisation. Dans le cas de la matrice d'allocation, le rôle des agents est représenté par une variable binaire : un agent est responsable ou non d'un type de problèmes. Dans la matrice d'organisation \mathcal{AT}^* , le niveau de responsabilité $a\tau_{i,j}^*$ de l'agent a_i pour le type de problème τ_j est inversement proportionnel au nombre d'agents se partageant la responsabilité du type j . Nous reprenons ici les propositions de Cowan et al. (2013) :

$$\mathcal{AT}^* = \mathcal{A} \times \mathcal{T} = (a\tau_{i,j}^*)_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m} \quad a\tau_{i,j}^* \in [0, 1]$$

$$i = \{1, \dots, n\} \quad j = \{1, \dots, m\} \quad a\tau_{i,j}^* = \frac{1}{\sum_{l=1}^n (a\tau_{l,j})} \quad (7.4)$$

La transformation de la matrice d'allocation nous permet ainsi de mieux faire apparaître les relations hiérarchiques : plus un type de problèmes est partagé, plus les valeurs correspondantes de la matrice seront faibles.

		Types de problème									
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Agents	A1	1	1/2	1/2			1/5	1/6		1/5	1/5
	A2		1/2		1/2		1/5	1/6	1/5		
	A3			1/2		1/3		1/6	1/5		
	A4				1/2	1/3		1/6		1/5	
	A5					1/3	1/5		1/5		1/5
	A6						1/5	1/6	1/5		1/5
	A7						1/5	1/6		1/5	
	A8								1/5	1/5	1/5
	A9									1/5	
	A10										1/5

Figure 7.3.2 : Exemple de matrice d'organisation \mathcal{AT}^* basée sur la matrice \mathcal{AT} 7.3.1

Ainsi on considère que le niveau de responsabilité est déterminé par le degré de partage des responsabilités dans l'organisation. Leur somme donne le niveau de responsabilité d'un agent, noté z_a . Par exemple, dans la matrice 7.3.2 ci-dessus, $z_{a_1} = 1 + 1/2 + 1/2 + 1/4 + 1/6 + 1/5 + 1/5 \approx 2.8$; $z_{a_2} = 1/2 + 1/2 + 1/3 + 1/5 + 1/6 + 1/5 \approx 1.9$; $z_{a_3} \approx 1.2$; etc... Implicitement, on fait l'hypothèse que plus un type de problèmes est partagé, moins il aura de poids dans la responsabilité de l'agent. Formellement z_a se calcule comme suit :

$$\forall a_i \in \mathcal{A} \quad z_a = \sum_{j=1}^m (a\tau_{i,j}^*) \quad (7.5)$$

Ce niveau de responsabilité est notamment mobilisé par l'organisation dans la définition des types attribués aux nouveaux problèmes (voir section 7.6.1). Elle permet également aux agents d'établir l'importance relative d'un type par rapport à l'ensemble de ses responsabilités. Ce point est utilisé par les agents pour déterminer le niveau d'énergie qu'ils vont investir dans la résolution des problèmes (voir section 7.4).

7.4 Décision des agents

La décision représente l'activité de travail de l'agent. Sur un tour de simulation t représentant une journée de travail, l'agent est susceptible de prendre plusieurs décisions successives. Le modèle d'activité que nous développons s'inspire librement des diverses versions du GCM précédemment évoquées mais également de théories de psychologie du travail. Notamment, nous modélisons les théories Effort-Recovery (E-R) de (Meijaman and Mulder, 1998) et COR (Hobfoll, 1989) afin de représenter la dynamique de récupération après l'effort lié à l'activité de travail.

7.4.1 le processus de décision

La décision de l'agent consiste uniquement à fixer à chaque tick t son investissement en temps $DS_a(t)$ et énergie $ES_a(t)$. Ew_a représente le potentiel de l'agent, c'est-à-dire l'effort ou l'énergie qu'il souhaite dépenser, avec $Ew_a(t)$ cette valeur au temps de simulation t ; Dw_a représente le temps que l'agent est susceptible de dépenser au travail, avec $Dw_a(t)$ cette valeur au pas de simulation t . Si le temps disponible $-Dw_a \in [0; 24]$ – est limité, par convention, à la journée, l'énergie n'a de limite que par rapport au potentiel de base de l'agent. L'énergie disponible ou potentiel de l'agent $Ew_a(t)$ est compris entre une valeur nulle, qui équivaut à l'épuisement complet, et le potentiel de base, EB_a . Ce dernier représente le niveau normal d'énergie au repos. La limite subjective $Ew_a(t)$ est essentiellement fixée par la volonté de l'agent de déployer de l'énergie comme le définissent Meijaman and Mulder (1998). D'après le modèle E-R, l'agent est susceptible de fournir un effort au-delà de cette limite, mais les conséquences psychologiques et physiologiques peuvent s'avérer délétères (e.g. Demerouti et al., 2012). La valeur de Ew_a définit le seuil de potentiel de l'agent (i.e. l'effort qu'il souhaite déployer dans son activité). Dans les deux cas, il est important de noter le caractère volontaire de ces bornes : $Dw_a(t)$ et $Ew_a(t)$ sont les limites contextuelles de potentiel que se fixe l'agent. Par exemple, un travailleur peut ne pas pouvoir aller au-delà des horaires imposés parce qu'il a pris un rendez vous juste après son travail. Mais il peut également ne pas vouloir dépasser ses horaires imposés parce qu'il considère qu'il n'a aucune obligation à le

faire. Inversement il peut considérer un dépassement horaire pour terminer une tâche en cours. Le potentiel d'énergie est également une limite subjective : il est très difficile de quantifier l'engagement en énergie et donc de fixer une limite objective, voire pour un individu de connaître ses propres limites. Toute décision de l'agent a s'appliquant à un problème p se traduit par une dépense de temps, $DE_a(p, t)$, et d'énergie, $EE_a(p, t)$. Par extension, l'activité de travail sur un pas de simulation se caractérise par une succession de dépenses de temps et d'énergie si l'agent traite plusieurs problèmes. Les fonctions $ES_a(t)$ et $DS_a(t)$ représentent respectivement la somme des investissements en énergie $EE_a(p, t)$ et en temps $DE_a(p, t)$ sur l'ensemble des problèmes traités par l'agent sur un pas de simulation t :

$$\begin{aligned} DS_a(t) &= \sum_{p \in GC_a(t)} DE_a(p, t) \\ ES_a(t) &= \sum_{p \in GC_a(t)} EE_a(p, t) \end{aligned} \quad (7.6)$$

Il est possible qu'un agent n'ait, au départ d'un pas de simulation, aucun problème à traiter ; c'est le cas si il a résolu tous ceux qui lui ont été alloués aux ticks précédents et que l'organisation ne lui en transmet aucun autre. Dans cette situation, l'agent effectue une routine¹ correspondant à une dépense de temps et d'énergie prédéterminée (voir section 7.4.3). Répondre au téléphone ou à des mails, remplir des ordres de missions ou des fiches de suivi constituent des activités de routine : elles se caractérisent par leur dimension bureaucratique et représentent des activités extrêmement codifiées. En revanche, tout problème attribué à un agent par l'organisation lui impose de le traiter. Nous résumons l'activité de décision de l'algorithme ci-dessous :

L'algorithme 3 décrit la procédure d'activité des agents pour un pas de simulation. La première étape consiste à vérifier que le bureau n'est pas vide (ligne 2). Si l'agent n'est confronté à aucun problème, il applique alors une procédure de routine (ligne 3). En présence de problèmes, il considère celui auquel il a attribué la plus grande importance (ligne 5) : soit l'agent dispose du potentiel adéquat pour résoudre le problème (ligne 7) auquel cas il applique sa décision (ligne 8) et il passe au problème suivant ; soit l'agent ne dispose pas du potentiel nécessaire et applique une décision de blocage (ligne 10). En résumé, le processus de décision se décompose en 3 étapes successives : l'agent va d'abord collecter et ordonner les problèmes qui lui ont été transmis (voir 7.4.2) ; ensuite, il tente de les résoudre un à un. Dans le cas où l'un d'eux ne peut être résolu, l'agent se trouve en situation de blocage. L'activité de l'agent sur un pas de simulation s'arrête : si un agent n'a plus de problème à résoudre ou si il échoue à en résoudre un. Dans les sections

1. Le terme ne renvoie pas ici au courant de recherche en économie des organisations basé sur l'apprentissage de routine (voir Nelson & Winter, 1982). On fait référence ici au concept d'"oversight" (Fioretti and Lomi, 2008) qui correspond dans le GCM à une décision prise alors que l'agent n'est confronté à aucun problème. Nous assimilons cette décision à une activité routinière dans les organisations, comme le décrivent (Cohen et al., 1972) dans le modèle original

Algorithm 3 : Algorithme résumé de la prise de décision des agents

```

1 Procedure ACTIVITY ()
2   if  $desk_a$  isEmpty then
3     | ROUTINE( $a$ )
4   else
5     | SORT( $GC_a$ )
6     | for  $p \in desk_a$  do
7       | if ABLETO SOLVE( $a, p$ ) then
8         | | RESOLUTION( $a, p$ )
9       | else
10      | | BLOC( $a, p$ )
11      | | break

```

suivantes nous revenons sur les différentes étapes de l'activité des agents.

7.4.2 Gestion des problèmes

Conformément au processus de décision décrit ci-dessus, dans un premier temps, l'agent organise son bureau GC_a , c'est-à-dire son bac à problèmes personnels. D'abord, l'organisation sollicite les agents et leur attribue systématiquement les problèmes accessibles. La gestion du bureau ainsi formée de problèmes entrant et éventuellement de problèmes antérieurs est un point essentiel puisqu'il fonctionne comme une pile : l'agent ne peut traiter que le premier problème et si il se trouve en situation de blocage, il ne pourra plus traiter les problèmes suivants. Nous avons opté pour une procédure de travail séquentielle afin d'introduire une limitation sur les capacités de gestion des agents, à l'image de (Cowan et al., 2013) ou comme c'est le cas dans le modèle Brahms Sierhuis et al. (2007). A chaque problème est donc associé un poids que l'agent calcule comme suit :

$$weight(p) = (2\rho_a - 1) \times d_p(a, t) + \ln(1 + t - t_p) \quad (7.7)$$

$\rho_a \in [0 : 1]$ représente la préférence de l'agent pour les problèmes courts ou longs, $d_p(a, t)$ la durée du problème p soumise à l'agent a à l'instant t ; et t_p le tick d'apparition du problème p dans l'organisation. L'agent classe alors les problèmes qui se trouvent sur son bureau en fonction décroissante de leur poids. Plus le paramètre ρ_a de l'agent est proche de 1 plus celui-ci va préférer les problèmes avec la plus faible exigence de temps de résolution, et inversement si la valeur est proche de 0. En revanche, quand ρ_a tend vers $1/2$, l'agent va suivre l'ordonnement implicite donné par l'ancienneté des problèmes. Le poids associé à l'âge du problème est une fonction logarithmique du nombre de ticks passés par ce problème dans l'organisation sans avoir été résolu.

7.4.3 Les modalités de la prise de décision

Les agents prennent leur décision en considérant les problèmes présents sur leur bureau. Ils tentent d'apporter une solution au problème de plus haute importance et s'ils le résolvent, ils continuent successivement à traiter les problèmes d'importance décroissante. L'activité de l'agent s'arrête si celui-ci n'a plus de problème ou ne peut atteindre la résolution d'un problème. Celle-ci est possible si l'agent dispose du temps de travail exigé, noté $d_p(a, t)$, et qu'il est disposé à produire l'effort $EE_a(p, t)$ correspondant. Comme nous le mentionnons plus haut, si un agent n'est confronté à aucun problème il accomplit alors une routine. Dans la première section nous revenons sur cette modalité de décision, puis nous détaillons dans la section suivante le principe d'une décision de résolution, pour terminer par l'activité associée au blocage.

La décision de routine

Si l'agent n'est confronté à aucun problème au moment de prendre une décision (i.e. $GC_a(t) = \emptyset$) il effectue un travail de routine qui consiste à investir une proportion fixe de son potentiel. Cette routine (oversight dans la terminologie du GCM) consiste donc en un investissement pré-déterminé. Ainsi, le temps total dépensé $DS_a(t)$ au temps t est équivalent au temps disponible $Dw_a(t)$, soit $DS_a(t) = Dw_a(t)$. L'énergie totale dépensée $ES_a(t)$ au temps t est elle équivalente au potentiel de l'agent $Ew_a(t)$ pondéré par un ratio de routine θ_a^R .

Algorithm 4 : Algorithme de la procédure de routine

```
1 Procédure ROUTINE( $a$ )
2    $DS_a(t) \leftarrow Dw_a(t)$ 
3    $ES_a(t) \leftarrow Ew_a(t) \times \theta_a^R$ 
```

Le paramètre θ_a^R représente l'implication de l'agent dans les activités routinières du métier, les tâches qui sont effectuées automatiquement. Elle correspond à une mesure d'engagement par rapport à la fonction ou au métier. Ce paramètre peut également s'envisager comme un investissement en soi dans le travail, un engagement intrinsèque. Cet aspect se rapproche de la motivation intrinsèque défini par [Deci and Ryan \(1985\)](#) comme le mobile d'une décision auto-déterminée, qui s'oppose à la motivation extrinsèque qui découle d'une injonction (i.e. une intervention externe). Comme nous l'avons souligné plus haut ces activités couvrent l'ensemble des aspects bureaucratiques et administratifs du travail (e.g. regarder ses mails, remplir des formulaires ou des rapports).

La décision par résolution

Un problème sur lequel la décision de l'agent a conduit à la résolution quitte l'organisation. Pour que la décision mène à la résolution : il faut que l'agent investisse le temps $d_p(a, t)$ exigé par l'organisation, soit $DE_a(p, t) \geq d_p(a, t)$ et qu'il dispose de l'énergie requise, notée $EE_a(p, t)$. L'agent doit donc disposer de temps et d'énergie en quantité définie afin de résoudre un problème p , tel que défini dans l'algorithme 5.

Algorithm 5 : Algorithme de validation d'une résolution

```

1 Procédure ABLETO SOLVE( $a, p$ )
2   if  $Dw_a(t) - DS_a(t) \geq d_p(a, t)$  and  $Ew_a(t) - ES_a(t) \geq EE_a(p, t)$  then
3     | return true
4   else
     | return false

```

Le temps disponible correspond à la limite $Dw_a(t)$ moins le temps déjà dépensé $DS_a(t)$ dans les précédentes décisions de l'agent à ce tick. Si la différence des deux est inférieure ou égale au temps nécessaire $d_p(a, t)$ à la résolution par l'agent a du problème p , alors il peut considérer la disponibilité d'énergie. L'énergie disponible correspond au potentiel de l'agent $Ew_a(t)$ moins l'énergie déjà dépensée $ES_a(t)$. Si la différence des deux est inférieure ou égale à l'énergie requise $EE_a(p, t)$, alors la résolution est possible.

L'activité de l'agent est scindée en deux types de contraintes : le temps $d_p(a, t)$ et l'énergie $EE_a(p, t)$ que coûte une résolution. Si le temps nécessaire dépend entièrement de la définition donnée par l'organisation, la dépense en énergie dépend en partie de l'agent. Cet investissement en énergie, noté $EE_a(p, t)$ pour l'agent a au temps t sur le problème p , est calculé à partir :

- (i) d'une contrainte extrinsèque fixe Ep_o correspondant à l'injonction de l'organisation : elle correspond à la qualité attendue de l'effort fourni pour atteindre la résolution du problème.
- (ii) d'une contrainte intrinsèque représentée par la variable $EI_a(p, t)$ pour l'agent a considérant le problème p au temps t :
 - (a) qui diminue quand la quantité de problèmes sur le bureau de l'agent augmente
 - (b) qui augmente avec l'importance relative du type de problème $a\tau_{a,\tau_p}^*$ dans le rôle z_a de l'agent
 - (c) qui augmente, quelque soit le type de problèmes, avec l'importance du rôle z_a de l'agent
- (iii) du niveau d'efficacité de l'agent a noté $eff(a, p) \in [0.5; 2]$ dans la résolution dudit problème p .

Le coût global qui intègre un coup horaire multiplié par le temps de résolution est donné par la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 EE_a(p, t) &= \frac{Ep_o}{EI_a} \times \text{eff}(a, p) \times d_p(a, t) \\
 EI_a(p, t) &= 1 + \ln \left(1 + \left(\frac{|GC_a|}{z_a + \frac{a\tau_{a,p}^*}{z_a}} \right) \right)
 \end{aligned} \tag{7.8}$$

Le coût d'effort d'une résolution prend donc en compte la demande de l'organisation Ep_o et les diverses contraintes internes que se fixe l'agent. L'effort requis est donc un compromis entre l'exigence de l'organisation et les exigences de l'agent. Par exemple si un agent est le seul à pouvoir traiter un problème, il aura tendance à augmenter son effort pour le résoudre ; mais à le diminuer s'il a par ailleurs beaucoup d'autres problèmes. Il s'agit également de caractériser l'importance du problème par rapport à l'organisation. Par exemple, une tâche confiée à un responsable sera a priori plus importante qu'une tâche attribuée à un exécutant, ce qui conduira cet agent à investir plus d'énergie. Comme nous le soulignons plus haut, l'agent module son effort en fonction de trois exigences intrinsèques : le nombre de problèmes qui lui ont été attribués, l'importance relative du type de problème traité dans l'ensemble de ses responsabilités, et son niveau global de responsabilité. Enfin, la variable d'efficacité, $\text{eff}(a, p)$, permet d'intégrer les facteurs contextuels qui vont influencer le travail de l'agent, qu'ils soient propres à celui-ci (e.g. compétences, expérience, concentration, engagement) ou extérieurs (e.g. matériel mal adapté ou défaillant, problèmes de communication, procédures mal ajustées). Faute de données concernant ce dernier aspect, nous avons choisi de modéliser l'efficacité sous la forme d'une variable aléatoire qui détermine un effort variable : ce facteur multiplicateur donne un coût en effort au mieux 2 fois moins important et au pire 2 fois plus important. A noter que cette variable est recalculée pour chaque agent, sur chaque problème qu'il traite.

Algorithm 6 : Algorithme de décision par résolution

```

1 Procédure RESOLUTION( $a, p$ )
2    $EE(a, p) \leftarrow \frac{Ep_o}{EI_a(p, t)} \times \text{eff}(a, p) \times d_p(a, t)$ 
3    $DE(a, p) \leftarrow d_p(a, t)$ 

```

Afin de prendre une décision par résolution l'agent considère un à un les problèmes courants : pour chacun d'eux, il vérifie que les deux conditions de résolution peuvent être remplies. S'il peut satisfaire aux deux conditions de l'algorithme 5, alors il applique la résolution. Comme le montre l'algorithme 6 celle-ci consiste à définir les valeurs $EE(a, p)$ et $DE(a, p)$. En revanche, si le potentiel de l'agent ne suffit pas à la résolution de l'un des problèmes l'agent est en situation de blocage.

La décision suite à un blocage : résolution approchée

Dans le cas d'une demande en temps ou d'effort trop importante, l'agent cherche à approcher au plus près la résolution du problème. Dans un premier temps, l'agent considère alors un investissement à hauteur du temps dont il dispose : $DE_a(p, t) = Dw_a(t) - DS_a(t)$. Sur cette base, il anticipe le niveau d'énergie requis en considérant les mêmes contraintes que dans l'équation 7.8 mais en substituant le temps de résolution par le temps dont il dispose :

$$EE_a(p, t) = \frac{Ep_o}{EI_a(p, t)} \times \text{eff}(a, p) \times (Dw_a(t) - DS_a(t)) \quad (7.9)$$

S'il dispose effectivement de l'énergie, il applique la décision de blocage définie par le temps disponible $DE_a(p, t)$. Si l'effort $EE_a(p, t)$ requis dépasse le potentiel de l'agent, il considère alors le blocage sous un autre angle : celui de la disponibilité d'énergie. Dans cette optique et sur la base d'un même coût horaire pour la résolution dudit problème, l'agent établit une durée de travail à partir de l'énergie dont il dispose, à savoir $Ew_a(t) - ES_a(t)$, de la manière suivante :

$$DE_a(p, t) = \frac{Ep_o/EI_a(p, t) \times \text{eff}(a, p)}{Ew_a(t) - ES_a(t)} \quad (7.10)$$

En calculant ainsi son investissement de temps en cas de blocage, l'agent s'assure de respecter les contraintes de disponibilité de temps $Dw_a(t)$ et d'énergie $Ew_a(t)$ qu'il s'était fixé. En effet, si le temps dont il dispose lui demande trop d'énergie, il choisira alors de fixer le temps de travail en fonction de l'énergie que son potentiel lui autorise sans dépassement. En situation de blocage l'agent respecte donc systématiquement les limites de son potentiel d'effort et de temps.

Algorithm 7 : Algorithme de décision suite à un blocage

```

1 Procédure BLOCK( $a, p$ )
2   if  $\frac{Ep_o}{EI_a(p, t)} \times \text{eff}(a, p) \times (Dw_a(t) - DS_a(t))$  then
3      $EE_a(p, t) \leftarrow \frac{Ep_o}{EI_a(p, t)} \times \text{eff}(a, p) \times (Dw_a(t) - DS_a(t))$ 
4      $DS_a(p, t) \leftarrow Dw_a(t) - DS_a(t)$ 
5   else
6      $EE_a(p, t) \leftarrow Ew_a(t) - ES_a(t)$ 
7      $DE_a(p, t) = \frac{(Ep_o \div EI_a(p, t)) \times \text{eff}(a, p)}{Ew_a(t) - ES_a(t)}$ 

```

L'algorithme 7 résume les deux alternatives d'une décision de blocage : l'agent détermine le temps à investir, soit en fonction du temps dont il dispose à ce moment (ligne 4), soit en fonction de son potentiel disponible (ligne 6). Dans le premier cas, il dépense tout le temps qu'il lui reste et investit l'énergie en conséquence (ligne 3) ; alors que dans le second cas, il fixe le temps investit

à partir de l'énergie qui lui reste (ligne 5).

7.4.4 L'activité des agents

Comme nous le soulignons plus haut, les décisions de l'agent s'appliquent de manière séquentielle, problème par problème. Le temps investit $DE_a(p, t)$ et le coût d'énergie $EE_a(p, t)$ sont calculés en fonction du type de décision de l'agent. La routine (algorithme 4), la résolution (algorithme 6) et le blocage (algorithme 7) déterminent chacun un niveau différent d'investissement. Chacune des décisions appliquées à un problème (i.e. résolution et blocage) sur un pas de simulation se cumulent dans $DS_a(t)$ et $ES(t)$:

$$\begin{aligned} DS_a(t) &\leftarrow DS_a(t) + DE_a(p, t) \\ \text{Et } ES_a(t) &\leftarrow ES_a(t) + EE_a(p, t) \end{aligned} \quad (7.11)$$

Par ailleurs, l'activité des agents se traduit également au niveau des problèmes. Notamment, le temps de travail vient diminuer la contrainte associée au problème sur lequel porte l'activité des agents. Ainsi, pour chaque décision relative à un problème particulier la demande de celui-ci est modifiée. Le temps de résolution $d_p(a, t)$ est diminuée par l'activité des agents, et se traduit par une réduction du temps de résolution $d_p(t)$ au niveau de l'organisation. On a donc :

$$\begin{aligned} d_p(t+1) &= d_p(t) - \sum_{\forall a \in \mathcal{A}_p} DE_a(p, t) \\ d_p(a, t+1) &= d_p(a, t) - DE_a(p, t) \end{aligned} \quad (7.12)$$

La diminution de la contrainte est double : (i) au niveau de la durée de résolution $d_p(a, t)$ associée à l'agent a , qui est diminuée exactement du temps $DE_a(p, t)$; (ii) au niveau de la durée de résolution globale $d_p(t)$ du problème p soumise à l'organisation. A la suite des décisions prises par l'agent, les valeurs de $ES_a(t)$ et $DS_a(t)$ sont réinitialisées, de sorte qu'au départ de la journée suivante $ES_a(t+1) = DS_a(t+1) = 0$.

L'activité de l'agent contribue également à faire évoluer son potentiel : nous avons modélisé la dynamique du potentiel en se basant sur les principes de la théorie Effort-Recovery de [Meijaman and Mulder \(1998\)](#). Le potentiel disponible de l'agent au pas de simulation suivant est déduit des décisions précédentes de l'agent, c'est-à-dire $Ew_a(t+1) = f(ES_a(t), DS_a(t))$. Dans la section suivante nous revenons en détail sur la dynamique du potentiel des agents.

7.5 La dynamique de potentiel

L'essentiel de l'activité des agents consiste donc à investir du temps et de l'énergie dans leur activité de travail. La dynamique du temps et d'énergie disponible est donc cruciale, non seulement

pour l'agent mais également pour l'organisation : en effet, la résolution de problèmes est limitée par la disponibilité de temps et d'énergie à investir dans la résolution de problèmes. Nous développons dans cette section les règles qui président à l'initialisation du potentiel, aux conséquences de l'effort et à la récupération du potentiel qui suit.

7.5.1 Initialisation du potentiel des agents

Les valeurs d'initialisation Dw_a et Ew_a représentent le potentiel de départ de l'agent : la limite subjective de temps et d'énergie dont il dispose. Concernant le temps, cette valeur est a priori la journée de travail, soit $\forall a \in \mathcal{A} \quad Dw_a = 7$. Pour l'énergie, on applique un niveau donné à l'ensemble des agents : $\forall a \in \mathcal{A} \quad EB_a = Ew_o$ avec Ew_o le paramètre de la simulation qui fixe ce niveau de départ identique pour tous les agents. Leur potentiel initial correspond à leur niveau d'énergie de base : $Ew_a(t_o) = EB_a$. C'est à partir de la valeur de EB_a que le potentiel Ew_a de l'agent va varier. Le recours à un niveau de base est essentiellement justifié par les propriétés de récupération : alors que l'effort diminue les capacités de l'agent, notamment en terme d'attention (torch light metaphor, voir [Fernandez-Duque and Johnson, 1999](#)) ou de concentration, la récupération va tendre à les rétablir aux niveaux qui étaient les leurs avant la dépense d'énergie. [Meijaman and Mulder \(1998\)](#) évoquent clairement cette notion dans leur modèle : si une personne réussit à récupérer complètement des conséquences négatives de l'effort, elle retournera alors au niveau d'énergie dont elle disposait avant l'effort.

7.5.2 Récupération du potentiel de l'agent

L'agent réévalue l'énergie et le temps dont il dispose à chaque pas de simulation représentant une journée. Un processus dynamique définit la diminution ou l'augmentation du potentiel au temps suivant sur la base de l'activité des agents. Ce mécanisme dit de récupération est basé sur le modèle E-R ([Meijaman and Mulder, 1998](#)). De récentes études tendent à confirmer la pertinence de cette théorie pour établir un lien entre caractéristiques de l'emploi, activité de travail et capacité de rétablissement (e.g. [de Jonge et al., 2011](#) ; [Kinnunzn et al., 2011](#) ; [Demerouti et al., 2012](#)). D'après le modèle E-R, le retour à la normale après une dépense d'énergie au travail dépend de la capacité de récupération : dans un premier temps, l'effort active une charge (mécanismes psychiques et physiologiques), puis quand l'effort est relâché, un mécanisme de résilience tend à diminuer cette charge jusqu'au retour à l'état initial. Le modèle identifie trois mécanismes : l'augmentation de la charge (e.g. libération d'hormones, accélération du rythme cardiaque, tension musculaire) déclenchée par l'effort. la diminution de cette charge due à la récupération. Enfin, les éventuelles conséquences non compensées vont diminuer à court ou long terme le potentiel disponible de l'agent. Dans les sections suivantes, nous proposons de modéliser ces trois mécanismes :

1. La charge : pour chaque investissement dans l'activité de travail, l'agent subit un ensemble de conséquences modélisées sous la forme d'une fonction de charge notée $Load_a(t)$.
2. La récupération : une fois l'activité des agents terminée, une seconde phase de récupération permet d'établir une compensation, notée $Recovery_a(t)$.
3. Le cumul : à chaque cycle charge/récupération, l'agent emmagasine les conséquences à plus long terme, $cumul_a(t)$ et réajuste son potentiel en fonction, $Ew_a(t+1) = f(cumul_a(t))$.

La fonction de remplissage de la charge

La fonction $Load_a(t)$ modélise les conséquences physiologiques et psychologiques de l'effort. Elle dépend de l'investissement en énergie et en temps modéré par les ressources de l'agent. En effet, d'après [Demerouti et al. \(2012\)](#) les ressources, et notamment le soutien social et l'autonomie, permettent de compenser les conséquences associées à la durée et l'intensité de l'effort. Nous proposons de modéliser les conséquences de l'activité des agents sous la forme suivante :

$$Load_a(t) = \frac{DS_a(t)}{\lambda_a^L} \times \ln \left(1 + \frac{ES_a(t)}{Ew_a(t)} \right) \quad (7.13)$$

La charge est calculée à partir du temps de travail $DS_a(t)$ et de l'énergie dépensée $ES_a(t)$. Elle sera d'autant plus grande que l'investissement en temps et énergie sera important. Les deux facteurs se multiplient, puisque comme le souligne [Meijaman and Mulder \(1998\)](#), la charge augmente d'autant plus que l'effort est prolongé. On considère également les gains de temps associés aux ressources professionnelles, telles que l'autonomie ou le soutien social. Celles-ci permettent de compenser l'impact de l'effort comme le soulignent les modèles E-R ([Meijaman and Mulder, 1998](#)), COR ([Hobfoll, 1989](#)) et JD-R (Job Demand-Ressource ; [Demerouti et al., 2012](#)). Le paramètre $\lambda_a^L \in [0, 1]$ représente les ressources de l'agent. S'il est proche de 1 alors l'agent bénéficie de l'apport de ressources qui lui permettent de mieux gérer les réactions dues à la durée de son activité de travail. Par exemple, la présence d'un soutien parmi ses collègues ou d'un outil facilitant le travail peuvent représenter ce genre de ressources. Si le paramètre est inférieur à 1, alors l'agent ne dispose pas ou dispose de ressources mal adaptées, ce qui rend son activité plus difficile. On modélise cet aspect comme un effet modérateur de la durée de l'effort : plus les ressources sont faibles plus la durée de l'effort sera pénalisée et inversement.

La fonction de récupération

La fonction $Recovery_a(t)$ prend en compte le temps en dehors du travail, modulé par la qualité des activités de récupération, caractérisée par la variable $\lambda_a^R \in [0, 1]$. Par exemple, si l'agent n'arrive pas à se détacher mentalement des préoccupations de son emploi, la qualité de sa récu-

pération sera moindre (Sonntag and Bayer, 2005). On peut également évoquer la qualité du sommeil comme un facteur important de récupération (pour une revue de littérature : Demerouti et al., 2009). Bien qu'il s'agisse d'une mesure dépendante de chaque activité hors travail et donc, susceptible de changer dans le temps, nous n'envisageons pas d'évolution dynamique par soucis de simplicité. Le niveau de récupération est donné par la fonction suivante :

$$Recovery_a(t) = \lambda_a^R \cdot (24 - DS_a(t)) \quad (7.14)$$

Elle correspond donc au temps disponible hors travail, donné par le nombre d'heures d'une journée moins le temps travaillé, pondéré par le paramètre λ_a^R de qualité de récupération. Comme nous le soulignons plus haut, la récupération va faire diminuer la charge déclenchée par l'activité des agents. La diminution des conséquences du déploiement d'effort et de temps va influencer le potentiel de l'agent : pour établir l'impact du couple charge/récupération il faut donc en modéliser les conséquences sur le potentiel de l'agent. Nous développons ce mécanisme dans le paragraphe suivant.

Les conséquences à long terme

Les conséquences à long terme du couple charge/récupération sont interprétées en influençant le potentiel de l'agent lors d'un futur effort. Il s'agit donc de l'impact du mécanisme E-R sur l'état de l'agent au départ de sa prochaine activité, soit son potentiel $Ew_a(t+1)$. A noter que l'issue du processus de récupération n'est pas directement la récupération d'énergie mais la diminution des conséquences négatives de l'effort. Dans un premier temps, les conséquences de l'effort (e.g. la charge) réduites du niveau de récupération, sont accumulées par l'agent. La variable $Cumul_a$ représente le cumul des conséquences négatives de l'effort qui ne sont pas compensées par la récupération :

$$Cumul_a(t+1) = Cumul_a(t) + Load_a(t) - Recovery_a(t) \quad (7.15)$$

Le cumul des conséquences négatives est principalement dépendant du temps effectif de travail, $DS_a(t)$. Les deux fonctions de $Load(t)$ et de $Recovery(t)$ intègrent une dimension temporelle interdépendante : le temps de travail diminue le temps de récupération et augmente, toute chose égale par ailleurs, les conséquences négatives de l'effort. Le stock $Cumul_a(t)$ de conséquences négatives dues à l'effort non compensées par la récupération, va ensuite déterminer la dynamique du potentiel d'énergie disponible au temps suivant, $Ew(t+1)$.

La dynamique du potentiel d'énergie

Finalement, le potentiel de l'agent est recalculé à chaque pas de simulation. De sorte que l'agent dispose d'un niveau de potentiel qui prend en compte la charge associée aux efforts précédents, ainsi qu'à sa capacité de récupération. Ainsi, le potentiel au départ d'un nouveau pas de simulation, $Ew_a(t+1)$, se base sur une fonction de type logistique dont le maximum est fixé au potentiel de base. La variable interne qui permet de déterminer les changements dans le potentiel de l'agent est la charge cumulée (voir equation 7.15) :

$$Ew_a(t+1) = EB_a \times \frac{1}{1 + Cumul_a(t) \cdot \psi_a} \quad (7.16)$$

Ainsi, au début du temps $t+1$, l'agent dispose d'un potentiel calculé en fonction de son niveau de base, de son niveau de charge cumulé ainsi que d'un paramètre $\psi_a \in \mathbb{R}_+^*$ caractérisant la sensibilité de l'agent à la charge d'effort cumulée : plus celui-ci est élevé, moins l'agent sera impacté par les conséquences négatives de l'effort ; plus cette valeur est proche de 0, plus le cumul aura de poids dans le nouveau potentiel de l'agent.

7.6 De-C GCM : La dynamique du modèle d'activité organisationnelle

Dans le De-C GCM, c'est l'organisation qui se charge d'orchestrer la dynamique du modèle. Elle consiste globalement à gérer les problèmes entrants et sortants : prendre connaissance des nouveaux problèmes du GC en les répartissant sur le bureau des agents concernés, et faire sortir les problèmes résolus. Les problèmes entrent et sortent de l'organisation par le jeu respectif de la génération de problèmes et de l'activité de résolution des agents. Il est possible que tout ou partie des problèmes introduits dans l'organisation en début de tour ne trouvent pas de solution à la fin de celui-ci. Dans ce cas, ils persisteront dans l'organisation au niveau du GC mais également dans le bureau des agents GC_a qui n'auront pu répondre à l'exigence de leur résolution. Nous décrivons en quatre processus clés le déroulement complet d'un tick de simulation, correspondant à une journée de travail pour l'ensemble de l'organisation :

1. Le GC est rempli de problèmes générés à l'aide de la distribution définie par l'équation 7.17. Chaque problème est créé en association avec un type défini et inséré dans la liste des problèmes du GC.
2. L'organisation alloue successivement les problèmes à résoudre aux agents responsables. Les modalités de répartition des problèmes sont définies dans les sections 7.6.2.
3. Une fois les problèmes alloués, les agents effectuent leur travail dans ce tick, chacun à leur tour dans un ordre aléatoire.

7.6. DE-C GCM : LA DYNAMIQUE DU MODÈLE D'ACTIVITÉ ORGANISATIONNELLE

4. Une fois que tous les agents ont appliqué leur décision, l'organisation enlève les problèmes résolus du GC.

Ci-dessous le digramme 7.6.1 détaille graphiquement la dynamique du De-C GCM. On y retrouve les 4 étapes décrites ci-dessus pour un pas de simulation :

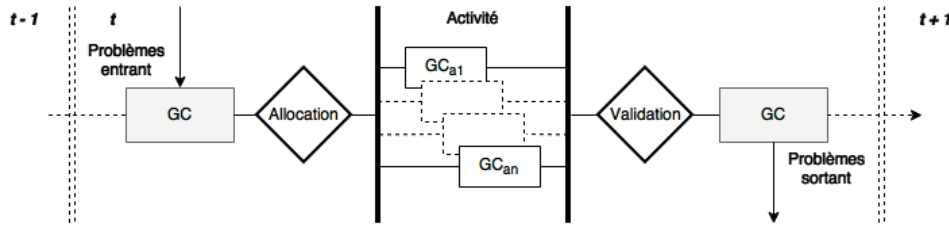


Figure 7.6.1 : Diagramme conceptuel de la dynamique du De-C GCM

La résolution d'un problème p est atteinte lorsque tous les agents ont résolu la part $d_p(a)$ de la contrainte totale d_p qui leur a été allouée, c'est-à-dire quand $\sum_{\forall a \in \mathcal{A}_{\tau_p}} DS_a(p, t) \geq d_p(t)$. La validation par l'organisation d'une résolution consiste donc à agréger les résolutions locales au niveau des agents. Ce n'est que lorsque tous les agents ont résolu leur part du problème que celui-ci peut quitter l'organisation. Dans les paragraphes suivants nous revenons sur les deux étapes qui concernent l'organisation et son bac à problème, GC : la génération de nouveaux problèmes et les mécanismes d'allocation.

7.6.1 Génération des problèmes

La génération d'un nouveau problème p nécessite de fixer son type τ_p et sa durée de résolution d_p . C'est l'organisation qui détermine ces deux attributs et stocke les problèmes générés dans le GC

Choix du type de problème Le type de problèmes est tiré aléatoirement suivant une loi de probabilité discrète paramétrable. Elle varie d'une distribution uniforme à une distribution indexée sur le niveau de responsabilité cumulée des agents en charge du type de problèmes considéré. En d'autres termes, la probabilité de générer un problème de type τ_i est équivalente à $PG(\tau_i)$ et dépend du niveau de responsabilité z_a des agents dont le rôle contient τ_i , c'est-à-dire $\forall a \in \mathcal{A}_{\tau_i}$. Cette probabilité est calculée à l'aide de la fonction représentée ci-dessous :

$$PG(\tau_j) = \frac{w(\tau_j)}{\sum_{k=1}^m w(\tau_k)} \quad j = \{1, \dots, m\}$$

$$w(\tau_j) = \left(\sum_{i=1}^n (a\tau_{i,j} \times z_i) \right)^{P^{id}} \quad (7.17)$$

7.6. DE-C GCM : LA DYNAMIQUE DU MODÈLE D'ACTIVITÉ ORGANISATIONNELLE

Le paramètre $\mathcal{P}^{id} \in \mathbb{Q}_+$ représente l'importance accordée aux rôles des agents dans la définition du type τ_j du problème p . Quand il tend vers l'infini alors la probabilité de générer un problème de type τ_i sera d'autant plus grande qu'il est traitable par un grand nombre d'agents avec un haut niveau de responsabilité z_a (equation 7.5). Dans ce cas, l'organisation détermine le type des problèmes en fonction de la division du travail. Par ailleurs, quand \mathcal{P}^{id} tend vers 0 la probabilité tend à être uniforme sur l'ensemble des types. Dans ce cas la moindre hypothèse est faite sur le type de problèmes auxquels l'organisation fait face.

A l'inverse des autres versions du GCM, nous faisons l'hypothèse d'une génération de problèmes en rapport avec le rôle des agents : en effet, la procédure classique donnée par [Cohen et al. \(1972\)](#) et [Fioretti and Lomi \(2008\)](#) consiste à indexer la probabilité d'apparition d'un problème sur les indices de type. Cela nous est apparu inconsistant dans la mesure où cela implique que la seule différence entre les types de problèmes est l'indice du type. Nous avons souhaité utiliser l'hétérogénéité des types induite par leurs associations aux agents (i.e. la matrice d'allocation $\mathcal{A} \times \mathcal{T}$) : c'est-à-dire, si un type est partagé par un grand ou petit nombre d'agents (voir un seul) et s'il est du traitable par des agents avec de faibles ou fortes responsabilités.

Génération des contraintes associées aux problèmes La création de problèmes nécessite également la détermination des contraintes de résolution : fixer l'exigence de temps d_p pour résoudre le problème p . Cette durée s'apparente à une prescription associée au problème qui exprime l'attente de l'organisation en terme de temps de travail pour atteindre la résolution du problème. Nous nous basons sur les règles de fixation des contraintes associées aux problèmes utilisées par [Fioretti and Lomi \(2008\)](#) : un temps minimum dp_{min} et maximum dp_{max} sont attribués comme paramètres, puis un tirage aléatoire uniforme est fait dans cet intervalle. La borne basse est par convention fixée à $dp_{min} = 1$ dans la mesure où le temps horaire est exprimé en heure. La borne maximale est fixée de manière paramétrique en fonction de la durée conventionnelle de travail, soit 7h ; avec $dp_{max} = 7 \times d_{max}$ où $d_{max} \in \mathbb{Q}_+^*$ est le paramètre permettant de définir la contrainte de durée. Nous développons dans la section 7.6.2 les modalités d'allocation de la contrainte de temps aux agents.

7.6.2 Répartition des problèmes entre agents

Dans le cas où plusieurs agents sont susceptibles de travailler sur un même problème, l'organisation répartit les exigences sur l'ensemble des employés considérés. En la matière, l'organisation distribue la demande d_p associée aux problèmes contenus dans le GC à l'aide d'une règle d'allocation paramétrable. La procédure consiste à répartir équitablement entre les agents responsables tout en tenant compte de l'étendue des responsabilités de chacun. En effet, il est raisonnable de considérer qu'un agent n'ayant à sa charge qu'un seul type de problème contribue plus à sa résolution qu'un agent ayant par ailleurs d'autres responsabilités. Sur la base d'un problème p de

type τ_i avec une contrainte d_p donnée, l'organisation alloue $d_p(a)$ temps sur chacun des \mathcal{A}_{τ_i} agents concernés de la manière suivante :

$$\forall a \in \mathcal{A}_{\tau_i} \quad d_p(a) = d_p \cdot \frac{\frac{1}{\exp\left(\frac{|\mathcal{T}_a|}{\zeta}\right)}}{\sum_{a' \in \mathcal{A}_{\tau_i}} \frac{1}{\exp\left(\frac{|\mathcal{T}_{a'}|}{\zeta}\right)}} \quad (7.18)$$

Le paramètre $\zeta \in \mathbb{Q}_+^*$ permet de régler la sensibilité de la répartition par rapport à l'étendue des responsabilités des agents, représentée par le nombre de types de problèmes $|\mathcal{T}_a|$ associés à la responsabilité d'un agent a donné. Plus la valeur du paramètre est grande plus la répartition se fera équitablement ; chaque agent se voyant allouer une part équivalente des contraintes associées aux problèmes. En revanche, plus le paramètre se rapproche de 0 plus la demande en temps des problèmes aura tendance à se concentrer sur les agents à faible responsabilité – la limite étant un agent uniquement responsable de ce type de problèmes. Le paramètre définit alors une répartition uniforme quand ζ tend vers l'infini ou inversement proportionnelle aux nombres de types de problèmes traitables par les agents quand ζ tend vers 0.

7.7 Le De-C GCM en résumé

Notre modèle propose de représenter l'organisation à partir de la conception de l'activité de travail de ses employés : sur la base des principes du GCM (Cohen et al., 1972), nous avons défini l'organisation sous la forme d'une matrice qui relie les tâches (types de problèmes) et les agents capables de les accomplir. Le travail de ces derniers consiste alors à décider d'investir le temps et l'énergie nécessaires à la résolution des problèmes que leur soumet l'organisation. L'activité de nos agents a été conçue sur la base du modèle E-R (Meijaman and Mulder, 1998), bien établi en psychologie du travail. La dynamique globale du modèle est donnée par l'apparition de problèmes et l'allocation de ceux-ci aux agents concernés.

Dans le chapitre suivant, nous explorons les mécanismes de notre modèle sous trois aspects : le type d'organisations que notre modèle permet de générer, la dynamique de résolution et les conséquences sur le niveau d'effort des agents.

8

Analyses et résultats de simulations du De-C GCM

Dans ce chapitre, nous proposons d'explorer le modèle d'activité en s'appuyant sur l'analyse de sensibilité des paramètres de la génération de matrice d'allocation, puis de la dynamique du De-C GCM et enfin des mécanismes cognitifs de décision des agents. Cela nous permettra de développer une compréhension globale des mécanismes du modèle. En effet, dans le cas présent, leur compréhension est d'autant moins intuitive que la mise en simulation du modèle nécessite l'utilisation de processus stochastiques (e.g. allocation des responsabilités, création de problèmes). Pour cette raison, une analyse systématique de l'orientation des résultats en fonction de variations sur un ou deux paramètres simultanés, peut nous permettre de mieux saisir leur impact et de mieux valider leur rôle dans notre modèle. Cette analyse de sensibilité sert également directement d'expérimentation sur le modèle : notamment on tentera de faire émerger les déterminants organisationnels de l'efficacité de l'activité de nos organisations (section 8.2), et au niveau individuelle de l'épuisement de nos agents (section 8.3).

Dans un premier temps nous explorons les possibilités offertes par l'algorithme de création d'organisations en section 8.1. Pour ce faire, nous étudions deux types de données sur l'organisation : leur tendance à favoriser les relations horizontales ou verticales. A l'issue de cette première analyse, nous établissons différentes organisations typiques sur la base des indicateurs définis. Ces environnements serviront ensuite à l'analyse de la dynamique du modèle d'activité. Dans la deuxième section 8.2, nous étudions le comportement des organisations en les confrontant à un

ensemble de problèmes à résoudre. Nous proposons d'établir la performance en se basant sur le temps de résolution. Enfin, dans la dernière section 8.3, nous revenons sur l'aspect individuel de l'activité en organisation. Nous avons conduit une analyse de sensibilité sur les paramètres relatifs à la résolution des problèmes et à la gestion de l'effort au niveau individuel. Nous étudions les résultats en élaborant des indicateurs microscopiques dédiés.

8.1 L'analyse des organisations générées par le De-C GCM

Cette section nous étudions les propriétés de l'algorithme de génération d'organisation. A la fin de cette analyse, nous pourrions déterminer des types d'organisation. L'exploration se fait sur trois paramètres qui permettent de construire une grande variété de matrices d'allocation (voir section 7.3.2) : le paramètre μ^τ détermine la moyenne attendue du nombre de types de problèmes par agents, exprimé en proportion du nombre total de types dans l'organisation. Par exemple, une valeur de 1 établit en principe une situation où les agents sauront traiter l'ensemble des types de problèmes. ν_τ définit le respect de cette moyenne : plus sa valeur est grande plus l'écart type autour de cette moyenne sera faible (eq. 7.2). Enfin, \mathcal{T}^{id} conditionne l'attribution des indices de types de problèmes (eq. 7.3). Plus sa valeur est forte, plus les responsabilités auront tendance à se concentrer sur les indices de types les plus élevés ; à l'inverse, si sa valeur est nulle alors les types seront attribués de manière uniforme sur l'ensemble des indices.

8.1.1 Les types de relations dans le De-C GCM

Tout d'abord nous présentons les deux notions relationnelles centrales dans les organisations du De-C GCM : les relations hiérarchiques ou verticales et les relations de partage ou horizontales. Ces types de relation ont été identifiés dans [Cowan et al. \(2013\)](#), dont nous reprenons les définitions.

Relation verticale Un agent a_i est un subordonné de a_j , si l'emploi de ce dernier lui accorde la responsabilité de l'ensemble des types de problèmes associé à l'agent a_i - soit l'inclusion stricte de ces responsabilités $\mathcal{T}_{a_j} \supset \mathcal{T}_{a_i}$. Il s'agit donc d'une hiérarchie fonctionnelle, où le supérieur d'un agent est responsable de l'ensemble des types de problèmes de celui-ci, plus au moins un autre. La hiérarchie correspond ici à l'imbrication des rôles au sein de l'organisation : si en plus de son travail, un agent est également responsable de celui d'un autre, alors il est son supérieur. Par exemple, dans un secteur commercial, le manager aura pour tâche de gérer une équipe et d'organiser le travail de vente, là où la vente elle-même est déléguée aux subordonnés. Le rôle du manager inclut une responsabilité vis-à-vis du travail de ses subordonnés : même dans le cas d'une délégation complète des tâches (e.g. le manager ne fait pas de vente), le supérieur est tenu de s'assurer de l'accomplissement de celles-ci et est bien souvent tenu responsable des résultats. C'est

ce dernier point que nous avons souhaité capter à travers l'idée de dépendance fonctionnelle : la responsabilité d'un supérieur pour les tâches d'un subordonné.¹ Par ailleurs, cette relation de subordination n'est pas associée, en l'état du modèle, à l'exercice d'une autorité quelconque sur le déroulement de l'activité des subordonnés. On peut aisément imaginer des raffinements ultérieurs qui puissent exploiter ces relations dans la conduite de l'activité de travail ; notamment en distinguant des types de problèmes de management et d'autres d'exécution.

Relation horizontale Par ailleurs, deux agents a_i et a_j sont paires s'ils partagent un sous ensemble commun de responsabilités - soit $\mathcal{T}_{a_i} \cap \mathcal{T}_{a_j} \neq \emptyset$ - et par ailleurs qu'ils aient chacun des responsabilités propres - soit $\mathcal{T}_{a_i} \not\subseteq \mathcal{T}_{a_j}$ et $\mathcal{T}_{a_i} \not\supseteq \mathcal{T}_{a_j}$. Les relations de partage de responsabilités ne sont pas incompatibles avec les relations hiérarchiques : en effet, un supérieur hiérarchique partage nécessairement un sous ensemble de responsabilités (voir définition ci-dessus). Contrairement à la relation d'imbrication qui caractérise la hiérarchisation verticale, les relations horizontales se définissent comme une distance : plus la proportion de types de problèmes communs est importante, plus la proximité sera grande. Le calcul est donné par l'équation suivante :

$$share(a_i, a_j) = \frac{|\mathcal{T}_{a_i} \cap \mathcal{T}_{a_j}|}{|\mathcal{T}_{a_i} \cup \mathcal{T}_{a_j}|} \quad (8.1)$$

La valeur $share(a_i, a_j)$ se calcule comme la proportion de types de problèmes communs sur l'union de l'ensemble des responsabilités des deux agents. La distance ainsi définie entre deux agents est symétrique, avec $share(a_i, a_j) = share(a_j, a_i)$. La notion de partage définie par l'équation 8.1 est plus générale que la notion de relation horizontale. En effet, supérieurs et subordonnés partagent également des responsabilités (voir ci-dessus). Pour que a_i et a_j aient une relation de type horizontal, comme mentionné plus haut, il ne suffit pas que $share(a_i, a_j) > 0$. Il faut également qu'aucun des deux rôles n'inclue l'autre.

8.1.2 Définition des indicateurs

Nous nous sommes principalement intéressés à trois indicateurs : le nombre de liens hiérarchiques et horizontaux, le partage des tâches ou sharing (voir section 8.1.1 précédente) et enfin le nombre de responsabilités attribuées par agent. Le premier indicateur H_O intègre le décompte des relations hiérarchiques décrit dans l'algorithme8 ci-dessous :

1. Telle que définie dans la matrice d'allocation (cf. 7.3.1), la responsabilité sera, soit la définition d'une tâche à accomplir (subordonné), soit la définition d'un objectif à atteindre (supérieur). Nonobstant l'expression de ces deux attributions distinctes sous la forme d'une seule et même relation de responsabilité (entre un agent et un type de problème dans la matrice), seule l'obligation de traiter les problèmes est prise en compte par les agents ; et ce indépendamment de leur statut hiérarchique. C'est à dire qu'un supérieur hiérarchique aura la même obligation de travailler que ses subordonnés sur l'ensemble de ses responsabilités.

Algorithm 8 : Algorithme de décompte des relations hiérarchiques

Result : H_O

```

1 foreach  $a_i \in \mathcal{A}$  do
2   foreach  $a_j \in \mathcal{A} \setminus a_i$  do
3     if  $\mathcal{T}_{a_i} \supset \mathcal{T}_{a_j}$  then
4        $H_O \leftarrow H_O + 1$ 

```

Nous reprenons la définition des relations au sein de l'organisation de [Cowan et al. \(2013\)](#) détaillée dans la section 8.1.1. Pour les relations de partage (ou sharing) nous avons opté pour un double indicateur : le premier indicateur S_O est un simple décompte du nombre de relations horizontales décrit dans l'algorithme 9 ci-dessous :

Algorithm 9 : Algorithme de décompte des relations horizontales

Result : S_O

```

1 foreach  $a_i \in \mathcal{A}$  do
2   foreach  $a_j \in \mathcal{A} \setminus a_i$  do
3     if  $\mathcal{T}_{a_i} \cap \mathcal{T}_{a_j} \neq \emptyset$  and  $\mathcal{T}_{a_i} \not\subset \mathcal{T}_{a_j}$  and  $\mathcal{T}_{a_i} \not\supset \mathcal{T}_{a_j}$  then
4        $S_O \leftarrow S_O + 1$ 

```

Le calcul revient à vérifier que les agents partagent effectivement un ensemble de responsabilités – $\mathcal{T}_a \cap \mathcal{T}_{a'} \neq \emptyset$ – puis à distinguer cette notion du partage compris dans une relation verticale d'inclusion – $\mathcal{T}_{a_i} \supset \mathcal{T}_{a_j}$ ou $\mathcal{T}_{a_j} \supset \mathcal{T}_{a_i}$. La conjonction des deux assure que la relation de a_i à a_j respecte la contrainte restrictive d'un partage de responsabilités sans relation d'inclusion, c'est-à-dire qu'ils ne se trouvent pas dans une relation de subordination. Il s'agit d'une définition plus restrictive que [Cowan et al. \(2013\)](#) qui permet de bien opposer les deux types de relations au sein de l'organisation. Il nous est apparu néanmoins important de considérer également une mesure plus globale du partage Sv_O en s'appuyant directement sur la proportion de responsabilités partagées, tel que :

$$Sv_O = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n share(a_i, a_j) \right) \quad (8.2)$$

De cette manière, l'indicateur Sv_O établit une mesure de différenciation des rôles en se basant sur la proportion de responsabilités partagées $share(a_i, a_j)$ (voir équation 8.1). Plus l'indicateur est grand, plus les agents partagent un grand nombre de responsabilités ; qu'ils soient par ailleurs dans une relation de partage ou de subordination. Sv_O permet de considérer la propension de l'organisation à caractériser des rôles plus ou moins homogènes, c'est-à-dire avec des responsabilités partagées.

8.1. L'ANALYSE DES ORGANISATIONS GÉNÉRÉES PAR LE DE-C GCM

Un dernier élément doit être pris en compte pour distinguer les organisations : l'étendue des responsabilités données aux agents et leur variabilité au sein de l'organisation. Il s'agit ici de caractériser la division du travail en tant que telle : le nombre de tâches que les agents sont en devoir de traiter. Nous considérons donc \mathcal{T}_a l'ensemble des types de problèmes de l'agent a et \mathcal{T}_O le nombre moyen de responsabilités par agent, soit : $\mathcal{T}_O = \sum_{i=1}^n \frac{|\mathcal{T}_a|}{n}$.

Protocole d'analyse de la génération d'organisation Les organisations étudiées se basent sur un nombre égal d'agents et de types de problèmes, soit $\mathcal{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ et $\mathcal{T} = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m\}$. Pour l'analyse des organisations générées, nous initialisons ces paramètres de telle sorte que $m = n = 100$, ce qui donne une matrice d'allocation carrée. Les paramètres μ_τ et ν_τ jouent essentiellement sur le nombre de types de problèmes associés à chaque agent (voir 7.3.2). Nous avons choisi de les faire varier sur une échelle logarithmique afin de pouvoir étudier des valeurs extrêmes tout en limitant le nombre de points à visiter, notamment quand on croise les paramètres deux à deux. L'ensemble des résultats de l'analyse est calculé en moyennant les indicateurs sur 100 générations d'organisations pour chaque jeu de paramètres. Dans un premier temps, nous revenons sur l'impact des paramètres sur la variabilité du nombre de responsabilités d'un agent à l'autre. On analysera ensuite la sensibilité du modèle à la lumière des deux principaux indicateurs H_O et S_O . Dans un second temps nous tenterons de faire émerger une typologie d'organisation sur la base de différences sur les dimensions du partage et de l'inclusion des responsabilités ; soit la tendance des organisations à favoriser les relations horizontales ou verticales.

8.1.3 L'étendue des rôles

Concernant le nombre de responsabilités moyen par agent, rien n'indique une valeur attendue a priori même si le principe de division du travail et d'organisation implique de fait une division des responsabilités entre les agents. Le principe même d'organisation se base sur le partage des tâches et l'allocation des responsabilités.² Dans le graphique 8.1.1 à droite, on affiche le nombre moyen de responsabilités \mathcal{T}_O (z-axis) en fonction des deux paramètres μ_τ (x-axis) et ν_τ (y-axis). La couleur informe sur la valeur de l'écart type : plus

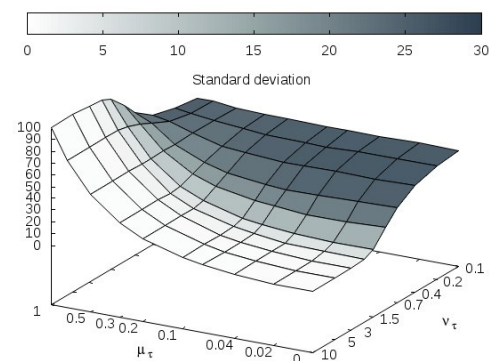


Figure 8.1.1 : Nombre moyen de responsabilités par agent en fonction des paramètres μ_τ et ν_τ avec $n = m = 100$

2. « La structure d'une organisation peut être définie simplement comme la somme totale des moyens employés pour diviser le travail en tâches distinctes et pour ensuite assurer la coordination nécessaire entre ces tâches. » Mintzberg (1982)

les valeurs de \mathcal{T}_o sont associées à une couleur

foncée, plus l'écart type de la moyenne est important. En l'absence de couleur, l'écart type est proche de 0 ou nul.

Globalement le nombre de responsabilités augmente avec μ_τ . On observe deux tendances concernant l'impact de ν_τ : pour des valeurs faibles la moyenne de responsabilités est constante, quelque soit μ_τ ; pour des valeurs fortes, la tendance suit l'augmentation de μ_τ . Le point d'inflexion se situe autour de $1.5 \geq \nu_\tau \geq 0.7$. On en déduit deux régimes dans la définition du nombre de responsabilités : le premier donne un nombre moyen de responsabilités T_o élevé, avec de grandes disparités entre agents (i.e. écart type élevé). Cette situation s'obtient avec ν_τ faible. Le second se caractérise par un nombre de responsabilités croissant en fonction de μ_τ et très peu de variabilité (i.e. écart type quasiment nul), et s'obtient avec ν_τ élevé.

8.1.4 Inclusion et partage des responsabilités

Dans cette section nous explorons deux propriétés des organisations générées par notre modèle : le partage (relations horizontales) – S_o – et la hiérarchie (relations verticales) – H_o . Dans cette optique, nous nous sommes concentrés sur l'impact des paramètres μ_τ et ν_τ en choisissant par ailleurs trois manières de caractériser la répartition des indices de types, c'est-à-dire trois valeurs de \mathcal{T}^{id} .

La hiérarchie verticale

Les trois images 8.1.2 ci-dessous représentent l'indicateur de relations hiérarchiques H_o (z-axis) en fonction de μ_τ (x-axis) et ν_τ (y-axis) pour trois valeurs de $\mathcal{T}^{id} = \{0, 1, 2\}$. On observe globalement une corrélation négative entre le nombre de relations hiérarchiques et le paramètre ν_τ . Quelque soit la valeur de \mathcal{T}^{id} , on observe que pour une valeur de $\nu_\tau \leq 2$ la distribution des responsabilités génère des relations hiérarchiques : par exemple pour $\nu_\tau = 1.5$ le nombre de relations hiérarchiques varie entre 4 et 485 avec $0.2 \geq \mu_\tau \geq 0.0$. Cette relation s'explique par le fait que l'inclusion des responsabilités du subordonné dans le rôle du supérieur est plus probable quand le nombre de responsabilités par agent varie dans de grandes proportions. Par exemple, en isolant deux agents on peut établir qu'ils auront d'autant plus de chance de se trouver dans une situation de subordination si l'un des deux agents (le supérieur) est responsable de plus de types de problèmes. Un écart type élevé autour de la moyenne T_o est susceptible de produire ce déséquilibre : c'est le cas quand ν_τ est faible (voir section 8.1.3 précédente).

On voit que cette relation s'accroît clairement avec l'augmentation de la valeur de \mathcal{T}^{id} ; à titre d'exemple, pour $\mu_\tau = 0.2$ on remarque que le nombre de relations verticales augmente, passant de 4 quand $\mathcal{T}^{id} = 0$ à 91 avec $\mathcal{T}^{id} = 2$. Dans le graphique 8.1.2a, les types de problèmes sont attribués aux agents en tirant uniformément dans l'ensemble des indices de type : dans cette configuration, les responsabilités sont éparpillées et les rôles sont plus différenciés. En revanche

dans le graphique 8.1.2c, les responsabilités se concentrent sur un nombre restreint de types, i.e. ceux ayant un indice élevé : ici, les agents à forte responsabilité englobent le rôle des agents à faible responsabilité.

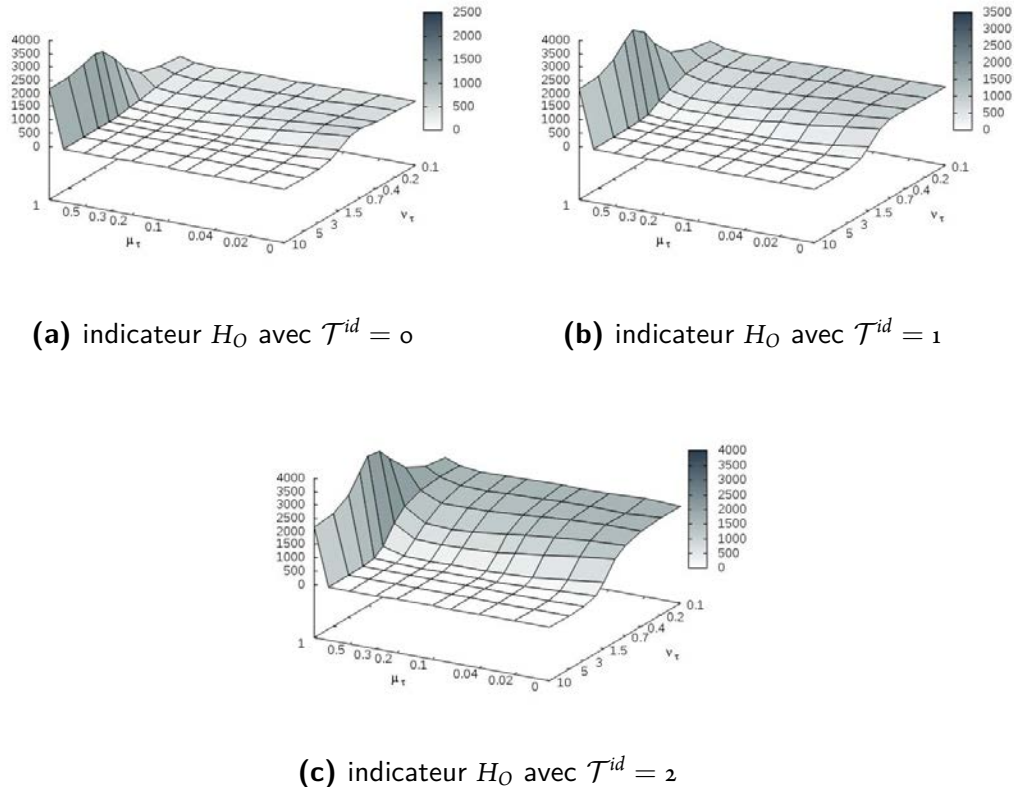


Figure 8.1.2 : Indices de hiérarchie pour différentes valeurs des paramètres μ^τ , v^τ et $\mathcal{T}^{id} = \{0, 1, 2\}$

Un troisième élément favorise également l'apparition de relations hiérarchiques au sein de l'organisation : une moyenne de responsabilités attendue proche de l'ensemble des types de problèmes, i.e. quand $\mu_\tau = 1$. Dans cette configuration le nombre de relations hiérarchiques varie entre 493 et 3630. Quelque soit la valeur des autres paramètres, c'est systématiquement avec $\mu_\tau = 1$ qu'on observe le plus de relations hiérarchiques. Cela s'explique par la présence probable d'agents ayant pour responsabilité l'ensemble des types. Ceux-ci se trouvent mécaniquement en situation de supériorité hiérarchique avec l'ensemble des autres agents qui ne sont pas responsables de l'ensemble des types de problèmes. Cette situation nous intéresse peu dans la mesure où elle implique, pour un grand nombre d'agents, des rôles embrassant la totalité des activités de l'organisation.

En résumé, nous avons établi trois tendances favorisant l'apparition de relations hiérarchiques

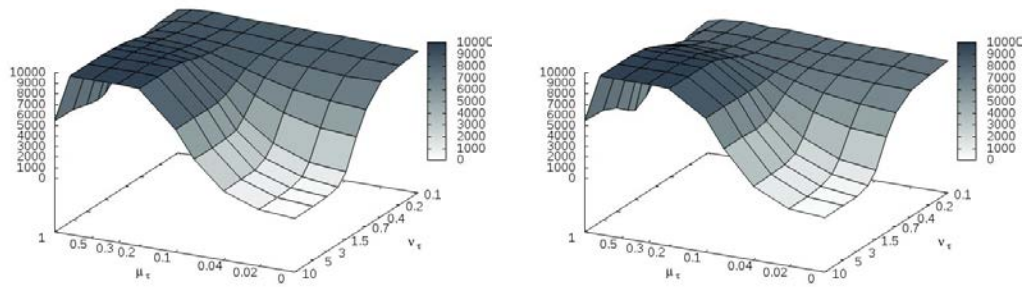
verticales : une valeur faible de ν_τ impliquant une forte variabilité du nombre de responsabilités entre agents ; des valeurs élevées de \mathcal{T}^{id} favorisant la concentration des responsabilités sur les types à indice élevé, proche de m ; et enfin, un nombre de responsabilités en moyenne très élevé avec $\mu_\tau = 1$. Dans la section qui suit, nous revenons sur les déterminants du partage des responsabilités.

Les relations horizontales

Les trois graphiques 8.1.3 ci-dessous affichent le nombre de relations horizontales S_0 . On observe globalement une tendance claire : quand le nombre de responsabilités augmente, le nombre de relations horizontales augmente. A l'inverse, un faible nombre de responsabilités implique peu de partage. Par exemple, pour des valeurs couplées faibles de $\mu_\tau \leq 0.04$ et fortes de $\nu_\tau \geq 1.5$, le nombre de paires est compris entre 30 et 3000. Dans ce cas, la proportion de responsabilités partagées en moyenne par ces paires est faible : en moyenne 10% des responsabilités sont partagées. Globalement, quand μ_τ est faible et ν_τ faible, le partage est faible en nombre de relations et en proportion de partage. Par ailleurs, on constate que le nombre de paires augmente avec la variabilité des rôles (i.e. quand ν_τ diminue) et leur étendue (i.e. quand μ_τ augmente). Avec une répartition uniforme des responsabilités sur les types ($\mathcal{T}^{id} = 0$), le nombre de paires est au moins de 6000 quand $\nu_\tau < 0.4$. A l'extrême, une variabilité minimale ($\nu_\tau \geq 3$) et un nombre de responsabilités important ($\mu_\tau \geq 0.2$) débouchent sur une valeurs maximales à 9900 paires : toutes les relations entre agents sont horizontales. Enfin, on observe une diminution globale du nombre de paires dans les situations où les relations verticales sont favorisées : comme nous l'avons vu dans la section précédente, c'est le cas quand \mathcal{T}^{id} augmente mais également quand $\mu_\tau = 1$. On voit alors dans le premier cas que la variabilité inter-rôle ($\nu_\tau < 0.7$) débouche sur moins de relations horizontales : plus de 8000, puis 7000 et enfin 6000 relations de partage, pour des valeurs respectives de $\mathcal{T}^{id} = \{0, 1, 2\}$. La même diminution survient dans le second cas : 4300, puis 3300 et enfin 2400 au plus faible quand $\mu_\tau = 1$ et $\mathcal{T}^{id} = 2$.

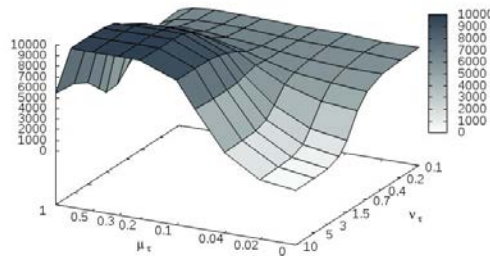
Ainsi, les relations de partage augmentent avec le nombre de responsabilités par agent, et diminuent mécaniquement dans les cas où l'organisation favorise l'inclusion des rôles. En effet, les deux indicateurs s'opposent dans la mesure où ils décrivent trois situations exclusives : inclusion des responsabilités du subordonné dans le rôle du supérieur, partage d'un sous ensemble de responsabilités pour chacun des paires ou une absence complète de partage de responsabilité. Dans le paragraphe suivant, nous chercherons à mieux caractériser l'opposition de ces deux indicateurs en les confrontant directement.

8.1. L'ANALYSE DES ORGANISATIONS GÉNÉRÉES PAR LE DE-C GCM



(a) S_O en fonction de mu_τ et nu_τ avec $\mathcal{T}^{id} = 0$

(b) S_O en fonction de mu_τ et nu_τ avec $\mathcal{T}^{id} = 1$



(c) S_O en fonction de mu_τ et nu_τ avec $\mathcal{T}^{id} = 2$

Figure 8.1.3 : Indices de partage des responsabilités pour différentes valeurs des paramètres μ^τ , ν^τ et \mathcal{T}^{id}

Opposition entre hiérarchie et partage des responsabilités

Globalement, on observe une forte tendance de la génération de matrice à favoriser les relations horizontales. On notera toutefois que le paramètre \mathcal{T}^{id} permet de diminuer la prépondérance des relations de partage. En corollaire on constate que les relations hiérarchiques telles qu'elles sont définies ici, sont relativement difficiles à générer sans augmenter fortement le nombre de responsabilités par agent : les deux cas de figure soulignés plus haut s'appuient, soit sur un très grand nombre de responsabilités, soit sur la présence d'agents dont le rôle englobe la totalité des tâches de l'organisation. L'objectif doit alors consister à trouver un compromis entre un nombre moyen limité de types de problèmes alloués aux agents, afin de respecter le principe de la rationalité limitée (Simon, 1972), tout en générant des organisations hiérarchisées. Nous proposons alors de procéder en deux étapes : tester le modèle sur des valeurs extrêmes afin de faire ressortir au mieux les deux tendances verticale et horizontale de la hiérarchisation au sein des organisa-

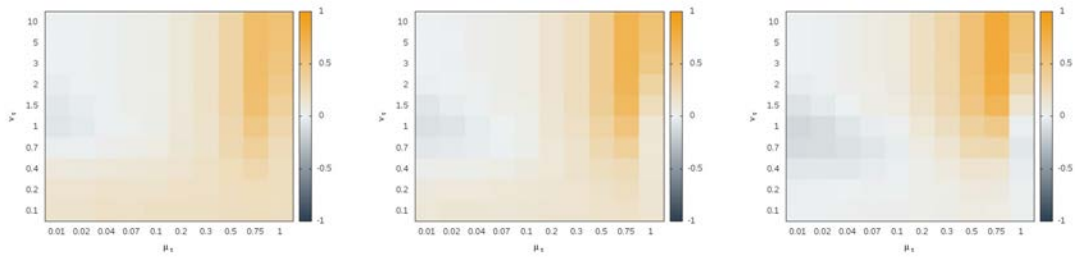
tions ; puis d'affiner ces tendances pour les faire correspondre au mieux aux deux principes de la division du travail au niveau macro et de rationalité limitée au niveau micro.

La série d'indicateurs ci-après s'applique à déterminer le type d'initialisation qui puisse générer des organisations mixtes et/ou favorisant l'une ou l'autre des tendances. Elle s'appuie sur une normalisation des deux décomptes de relations horizontales et verticales par rapport aux cas extrêmes d'une hiérarchie ou d'un partage complet respectivement. Ces deux cas limites se caractérisent : (1) par une matrice triangulaire supérieure où l'agent avec le plus de responsabilités est le supérieur hiérarchique de tous les agents, celui immédiatement en dessous, de tous les autres sauf le premier et ainsi de suite et (2) par une matrice complète où tous les agents partagent l'ensemble des tâches de l'organisation. Ces deux situations sont capturées par les deux indices $max(H_O)$ et $max(S_O)$ définis comme suit :

$$max(H_O) = \sum_{i=1}^n i - 1 \quad (8.3)$$

$$max(S_O) = n \times (n - 1) \quad (8.4)$$

Afin de comparer la tendances des organisations à produire des relations hiérarchiques ou horizontales, nous proposons de normaliser le décompte de ces relations : en considérant la proportion de relations des deux types par rapport à leur niveau maximum. De cette manière on peut directement comparer les deux tendances. Dans les graphiques de la figure 8.1.4 nous affichons la différence entre la proportion de relations horizontales $S_o/max(S_o) \in [0 : 1]$ et la proportion de relation hiérarchique $H_o/max(H_o) \in [0 : 1]$. Une valeur positive indique que le partage des responsabilités domine proportionnellement les relations verticales et à l'inverse une valeur négative implique une tendance à favoriser proportionnellement les relations horizontales.



(a) $S_o/max(S_o) - H_o/max(H_o)$ en fonction de mu_τ et nu_τ avec $\mathcal{T}^{id} = 0$ (b) $S_o/max(S_o) - H_o/max(H_o)$ en fonction de mu_τ et nu_τ avec $\mathcal{T}^{id} = 1$ (c) $S_o/max(S_o) - H_o/max(H_o)$ en fonction de mu_τ et nu_τ avec $\mathcal{T}^{id} = 2$

Figure 8.1.4 : Différence entre proportion de partage et de hiérarchie en fonction des paramètres μ^τ , ν^τ et pour $T^{iF} = \{0, 1, 2\}$

Comme nous l'avons constaté plus haut, une grande variabilité dans l'attribution du nombre de

tâches par agent favorise les relations verticales ; mais comme elle implique une augmentation du nombre de responsabilités, le partage reste fort. Cependant, si cette variabilité est conjuguée à une concentration des rôles sur un ensemble restreint de types de problèmes, on constate que les relations hiérarchiques de subordination dominant dans l'image 8.1.4c de droite autour du point $\{\mu_\tau \leq 0.04; \nu_\tau \simeq 1\}$. La différence entre le taux relatif de relations verticales et horizontales est d'ailleurs globalement la plus faible quand \mathcal{T}^{id} augmente. On constate alors que cette différence diminue jusqu'à obtenir une tendance à favoriser les relations hiérarchiques, dans ce type d'organisation. Ces résultats mettent en avant la difficulté de générer des organisations hiérarchisées tout en limitant le nombre de responsabilités par agent. C'est ce que nous tenterons d'obtenir dans la section suivante.

8.1.5 Proposition de typologie de structures organisationnelles

Sur la base des deux indicateurs discutés plus haut, nous avons opté pour une caractérisation de structures types qui capturent chacune un partage ou une hiérarchie forte et/ou faible. Nous voulions tester des valeurs limites qui expriment dans les proportions les plus fortes l'opposition des deux tendances de la hiérarchie et du partage. Dans cette optique nous avons cherché à maximiser l'un et/ou l'autre indicateur : le résultat est affiché dans le tableau 8.1.1 ci-dessous.

Label	μ_τ	ν_τ	\mathcal{T}^{iF}	S_O	H_O	\mathcal{T}_o
SH	1	0.1	2	0.27	0.38	52
Sh	0.75	2	2	0.78	0.02	74
sH	0.01	0.1	5	0.18	0.63	47
sh	0.04	2	0	0.03	0.01	5

Table 8.1.1 : Diverses organisations favorisant les relations horizontales et / ou verticales

Le type d'organisations appelé SH représente le meilleur compromis entre tendance forte à générer des relations horizontales (S majuscule) et verticales (H majuscule). A l'inverse, le type d'organisation sh représente la plus faible proportion de relations horizontales (s minuscule) et verticales (h minuscule). Les deux autres décrivent des types qui insistent sur l'une ou l'autre des formes de relations. En résumé, les deux organisations hiérarchiques SH et sH du tableau 8.1.1 s'organisent autour d'une grande variabilité de l'étendue des rôles



Figure 8.1.5 : Organigramme de la matrice sH

au sein de l'organisation, i.e. $\nu_\tau = 0.1$, et d'une tendance à concentrer les responsabilités sur un sous-ensemble de type, i.e. $\mathcal{T}_{id} \geq 2$. A titre d'exemple, les relations hiérarchiques pour une organisation de 30 agents avec les paramètres sH sont représentées par le graphe de la figure 8.1.5. Ce réseau représente les liens hiérarchiques indirects, c'est-à-dire que nous y avons enlevé les connexions redondantes entre niveaux hiérarchiques. Il s'agit en quelque sorte de l'organigramme de l'organisation.

Hormis avec le type d'organisation avec partage et hiérarchie faible (sh), l'étendue des rôles est très élevée, entre 47 et 74 responsabilités en moyenne par agent. Or, ramené à la totalité des types de problèmes que peut traiter l'organisation ($m = 100$), le nombre de responsabilités moyen apparaît trop important : dans cette configuration, la plupart des agents comprennent et agissent sur la plupart des domaines du processus organisationnel, ce qui, comme nous le rappelons ci-dessus, ne s'accorde pas avec un principe de rationalité limitée au niveau des agents. Nous avons donc cherché à établir des types d'organisations à partir de ces archétypes : en partant des structures quelque peu extrêmes du tableau 8.1.1 ci-dessus, l'idée était de condenser les différentes organisations générées autour du modèle à faible partage et faible hiérarchie qui est le seul à garantir des rôles avec un nombre de responsabilités limité par agent.

Label	μ_τ	ν_τ	\mathcal{T}^{iF}	H_O	S_O	$S\nu_O$	\mathcal{T}_o	\mathcal{T}_a^{min}	\mathcal{T}_a^{max}
Polyvalente	0	5	0	0	84	39	2 (± 0.6)	1	4
Spécialisée	0.04	10	2	0	2529	382	4 (± 0.7)	3	6
Pyramide	0.04	1.5	0	56	2922	297	8 (± 6.7)	1	75
Triangulaire	0.02	1.5	2	337	2274	363	7 (± 7.3)	1	77

Table 8.1.2 : Proposition de typologie d'organisations pour le De-C GCM

Dans le tableau 8.1.2 nous affichons quatre types d'organisations : chacune d'elles propose une hiérarchie verticale et horizontale particulières. Chacun des quatre archétypes dérivés satisfait à l'exigence de restriction du nombre moyen de responsabilités. Néanmoins, on observe des différences dans l'étendue du partage des responsabilités, le nombre de relations hiérarchiques et la distribution du nombre de types de problèmes par agent. Comme il est difficile de se représenter les différences entre ces organisations sur la seule base de valeurs numériques, nous avons élaboré une visualisation plus commode des matrices d'allocation. Les graphiques de la figure 8.1.6 ci-dessous représentent chacun un type d'organisation. Ils montrent le résultat cumulé de 100 générations de matrices pour chaque entrée du tableau 8.1.2 ci-dessus. Les types de problèmes en abscisse sont classés du plus petit au plus grand indice – $m = \{1, 2 \dots 100\}$ – et les agents en ordonnée s'agencent en fonction croissante de leur niveau de responsabilité z_a (eq. 7.5). Ainsi la

ligne du bas représente systématiquement l'agent de plus faible responsabilité, z_1 , et la ligne tout en haut, l'agent ayant la plus forte responsabilité z_n dans l'organisation. Chaque point correspond au nombre de fois où l'agent a été donné responsable du type de problèmes correspondant sur les 100 générations. Le graphique affiche donc le nombre de tirages pour chacune des $n \times m$ allocations possibles dans la matrice $\mathcal{AT} = \mathcal{A} \times \mathcal{T}$ (section 7.3.2) ; c'est-à-dire la somme des 100 matrices générées avec le même jeu de paramètres. En résumé, plus le point $a\tau_{i,j}$ est sombre, plus l'agent a_i aura effectivement été associé au type de problèmes τ_j . A l'inverse, un point blanc correspond à $a\tau_{i,j} = 0$ dans les 100 générations aléatoires, c'est-à-dire que l'agent a_i n'a jamais été donné responsable du type de problèmes τ_j .

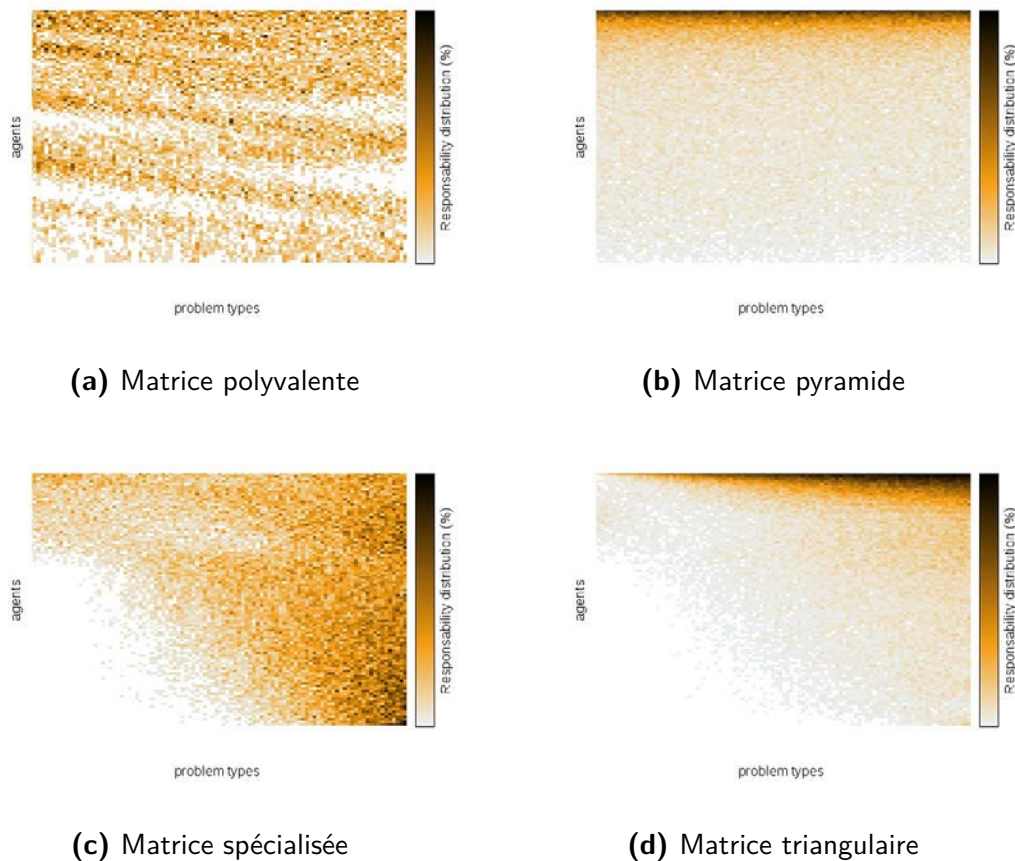


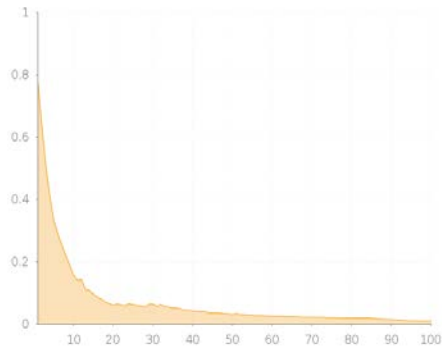
Figure 8.1.6 : Représentation des 4 types de matrices d'allocation moyennées sur 100 générations. Les agents – $\mathcal{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ avec $n = 100$ – en abscisse sont classés par ordre croissant de responsabilité et les types de problèmes – $\mathcal{T} = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m\}$ avec $m = 100$ – en ordonnée sont rangés par ordre croissant d'indice

Par exemple, dans la matrice 8.1.6b représentant une organisation de type pyramide, les lignes clairsemées du bas représentent des agents ayant un très petit nombre de responsabilités dont le

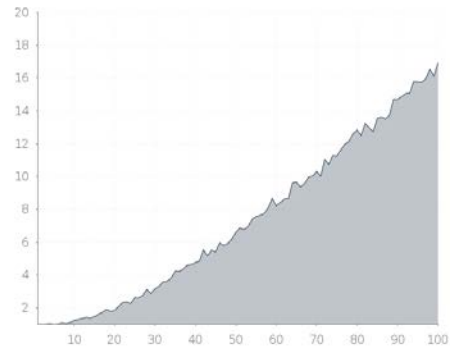
type de problèmes est tiré uniformément, puisque la quasi totalité des types ont été tirés au moins une fois. En revanche, dans la matrice 8.1.6d représentant une organisation de type triangulaire, les agents avec peu de responsabilités voient celles-ci se concentrer sur les types de problèmes à forts indices. De la même manière, dans la matrice 8.1.6c qui représente une organisation de type spécialisée, on voit que les premiers agents ont systématiquement pour responsabilité les types de problèmes d'indice proche de m (les points sombres en bas à droite). Nous décrivons type par type les propriétés des 4 types d'organisation choisis :

- Le type Triangulaire (figure 8.1.6d) se caractérise par le plus fort niveau de hiérarchie combiné à un partage élevé des responsabilités. Il représente l'archétype de l'organisation verticale : le sommet de la hiérarchie supervise l'ensemble du processus organisationnel (en haut de la matrice) et les responsabilités diminuent à mesure que l'on descend dans la hiérarchie (dégradé du haut vers le bas). Les agents tout en bas de la hiérarchie, qui représentent la majorité, ont très peu de responsabilités. On voit également que les lignes hiérarchiques élevées se caractérisent par une spécialisation sur des problèmes qu'ils sont seuls à traiter. Ces propriétés se retrouvent dans un grand nombre d'organisations, des firmes multinationales aux entreprises familiales.
- Le type Pyramide (figure 8.1.6b) se définit par une hiérarchie modérée et le plus grand nombre de relations horizontales. A l'instar du type triangulaire, le top management contrôle la quasi totalité du processus organisationnel et les responsabilités diminuent verticalement. En revanche, dans le type d'organisation pyramide, les tâches des supérieurs hiérarchiques sont également traitées par leurs subordonnés : la hiérarchie n'est pas spécialisée et tous les niveaux hiérarchiques sont susceptibles de traiter l'ensemble du processus organisationnel. Ce type de division du travail caractérise plutôt les petites entreprises de type start-up.
- Le type Polyvalente (figure 8.1.6a) reflète une division du travail poussée à son extrême : chaque agent prend en charge un domaine de l'activité de l'organisation. Ce type d'organisation n'a pas de hiérarchie et un très faible partage des responsabilités. On a ici une structure fonctionnelle extrêmement cloisonnée. De part la concentration des activités et la polyvalence des rôles, ce type d'organisations s'apparente plus aux structures des petites et moyennes entreprises.
- Le type Spécialisée (figure 8.1.6c) représente les organisations où le partage des responsabilités est élevé, les relations horizontales nombreuses et les relations hiérarchiques absentes. La caractéristique majeure de ce type de structure est de scinder les responsabilités en deux groupes : les agents avec le plus grand nombre de responsabilités sont spécialisés, alors que les autres se concentrent sur le cœur d'activité de l'organisation. Ce type définit des organisations dont l'activité est segmentée sur deux axes : par exemple, conception /

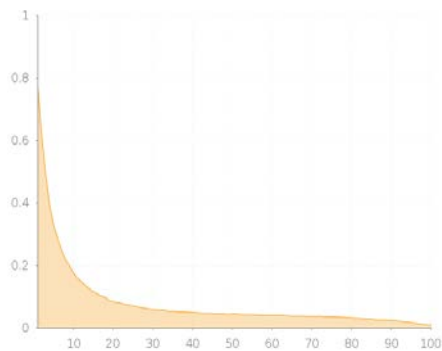
8.1. L'ANALYSE DES ORGANISATIONS GÉNÉRÉES PAR LE DE-C GCM



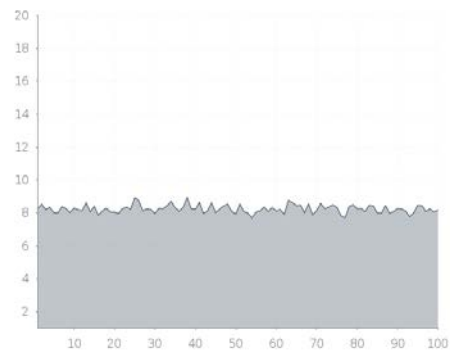
(a) Organisation triangulaire



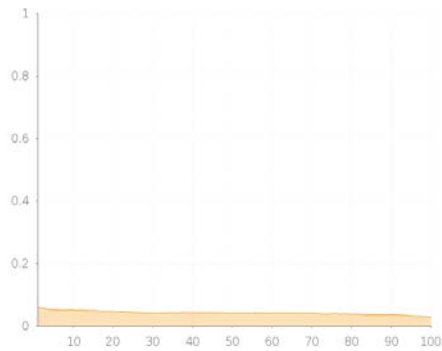
(b) Organisation triangulaire



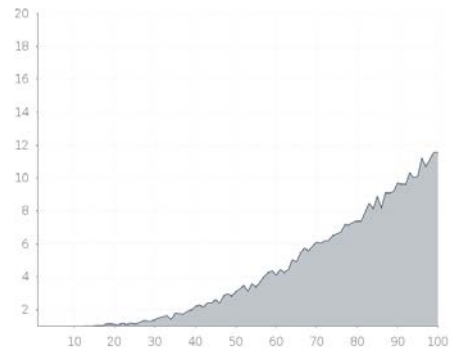
(c) Organisation pyramide



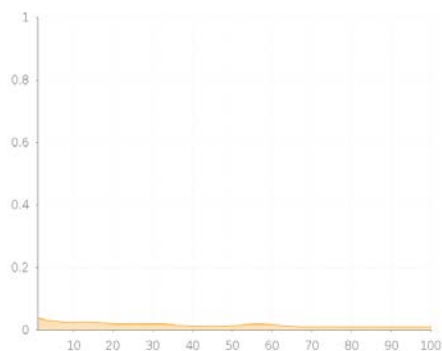
(d) Organisation pyramide



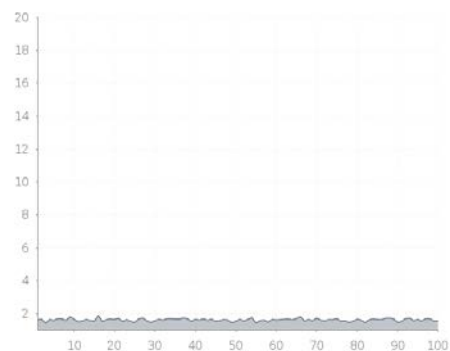
(e) Organisation spécialisée



(f) Organisation spécialisée



(g) Organisation polyvalente



(h) Organisation polyvalente

Figure 8.1.7 : Distribution des responsabilités par agent dans la colonne de gauche et distribution du nombre d'agents responsables par type de problèmes dans la colonne de droite

exécution, design / implémentation ou production / vente.

L'ensemble de diagrammes 8.1.7 permet d'approfondir deux aspects de la division du travail sur les 4 organisations types : les graphiques de la colonne de gauche représentent la distribution des responsabilités (y-axis) par agent ; en proportion de l'ensemble des types de problèmes, soit $|\mathcal{T}_a|/m$. Les agents (x-axis) sont ordonnés du plus au moins responsable, i.e. en fonction de la valeur de z_a . les graphiques de la colonne de droite représentent le nombre d'agents responsables (y-axis) par type de problèmes, soit $|\mathcal{A}_{\tau_j}|$ pour tous les types $j = \{1, \dots, m\}$. Les types de problèmes (x-axis) sont ordonnés par index croissant. Nous revenons dans les paragraphes suivants sur ces deux propriétés pour expliquer le choix de nos types d'organisation.

Distribution des responsabilités aux agents Dans les diagrammes représentant les types pyramide 8.1.7c et triangulaire 8.1.7a, on voit que les 10 agents les plus responsables couvrent une grande part de l'ensemble des types, avec un cumul de 375 responsabilités pour le premier décile de l'organisation pyramide et 376 pour l'organisation triangulaire ; alors que les 10 agents les moins responsables comptent seulement 14 responsabilités cumulées et 10, respectivement pour la première et la seconde. La hiérarchie apparaît clairement comme le fruit d'un déséquilibre dans la distribution des responsabilités : le top management gère tout ; leurs subordonnés une grande partie des types de problèmes ; et la plupart des agents un très petit nombre de responsabilités.

A l'inverse, les diagrammes des types spécialisée 8.1.7e et polyvalente 8.1.7g montrent que la distribution des responsabilités y est globalement homogène. Le maximum de responsabilités par agent est de 6 dans la première et 2 dans la seconde ; alors que le nombre minimum est respectivement de 3 et 1. Il y a donc un très faible écart entre les agents les plus et les moins responsables : la conséquence directe est l'absence de relation hiérarchique. Pour l'organisation polyvalente, la division extrême du travail conduit la plupart des agents à être les seuls à pouvoir traiter leurs types de problèmes.

Répartition des agents dans la division du travail Dans les diagrammes représentant les types pyramide 8.1.7d et 8.1.7b on constate une différence importante dans la répartition des agents : la première a tendance à différencier les types de problèmes en spécialisant certains agents, alors que la seconde répartit également les agents sur l'ensemble du processus organisationnel. Dans le premier cas, les types de problèmes, dont l'indice est compris entre 1 et 20, relèvent de la responsabilité de 3 agents au maximum, alors que les types d'indice, compris entre 80 et 100, concernent entre 13 et 18 agents. Cette spécialisation d'un sous ensemble des tâches de l'organisation caractérise la responsabilité exclusive des supérieurs hiérarchiques. Dans le cas de l'organisation pyramide, tous les types sont traités par 8 agents en moyenne : les supérieurs hiérarchiques partagent également leurs responsabilités avec leurs subordonnés.

On retrouve le même type de schéma dans le type d'organisation polyvalente (figure 8.1.7h), les types sont attribués à un nombre équivalent d'agents, à la différence près qu'ils sont 2 au maxi-

mun à pouvoir traiter un problème. Le partage très faible conduit à un cloisonnement fonctionnel des agents : chaque agent à son propre rôle. Le type spécialisée (figure 8.1.7f) se caractérise, à l'instar du type d'organisation triangulaire, par une spécialisation de certains agents sur un sous ensemble de problèmes : les types d'indice compris entre 1 et 20 ne sont attribués systématiquement qu'à un seul agent ; quand les types d'indice, compris entre 80 et 100, apparaissent en moyenne dans le rôle de 10 agents. On a bien d'un côté un ensemble de tâches (indice fort) qui correspond à l'activité principale de l'organisation, puisque partagées par la plupart des agents, et de l'autre côté un ensemble de types de problèmes plus spécialisés, puisque soumis à la responsabilité de très peu, voir un seul agent. La division des tâches fait de cette organisation une sorte de croisement des propriétés non hiérarchiques du type polyvalente (i.e. distribution homogène des responsabilités), d'une part, et de la spécialisation des types de problèmes du type triangulaire (i.e. certains types sont traités par beaucoup d'agents alors que d'autres ne le sont que par un très petit nombre d'agents), d'autre part.

Nous avons mis en avant 4 types d'organisations qui proposent chacune deux manières d'envisager la hiérarchie et le partage des responsabilités. Dans la section suivante nous testons ces différentes organisations en les soumettant à la dynamique de résolution de problèmes.

8.2 La gestion des problèmes dans le De-C GCM

Cette section présente l'évaluation de nos 4 organisations en les confrontant à un ensemble de problèmes à résoudre, perspective classique dans l'étude de la dynamique du GCM (Fioretti and Lomi, 2008 ; Lomi and Harrison, 2012). Le GC de l'organisation est rempli d'un nombre fini de problèmes à l'initialisation, GC_{max} , et la simulation s'arrête lorsqu'ils ont tous été résolus : la performance de l'organisation correspond au temps nécessaire à la résolution de l'ensemble des problèmes. Afin d'étudier le comportement de nos organisations, nous souhaitons faire varier les paramètres de notre modèle : cette analyse de sensibilité sera l'occasion d'étudier les variations de performance sur différents aspects des organisations. Nous chercherons à définir la robustesse des types d'organisations définis dans le tableau 8.1.2, c'est-à-dire leur capacité à maintenir ou améliorer leurs performances quand les conditions de la résolution de problèmes changent.

Les cinq paramètres décrits ci-dessous nous permettent de caractériser nos 4 organisations sur différentes dimensions de l'activité : la demande externe (GC_{max}), sa stratégie interne (ζ et \mathcal{P}^{id}) et enfin la gestion des contraintes individuelles (dp_{max} et Ep_o). Le protocole défini consiste à analyser la réponse des organisations paramètre par paramètre, en moyennant les résultats sur 100 simulations, tout en fixant les autres paramètres à leur valeur par défaut : $GC_{max} = 500$, soit un ensemble de 500 problèmes à résoudre par défaut ; $d_{max} = 4$ soit une contrainte horaire par problème tirée uniformément dans l'intervalle $[1 : 28]$; $\mathcal{P}^{id} = 0$ soit le type de problèmes déterminé uniformément sur l'ensemble des types disponibles ; et $\zeta = 128$ une allocation des contraintes de résolution des problèmes aux agents proches de l'équi-répartition. Les résultats

mettent à l'épreuve nos organisations par rapport à différentes contraintes individuelles et collectives mais également au niveau de la stratégie adoptée par l'organisation.

Le scénario de la simulation est simple : à l'initialisation, l'organisation crée GC_{max} problèmes et les répartit entre tous les agents. A chaque tick, les agents tentent de résoudre le plus de problèmes possible par la prise de décision : ils investissent leur énergie et leur temps à la résolution successive de chacun des problèmes que l'organisation leur a transmis au départ (voir section 7.4). A l'issue de leur activité, le mécanisme de récupération du potentiel se met en place ; le tick suivant leur permet à nouveau de résoudre les problèmes qui leur reste. Comme aucun nouveau problème n'est créé au cours de la simulation, celle-ci s'arrête lorsque les agents ont résolu tous les problèmes qu'ils ont reçu à l'initialisation. Les paramètres des agents ont été initialisés aux valeurs par défaut reproduites dans le tableau A.2.3 de l'annexe A.

8.2.1 Performance des organisations en fonction de la demande externe

Le premier test consiste à faire varier le nombre de problèmes soumis à résolution pour déterminer la robustesse des organisations à l'augmentation de la demande externe. Les résultats de la figure 8.2.1 affichent le temps en nombre de ticks (y-axis) nécessaires à l'organisation pour résoudre tous les problèmes du GC. La quantité de problèmes à résoudre GC_{max} (x-axis) varie entre 100 et 10000 problèmes suivant une croissance logarithmique. Chacune des quatre organisations du tableau 8.1.2 est représentée par une ligne spécifique. On observe une augmentation du temps

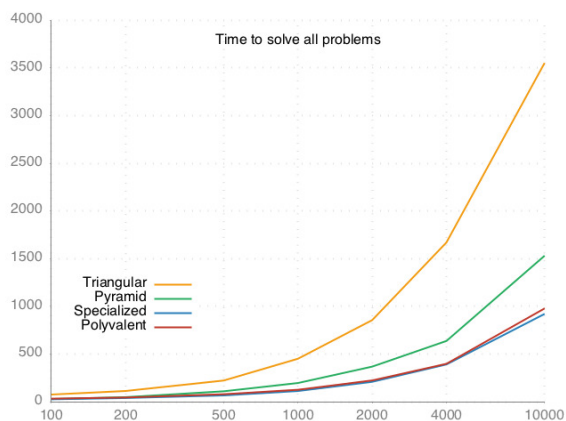


Figure 8.2.1 : Variation des performances en fonction de la taille du GC

de résolution avec l'augmentation du nombre de problèmes. L'organisation triangulaire réussit clairement moins bien que les trois autres organisations, notamment pour un faible nombre de problèmes : 75 périodes de simulation pour résoudre 100 problèmes, contre 25 pour la spécialisée, 27 pour la pyramide et 32 pour la polyvalente. Par ailleurs, l'accroissement de temps n'est pas linéaire : on observe une économie d'échelle sensible. En effet, entre le temps de résolution pour 100 et 10 000 problèmes, le facteur d'augmentation est respectivement de 30, 36, 47.3 et 55 pour les organisations polyvalente, spécialisée, triangulaire et pyramide. Dans ce contexte, ce sont les organisations polyvalente et spécialisée qui répondent le mieux à l'augmentation du nombre de problèmes.

On constate que les deux organisations hiérarchiques sont moins efficaces. Elles le doivent principalement à la présence d'agents à forte responsabilité. Les performances plus faibles s'ex-

pliquent par un phénomène de congestion : les agents à forte responsabilité se voient obligés de contribuer à la résolution d'un très grand nombre de problèmes, ce qui bloque la résolution de problèmes sur un large spectre de l'activité organisationnelle. Par exemple, quand $GC_{max} = 100$, le nombre moyen de problèmes par agent au départ de la simulation est significativement plus élevé dans ces deux organisations, avec respectivement 32 et 38 pour les organisations triangulaire et pyramidale, contre 7 et 18 pour les organisations polyvalente et spécialisée. De plus la variabilité autour de cette moyenne, qui identifie les disparités d'allocation au sein de l'organisation, est forte : l'écart type est de 60 et 62 pour les deux premières citées, alors qu'elle est approximativement 10 fois moins grande pour les deux dernières (5 pour la polyvalente et 7 pour la spécialisée). Pour les organisations polyvalente et spécialisée les problèmes sont bien répartis entre les agents. Dans le cas des organisations pyramide et triangulaire, les agents dont les responsabilités couvrent l'ensemble des types de problèmes de l'organisation se voient attribuer un très grand nombre de problèmes : la résolution est ralentie par un petit groupe d'agents surchargés.

8.2.2 Performance des organisations en fonction de la demande interne

Dans la continuité, nous souhaitons observer les changements de performance en fonction de la demande interne individuelle : comment les organisations réagissent à des problèmes dont la résolution nécessite plus de temps (d_{max}) et d'énergie (Ep_o). Conformément à la procédure de génération de problèmes, détaillée en section 7.6.1, la valeur du premier paramètre détermine le temps maximum que peut nécessiter un problème pour être résolu ; la valeur du second détermine le coût horaire en énergie exigé par l'organisation dans la résolution de problèmes (voir équation 7.8). Les contraintes de durée et d'effort pour la résolution des problèmes croissent avec les deux paramètres. Les deux graphiques de la figure 8.2.2 ci-dessous représentent la performance des organisations en fonction d'une augmentation linéaire de l'exigence d'énergie $Ep_o \in [5; 50]$ (à gauche 8.2.2a) et d'une augmentation logarithmique de la durée de résolution $d_{max} \in [0.5; 20]$ (à droite 8.2.2b).

Notre échantillon d'organisations se comporte globalement de la même manière que précédemment quand la contrainte de temps pour la résolution des problèmes augmente. Le graphique 8.2.2b est similaire à la réponse des organisations à l'augmentation du nombre de problèmes commentée plus haut (voir figure 8.2.1). Dans les deux cas l'organisation triangulaire offre les moins bonnes performances, alors que l'organisation spécialisée offre les meilleures, suivie de près par l'organisation polyvalente, ainsi que par l'organisation pyramide toutefois moins performante que les deux dernières citées. Le temps de résolution de l'ensemble des problèmes décroît linéairement avec l'augmentation de la contrainte de temps. Le constat est sensiblement identique pour l'augmentation de la demande individuelle en énergie, dans la figure 8.2.2a de gauche : l'organisation spécialisée est toujours la plus efficace quelque soit l'énergie demandée aux agents ;

8.2. LA GESTION DES PROBLÈMES DANS LE DE-C GCM

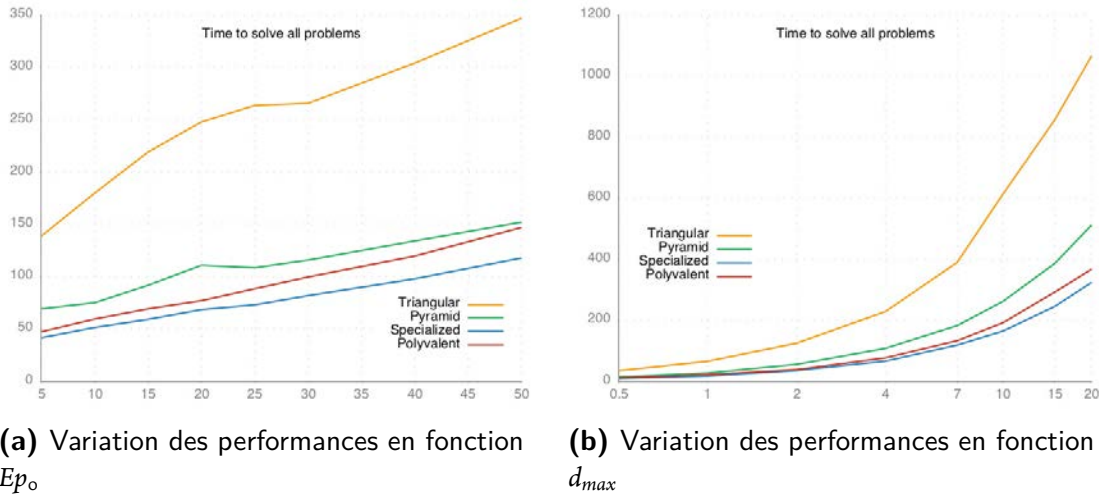


Figure 8.2.2 : Variation des performances en fonction de la demande interne individuelle

alors que l'organisation triangulaire met en moyenne deux fois plus de temps pour résoudre tous les problèmes. Pour le type d'organisation polyvalente, les performances sont très proches de l'orga-

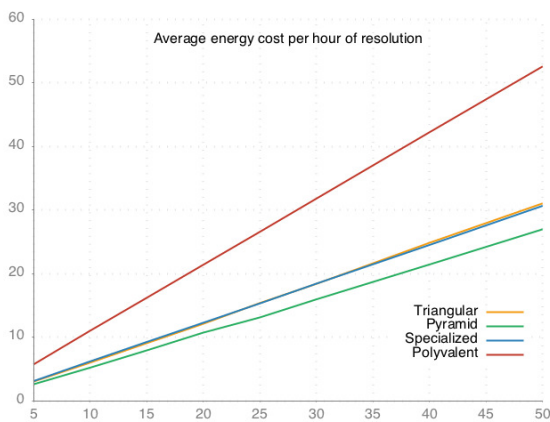


Figure 8.2.3 : Variation de l'effort horaire effectif moyen en fonction de l'exigence individuelle d'énergie Ep_o dictée par l'organisation

-nisation spécialisée pour des valeurs faibles d'énergie individuelle requise : les temps de résolution de l'ensemble des problèmes passent de 47 à 77 ticks entre $Ep_o = 5$ et $Ep_o = 20$, contre 41 à 67 pour l'organisation spécialisée. En revanche, ses performances se rapprochent de celles de l'organisation pyramide pour des valeurs élevées de Ep_o : alors que l'écart des performances est de 33 ticks, soit 30% du temps de résolution de l'organisation pyramide, quand $Ep_o = 20$, il se réduit à seulement 11, soit 3% du temps de résolution de l'organisation pyramide, pour $Ep_o = 50$.

Pour comprendre cette réduction d'écart, il est intéressant de regarder le coût horaire effectif de l'activité des agents, affiché dans la figure 8.2.3 ci-dessus.

Ce coût correspond à l'énergie dépensée par heure (la durée de résolution divisée par l'énergie dépensée) agrégé en moyenne sur l'ensemble des agents et sur toute la durée de la simulation : $\sum_i^n \frac{ES_{a_i}(\cdot)}{DS_{a_i}(\cdot)}$. On constate que seuls les agents de l'organisation polyvalente suivent l'injonction d'effort Ep_o ; on observe même dans ce cas, une tendance des agents à investir plus que ce que réclame l'organisation. Dans les trois autres organisations, les agents engagent

systématiquement moins d'énergie, avec un coût horaire en énergie réel de l'ordre de $0.6 \times Ep_0$ pour les organisations triangulaire et spécialisée et de $0.5 \times Ep_0$ pour l'organisation pyramide. Cela s'explique par les modalités de calcul de l'investissement d'énergie (eq. 7.8) : notamment, l'effort diminue quand le nombre de problèmes de l'agent augmente. L'organisation polyvalente est celle pour laquelle les agents ont en moyenne le moins de problèmes (voir dans la section 8.2.1 précédente) et à l'inverse l'organisation pyramide celle qui en impose le plus grand nombre à ses agents. Par conséquent la dépense nette d'énergie s'accroît plus lentement dans la seconde et reste globalement importante dans la première.

8.2.3 Performance des organisations en fonction de la stratégie de gestion des problèmes

Dans cette section nous explorons les deux aspects stratégiques de nos organisations, c'est-à-dire les paramètres qui permettent à l'organisation de s'adapter à la demande externe. Dans notre cas, cet ajustement passe par (1) la qualification des types de problèmes entrants, avec le paramètre \mathcal{P}^{id} , et (2) l'allocation des contraintes de durée de résolution aux agents en fonction de leur rôle, avec le paramètre ζ . Ces deux réglages représentent des choix dans la gestion des problèmes : comment catégoriser les problèmes et donc à quel ensemble d'agents en déléguer la résolution, d'une part, et dans quelle mesure ces problèmes concernent plus ou moins tel ou tel agent en fonction de son rôle, d'autre part.

Régime de gestion des types de problèmes La figure 8.2.4 à gauche décrit l'évolution des performances des organisations en fonction de \mathcal{P}^{id} , qui permet de contrôler le type des problèmes (voir équation 7.17). Quand ce paramètre augmente les problèmes se concentrent sur les types partagés par le plus grand nombre d'agents avec de fortes responsabilités (i.e. l'activité principale de l'organisation). Quand il tend vers 0 les problèmes se répartissent uniformément sur l'ensemble des types.

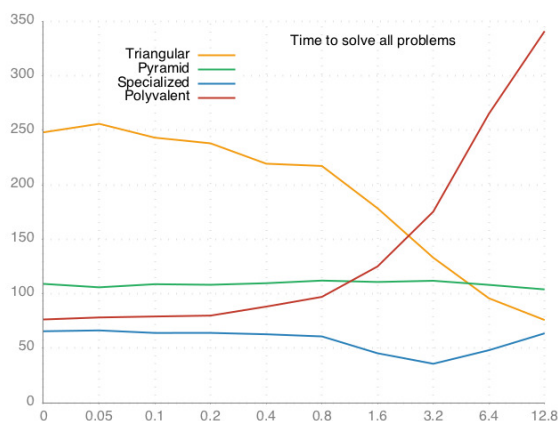
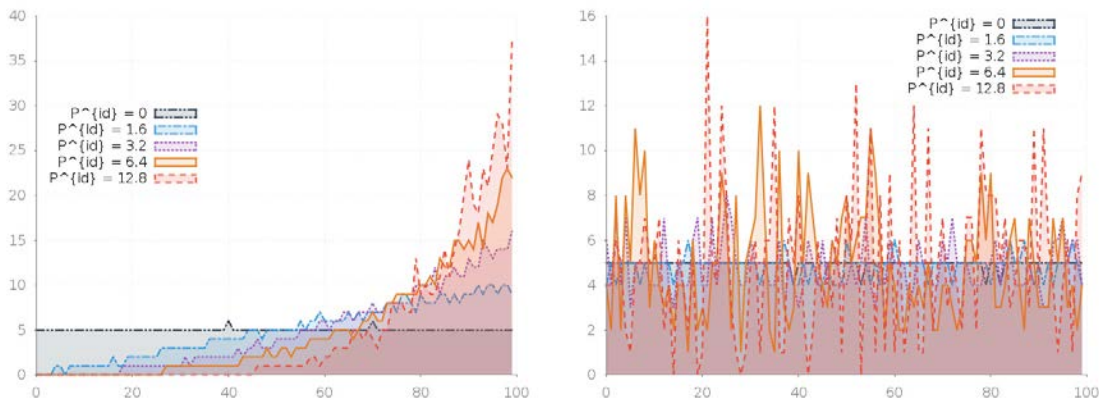


Figure 8.2.4 : Variation des performances en fonction \mathcal{P}^{id}

Les organisations pyramide et spécialisée apparaissent relativement peu sensibles à la spécialisation des types de problèmes. On constate en revanche que les deux autres organisations y sont sensibles : l'organisation triangulaire gagne en efficacité dès lors que les problèmes se spécifient, alors que l'organisation polyvalente y perd en efficacité. Selon la manière de déterminer les types des problèmes, les performances des organisations triangulaire et polyvalente changent radicalement : quand

$\mathcal{P}^{id} > 3.2$ la première établit des performances proches de l'organisation spécialisée et, à l'opposé, la seconde devient beaucoup moins performante. Afin de mieux comprendre l'opposition des réactions de ces deux organisations, nous proposons de s'intéresser à la distribution du nombre de problèmes par type en fonction de \mathcal{P}^{id} . Les diagrammes de la figure 8.2.5 affichent la distribution des problèmes sur l'ensemble des types ordonnés par indice croissant : on constate dans la figure 8.2.5a représentant le type des problèmes dans l'organisation triangulaire qu'ils se concentrent sur les types d'indice fort quand \mathcal{P}^{id} augmente. Dans la figure 8.2.5b représentant la même distribution dans l'organisation polyvalente, le régime d'attribution des types semble fonctionner de manière erratique. Par exemple, il y a 16 problèmes de type d'indice 21 quand $\mathcal{P}^{id} = 12.8$ alors que ce nombre est de 2 quand $\mathcal{P}^{id} = 6.4$.



(a) Nombre de problèmes par type en fonction de \mathcal{P}^{id} dans l'organisation triangulaire

(b) Nombre de problèmes par type en fonction de \mathcal{P}^{id} dans l'organisation polyvalente

Figure 8.2.5 : Distribution du nombre de problèmes (y-axis) par types (x-axis) à l'initialisation avec $GC_{max} = 500$ et pour différentes valeurs de $\mathcal{P}^{id} = \{0, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8\}$

Cela s'explique par le type de décomposition horizontale (voir section 8.1.5) des deux organisations : en effet, nous avons vu que l'organisation triangulaire (figure 8.1.7b) a tendance à concentrer les responsabilités sur les types d'indice élevé. Cette concentration de l'activité est particulièrement adaptée à la spécialisation des problèmes sur ces types en augmentant \mathcal{P}^{id} . En revanche, dans l'organisation polyvalente la distribution des responsabilités et des agents est uniforme, produisant des rôles extrêmement différenciés : l'organisation polyvalente ne discrimine ni les agents par leur nombre de responsabilités (figure 8.1.7h), ni les types par le nombre d'agents responsables (figure 8.1.7g) : la demande va se concentrer aléatoirement sur le rôle d'agents isolés, aux niveaux de responsabilités très proches. Par ailleurs, le faible partage des responsabilités dans cette organisation ne permet pas de compenser l'apparition d'un grand nombre de problèmes

d'un type donné. Concernant les deux autres types d'organisation, on constate que l'efficacité est beaucoup moins sensible à la spécialisation des problèmes. Cette indépendance est systématique dans le cas de l'organisation pyramide. Cette robustesse tient à la conjonction de deux caractéristiques : une organisation hiérarchique (figure 8.1.7c), comme dans l'organisation triangulaire, et une décomposition horizontale hétérogène (figure 8.1.7d), à l'instar de l'organisation polyvalente.

Comme l'indique le graphique 8.2.6, elle opère le même régime de spécialisation des problèmes que cette dernière. Cependant la présence de supérieurs hiérarchiques permet deux choses : premièrement, un équilibrage de la spécialisation par l'apport de hauts niveaux de responsabilités qui réduit la disparité du nombre de problèmes par type ; au maximum 11 problèmes par type, contre 16 dans l'organisation polyvalente, et une déviation standard inférieure à 2 dans le premier cas et supérieure à 4 dans le second. Deuxièmement, la présence de supérieurs hiérarchiques garantit un partage des responsabilités et donc un moindre isolement des agents dans leur activité : aucun agent n'est seul à résoudre un problème puisqu'il existe, quelque soit son type, un ou plusieurs supérieurs hiérarchiques à forte responsabilité qui participent également à sa résolution.

Enfin, concernant l'organisation spécialisée, la concentration des problèmes sur un sous ensemble de types fonctionne globalement comme dans l'organisation triangulaire. Les responsabilités se concentrent sur les types d'indice élevé en raison d'une décomposition horizontale similaire (voir figure 8.1.7e et 8.1.7a). Cependant, contrairement à l'organisation triangulaire, seule une valeur de $\mathcal{P}^{id} = 3.2$ permet l'amélioration des performances, en réduisant le temps de résolution de 64 pas de simulation à 35. Un compromis entre une concentration des problèmes sur l'activité principale – i.e. des problèmes en plus grand nombre sur les types d'indice élevé – et une moindre concentration sur les activités spécialisées – i.e. des problèmes plus rares sur les types d'indice faible – débouche sur une meilleure efficacité.

Régime d'allocation des contraintes individuelles Le second aspect stratégique concerne l'allocation des contraintes de temps de résolution des problèmes. Plus le paramètre ζ est élevé plus il y aura équi-répartition de la durée de résolution entre chacun des agents responsables du type de problèmes. Plus sa valeur diminue, plus les contraintes seront réparties en fonction inverse du nombre de responsabilités de l'agent (voir équation 7.18). La figure 8.2.7 établit la performance

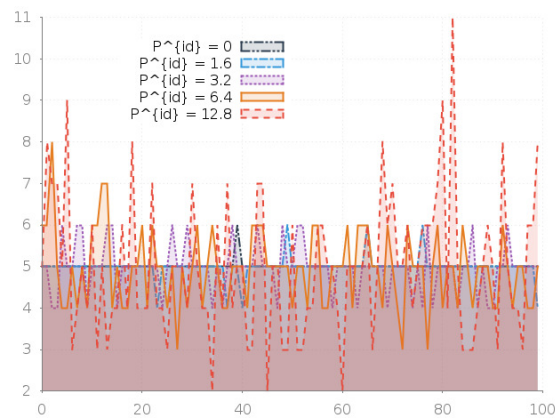


Figure 8.2.6 : Variation des performances en fonction \mathcal{P}^{id} pour l'organisation pyramide

des organisations en fonction de la stratégie d'allocation. On distingue très clairement deux types de comportement : les organisations hiérarchiques (pyramide et triangulaire) d'une part, et les deux organisations polyvalente et spécialisée d'autre part. Dans les deux premières, les performances par rapport à la stratégie par défaut ($\zeta = 128$) s'améliorent quand ζ diminue, pour un temps de résolution qui passe respectivement de 240 et 133 à 89 ($\zeta = 2$) et 38 ($\zeta = 8$).

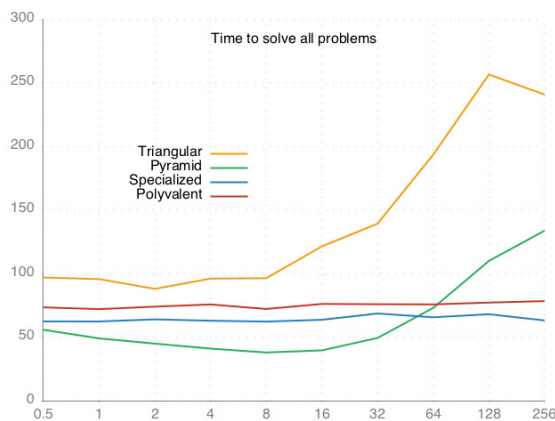
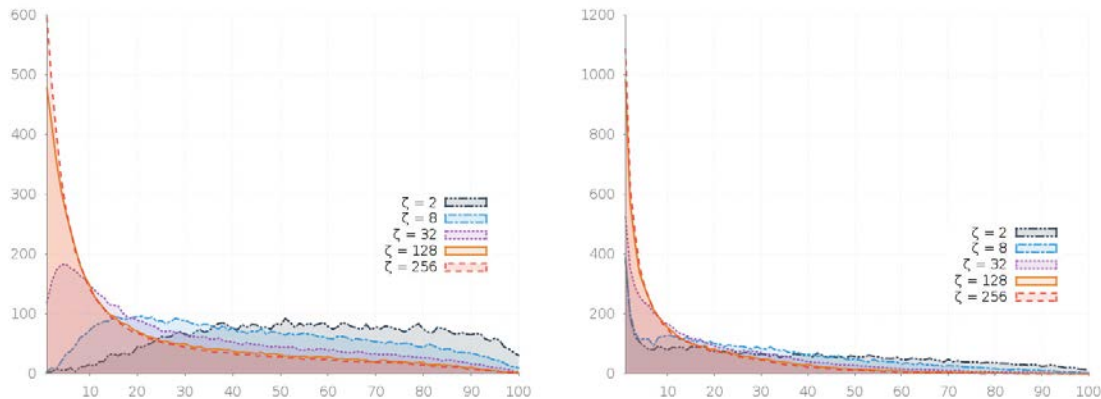


Figure 8.2.7 : Variation des performances en fonction de ζ

Ces organisations ont pour caractéristique commune d'avoir une forte disparité dans l'étendue des rôles alloués aux agents : les supérieurs hiérarchiques ont un grand nombre de responsabilités, alors que la plupart des autres agents ont très peu de responsabilités (voir section 8.1.5). Une allocation de la durée de résolution des problèmes prenant en compte cette répartition (i.e. un ζ faible) permet une nette amélioration des performances. Le mécanisme est simple : plus un agent a de responsabilités moins il va contribuer aux types de problèmes qu'il partage avec d'autres agents. Pour mieux comprendre ce

mécanisme, nous nous sommes intéressés à la durée cumulée des problèmes sur le bureau des agents, c'est-à-dire la somme des contraintes de temps d_p de tous les problèmes $p \in GC_a$ sur le bureau de l'agent a . Comme dans notre scénario tous les problèmes sont créés à l'initialisation et qu'aucun autre problème n'apparaît au cours de la simulation, nous avons calculé cette durée cumulée au moment de l'initialisation (i.e. à $t = 0$).

Les graphiques de la figure 8.2.8 ci-dessus montrent la distribution de cette contrainte de temps (y-axis) par agent (x-axis) en fonction de diverses valeurs de $\zeta = \{2, 8, 32, 128, 256\}$. Les agents en ordonnée s'agencent en fonction décroissante de leur niveau de responsabilités z_a : l'ordonnée 0 correspond à l'agent avec le plus haut niveau de responsabilités et l'ordonnée 100, l'agent avec le plus faible niveau de responsabilités. Avec équi-répartition des durées de résolution, i.e. $\zeta = 256$, la distribution des contraintes de temps cumulées par agent est inégalitaire dans les organisations triangulaire (figure 8.2.8b) et pyramide (figure 8.2.8a) : le décile des agents avec le plus de responsabilités cumule un totale de 3000h et 3824h contre 43h et 4h pour le décile des agents avec le moins de responsabilités, respectivement dans les organisations pyramide et triangulaire ; et le temps de résolution cumulée sur le bureau de l'agent avec le plus de responsabilités est 20 et 83 fois supérieur à la valeur médiane. Dans l'organisation pyramide (à gauche) quand ζ diminue, on voit que la contrainte allouée aux agents avec de fortes responsabilités se déplace partiellement sur les agents avec de plus faibles responsabilités. On constate même, pour les valeurs les plus basses



(a) Répartition des contraintes aux agents dans l'organisation pyramidale en fonction de ζ

(b) Répartition des contraintes aux agents dans l'organisation triangulaire en fonction de ζ

Figure 8.2.8 : Temps cumulé nécessaire à la résolution de tous les problèmes (y-axis) pour chacun des n agents de l'organisation (x-axis) agencés par ordre décroissant de niveau de responsabilité z_a

de $\zeta < 2$, un basculement de la majorité de la demande vers les agents à faibles responsabilités : pour $\zeta = 8$, le décile des agents avec les plus hauts niveaux de responsabilités cumule 362h contre 217h pour le décile des agents avec les plus faibles niveaux de responsabilités ; l'inverse se produit quand $\zeta = 2$, avec respectivement 42h et 514h pour le décile des agents en haut et en bas de la hiérarchie. La baisse puis l'augmentation du temps de résolution de l'organisation pyramidale dans le graphique 8.2.7, s'explique par un déséquilibre dans la distribution des temps de résolution : quand ζ est élevé les contraintes de résolution se concentrent sur les agents à forte responsabilité, et quand ζ est très faible elles se concentrent sur les agents peu responsables. L'organisation triangulaire (à droite) a un comportement similaire : la distribution des temps de résolution est plus homogène quand ζ a des valeurs faibles. Cependant, on note une caractéristique particulière : elle alloue systématiquement une contrainte élevée sur les agents à forte responsabilité. En effet, pour une valeur très faible de $\zeta = 0.5$, l'agent avec le plus de responsabilités à une durée cumulée de résolution équivalente à 354h, soit approximativement 7 fois plus que la durée cumulée médiane (53h) et 6 fois plus que la moyenne (63h). Cette propriété spécifique s'explique par la spécialisation hiérarchique. En effet, contrairement à l'organisation pyramidale, les agents en haut de la hiérarchie de l'organisation triangulaire ont des types de problèmes qu'ils sont les seuls à traiter : la contrainte de résolution de ces problèmes leur incombe donc en totalité. Sur ce point le partage des responsabilités dans l'organisation pyramidale apporte la possibilité d'une meilleure répartition des problèmes et donc de meilleures performances que son homologue hiérarchisé.

8.2.4 Synthèse des différents indicateurs

Les deux dernières expériences sur les aspects stratégiques de l'allocation et du choix des types de problèmes soulèvent un point important : les performances des organisations sont sensibles à l'interaction des paramètres. En d'autres termes, il est possible « d'optimiser » le temps de résolution des problèmes et toute comparaison entre organisations doit idéalement être conduite en se basant sur les performances optimales. Nous proposons donc d'étudier l'impact croisé des paramètres ζ et \mathcal{P}^{id} . Nous avons sélectionné ces deux aspects dans la mesure où les 3 paramètres GC^{max} , dp_{max} et Ep_o ne changent pas fondamentalement l'ordre des performances : sur ces dimensions, l'organisation triangulaire est systématiquement la moins performante, l'organisation spécialisée la plus performante, suivie de près par l'organisation polyvalente, alors que l'organisation pyramide est un peu moins performante. En croisant les deux aspects stratégiques, nous souhaitons ainsi faire ressortir les meilleures performances de nos 4 organisations.

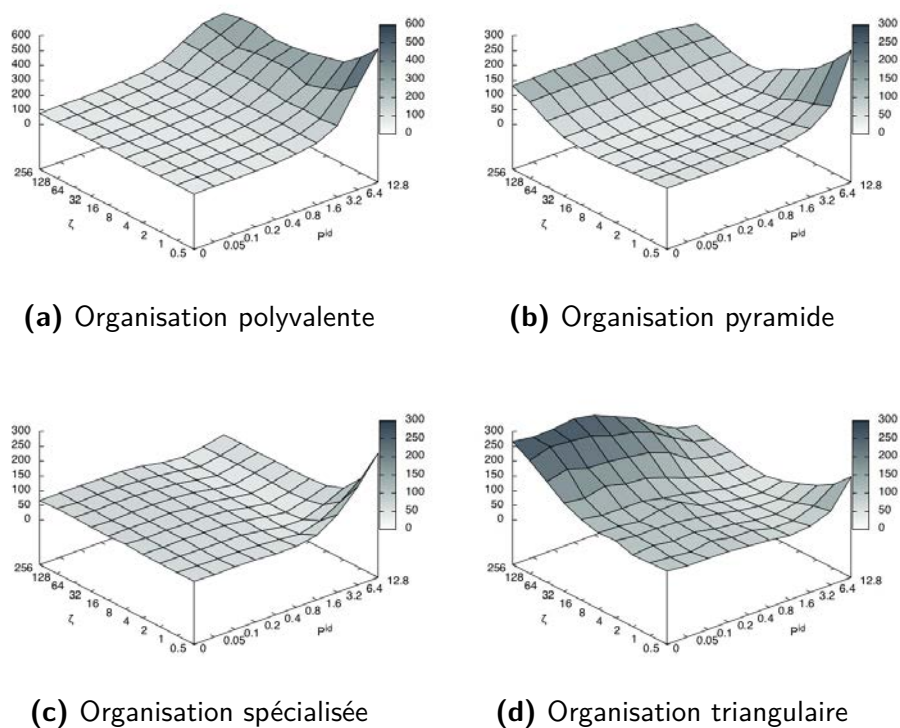


Figure 8.2.9 : Temps de résolution des organisations en fonction de la stratégie d'allocation de durée de résolution ζ et du choix des types de problèmes \mathcal{P}^{id}

Les graphiques de la figure 8.2.9 affichent le temps de résolution par rapport aux deux dimensions stratégiques simultanément et pour chacune des 4 organisations. La performance (z-axis) est déterminée en fonction de la spécialisation \mathcal{P}^{id} des problèmes et du style d'allocation ζ des

contraintes de durée de résolution (y-axis) en conservant les valeurs par défaut sur les trois autres paramètres (voir début de section 8.2). Les performances de l'organisation polyvalente (figure 8.2.9a) décroissent globalement avec \mathcal{P}^{id} et sont relativement indépendantes de la stratégie d'allocation représentée par ζ . Cela s'explique par la division extrême du travail : comme les agents ne partagent pas ou très peu leurs responsabilités, le style d'allocation n'a pas d'impact. Le temps de résolution est donc le plus court lorsque \mathcal{P}^{id} est faible. Pour l'organisation spécialisée, Le temps de résolution est relativement faible hormis quand se conjuguent un $\mathcal{P}^{id} > 3.2$ élevé et un $\zeta < 2$. Les performances de l'organisation pyramide sont faibles quand ζ prend des valeurs élevées d'une part, et diminuent en fonction de \mathcal{P}^{id} hormis pour des valeurs intermédiaires de ζ . Globalement, des valeurs faibles sur les deux paramètres produits les meilleures performances pour cette organisation. On constate une tendance semblable dans l'organisation triangulaire : les performances diminuent quand ζ augmente, mais augmentent dans ce cas quand \mathcal{P}^{id} prend des valeurs élevées ; par ailleurs, le temps de résolution diminue avec des valeurs élevées de \mathcal{P}^{id} sauf pour des valeurs faibles ou fortes de ζ . On voit qu'un arbitrage entre stratégie d'allocation et choix des types de problèmes est nécessaire pour améliorer le temps de résolution.

Dans le tableau 8.2.1 on affiche les performances par défaut et les meilleures atteintes avec les valeurs des deux paramètres stratégiques associées. On voit que le temps de résolution des organisations hiérarchiques (pyramide et triangulaire) a pu être grandement amélioré par rapport aux valeurs par défauts des paramètres. Bien que l'organisation spécialisée reste la plus performante, ces deux organisations se rapprochent des meilleurs temps de résolution de notre échantillon. En contraste, l'organisation polyvalente qui était apparue plutôt performante dans l'analyse précédente exhibe les plus mauvais temps de résolution. Dans ce cas, les stratégies explorées ne semblent ne pas pouvoir améliorer ses performances ; ce qui ne veut pas dire qu'elle ne peut être optimisée sur d'autres aspects organisationnels.

Stratégie	par défaut	meilleure	\mathcal{P}^{id}	ζ
Spécialisée	66	30	3.2	4
Pyramide	108	38	0.8	8
Triangulaire	228	42	6.4	16
Polyvalente	77	71	0	0.5

Table 8.2.1 : Performances des organisations avec les paramètres par défaut et leur meilleure stratégie respective

Nous avons vu que nos organisations ont des comportements contrastés et qu'elles répondent de manière nuancée à chacun des aspects de la dynamique de résolution de problèmes. Dans la dernière section de ce chapitre, nous souhaitons revenir sur les conséquences individuelles de l'activité en organisation. Après avoir étudié la dynamique au niveau de l'organisation, nous pro-

posons d'analyser l'impact de l'activité sur les agents et plus précisément leur niveau de potentiel.

8.3 Les aspects cognitifs de l'activité organisationnelle

L'ultime section de ce chapitre est consacrée à l'exploration de la dynamique du modèle sous l'angle des dimensions cognitives de l'activité des agents. Cette analyse porte sur les 3 paramètres qui conditionnent la dynamique du potentiel Ew_a : les paramètres associés au modèle des conséquences de l'effort – λ^L et ψ – et de récupération – λ^R . Nous avons souhaité placer nos agents dans chacune des 4 organisations dans leur version « optimisée » définies dans le tableau 8.2.1, et étudier l'impact de l'activité dans le temps sur le niveau de potentiel $Ew_a(t)$ (section 8.3.1). Nous avons également développé un indicateur d'épuisement du potentiel des agents (section 8.3.2), semblable à la notion d'épuisement professionnelle mobilisée dans les études en RPS. Cette première tentative d'analyse nous permet de montrer la possibilité de relier notre modèle d'activité avec la dimension psychologique du vécu au travail.

8.3.1 Micro-analyse de l'activité du De-C GCM

Protocole de simulation Dans la mesure où l'objectif est d'étudier les conséquences de l'activité au niveau individuel nous avons été conduit à modifier la dynamique de génération de problèmes. Nous avons remanié les règles de génération de problèmes de sorte qu'à chaque pas de simulation, un nombre variable et limité de problèmes rentrent dans l'organisation. Quand le nombre de problèmes dans l'organisation dépasse le seuil $GC^{max} = 500$, aucun nouveau problème ne sera généré, avant que la résolution de ceux présents permette de repasser en deçà de ce seuil. La proportion de problèmes entrant se définit sur la base d'une probabilité fixée en fonction de cette capacité maximum ; dans les analyses qui suivent, le flux constant de problèmes est tiré uniformément dans l'intervalle $[1; 50]$. Cette modification s'explique par la nécessité de placer les agents en face d'une activité constante au cours de la simulation. Les paramètres cognitifs des agents sont les mêmes que dans le cas de l'analyse de performance, à savoir les valeurs par défaut des paramètres cognitifs de l'activité des agents : $\lambda^L = \lambda^R = 0.5$, $\psi = 0.64$, $\rho = 0.5$ et $\theta^R = 0$.

Dans un premier temps nous avons analysé les 4 organisations définies dans le tableau 8.2.1 à leur meilleur niveau de performance. Les graphiques de la figure 8.3.1 représentent le niveau de potentiel $Ew_a(t)$ pour chacun des $n = 100$ agents, sur 400 ticks et moyenné sur 100 itérations de la simulation. Les agents sont classés par ordre croissant de niveau de responsabilité, c'est-à-dire que l'agent à l'abscisse la plus élevée représente l'agent avec le plus de responsabilités dans l'organisation, à l'instar des matrices d'organisations (graphiques 8.1.6). Globalement, on observe que les organisations pyramide et spécialisée répartissent les baisses de potentiel sur un plus grand nombre d'agents : la médiane de potentiel au 200^{ème} tick est respectivement à 82 et 86 contre 94 et 92 pour les organisations triangulaire et polyvalente. En revanche, les deux dernières citées

8.3. LES ASPECTS COGNITIFS DE L'ACTIVITÉ ORGANISATIONNELLE

concentrent la diminution du potentiel sur un plus petit ensemble d'agents avec des niveaux de responsabilité relativement élevés : la moyenne de potentiel des 20 agents les plus responsables au 200^{ème} tick est respectivement à 72 et 65.5 contre 78 et 89. Par ailleurs, la perte de potentiel est systématiquement plus importante en début de simulation et a tendance à diminuer dans le temps. L'organisation pyramide est celle qui impose la plus forte diminution du potentiel, puisque la moyenne de potentiel à 200 ticks est à 81 et à l'inverse l'organisation triangulaire est celle où les agents sont les moins sollicités, avec une moyenne à 89. Les deux autres organisations se situent dans l'intervalle, i.e. une moyenne de potentiel à 86 pour les deux.

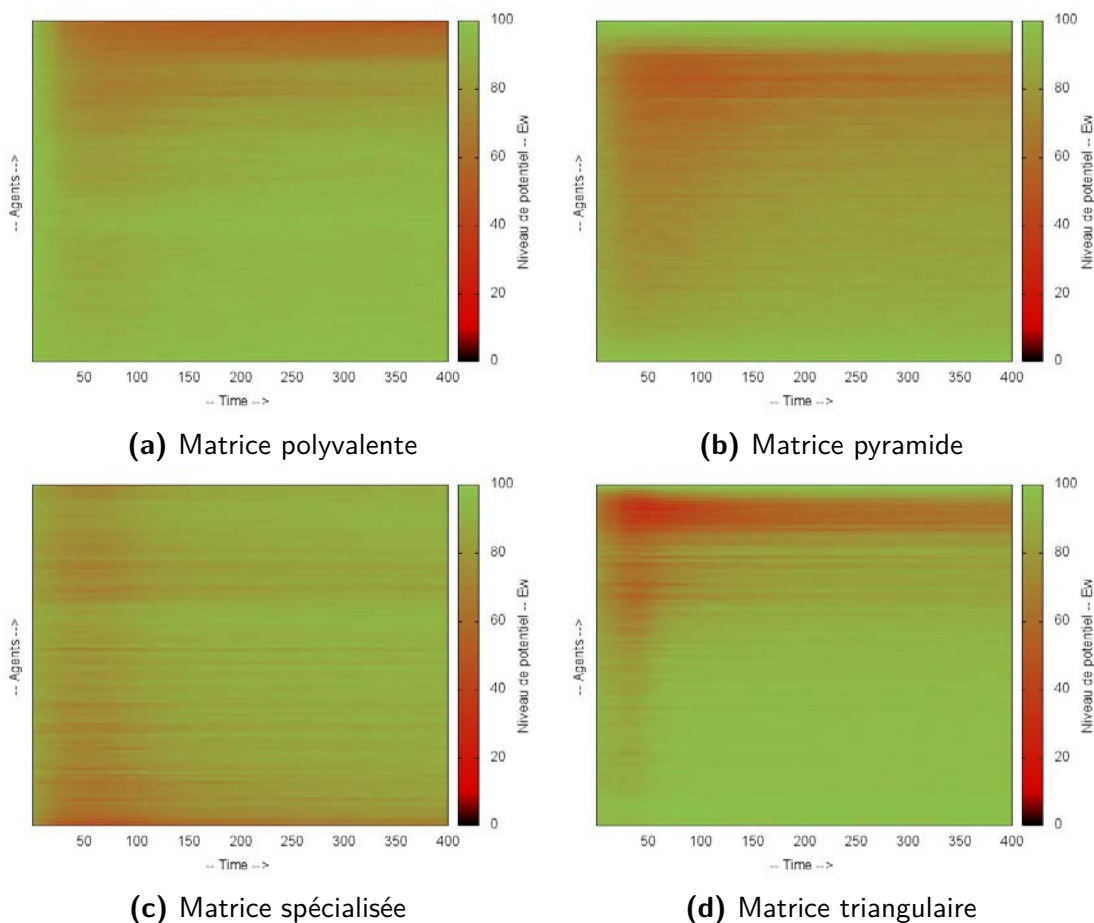


Figure 8.3.1 : Niveau de potentiel $Ew_a(t)$ par agent dans les 4 organisations types. Les agents $\mathcal{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ avec $n = 100$ – en ordonné sont classés par ordre croissant de responsabilité. Leur potentiel s'affiche dans le temps, en nombre de ticks de simulation, en abscisse

Concernant la répartition de l'effort : On voit émerger un schéma propre aux organisations hiérarchiques, avec des agents à très forte responsabilité dont le potentiel reste élevé et les niveaux hiérarchiques intermédiaires plus sollicités. En effet, au 200^{ème} tick, les 5 agents en haut de la hié-

rarchie des deux organisations ont un niveau de potentiel supérieur à la moyenne de l'ensemble des agents, i.e. 95 pour l'organisation pyramide contre 81 sur l'ensemble et 91 pour l'organisation triangulaire contre 89. Cette caractéristique des organisations hiérarchiques s'explique par un niveau d'exigence en coût d'énergie par heure élevé pour les agents à très forte responsabilité, puisque celui-ci augmente toute chose égale par ailleurs en fonction du niveau de responsabilité z_a (eq. 7.8). Par conséquent, à potentiel d'énergie équivalent avec leur subordonné, ils sont conduits à travailler moins longtemps à la résolution de problèmes : comme leur activité consomme beaucoup d'énergie, ils ne travaillent pas longtemps. On se retrouve dans la situation décrite par **Meijman and Mulder (1998)** où il est plus difficile de récupérer d'un effort relativement faible mais prolongé (i.e. agents à niveau de responsabilité intermédiaire) que d'un effort intense mais court (i.e. agents avec un niveau de responsabilité très élevé).

Dans la section précédente 8.2.1, nous avons vu que la demande est mieux répartie dans les organisations non hiérarchiques. Cependant, on voit apparaître des divergences dans le niveau d'effort des agents : dans l'organisation polyvalente les agents responsables du plus grand nombre de types de problèmes dans l'organisation, c'est-à-dire 2 responsabilités, sont les plus sollicités ; à l'inverse l'organisation spécialisée a tendance à plus demander aux agents avec le niveau moindre de responsabilité. Au 200^{ème} tick, les 20 agents les plus responsables de l'organisation polyvalente ont un potentiel en moyenne 30 points inférieur aux 20 agents les moins responsables (65 contre 95). On constate la situation inverse dans l'organisation spécialisée, les 20 moins responsables ont une moyenne de 10 points inférieure aux plus responsables (79 contre 89). En résumé, même si ces organisations n'ont pas de hiérarchie verticale et attribuent des niveaux de responsabilité homogènes, il existe quand même des déséquilibres au sein de l'activité : certains agents sont malgré tout plus sollicités que d'autres.

Dans la section suivante, nous définissons l'indicateur d'épuisement de potentiel élaboré pour étudier la diminution du potentiel des agents. Cet indicateur permet de faire une synthèse nécessaire pour étudier les différents facteurs d'épuisement du potentiel : pour faire varier les paramètres du modèle E-R que nous avons implémentés, il nous fallait agréger les résultats de l'activité. Or nous avons constaté dans cette première analyse que l'effort n'est pas également réparti dans l'organisation : la moyenne du potentiel peut alors masquer des différences importantes dans la distribution de la baisse du potentiel E_{w_a} . Nous avons donc développé un indicateur agrégé qui permet d'explorer les conséquences individuelles pour différentes modalités du couple effort / récupération.

8.3.2 Analyse de l'épuisement du potentiel des agents

Pour étudier les situations caractéristiques d'un épuisement du potentiel des agents, nous avons sollicité la définition classique en RPS : l'épuisement professionnel ou burnout. Cette notion est délicate à circonscrire comme le souligne un rapport récent de l'Agence Nationale pour l'Amélio-

ration des Conditions de Travail (ANACT) : « Le burnout ne se caractérise pas par un «diagnostic clinique» unique et précis, faisant état à la fois de symptômes et de causes bien établis. » (source Rapport ANACT 2015). Dans le cadre des théories JD-R (Bakker and Demerouti, 2007), le burnout est défini par l'incapacité de l'individu à traiter les demandes et la perte d'engagement associée au manque de ressources, notamment de récupération (Demerouti et al., 2001 ; Bakker et al., 2004). L'extension du modèle demandes-ressources à la notion de burnout s'appuie sur la définition classique associée à l'épuisement professionnel (Freudenberger, 1974). Néanmoins, nous nous limitons à ne considérer que les aspects physiologiques de l'épuisement à travers le manque d'énergie disponible. On intègre le fait que le manque de récupération et un potentiel faible ne mènent pas systématiquement à l'épuisement. Comme le soulignent Meijaman and Mulder (1998), l'épuisement découle d'une baisse significative et prolongée du potentiel. A cet effet, on distingue deux notions différentes mais liées : l'état d'épuisement et l'épisode de burnout. Le premier se définit comme suit : si le niveau d'énergie d'un agent après récupération est inférieur à un seuil donné alors l'agent est en état d'épuisement. Le seuil est fixé par le paramètre σ^B qui détermine le niveau d'énergie en deçà duquel l'agent s'épuise. Le second se caractérise par le cumul de l'état d'épuisement sur une période donnée. La variable interne $burn(a, t)$ indique la longueur d'un épisode d'épuisement pour l'agent a au temps t :

Algorithm 10 : Algorithme de calcul de la durée d'un épisode de burnout

```

Procédure BURNOUTEPISODE
1   if  $\sum_{i=1}^{sm} \frac{Ew_a(t-i)}{sm} < \sigma^B \times EB_a$  then
2     |  $burn(a, t+1) \leftarrow burn(a, t) + 1$ 
3   else
4     |  $burn(a, t+1) \leftarrow 0$ 

```

Le seuil σ^B définit le niveau de potentiel en fonction du niveau de base EB_a : si le potentiel de l'agent est plus faible que la proportion σ^B du potentiel de base, alors l'agent rentre dans un état de burnout. La baisse du potentiel qui définit l'état de burnout ne fait l'objet d'aucun consensus (Schaufeli and ilmar, 1996). Dans les analyses qui suivent, nous avons fixé ce paramètre à 0.2 ; c'est-à-dire que l'agent rentre dans un épisode si son potentiel descend en dessous de 20% de son potentiel de base. L'épisode est reconduit tant que les capacités de récupération de l'agent ne permettent pas de regagner assez de potentiel pour rétablir un niveau d'énergie plus important que ce seuil. Comme un épisode de burnout ne s'arrête pas immédiatement mais peut perdurer même après que les conditions de l'épuisement aient disparues Maslach and Jackson (2013), nous considérons la moyenne glissante du potentiel : cette moyenne prend en compte l'énergie disponible sur une fenêtre de sm ticks, avec $sm = 20$.

Les épisodes d'épuisement en fonction du couple effort/récupération Dans cette section, nous revenons sur l'interaction entre l'épuisement du potentiel et les 3 paramètres qui commandent la dynamique du potentiel des agents. Nous nous intéressons successivement au nombre d'épisodes, puis à la longueur de ces épisodes. Les simulations reprennent le même protocole que dans la section 8.3.1 précédente, mais en faisant varier les deux paramètres λ^R et λ^L . Les résultats sont moyennés sur 100 itérations de la simulation.

Les graphiques de la figure 8.3.2 représentent le nombre moyen d'épisodes par agent sur l'ensemble de la simulation et pour chacune des 4 organisations.³ Afin de bien différencier les situations qui mènent ou non au burnout, nous avons représenté en vert les valeurs pour lesquelles le nombre moyen d'épisodes de burnout est strictement égal à 0. On constate que les agents ont globalement plus d'épisodes de burnout dans les organisations polyvalente et pyramide, avec respectivement 72 et 85 épisodes dans la pire situation. A l'inverse, les agents des deux autres organisations ont connu moins d'épisodes, avec respectivement 38 et 50 épisodes dans la pire situation. Globalement on retrouve le même schéma dans chacune des organisations : d'un côté l'absence de burnout quand λ^R et λ^L sont tous les deux supérieurs à 0.5, de l'autre côté, un épuisement lorsque l'un et / ou l'autre de ces paramètres diminuent en dessous de ce seuil. Cette limite définit le seuil au-delà duquel les agents disposent d'assez de ressources et d'une qualité de récupération satisfaisante qui leur permettent de compenser les effets négatifs liés à l'effort fourni durant leur activité, quelque soit par ailleurs le contexte organisationnel. En revanche, quand les ressources ou la qualité de récupération baissent, on voit apparaître des épisodes de burnout : on constate une augmentation du nombre d'épisodes à mesure que les ressources professionnelles manquent ou se dégradent (diminution de λ^L) mais une diminution forte si cette dégradation se conjugue à une diminution de la qualité de récupération. Pour comprendre la baisse du nombre d'épisodes, nous avons représenté dans les graphiques de la figure 8.3.3, la durée moyenne d'un épisode agrégée sur l'ensemble des agents.

On voit dans ces graphiques que la durée des épisodes augmente en fonction inverse de la qualité de récupération λ^R et des ressources λ^L . Mise à part pour l'organisation polyvalente, on constate qu'avec une qualité faible de récupération $\lambda^R = 0.1$ les épisodes sont longs quand les ressources ne sont pas très élevées $\lambda^L < 0.9$. Or, en comparant la durée (figure 8.3.3) et le nombre d'épisodes (figure 8.3.2), on voit qu'à l'allongement des épisodes correspond une diminution de leur nombre⁴. En d'autres termes, puisque les épisodes durent plus longtemps quand la qualité de récupération diminue, ils sont également moins nombreux. On identifie donc deux situations

3. Afin de bien voir les tendances, nous avons dû adapter l'angle de représentation des graphiques. Les échelles ne sont donc pas représentées de la même manière : λ^R croît alors que λ^L décroît. De fait, le point de rencontre des deux axes correspond à la plus faible valeur de $\lambda^R = 0.1$ et la plus forte de $\lambda^L = 1$

4. Les axes n'étant pas représentés de la même manière, le point en haut des graphiques de la figure 8.3.3 correspond au point tout à droite dans les graphiques de la figure 8.3.2

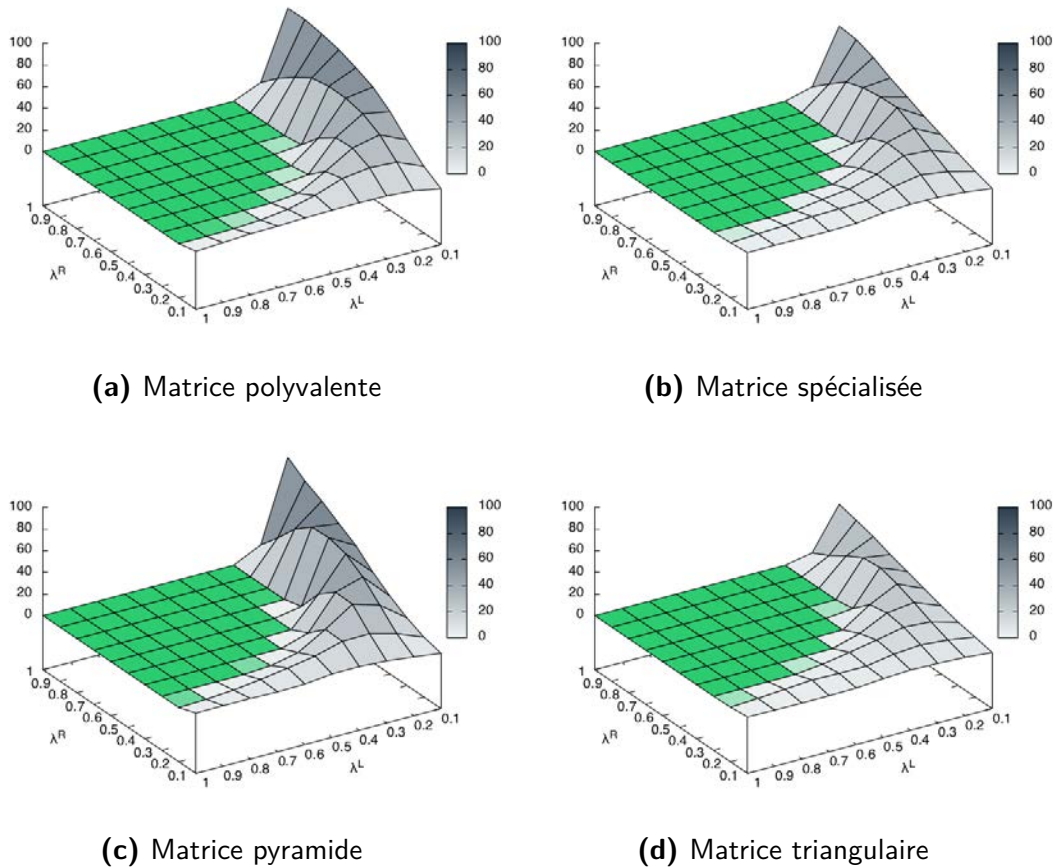


Figure 8.3.2 : Nombre d'épisodes de *burnout* (z-axis) dans les 4 organisations types en fonction de la qualité de récupération λ^R (x-axis) et des ressources professionnelles λ^L (y-axis). L'indicateur agrège, en moyenne, le décompte du nombre d'épisodes par agent sur l'ensemble de la simulation.

de burnout : lorsque les ressources manquent, les épisodes sont nombreux mais relativement courts, alors qu'une qualité de récupération faible produit peu d'épisodes longs. La pire situation est évidemment une conjonction d'une défaillance des ressources et d'une qualité de récupération faible.

8.4 Conclusion

Nous avons mis en place une démarche systématique d'analyse de notre modèle d'activité en trois étapes : une étude préliminaire pour identifier 4 organisations typiques à l'initialisation du modèle ; ensuite nous avons conduit une analyse de performance sur ces organisations en proposant une dynamique de résolution d'un contingent fini de problèmes ; enfin, nous avons exploré les implications d'un flux constant de problèmes sur le niveau de potentiel des agents. Cette der-

8.4. CONCLUSION

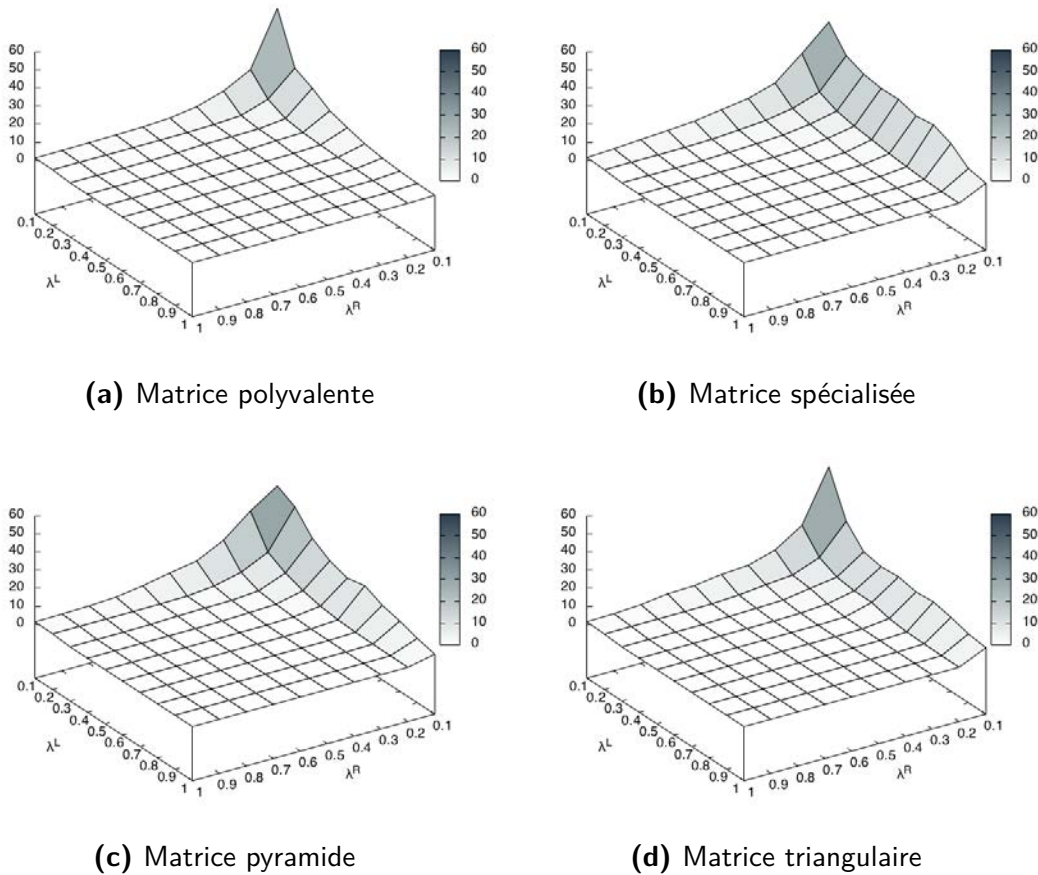


Figure 8.3.3 : Durée moyenne d'un épisode de *burnout* (z-axis) dans les 4 organisations types en fonction de la qualité de récupération λ^R (x-axis) et des ressources professionnelles λ^L (y-axis). L'indicateur agrège la durée moyenne des épisodes d'un agent sur l'ensemble des agents.

nière étape se base sur un indicateur d'épuisement professionnel adapté à l'étude de la dynamique de la théorie E-R implémentée dans notre modèle.

En résumé, nous avons constaté qu'en fonction du type d'organisation les performances sont très différentes. L'organisation non hiérarchique avec un partage important de responsabilités (organisation spécialisée) est apparue comme la plus efficace de notre panel. Par ailleurs, on a pu voir que les stratégies de gestion de problèmes (section 8.2.3) permettent aux organisations hiérarchiques d'obtenir des performances très satisfaisantes. En effet, une optimisation de l'allocation des contraintes et de la définition des types de problèmes implique un gain significatif de performances. A l'inverse, l'organisation avec le moins de partage de responsabilités et une hiérarchie inexistante (organisation polyvalente) ne gagne pas en efficacité en développant des stratégies de gestion des problèmes : elle est performante dans le cas d'une demande non spécialisée.

8.4. CONCLUSION

La dernière section du chapitre explore les conséquences de la dynamique de résolution de problèmes au niveau des agents. Nous avons vu que les contraintes de résolution des problèmes se répartissent différemment en fonction du type d'organisation et n'impactent pas les mêmes agents. Nous avons également identifié deux types de burnout en fonction d'une défaillance de ressources ou d'un déficit de récupération. Dans le premier cas, les épisodes sont nombreux mais relativement courts, alors que dans le second cas, ils seront moins nombreux mais plus longs. L'étude de l'impact de l'activité sur l'épuisement du potentiel des agents ou burnout a montré que notre modèle d'activité était capable de s'adapter à l'analyse des composantes psychologiques du travail. Cette étape ouvre la perspective d'un couplage de notre modèle d'activité avec le modèle de satisfaction développé dans la première partie de ce manuscrit.

9

Conclusion

Au cours de ce travail nous avons conçu, implémenté et analysé deux modèles multi-agents appelés à être couplés : le premier se concentre sur les mécanismes cognitifs d'élaboration de la satisfaction au travail, alors que le second modélise l'activité de travail dans les organisations. Le premier s'appuie sur trois mécanismes d'évaluation dont deux modèles de comparaison par rapport à des référents sociaux et des épisodes passés qui font consensus en psychologie sociale. Le second s'attache à modéliser l'activité des agents dans le contexte de l'entreprise. En s'appuyant sur le GCM, nous avons proposé une extension qui met en avant les capacités de décision des agents. Dans ces deux modèles nous avons appliqué une même méthodologie : nous avons élaboré des modèles fondés sur les théories et modèles des sciences humaines dans les domaines de la satisfaction et l'activité dans les organisations. La validation de ces modèles se fait en deux étapes : une exploration systématique des mécanismes à partir d'une analyse de sensibilité, puis la mise en place de scénario et la confrontation aux données empiriques disponibles.

Dans la section 9.1, nous revenons sur les apports de notre thèse à la modélisation multi-agent de la satisfaction et de l'activité en organisation. Nous soulignons également les apports généralisables à d'autres domaines de la modélisation et de la simulation sociale basée agent. La seconde section de ce chapitre revient sur les diverses lignes de recherche future qui permettront d'améliorer le modèle Happywork et le De-C GCM.

9.1 Les apports de la thèse

Cette thèse propose plusieurs solutions méthodologiques à la problématique de la modélisation multi-agents de la satisfaction au travail, de l'intégration des données d'enquête, à l'exploration et la validation du modèle.

Au niveau de la conception du modèle, nous avons par exemple proposé une manière d'intégrer les données d'enquêtes dans le domaine des RPS. La modélisation des conditions de travail de notre modèle permet de traiter l'ensemble des modèles empiriques définis par le JD-R (Bakker and Demerouti, 2007) : nos agents sont susceptibles d'être initialisés sur les données du ? (Smith et al., 1969), JCQ (Karasek et al., 1998) ou JDS (Hackman and Oldham, 1975), par exemple. Par ailleurs, en nous basant sur les enquêtes de terrain de notre partenaire Technologia, nous avons pu appliquer notre modèle à des cas empiriques différents : deux enquêtes distinctes, l'une en version longue qui a servi à l'analyse de sensibilité et à l'exploration d'un scénario d'amélioration des conditions de travail ; et la seconde, en version courte, sur trois temps successifs que nous avons adapté à la calibration des paramètres du modèle. Enfin, le principe du psychomimétisme (Kant, 1999) a permis d'articuler ces données avec les modèles et théories du domaine : nous proposons alors une modélisation basée sur toutes les ressources offertes par les études en sciences sociales, aussi bien au niveau empirique que théorique.

Sur le plan de l'analyse et de la validation, nous avons défini une feuille de route qui consiste à partir d'une analyse de sensibilité systématique sur les paramètres pour identifier des profils associés à des comportements agents dans le modèle de satisfaction et des organisations types générées dans le modèle d'activité. Nous avons ensuite confronté ces types à plusieurs scénarii pour mieux comprendre leurs comportements. La validation de ces types se fait à deux niveaux : une validation minimale garantie par l'identification de ces types par la littérature du domaine, et une validation empirique en calibrant le modèle pour reproduire les niveaux de satisfaction déclarés en enquête, par exemple. Dans les deux sections qui suivent, nous revenons sur les enseignements de l'analyse des modèles de satisfaction et d'activité.

9.1.1 Apports à la modélisation de la satisfaction

Le modèle Happywork est, à notre connaissance, le premier modèle multi-agent complet de la satisfaction au travail. Notre travail de synthèse de la littérature dans le chapitre 3 nous a conduit à identifier trois grandes familles d'antécédents : les évaluations cognitives, les affects et la personnalité. En cohérence avec les données empiriques à notre disposition (voir section 5.1), nous avons élaboré un modèle centré sur la dimension cognitive de la satisfaction. Happywork est la synthèse des théories sur la dimension cognitive de l'attitude au travail, avec plusieurs modèles psychologiques pour en représenter les différents mécanismes : le principe général issu de la théorie des divergences (Michalos, 1985), instancié sous la forme de comparaisons sociales représen-

tées par le modèle SAM (Mussweiler, 2003) et de comparaisons avec les conditions de travail passées représentées par l'heuristique Peak-End (Kahneman et al., 2003). La question de l'agrégation des connaissances issues de l'évaluation des divergences a été résolue à partir d'idées originales développées dans le domaine de l'agrégation multi-critères (Yager and Lamata, 1997). Le framework Happywork est la synthèse de ces ressources dans un modèle multi-agent.

L'analyse de notre modèle a permis d'identifier divers comportements types au niveau de la comparaison sociale et de l'agrégation des évaluations. Ces profils cognitifs d'agent, définis en section 3.4.1, ont été confrontés à un scénario d'amélioration des conditions de travail. Pour la comparaison sociale, nous avons constaté que les populations en forte assimilation sont moins sensibles aux politiques d'amélioration du travail. En revanche, contrairement aux population en fort contraste, elles pénalisent moins les agents satisfaits par une politique qui s'attache à améliorer la situation des plus insatisfaits. Globalement, notre analyse a contribué à identifier de potentiels effets de compensation : l'amélioration de la situation des uns peut conduire, par la comparaison sociale, à dégrader la situation d'individu non ciblés par la politique d'amélioration des conditions de travail. Sur les styles d'agrégations, nous avons vu que l'état d'esprit (optimiste ou pessimiste) implique une forte résistance. Notre modèle met en garde contre l'inefficacité attendue dans le cas d'une situation où le pessimisme domine. Dans ce contexte, la réussite d'une politique d'amélioration doit d'abord considérer le problème de l'état d'esprit des employés au risque d'entreprendre des actions inefficaces. Concernant le type de profil d'orientation, nous avons vu que les conséquences de la politique divergent en fonction de la tendance des agents à fonder leur évaluation plutôt sur les enseignements de la comparaison sociale, historique ou de l'effet direct : c'est dans le premier cas que les impacts au niveau de l'organisation sont les plus importants, avec les effets négatifs de compensation au niveau global qu'impliquent ce processus d'évaluation ; dans le second cas, les effets bénéfiques et négatifs s'estompent ; tandis que le dernier cas donne les meilleurs résultats, aussi bien en diminuant les effets de compensation qu'en produisant plus d'effets bénéfiques sur la situation des plus insatisfaits.

Le second scénario se base lui sur des données empiriques. Sur la base de l'évolution perçue des conditions de travail par les individus d'une enquête de panel, nous avons pu reproduire avec précision les niveaux de satisfaction à trois points différents dans le temps. Cet objectif a été atteint en calibrant les profils cognitifs de nos agents. Ces derniers, nous ont permis de comprendre les dynamiques à la baisse et à la hausse de la satisfaction, alors même que l'évolution des conditions de travail ne suffisait pas à en expliquer l'ampleur.

Globalement notre modèle a permis d'identifier des facteurs importants de réussite ou d'échec d'une politique. Tous décideur qui souhaite mettre en place une action visant à améliorer la situation professionnelle des plus insatisfaits doit alors prendre en compte le profil cognitif des employés de l'organisation. Comme nous l'avons montré, la calibration de notre modèle de simulation sur des données réelles est un premier pas vers l'identification de ces verrous. Enfin, notre démarche ouvre la possibilité d'intégrer de nouveaux mécanismes d'évaluation pour affiner en-

core l'examen des conséquences de politiques organisationnelles. Couplé à une calibration fine, nous pensons que notre modèle peut apporter des enseignements précieux dans la mise en place de telles actions.

9.1.2 *Apport au domaine de la modélisation de l'activité en entreprise*

Le modèle d'activité proposé dans ce travail est une extension du Garbage Can Model (Cohen et al., 1972) qui insiste sur la dimension cognitive de l'activité de travail : le De-C GCM intègre les demandes qui caractérisent le rôle d'un individu au sein d'une organisation et les ressources dont ils disposent pour s'en acquitter. De cette manière nous avons créé un lien entre le modèle d'activité du GCM original et le méta-modèle JD-R (Bakker and Demerouti, 2007) d'évaluation subjective de la qualité de l'emploi. De plus, nous avons proposé une modélisation de la dynamique de déploiement d'effort au travail suivi d'une récupération de potentiel sur la base du modèle Effort-Recovery (Meijaman and Mulder, 1998). Globalement notre entreprise a consisté à modéliser les mécanismes du GCM en nous basant sur des processus psychologiques identifiés dans le cadre de la psychologie organisationnelle. Mais notre travail a également permis de faire le lien entre activité de travail et évaluation des conditions de travail. Ainsi, de nombreuses perspectives s'offrent à nous pour coupler le modèle de satisfaction à notre modèle d'activité. Notamment, dans nos deux modèles les conditions de travail sont conçues et modélisées sur la base du méta-modèle JD-R (Bakker and Demerouti, 2007).

Notre analyse du modèle d'activité s'est articulée autour de trois points : (i) la génération d'organisations représentatives de différents types de hiérarchie et de division du travail, (ii) de l'étude de leurs performances et (iii) des conséquences de l'activité organisationnelle sur le potentiel d'énergie des agents. Sur le premier point nous avons réussi à élaborer une typologie d'organisations qui croisent une hiérarchie forte, modérée ou inexistante, avec un partage des responsabilités hétérogène, où toutes les tâches sont traitées par l'ensemble des agents, et homogène, où certaines tâches sont réservées à un sous ensemble d'agents.

La confrontation de ces diverses organisations à un contingent fini de problèmes a montré qu'elles n'ont pas toutes la même efficacité. La plus grande efficacité des organisations non hiérarchiques est un résultat fort. Néanmoins, nous avons vu qu'avec une stratégie optimisée de gestion de la demande, les organisations hiérarchiques sont en mesure d'améliorer considérablement leurs performances. Ce gain d'efficacité est à l'inverse faible dans le cas d'une organisation où le partage des responsabilités et/ou la hiérarchie sont faibles. Dans un second temps, nous avons mis en place une micro-analyse de l'épuisement de l'effort disponible, basée sur la notion d'épuisement professionnel (Demerouti et al., 2001). En s'intéressant aux conséquences de l'activité au niveau des agents, nous avons pu voir que l'absence de hiérarchie et un faible partage des responsabilités préservent le plus les agents d'un épuisement de leur potentiel. Sur ce point le partage des tâches semble constituer un risque d'épuisement tout spécialement quand elle s'accompagne

de relations hiérarchiques.

Dans la section qui suit, nous présentons les perspectives les plus intéressantes ouverte par notre travail de modélisation.

9.2 Perspectives

D'un point de vue général, le plus grand challenge consiste à réduire le nombre de paramètres et à simplifier les mécanismes, afin d'en faciliter la compréhension et l'exploration. Cette perspective s'inscrit dans une logique de simplification des mécanismes du modèle sur les facteurs les plus importants. Comme nous l'avons souligné dans le chapitre 2 consacrée à la modélisation sociale multi-agent, cette démarche ne peut se faire qu'une fois un modèle complet développé. Cela doit aussi permettre d'y intégrer de nouveaux éléments sans que la complexité liée aux interactions entre mécanismes n'augmente trop. Certains de ces ajouts ont déjà été identifiés. Nous développons ceux qui nous sont apparus les plus importants dans les trois sections qui suivent : la première est consacrée aux améliorations du modèle de satisfaction ; la seconde à celles du modèle d'activité ; enfin, nous détaillons le programme de couplage des deux modèles.

9.2.1 *Perspectives sur le modèle de satisfaction*

Les deux ajouts majeurs au modèle de satisfaction concernent le processus cognitif de comparaison par rapport aux anticipations : non seulement ce mécanisme a été clairement associé à la satisfaction (Spector, 1997 ; Warr, 2007) mais il semble également jouer un rôle dans la comparaison sociale. Notamment dans le cas d'une comparaison sociale ascendante par assimilation, l'impact positif sur l'évaluation semble lié à la possibilité de voir sa situation changer dans l'avenir (Smith, 2000) ou d'avoir la sensation de maîtriser son futur (Collins, 1996 ; Wheeler and Suls, 2007).

Ce mécanisme important s'intègre aux principes de l'évaluation par divergences, mais réclame un double travail : modéliser les règles de l'évaluation des comparaisons avec des anticipations ascendantes et descendantes, comme nous l'avons fait pour les modèles de comparaison sociale et historique, d'une part, et identifier et modéliser les mécanismes d'anticipation des conditions de travail futures, d'autre part.

Par ailleurs, le second grand ajout consiste à remplacer la boîte noire de l'évaluation directe des caractéristiques par un module d'émotion au travail. Nous avons vu dans le chapitre 3 que la dimension affective de l'attitude au travail fait l'objet de nombreuses investigations. Elle est particulièrement importante dans la mesure où elle peut jouer sur les anticipations, la comparaison sociale (notamment sur le mécanisme d'ancrage) ou encore les mécanismes d'agréations (on pense ici à l'état d'esprit, optimiste ou pessimiste, qui dépend de l'état affectif de l'agent). Les

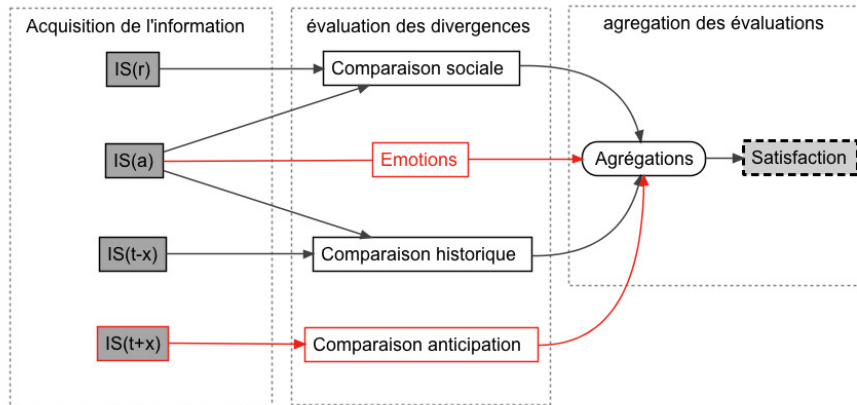


Figure 9.2.1 : Schéma augmenté du modèle d'élaboration de la satisfaction

travaux de [Weiss and Cropanzano \(1996\)](#) nous semblent être un bon point de départ puisque l'émotion y est dépendante d'un principe d'évaluation par divergence. Ce choix nous apparaît d'autant plus pertinent que les travaux récents dans la lignée théorique du modèle AET ([Weiss, 2002](#) ; [Brief and Weiss, 2002](#) ; [Weiss and Beal, 2005](#)), mettent en relation la dimension cognitive de l'évaluation de l'emploi et les émotions sur le lieu de travail. Dans le graphique 9.2.1 nous avons ajouté les deux améliorations majeures à apporter à notre modèle de satisfaction. Ces deux éléments s'intègrent à notre modèle d'évaluation de l'emploi : les anticipations ont été identifiées comme des standards de comparaison dans de nombreux modèles de satisfaction basé sur la théorie des divergences ([Michalos, 1985](#) ; [Warr, 2007](#)) ; alors que les émotions sur le lieu de travail ont un impact important sur l'évaluation des conditions de travail ([Weiss, 2002](#) ; [Judge et al., 2012](#)), l'humeur générale ([Fisher, 2000](#)) ou le comportement ([Fisher, 2010](#)).

9.2.2 Perspectives sur le modèle d'activité

Nous avons identifié deux points sur lesquels le travail de modélisation doit permettre d'améliorer les mécanismes du De-C GCM : dans un premier temps nous pensons incorporer une plus grande hétérogénéité dans la définition des types de problèmes. Plusieurs idées issues des modèles discutés dans le chapitre 6 d'état de l'art peuvent ici être explorées : intégrer des pré-conditions à la résolution d'un type de problèmes, comme une compétence particulière de la part de l'agent ou la résolution d'un autre problème au préalable (e.g. pre-, post- and trigger conditions dans le modèle KAOS, [Matulevicius and Heymans, 2005](#)) ou encore la mise en place d'une distinction entre types de problèmes finis et non finis (respectivement operational et soft goals dans le méta-modèle proposé par [Jureta and Faulkner, 2005](#)). L'autre alternative est de considérer d'étendre la construction des organisations du De-C GCM en intégrant une matrice d'association ([Cohen et al., 1972](#)) qui met en relation des solutions avec chacun des types de problèmes

comme dans le modèle original du GCM.

La seconde amélioration d'ampleur est de proposer une allocation décentralisée des contraintes de résolution de problèmes. En l'état, le modèle d'activité conçoit l'organisation comme un agent omniscient capable de distribuer la charge de travail de manière transparente et parfaite. Une vision plus réaliste de la gestion des problèmes nécessiterait de déléguer partiellement cette tâche aux fonctions spécifiques de management. C'est le rôle particulier du manager que d'allouer correctement les tâches à exécuter [Mintzberg \(1982\)](#). Or, sur ce point, l'échange d'information ([Carley and Gasser, 1999](#)) a été identifié comme un processus majeur. Il nous semble important d'envisager d'étendre les capacités des agents pour qu'ils puissent échanger ou contribuer à la résolution de problèmes d'autres agents, ou encore imposer la résolution de contraintes à d'autres agents. Notamment le travail de [Fioretti and Lomi \(2010\)](#) constitue une première tentative dans ce sens : les agents du GCM y ont la capacité de transférer les problèmes à d'autres agents. On peut, sur cette base, également envisager de construire des équipes de travail ([Troitzsch, 2012](#)).

En outre, il apparaît que la mise en place d'une allocation décentralisée des contraintes de résolution des problèmes nécessite une meilleure modélisation des relations sociales dans l'organisation. Nous envisageons donc d'améliorer notre générateur de réseau (voir annexe D) et d'offrir aux agents des capacités de communication dans ce réseau.

9.2.3 Perspectives sur le couplage des modèles

Dans cette ultime section nous revenons sur les perspectives de couplage des deux modèles proposés dans ce travail. Notamment, l'objectif de cette synthèse des modèles est de pouvoir répondre à notre problématique de base : étudier l'impact de l'organisation sur la satisfaction au travail. Nous avons proposé une première tentative à travers l'étude d'un scénario idéal de politique organisationnelle. L'objectif principal du couplage est de permettre l'expression de ces politiques dans les termes d'un changement au niveau de l'activité de l'organisation : par exemple, la réduction des lignes hiérarchiques, l'enrichissement du rôle des agents ou la réduction du temps de travail.

Pour faire le lien entre ce type d'action au niveau de l'organisation et satisfaction des employés, le modèle d'activité doit permettre aux agents de notre modèle de satisfaction d'évaluer leurs conditions de travail à partir de leur activité. Le couplage se concrétise donc par une fonction de perception des conditions de l'activité permettant d'initialiser et faire évoluer dynamiquement le vecteur $IS(a)$ des caractéristiques de l'emploi des agents. Cet objectif est principalement motivé par l'idée de rendre les scénarii de politiques plus en adéquation avec les actions possibles d'une organisation réelle : en effet, l'organisation ne peut pas modifier directement la perception des caractéristiques, comme c'est le cas dans le scénario testé dans la section 5.3, mais elle peut en revanche modifier l'activité des agents. A terme, nous souhaitons que les politiques simulées puissent représenter des actions plus crédibles et que leurs analyses permettent de formuler des

recommandations concrètes.

Le second point de couplage concerne le réseau social et la mise en place d'un mécanisme de communication qui modélise les échanges au niveau du modèle d'activité (rôle des managers) et du modèle de satisfaction. En l'état, la comparaison sociale s'établit dans un contexte de communication pure et parfaite. En cohérence avec les principes de priming sur lesquels se base le modèle SAM que nous avons implémenté, il apparaît important de mettre en place un mécanisme de communication situé et limité. Au niveau du modèle d'activité, la modélisation d'équipe de travail ou du rôle des managers (évoquée dans la section 9.2.2) nécessite également des moyens de communication.

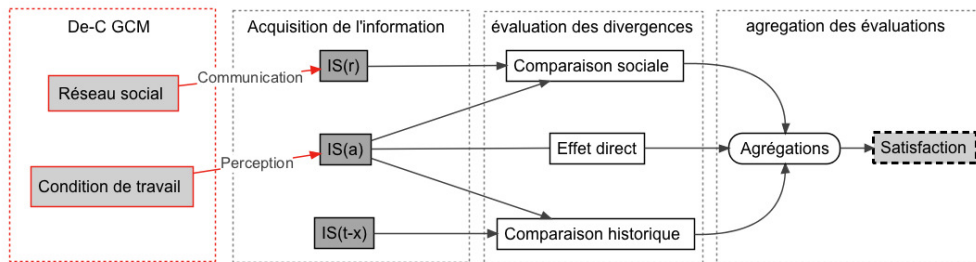


Figure 9.2.2 : Schéma de couplage du modèle d'activité et d'élaboration de la satisfaction

Dans le graphique 9.2.2, nous avons représenté les deux perspectives de couplage. Dans cette perspective, le De-C GCM doit fournir au modèle de satisfaction deux antécédents de la satisfaction : la perception des caractéristiques de l'emploi directement basée sur les conditions de l'activité des agents dans le modèle d'activité, et les capacités de communication nécessaires à la mise en place d'un échange d'information située et limitée entre agents.

Enfin, le couplage des modèle Happywork et De-C GCM doit permettre de proposer un outil robuste d'aide à la décision : celui-ci combinera l'étude des déterminants de la satisfaction, possible dans le cadre du 1er modèle, à des scénarii plus réaliste de politique organisationnelle, possible dans le cadre du 2nd modèle. A terme, notre objectif est de proposer aux décideurs de l'organisation soucieux d'améliorer la satisfaction de leurs employés, un moyen de tester in silico les conséquences de politiques crédibles d'amélioration des conditions de travail.

Bibliographie

- Aalst, W. M. P. v. d., Nakatumba, J., Rozinat, A., and Russell, N. (2010). Business Process Simulation. In BROCKE, P. D. J. v. and ROSEMANN, P. D. M., editors, Handbook on Business Process Management 1, International Handbooks on Information Systems, pages 313–338. Springer Berlin Heidelberg.
- Ajzen, I. (2001). Nature and operation of attitudes. *Annual review of psychology*, 52 :27–58.
- Ajzen, I. (2011). Job satisfaction, effort, and performance : A reasoned action perspective. 5(4) :32.
- Akrich, M., Callon, M., and Latour, B. (2006). *Sociologie de la traduction : textes fondateurs*. Presses des MINES.
- Al-Zu'Bi, H. A. (2010). A Study of Relationship between Organizational Justice and Job Satisfaction. *International Journal of Business and Management*, 5(n°12).
- Alderfer, C. P. (1969). An empirical test of a new theory of human needs. *Organizational behavior and human performance*, 4(2) :142–175.
- Ali, S. A. M., Said, N. A., Yunus, N. M., Kader, S. F. A., Latif, D. S. A., and Munap, R. (2014). Hackman and oldham's job characteristics model to job satisfaction. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 129 :46 – 52. 2nd International Conference on Innovation, Management and Technology Research.
- Andrews, C., Baptista, A., and Patton, S. (2004). A Multi-Agent Model of a Small Firm. *Corporate Environmental Behavior and the Effectiveness of Government Interventions*.
- Argote, L. and Greve, H. R. (2007). A Behavioral Theory of the Firm—40 Years and Counting : Introduction and Impact. *Organization Science*, 18(3) :337–349.
- Argyris, C. and Schon, D. A. (1974). *Theory in practice : Increasing professional effectiveness*. Jossey-Bass.

- Arvey, R. D., Bouchard, T. J., Segal, N. L., and Abraham, L. M. (1989). Job satisfaction : Environmental and genetic components. *74(2)* :187–192.
- Askenazy, P. (2004). *Les désordres du travail : Enquête sur le nouveau productivisme*. Seuil.
- Axelrod, R. (1997). Advancing the art of simulation in the social sciences. In *Simulating social phenomena*, pages 21–40. Springer.
- Axtell, R. (2013). *Team Dynamics and the Empirical Structure of US Firms*. Working Paper of the Department of Computational Social Science, George Mason University, Fairfax.
- Baard, P. P., Deci, E. L., and Ryan, R. M. (2006). Intrinsic Need Satisfaction : A Motivational Basis of Performance and Well-Being in Two Work Settings. *Journal of Applied Social Psychology*, *34(10)* :2045–2068.
- Bachelard, G. (1993). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Vrin.
- Bakker, A. B. and Demerouti, E. (2007). The Job Demands-Resources model : state of the art. *Journal of Managerial Psychology*, *22(3)* :309–328.
- Bakker, A. B., Demerouti, E., and Verbeke, W. (2004). Using the job demands-resources model to predict burnout and performance. *Human resource management*, *43(1)* :83–104.
- Bandura, A. (2001). *Social Cognitive Theory : An Agentic Perspective*. *Annual Review of Psychology*, Vol. 52.
- Baret, C., Huault, I., and Picq, T. (2006). *Management et réseaux sociaux. Jeux d'ombres et de lumières sur les organisations*. *Revue française de gestion*, *32(163)* :93–106.
- Baudelot, C. and Gollac, M. (2003). *Travailler pour être heureux : le bonheur et le travail en France*. Fayard.
- Belem, M., Manlay, R. J., Müller, J.-P., and Chotte, J.-L. (2011). Catmas : A multi-agent model for simulating the dynamics of carbon resources of west african villages. *Ecological Modelling*, *222(20–22)* :3651 – 3661.
- Berthelot, J.-M. (2001). *Epistémologie des sciences sociales*. Presses universitaires de France.
- Bono, J. E. and Judge, T. A. (2003). Core self-evaluations : a review of the trait and its role in job satisfaction and job performance. *European Journal of Personality*, *17(S1)* :5–18.
- Borgatti, S. P. and Foster, P. C. (2003). The Network Paradigm in Organizational Research : A Review and Typology. *Journal of Management*, *29(6)* :991–1013.

- Boudon, R. (2003). *Raison, Bonnes Raisons*. Presses Universitaires de France - Puf.
- Brass, D.J. (2011). A social network perspective on industrial/organizational psychology. *Handbook of industrial and organizational psychology*.
- Bressy, G. and Konkuyt, C. (2008). *Management et économie des entreprises*. Dalloz-Sirey.
- Brief, A. P., Butcher, A. H., and Roberson, L. (1995). Cookies, Disposition, and Job Attitudes : The Effects of Positive Mood-Inducing Events and Negative Affectivity on Job Satisfaction in a Field Experiment. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 62(1) :55–62.
- Brief, A. P. and Weiss, H. M. (2002). Organizational behavior : affect in the workplace. *Annual Review of Psychology*, 53 :279–307.
- Brown, D. J., Ferris, L. D., Heller, D., and Keeping, L. M. (2007). Antecedents and Consequences of the Frequency of Upward and Downward Social Comparisons at Work. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 102(1) :59–75.
- Brush, D. H., Moch, M. K., and Pooyan, A. (1987). Individual demographic differences and job satisfaction. *Journal of Organizational Behavior*, 8(2) :139–155.
- Burt, R. S. (1992). *Structural holes : The social structure of competition*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Busemeyer, J. R. and Diederich, A. (2010). *Cognitive Modeling*. Sage.
- Buunk, A. P., Carmona, C., Peiro, J. M., Dijkstra, A., and Dijkstra, P. (2011). Social Comparison at Work : The Role of Culture, Type of Organization and Gender. *Cross-Cultural Communication*, 7(2).
- Buunk, A. P. and Gibbons, F. X. (2005). Social comparison orientation : a new perspective on those who do and those who don't compare with others. In *Social Comparison and Social Psychology*. Cambridge University Press.
- Buunk, A. P. and Gibbons, F. X. (2007). Social comparison : The end of a theory and the emergence of a field. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 102(1) :3–21.
- Büssing, A. and BIssels, T. (1998). Different forms of work satisfaction : Concept and qualitative research. *European Psychologist*, 3(3) :209–218.
- Carley, K. M. and Gasser, L. (1999). Computational organization theory. *Multiagent systems : A modern approach to distributed artificial intelligence*, pages 299–330.

- Carley, K. M., Kjaer-Hansen, J., Prietula, M., and Newell, A. (1992). SOAR_computorgacogmodel.pdf. In *Distributed Intelligence : Application in Human Organizations*, pages 87 – 118. Amsterdam, elsevier science publication edition.
- Carlsson, C. and Fuller, R. (2012). *Fuzzy reasoning in decision making and optimization*, volume 82. Physica.
- Castel, D., Durand-Delvigne, A., and Lemoine, C. (2011). Équivalence échelle composite et échelle globale dans la mesure de la satisfaction au travail. *Psychologie du travail et des organisations*, 17(1) :73–84.
- Chang, M.-H. and Harrington, J. E. J. (2006). *Agent-Based Models of Organizations*. In *Handbook of computational economics : agent-based computational economics*, volume 2. North Holland, kenneth l. judd and leigh tesfatsion edition.
- Chapuis, K. and Kant, J.-D. (2014a). Computing Job Satisfaction from social comparisons : an agent-based approach. In *Social Simulation Conference 2014 - 10th European Social Simulation Association Conference*, Barcelona.
- Chapuis, K. and Kant, J.-D. (2014b). A Multi-Agent Simulation to Study the Impact of Cognitive Profiles on Job Satisfaction. In *Proceedings of the 5th. World Congress on Social Simulation*, Sao Paulo.
- Chattoe-Brown, E. (2014). Using Agent Based Modelling to Integrate Data on Attitude Change. *Sociological Research Online*, 19(1) :16.
- Clancey, W. J. (2002). Simulating activities : Relating motives, deliberation, and attentive coordination. *Cognitive Systems Research*, 3(3) :471–499.
- Clark, A. (1998). *What Makes a Good Job ? : Evidence from OECD Countries*. Ottawa, Ontario. LEO-CRESEP.
- Clark, A. (2010). *Work, Jobs and Well-Being Across the Millennium*. In *International Differences in Well-Being*. Oxford University Press, Oxford.
- Clark, A., Oswald, A., and Warr, P. (1996). Is job satisfaction U-shaped in age ? *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 69(1) :57–81.
- Clark, A. and Senik, C. (2009). *Who Compares to Whom ? The Anatomy of Income Comparisons in Europe*. Discussion Paper Series - IZA, (No. 4414).
- Clark, A. E. (1997). Job satisfaction and gender : Why are women so happy at work ? *Labour Economics*, 4(4) :341–372.

- Clark, A. E. (2001). What really matters in a job ? Hedonic measurement using quit data. *Labour Economics*, 8(2) :223–242.
- Clark, A. E., Mavromaras, K. G., and Wei, Z. (2014). Happy to stay : job satisfaction and retirement.
- Clark, A. E. and Oswald, A. J. (1996). Satisfaction and comparison income. *Journal of Public Economics*, 61(3) :359–381.
- Cohen, M. D., March, J. G., and Olsen, J. P. (1972). A Garbage Can Model of Organizational Choice. *Administrative Science Quarterly*, 17(1) :1.
- Collins, R. L. (1996). For better or worse : The impact of upward social comparison on self-evaluations. *Psychological Bulletin*, 119(1) :51–69.
- Colquitt, J., Conlon, D., Wesson, M., Porter, C., and Yee Ng, K. (2001). Justice at the millennium : A meta-analytic review of 25 years of organizational justice research. *Journal of applied psychology*, 86(3) :425.
- Conte, R., Andrighetto, G., Campenni, M., and Paolucci, M. (2007). Emergent and immergent effects in complex social systems. In *Proceedings of Aaai symposium, social and organizational aspects of intelligence*, pages 8–11.
- Conte, R., Edmonds, B., Moss, S., and Sawyer, R. K. (2001). Sociology and Social Theory in Agent Based Social Simulation : A Symposium. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 7(3) :183–205.
- Corcoran, K., Crusius, J., and Mussweiler, T. (2011). Social comparison : Motives, standards, and mechanisms. *Theories in social psychology*, pages 119–139.
- Cowan, R., Jonard, N., and Weehuizen, R. (2013). *Organizations and emotions : design, contagion and performance*. Reykjavik University, Iceland.
- Crozier, M. and Friedberg, E. (1977). *L'acteur et le système : les contraintes de l'action collective*. Sociologie politique. Éditions du Seuil.
- Cummins, R. A., Lau, A. L. D., and Davern, M. T. (2012). Subjective Wellbeing Homeostasis. In Land, K. C., Michalos, A. C., and Sirgy, M. J., editors, *Handbook of Social Indicators and Quality of Life Research*, pages 79–98. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Davidsson, P. (2002). Agent Based Social Simulation : A Computer Science View. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol.5(N°1).

- Davoine, L. (2006). Les déterminants de la satisfaction au travail en europe : l'importance du contexte.
- Davoine, L. (2012). Economie du bonheur. Editions La Découverte.
- de Jonge, J., Spoor, E., Sonnentag, S., Dormann, C., and van den Tooren, M. (2011). "take a break" off-job recovery, job demands, and job resources as predictors of health, active learning, and creativity. *21(3)* :321–348.
- Deci, E. L. and Ryan, R. M. (1985). Self-Determination. Wiley Online Library.
- Deci, E. L. and Ryan, R. M. (2000). The "What" and "Why" of Goal Pursuits : Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry, 11(4)* :227–268.
- Deffuant, G., Amblard, F., Duboz, R., and Ramat, E. (2003). Une démarche expérimentale pour la simulation individus-centrée. Actes des 10èmes Journées de Rochebrune, rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, statut épistémologique de la simulation, pages 45–64.
- Deffuant, G., Amblard, F., Weisbuch, G., and Faure, T. (2002). How can extremism prevail ? a study based on the relative agreement interaction model. *5(4)*.
- Deffuant, G., Banos, A., Chavalarias, D., Bertelle, C., Brodu, N., Jensen, P., Lesne, A., Muller, J.-P., Perrier, M., and Varenne, F. (2015). Visions de la complexité. Le démon de Laplace dans tous ses états. *Natures Sciences Sociétés, 23(1)* :42–53.
- Deffuant, G., Huet, S., and Amblard, F. (2005). An individual-based model of innovation diffusion mixing social value and individual benefit1. *American Journal of Sociology, 110(4)* :1041–1069.
- Deffuant, G., Neau, D., Amblard, F., and Weisbuch, G. (2000). Mixing beliefs among interacting agents. *Advances in Complex Systems, 03(01n04)* :87–98.
- Demerouti, E., Bakker, A. B., Geurts, S. A., and Taris, T. W. (2009). Daily recovery from work-related effort during non-work time. In *Current Perspectives on Job-Stress Recovery, volume 7 of Research in Occupational Stress and Well-being*, pages 85–123. Emerald Group Publishing Limited.
- Demerouti, E., Bakker, A. B., Nachreiner, F., and Schaufeli, W. B. (2001). The job demands-resources model of burnout. *The Journal of Applied Psychology, 86(3)* :499–512.
- Demerouti, E., Bakker, A. B., Sonnentag, S., and Fullagar, C. J. (2012). Work-related flow and energy at work and at home : A study on the role of daily recovery : FLOW, ENERGY, AND RECOVERY. *Journal of Organizational Behavior, 33(2)* :276–295.

- Dépelteau, F. (2000). La démarche d'une recherche en sciences humaines : de la question de départ à la communication des résultats. De Boeck Supérieur.
- Dessalles, J., Müller, J., and Phan, D. (2007). Emergence in multi-agent systems : conceptual and methodological issues. In Amblard, F. and Phan, D., editors, *Multi-Agent Models and Simulation for Social and Human Sciences*. The Bardwell-Press, Oxford.
- Diener, E., Lucas, R. E., and Scollon, C. N. (2006). Beyond the hedonic treadmill : Revising the adaptation theory of well-being. *American Psychologist*, 61(4) :305–314.
- Diener, E., Suh, E. M., Lucas, R. E., and Smith, H. L. (1999). Subjective well-being : Three decades of progress. *Psychological Bulletin*, 125(2) :276–302.
- Diener, E., Wirtz, D., and Oishi, S. (2001). End effects of rated life quality : the James Dean Effect. *Psychological science*, 12(2) :124–128.
- Dolbier, C. L., Webster, J. A., McCalister, K. T., Mallon, M. W., and Steinhardt, M. A. (2005). Reliability and validity of a single-item measure of job satisfaction. *American Journal of Health Promotion*, 19(3) :194–198.
- Eagly, A. H. and Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Easterlin, R. (1974). Does Economic Growth Improve the Human Lot ? Some Empirical Evidence. *Nations and households in economic growth*, (1) :88 à 125.
- Easterlin, R. A. (2006). Building a Better theory of Well-Being. In *Economics and Happiness : Framing the Analysis*. Oxford University Press, luigino bruni and pierluigi porta edition.
- Edmonds, B. and Moss, S. (2005). *From Kiss to Kids—an 'anti-simplistic' modelling approach*. Springer.
- Epstein, J. M. (1999). Agent-based computational models and generative social science. *Generative Social Science : Studies in Agent-Based Computational Modeling*, 4(5) :4–46.
- Epstein, J. M. and Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies : Social Science from the Bottom Up*. The Mit Press.
- Ferber, J. (1997). *Les Systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective*. Dunod.
- Ferber, J., Stratulat, T., and Tranier, J. (2009). Towards an integral approach of organizations in multi-agent systems : the MASQ approach. *Multi-agent Systems : Semantics and Dynamics of Organizational Models*.

- Fernandez-Duque, D. and Johnson, M. L. (1999). Attention metaphors : How metaphors guide the cognitive psychology of attention. *Cognitive Science*, 23(1) :83–116.
- Fila, M. J., Paik, L. S., Griffeth, R. W., and Allen, D. (2014). Disaggregating Job Satisfaction : Effects of Perceived Demands, Control, and Support. *Journal of Business and Psychology*, pages 1–11.
- Fioretti, G. and Lomi, A. (2008). An agent-based representation of the garbage can model of organizational choice. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(1) :1.
- Fioretti, G. and Lomi, A. (2010). Passing the buck in the garbage can model of organizational choice. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 16(2) :113–143.
- Fisher, C. D. (2000). Mood and emotions while working : missing pieces of job satisfaction ? *Journal of Organizational Behavior*, 21(2) :185–202.
- Fisher, C. D. (2010). Happiness at Work. *International Journal of Management Reviews*, 12(4) :384 – 412.
- Freudenberger, H. J. (1974). Staff burn-out. *Journal of social issues*, 30(1) :159–165.
- Frigg, R. and Reiss, J. (2008). The philosophy of simulation : hot new issues or same old stew ? *Synthese*, 169(3) :593–613.
- Furnham, A., Petrides, K., Jackson, C. J., and Cotter, T. (2002). Do personality factors predict job satisfaction ? *Personality and Individual Differences*, 33(8) :1325–1342.
- Garcia-Prieto, P., Tran, V., and Wranik, T. (2005). Les théories de l'évaluation cognitive et de la différenciation des émotions : une clé pour comprendre le vécu émotionnel au travail ? In *Le comportement organisationnel*, page 165 à 189. De Boeck, Bruxelles.
- Gibbons, R. and Roberts, J. (2013). *The Handbook of Organizational Economics*. Princeton University Press.
- Gilbert, N. (1995). Emergence in social simulation. *Artificial Societies : The computer simulation of social life*, pages 144–156.
- Gilbert, N. (2004). Agent-based social simulation : dealing with complexity. *The Complex Systems Network of Excellence*, 9(25) :1–14.
- Gilbert, N. and Ahrweiler, P. (2009). The Epistemologies of Social Simulation Research. In Squazzoni, F., editor, *Epistemological Aspects of Computer Simulation in the Social Sciences*, number 5466 in *Lecture Notes in Computer Science*, pages 12–28. Springer Berlin Heidelberg.

- Gilbert, N. and Conte, R., editors (1995). *Artificial Societies : The Computer Simulation Of Social Life*. Routledge, first edition edition edition.
- Gollac, M. and Volkoff, S. (2007). *Les conditions de travail*. Number 301 in *Repères, Série sociologie*. La Découverte, Paris.
- Goodman, P. S. and Haisley, E. (2007). *Social comparison processes in an organizational context : New directions*. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 102(1) :109–125.
- Grabisch, M. and Perny, P. (2003). *Agrégation multicritère. Utilisations de la logique floue*. Hermes.
- Granovetter, M. (1973). *The Strength of Weak Ties*. *The American Journal of Sociology*, 78(6) :1360–1380.
- Granovetter, M. (1985). *Economic Action and Social Structure : The Problem of Embeddedness*. *American Journal of Sociology*, pages 481–510.
- Greenberg, J., Ashton-James, C. E., and Ashkanasy, N. M. (2007). *Social comparison processes in organizations*. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 102(1) :22–41.
- Gross, N. (2009). *A Pragmatist Theory of Social Mechanisms*. *American Sociological Review*, 74 :358–379.
- Hackman, J. R. and Lawler, E. E. (1971). *Employee reactions to job characteristics*. *Journal of Applied Psychology*, 55(3) :259–286.
- Hackman, J. R. and Oldham, G. R. (1975). *Development of the job diagnostic survey*. *Journal of Applied psychology*, 60(2) :159.
- Hackman, J. R. and Oldham, G. R. (1976). *Motivation through the design of work : Test of a theory*. *Organizational behavior and human performance*, 16(2) :250–279.
- Hansen, N. (2006). *The cma evolution strategy : a comparing review*. In *Towards a new evolutionary computation*, pages 75–102. Springer.
- Hansen, N. and Kern, S. (2004). *Evaluating the cma evolution strategy on multimodal test functions*. In *Parallel problem solving from nature-PPSN VIII*, pages 282–291. Springer.
- Hansen, N., Müller, S. D., and Koumoutsakos, P. (2003). *Reducing the time complexity of the derandomized evolution strategy with covariance matrix adaptation (cma-es)*. *Evolutionary Computation*, 11(1) :1–18.

- Harrison, D., Newman, D., and Roth, P. (2006). How Important are Job Attitudes ? Meta-Analytic Comparisons of Integrative Behavioral Outcomes and Tims Sequences. *Academy of Management Journal*, 49(2) :305–325.
- Harrison, J. R., Lin, Z., Carroll, G. R., and Carley, K. M. (2007). Simulation modeling in organizational and management research. *Academy of Management Review*, 32(4) :1229–1245.
- Hassan, S., Antunes, L., Pavon, J., and Gilbert, G. N. (2008). Stepping on Earth : A Roadmap for Data-driven Agent-Based Modelling. In *Proceedings of the 5th Conference of the European Social Simulation Association (ESSA08)*.
- Hedström, P. (2005). *Dissecting the social : on the principles of analytical sociology*. Cambridge University Press.
- Hedström, P. and Manzo, G. (2015). Recent Trends in Agent-based Computational Research A Brief Introduction. *Sociological Methods & Research*, 44(2) :179–185.
- Hegselmann, R. and Krause, U. (2002). Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis, and simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5(3).
- Herzberg, F., Mausner, B., and Snyderman, B. B. (1959). *The Motivation to Work*. Transaction Publishers.
- Hobfoll, S. E. (1989). Conservation of resources. A new attempt at conceptualizing stress. *The American Psychologist*, 44(3) :513–524.
- Hodson, R. (1985). Workers' comparisons and job satisfaction. *Social Science Quarterly*, 66(2) :266–280.
- Hodson, R. (1989). Gender differences in job satisfaction : Why aren't women more dissatisfied ? *The Sociological Quarterly*, 30(3) :pp. 385–399.
- Hoppock, R. (1935). *Job satisfaction*. Harper.
- Horling, B. and Lesser, V. (2004). A survey of multi-agent organizational paradigms. 19(4) :281–316.
- Hulin, C. (1991). Adaptation, persistence, and commitment in organizations. In M. D. Dunnette L. M. Hough, editor, *Handbook of industrial and organizational psychology*, Vol. 2 (2nd ed.), pages 445–505. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, CA, US.
- Hulin, C. L. and Judge, T. A. (2003). Job attitudes. In Borman, W. C., Ilgen, D. R., and Klimoski, R. J., editors, *Handbook of psychology : Industrial and organizational psychology*, Vol. 12, pages 255–276. John Wiley & Sons Inc, Hoboken, NJ, US.

- Häusser, J. A., Mojzisch, A., Niesel, M., and Schulz-Hardt, S. (2010). Ten years on : A review of recent research on the Job Demand–Control (-Support) model and psychological well-being. *Work & Stress*, 24(1) :1–35.
- Iglesias, K., Renaud, O., and Tschan, F. (2010). La satisfaction au travail. *Revue internationale de Psychosociologie*, XVI(40) :245.
- Ilggen, D. R. and Hulin, C. L. (2000). *Computational Modeling of Behavior in Organizations : The Third Scientific Discipline*. American Psychological Association.
- Ilies, R. and Judge, T. A. (2002). Understanding the dynamic relationships among personality, mood, and job satisfaction : A field experience sampling study. *Organizational behavior and human decision processes*, 89(2) :1119–1139.
- Jackson, C. J. and Corr, P. J. (2002). Global job satisfaction and facet description : The moderating role of facet importance. *European Journal of Psychological Assessment*, 18(1) :1–8.
- Jackson, M. O. (2007). The study of social networks in economics. chapter in “The Missing Links : Formation and Decay of Economic Networks”, edited by James E. Rauch.
- Jensen, M. C. and Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm : Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of financial economics*, 3(4) :305–360.
- Jex, S. M. and Britt, T. W. (2008). *Organizational Psychology : A Scientist-Practitioner Approach*. John Wiley & Sons.
- Jin, Y. and Levitt, R. E. (1996). The virtual design team : A computational model of project organizations. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 2(3) :171–195.
- Judge, T. and Watanabe, S. (1993). Another look at the job satisfaction-life satisfaction relationship. *Journal of Applied Psychology*, 78(6) :939.
- Judge, T. A., Heller, D., and Klinger, R. (2008). The Dispositional Sources of Job Satisfaction : A Comparative Test. *Applied Psychology*, 57, 57(3, 3) :361, 361–372, 372.
- Judge, T. A., Heller, D., and Mount, M. K. (2002). Five-factor model of personality and job satisfaction : a meta-analysis. *The Journal of Applied Psychology*, 87(3) :530–541.
- Judge, T. A., Hulin, C. L., and Dalal, R. S. (2012). Job Satisfaction and Job Affetc. In *The Oxford Handbook of Industrial and Organizational Psychology*. Oxford University Press, New York, s.w.j. kozlowski edition.

- Judge, T. A. and Kammeyer-Mueller, J. D. (2012). Job Attitudes. *Annual Review of Psychology*, 63 :341–367.
- Judge, T. A. and Klinger, R. (2008). Job Satisfaction and Subjective Well-Being at Work. In EID, M. and LARSEN, R. J., editors, *The Science of Subjective Well-Being*, page 546. Guilford Press.
- Judge, T. A., Locke, E. A., Durham, C. C., and Kluger, A. N. (1998). Dispositional effects on job and life satisfaction : the role of core evaluations. *Journal of applied psychology*, 83(1) :17.
- Judge, T. A., Thoresen, C. J., Bono, J. E., and Patton, G. K. (2001). The job satisfaction-job performance relationship : A qualitative and quantitative review. *Psychological Bulletin*, 127(3) :376–407.
- Jureta, I. and Faulkner, S. (2005). An agent-oriented meta-model for enterprise modelling. In *Proceedings of the 24th international conference on Perspectives in Conceptual Modeling, ER'05*, pages 151–161, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
- Kahneman, D. (2000). Evaluation by Moments : Past and future. In Kahneman, D. and Tversky, A., editors, *Choices, Values and frames*. Cambridge University Press, New York.
- Kahneman, D., Tversky, A., et al. (2003). Experienced utility and objective happiness : A moment-based approach. *The psychology of economic decisions*, 1 :187–208.
- Kahneman, D., Wakker, P., and Sarin, R. (1997). Back to Bentham ? Explorations of experienced utility. *The Quarterly Journal of Economics*, 112(2) :375.
- Kant, J.-D. (1999). Modelling human cognition with artificial systems : some methodological considerations. In Lenca, P., editor, *HCP (Human Centered Processes)*, pages 501–508.
- Kant, J.-D. (2012). Apports des mathématiques et de l'informatique pour la modélisation en sciences humaines et sociales. *Mathématiques et sciences humaines*, (197) :47–64.
- Karasek, R. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain : Implications for job redesign. *Administrative science quarterly*, pages 285–308.
- Karasek, R., Brisson, C., Kawakami, N., Houtman, I., Bongers, P., and Amick, B. (1998). The Job Content Questionnaire (JCQ) : an instrument for internationally comparative assessments of psychosocial job characteristics. *Journal of occupational health psychology*, 3(4) :322.
- Kauffman, S. and Levin, S. (1987). Towards a general theory of adaptive walks on rugged landscapes. *Journal of theoretical Biology*, 128(1) :11–45.

- Kemmelmeier, M. and Oyserman, D. (2001). The ups and downs of thinking about a successful other : self-construals and the consequences of social comparisons. *European Journal of Social Psychology*, 31(3) :311–320.
- Kim-Prieto, C., Diener, E., Tamir, M., and Scollon, C. N. (2005). Integrating the Diverse Definitions of Happiness : A Time-Sequential Framework of Subjective Well-Being. *Journal of Happiness Studies*, pages 261 – 300.
- Kinnunzn, U., feldt, T., Siltaloppi, M., and Sonnentag, S. (2011). Job demands–resources model in the context of recovery : Testing recovery experiences as mediators. 20(6) :805–832.
- Knuuttila, T. (2005). Models, Representation, and Mediation. *Philosophy of Science*, 72(5) :1260–1271.
- Knuuttila, T., Mattila, E., and Merz, M. (2006). Computer Models and Simulations in Scientific Practice. *Science Studies*, Vol.19(N°1).
- Koubarakis, M. and Plexousakis, D. (2002). A formal framework for business process modelling and design. *Information Systems*, 27(5) :299 – 319.
- Lallemand, M. (2007). *Le travail. Une sociologie contemporaine*. Folio.
- Larguem, M. (2009). *Satisfaction dans l'emploi et bonheur : Une analyse microéconométrique sur données européennes*. PhD thesis, Université Paris II - Panthéon ASSAS, Paris.
- Lawler, E. E. (1969). 3. job design and employee motivation. *Personnel Psychology*, 22(4) :426–435.
- Lawler, E. E. (1971). *Pay and organizational effectiveness : a psychological view*. McGraw-Hill.
- Le Moigne, J. L. (1998). *Modéliser et comprendre les comportements socio-économiques*. Psychologie économique, théorie et applications, Paris, Francia : Editions Economica.
- Levy-Garboua, L. and Montmarquette, C. (2004). Reported job satisfaction : what does it mean ? *Journal of Socio-Economics*, 33(2) :135–151.
- Levy-Garboua, L., Montmarquette, C., and Simonnet, V. (2007). Job satisfaction and quits. *Labour Economics*, 14(2) :251–268.
- Linhart, D. (2004). *La modernisation des entreprises*. La Découverte, nouv. éd edition.
- Locke, E. A. (1969). What is job satisfaction ? *Organizational Behavior and Human Performance*, 4(4) :309 – 336.

- Locke, E. A. (1976). The nature and causes of job satisfaction. In *Handbook of Industrial and organizational psychology*, page 1319 à 1328. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, Dunnette, M. D. ; Hough, L. M. edition.
- Lomi, A. and Harrison, J. R. (2012). The Garbage Can Model of Organizational Choice : Looking Forward at Forty. *Research in the Sociology of Organizations*, 36 :3–17.
- Lourel, M., Gueguen, N., and Mouda, F. (2007). L'évaluation du burnout de pines : adaptation et validation en version française de l'instrument burnout measure short version (bms-10). *Pratiques psychologiques*, 13(3) :353–364.
- Lykken, D. and Tellegen, A. (1996). Happiness Is a Stochastic Phenomenon. *Psychological Science*, 7(3) :186–189.
- Macy, M. W. and Willer, R. (2002). From Factors to Factors : Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 28(1) :143–166.
- Mailliard, M. (2008). Formalisation multi-Agents de la Sociologie de l'Action Organisée. PhD thesis, Université des Sciences Sociales-Toulouse I.
- Majdan, M. and Ogryczak, W. (2012). Determining owa operator weights by mean absolute deviation minimization. In *Artificial Intelligence and Soft Computing*, pages 283–291. Springer.
- Manzo, G. (2007). Progrès et "urgence" de la modélisation en sociologie. Du concept de "modèle générateur" et de sa mise en oeuvre. *L'Année sociologique*, 57(1) :p. 13 à 61.
- Manzo, G. (2014). Potentialités et limites de la simulation multi-agents : une introduction. *Revue française de sociologie*, Vol. 55(4) :653–688.
- March, J. G. and Cyert, R. (1992). *Behavioral Theory of the Firm*. Wiley.
- Marchionni, C. and Ylikoski, P. (2013). Generative Explanation and Individualism in Agent-Based Simulation. *Philosophy of the Social Sciences*, 43(3) :323–340.
- Maslach, C. and Jackson, S. E. (2013). A social psychological analysis. *Social psychology of health and illness*, 227.
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4) :370–396.
- Matulevicius, R. and Heymans, P. (2005). Analysis of KAOS Meta-model. Technical Report, Computer Science Department, Namur University.
- Meda, D. (2010). *Le travail. Que sais-je ?* Presses universitaires de France, Paris.

- Meijaman, T. F. and Mulder, G. (1998). Psychological aspects of workload. In *Handbook of Work and Organizational Psychology : Work psychology*, page 324. Psychology Press.
- Merz, M. (2006). Locating the dry lab on the lab map. In *Simulation*, volume 25 of *Sociology of the Sciences Yearbook*, pages 155–172. Springer Netherlands.
- Michalos, A. C. (1985). Multiple Discrepancies Theory (MDT). *Social Indicators Research*, 16(4) :347–413.
- Mignonac, K. (2004). *Que mesure-t-on réellement lorsque l'on invoque le concept de satisfaction au travail ?* Montréal, CANADA. Eska, Paris.
- Miller, J. H. (2001). *Evolving information processing organizations*. Dynamics of Organizations, MIT Press, Menlo Park, Ca.
- Mintzberg, H. (1982). *Structure et dynamique des organisations*. Editions d'Organisation.
- Monod, J. (2014). *Le hasard et la nécessité : Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*. Points, Paris.
- Morgan, M. S. and Morrison, M. (1999). *Models as Mediators : Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge University Press.
- Morin, E. (1977). *La méthode*. Tome 1, *La nature de la nature*. Ed. du Seuil, Paris.
- Morin, E. (1980). *La méthode*. Tome 2, *Vie de la vie*. Éd. du Seuil, Paris.
- Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Esf.
- Murphy, G., Athanasou, J., and King, N. (2002). Job satisfaction and organizational citizenship behaviour : A study of Australian human-service professionals. *Journal of Managerial Psychology*, 17(4) :287–297.
- Mussweiler, T. (2001). 'Seek and ye shall find' : antecedents of assimilation and contrast in social comparison. *European Journal of Social Psychology*, 31(5) :499–509.
- Mussweiler, T. (2003). Comparison processes in social judgment : mechanisms and consequences. *Psychological review*, 110(3) :472.
- Mussweiler, T., Ruter, K., and Epstude, K. (2004). The ups and downs of social comparison : Mechanisms of assimilation and contrast. *Journal of personality and social psychology*, 87 :832–844.

- Mussweiler, T. and Strack, F. (1999). Hypothesis-consistent testing and semantic priming in the anchoring paradigm : A selective accessibility model. *Journal of Experimental Social Psychology*, 35(2) :136–164.
- Niedhammer, I., Ganem, V., Gendrey, L., David, S., and Degioanni, S. (2006). Propriétés psychométriques de la version française des échelles de la demande psychologique, de la latitude décisionnelle et du soutien social du «job content questionnaire» de karasek : résultats de l'enquête nationale sumer.
- Ostrom, E. (2000). Collective Action and the Evolution of Social Norms. *The Journal of Economic Perspectives*, 14(3) :137–158.
- O'Sullivan, D. and Haklay, M. (2000). Agent-based models and individualism : is the world agent-based ? *Environ Plann A*, 32(8) :1409–1425.
- Philippon, T. (2007). *Le Capitalisme d'héritiers : La crise française du travail*. Seuil.
- Poggi, A. (2010). Job satisfaction, working conditions and aspirations. 31(6) :936–949.
- Prasad, M. V. N. and Chartier, D. A. (1999). Modeling Organizations Using Agent-Based Simulations. In *Workshop on Agent Simulation : Applications, Models, and Tools*, page 54.
- Prigogine, I. and Stengers, I. (1979). *La nouvelle alliance : métamorphose de la science*. Paris, Gallimard edition.
- Ramanath, A. M. and Gilbert, N. (2004). The Design of Participatory Agent-Based Social Simulations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 7(no. 4).
- Roethlisberger, F. J. and Dickson, W. J. (1939). *Management and the Worker*. Harvard University Press, Cambridge.
- Saari, L. M. and Judge, T. A. (2004). Employee attitudes and job satisfaction. *Human resource management*, 43(4) :395–407.
- Salancik, G. and Pfeffer, J. (1977). An examination of need-satisfaction models of job attitudes. *Administrative science quarterly*, pages 427–456.
- Salancik, G. R. and Pfeffer, J. (1978). A social information processing approach to job attitudes and task design. *Administrative science quarterly*, pages 224–253.
- Sanders, L. (2010). Les villes comme agents : simulation des futurs possibles du système urbain européen. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 5(2) :153.

- Schaufeli, W. and ilmar, B. (1996). *Professional Burnout : Recent Developments In Theory And Research*. CRC Press.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic models of segregation†. *Journal of mathematical sociology*, 1(2) :143–186.
- Senik, C. (2009). Direct evidence on income comparisons and their welfare effects. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 72(1) :408–424.
- Shah, P. P. (1998). Who are Employees' Social Referents ? Using a Network Perspective to Determine Referent Others. *Academy of Management Journal*, 41(3) :249–268.
- Shapin, S. (1989). *Leviathan and the Air-pump : Hobbes, Boyle and the Experimentale Life*. Princeton University Press.
- Sherbourne, C. D. and Stewart, A. L. (1991). The mos social support survey. *Social science & medicine*, 32(6) :705–714.
- Sibertin-Blanc, C. (2010). Modèles formels pour la reproduction des simulations à base d'agents. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 5(2) :135.
- Sibertin-Blanc, C., Amblard, F., and Mailliard, M. (2005). Un cadre d'interaction fondé sur la Sociologie de l'Action Organisée. *Relation*, 1(1) :1.
- Sibertin-Blanc, C., Roggero, P., Adreit, F., Baldet, B., Chapron, P., El-Gemayel, J., Mailliard, M., and Sandri, S. (2013). Soclab : A framework for the modeling, simulation and analysis of power in social organizations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 16(4) :8.
- Siebers, P. O. (2006). Worker performance modeling in manufacturing systems simulation : proposal for an agent-based approach. *Rennard, JP Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economics and Management*. Hershey, PA : Idea Group Publishing.
- Siegrist, J. (1996). Adverse health effects of high-effort/low-reward conditions. 1(1) :27.
- Sierhuis, M., Clancey, W. J., and Van Hoof, R. J. (2007). Brahms : a multi-agent modelling environment for simulating work processes and practices. 3(3) :134–152.
- Simon, H. (1972). Theories of bounded rationality. In McGuire, C. and Radner, R., editors, *Decision and Organization*.
- Skalli, A., Theodossiou, I., and Vasileiou, E. (2008). Jobs as Lancaster goods : Facets of job satisfaction and overall job satisfaction. *Journal of Socio-Economics*, 37(5) :1906–1920.

- Smith, P. C., Kendall, L. M., and Hulin, C. L. (1969). The measurement of satisfaction in work and retirement : A strategy for the study of attitudes.
- Smith, R. H. (2000). Assimilative and contrastive emotional reactions to upward and downward social comparisons. *Handbook of social comparison : Theory and research*, pages 173–200.
- Sonnentag, S. and Bayer, U.-V. (2005). Switching off mentally : predictors and consequences of psychological detachment from work during off-job time. *Journal of occupational health psychology*, 10(4) :393.
- Sousa-Poza, A. and Sousa-Poza, A. (2000). Well-being at work : a cross-national analysis of the levels and determinants of job satisfaction. *Journal of Socio-economics*, 29(6) :517–538.
- Spector, P. E. (1985). Measurement of human service staff satisfaction : Development of the job satisfaction survey. *American journal of community psychology*, 13(6) :693–713.
- Spector, P. E. (1997). *Job satisfaction : application, assessment, cause, and consequences*. SAGE.
- Staw, B. M. and Cohen-Charash, Y. (2005). The dispositional approach to job satisfaction : more than a mirage, but not yet an oasis. *Journal of Organizational Behavior*, 26(1) :59–78.
- Staw, B. M. and Ross, J. (1985). Stability in the midst of change : A dispositional approach to job attitudes. *Journal of Applied Psychology*, 70(3) :469–480.
- Suls, J., Martin, R., and Wheeler, L. (2002). Social Comparison : Why, With Whom, and With What Effect ? *Current Directions in Psychological Science*, 11(5) :159–163.
- Suls, J. and Wheeler, L. (2012). Social Comparison Theory. In Lange, P. A. M. v., Kruglanski, A. W., and Higgins, E. T., editors, *Handbook of theories of social psychology*. London, Royaume-Uni.
- Tarvid, A. (2011). Job satisfaction modelling in agent-based simulations. In *The 23rd European Modeling & Simulation Symposium*, A. Bruzzone, MA Piera, F. Longo, P. Elfrey, M. Affenzeller, and O. Balci, Eds. Rende : DIPTTEM Università di Genova, pages 158–165.
- Tarvid, A. (2014). Job satisfaction as a unified mechanism for agent behaviour on a labour market with referral hiring. In *Social Simulation Conference*.
- Terna, P. (2003). *The quest for the enterprise : jES, a Java Enterprise Simulator*. Manuscript. Torino University.
- Theodossiou, I. and Zangelidis, A. (2009). Career prospects and tenure–job satisfaction profiles : Evidence from panel data. *The Journal of Socio-Economics*, 38(4) :648–657.

- Thompson, E. R. and Phua, F. T. T. (2012). A Brief Index of Affective Job Satisfaction. *Group & Organization Management*, 37(3) :275–307.
- Thoresen, C. J., Kaplan, S. A., Barsky, A. P., Warren, C. R., and de Chermont, K. (2003). The affective underpinnings of job perceptions and attitudes : a meta-analytic review and integration. In 17th Annual Conference of the Society for Industrial and Organizational Psychology, Toronto, ON, Canada ; An earlier version of this study was presented at the aforementioned conference., volume 129, page 914. American Psychological Association.
- Torra, V. (1997). The weighted OWA operator. *International Journal of Intelligent Systems*, 12(2) :153–166.
- Torra, V. (2000). The WOWA operator and the interpolation function W^* : Chen and Otto's interpolation method revisited. *Fuzzy Sets and Systems*, 113(3) :389–396.
- Troitzsch, K. G. (2012). Team Formation in the Garbage Can. In Lomi, A. and Harrison, J. R., editors, *The Garbage Can Model of Organizational Choice : Looking Forward at Forty*, volume 36, pages 229–252. Emerald Group Publishing Limited.
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty : Heuristics and biases. *science*, 185(4157) :1124–1131.
- Ugboro, I. O. (2006). Organizational commitment, job redesign, employee empowerment and intent to quit among survivors of restructuring and downsizing. In *Institute of Behavioral and Applied Management*, pages 232–257.
- Urbig, D. and Malitz, R. (2005). Dynamics of structured attitudes and opinions. In *Third Conference of the European Social Simulation Association*, pages 5–8.
- Urbig, D. and Malitz, R. (2007). Drifting to more extreme but balanced attitudes : Multidimensional attitudes and selective exposure. ESSA, Toulouse.
- Uzzi, B., Amaral, L., and Reed-Tsochas, F. (2007). Small-world networks and management science research : a review. *European Management Review*, 4(2) :77–91.
- Van Der Doef, M. and Maes, S. (1999). The Job Demand-Control (-Support) Model and psychological well-being : A review of 20 years of empirical research. *Work & Stress*, 13(2) :87–114.
- Van Praag, B. M. S. and Ferrer-i Carbonell, A. (2002). Life Satisfaction Differences between Workers and Non-Workers - The Value of Participation per se. Tinbergen Institute Discussion Paper 02-018/3, Tinbergen Institute.

- Van Praag, B. M. S. and Ferrer-i Carbonell, A. (2004). *Happiness quantified : a satisfaction calculus approach*. Oxford University Press.
- Van Saane, N., Sluiter, J. K., Verbeek, J. H. a. M., and Frings-Dresen, M. H. W. (2003). Reliability and validity of instruments measuring job satisfaction—a systematic review. *Occupational Medicine*, 53(3) :191–200.
- Vancouver, J. B. and Weinhardt, J. M. (2012). Modeling the Mind and the Milieu Computational Modeling for Micro-Level Organizational Researchers. *Organizational Research Methods*, 15(4) :602–623.
- Varenne, F. (2007). *Du Modèle à la Simulation Informatique*. Vrin.
- Varenne, F. (2011). *Modéliser le social - Méthodes fondatrices et évolutions récentes*. Dunod, Paris.
- Vecht, B. v. d., Dignum, F., Meyer, J.-J. C., and Dignum, V. (2009). Organizations and Autonomous Agents : Bottom-Up Dynamics of Coordination Mechanisms. In Hübner, J. F., Matson, E., Boissier, O., and Dignum, V., editors, *Coordination, Organizations, Institutions and Norms in Agent Systems IV*, number 5428 in *Lecture Notes in Computer Science*, pages 17–32. Springer Berlin Heidelberg.
- Veenhoven, R. (2008). Sociological Theories of Subjective Well-Being. In *The science of subjective well-being*. Guilford Press, michael eid ans randy j. larsen edition.
- Veenhoven, R. (2009). How do we assess how happy we are ? Tenets, implications and tenability of three theories. In *Happiness, economics and politics : Towards a multi-disciplinary approach*, pages 45–69. Edward Elger Publishers, Cheltenham UK, a.k.dutt & b.radcliff edition.
- Veenhoven, R. (2010). What we Know. In *The World Book of Happiness*, page 338 à 346. Leo borman edition.
- Wang, X. F. and Chen, G. (2003). Complex networks : small-world, scale-free and beyond. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 3(1) :6–20.
- Warr, P. (2012). Jobs and job-holders : Two sources of happiness and unhappiness. In *Oxford handbook of happiness*, Part VII. Oxford and New York : Oxford University Press.
- Warr, P. and Inceoglu, I. (2012). Job engagement, job satisfaction, and contrasting associations with person–job fit. *Journal of Occupational Health Psychology*, 17(2) :129.

BIBLIOGRAPHIE

- Warr, P. B. (1999). Well-being and the workplace. In *Well-being : The foundations of hedonic psychology.*, pages 392–412. Russell Sage Foundation, New York, NY, US.
- Warr, P. B. (2007). *Work, happiness, and unhappiness.* Routledge.
- Watts, D. J. and Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' network. *Nature*, 393(6684) :440–442.
- Weiss, D. J., Dawis, R. V., and England, G. W. (1967). *Manual for the minnesota satisfaction questionnaire.* Minnesota studies in vocational rehabilitation.
- Weiss, H. M. (2002). Deconstructing job satisfaction : Separating evaluations, beliefs and affective experiences. *Human Resource Management Review*, 12(2) :173–194.
- Weiss, H. M. and Beal, D. J. (2005). Reflections on affective events theory. 1 :1–21.
- Weiss, H. M. and Cropanzano, R. (1996). Affective events theory : A theoretical discussion of the structure, causes and consequences of affective experiences at work. *Research In Organizational Behavior*, 18(S 1) :1–74.
- Wheeler, L. and Suls, J. (2007). Assimilation in social comparison : Can we agree on what it is ? *Revue internationale de psychologie sociale*, (1) :31–51.
- Williamson, O. E. and Masten, S. (1999). The economics of transaction costs.
- Windrum, P., Fagiolo, G., and Moneta, A. (2007). Empirical validation of agent-based models : Alternatives and prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10(2) :8.
- Worrell, T. G. (2004). *School Psychologists' Job Satisfaction : Ten Years Later.* PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Wright, T. A. (2006). The emergence of job satisfaction in organizational behavior : A historical overview of the dawn of job attitude research. *Journal of Management History*, 12(3) :262–277.
- Yager, R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18(1) :183–190.
- Yager, R. R. (1994). Interpreting linguistically quantified propositions. *International Journal of Intelligent Systems*, 9(6) :541–569.
- Yager, R. R. and Lamata, M. T. (1997). OWA operators in decision making with uncertainty and nonnumeric payoffs. In Yager, R. R. and Kacprzyk, J., editors, *The Ordered Weighted Averaging Operators*, pages 123–138. Springer US. DOI : 10.1007/978-1-4615-6123-1_11.



Paramètres

Nous représentons ici tous les paramètres des deux modèles de simulation. Nous reportons systématiquement les symboles des paramètres accompagné de leur définition mathématique, leur valeur par défaut et d'une courte description.

A.1 Paramètres du modèle Happywork

Le tableau A.1.1 synthétise l'ensemble des paramètres du modèle de satisfaction.

$IS(a)$	$[q_{1a}, \dots, q_{na}]$	questionnaire	Vecteur de valeur des caractéristiques
$SF(Q)$	$\{q_{1sf}, \dots, q_{msf}\}$	$\subseteq IS(a)$	Ensemble de caractéristiques saillantes
β^S	$[0; 1]$	0	seuil de similarité entre caractéristique
σ^A		0.4	seuil d'assimilation
σ^D		0.8	seuil de disqualification
α^C		0.3	contraste résiduel
κ^A	\mathbb{N}^*	0	style d'agrégation des aspects abstraits
κ^R		0	style d'agrégation des référents sociaux
f	\mathbb{N}	8	fenêtre de mémorisation
r	$[0; 1]$	0.5	taux de décroissance de la mémoire
Γ^{Pc}	$\forall pc \in Pc \ \gamma^{pc} = [0; 1]$	$\{1/3, 1/3, 1/3\}$	pondération des processus
Γ^{Dim}	$\forall d \in Dim \ \gamma^d = [0; 1]$	$\{1/d_n, \dots, 1/d_n\}$	pondération des dimensions
RN^C	$[0; 1]$	0.2	proportion de référent occasionnel

Table A.1.1 : Récapitulatif des paramètres du modèle de satisfaction

A.2 Paramètres du modèle De-C GCM

Dans cette section nous revenons sur le paramètre du De-C GCM. Nous les avons classés en trois tableaux : le premier (A.2.1) affiche tous les paramètres nécessaires de la génération de matrices d'allocation, le second (A.2.2) ceux nécessaires à la définition de la gestion des problèmes par l'organisation et dans le dernier (A.2.3) ceux relatifs à l'activité des agents.

Matrice d'allocation			
\mathcal{T}_o	\mathbb{R}_+^*	1	$m = n * \mathcal{T}_o$
μ_τ	$[0; 1]$	$1/25$	moyenne de types par agent ($m * \mu_\tau$)
ν_τ	$[0; 5]$	1	variabilité du nombre de types par emploi (fonction inverse)
\mathcal{T}^{id}	$[0; 2]$	2	importance de l'indice de τ dans la probabilité d'allocation

Table A.2.1 : Récapitulatif des paramètres pour la génération de la matrice d'allocation

A.2. PARAMÈTRES DU MODÈLE DE-C GCM

gestion des problemes du GC			
GC^{max}	\mathbb{N}	500	capacité max du GC
\mathcal{P}^{id}	\mathbb{Q}_+	0	importance des responsabilités dans la génération de problèmes
ζ	\mathbb{Q}_+^*	128	prise en compte des responsabilités dans le partage de problème
Ep_0	\mathbb{N}^*	20	coût d'énergie horaire de base
d_{max}	\mathbb{Q}_+^*	4	temps nécessaire maximum de résolution ($\times 7$)

Table A.2.2 : Paramètres relatifs à la gestion des problèmes entrant dans l'organisation

Initialisation des agents organisationnelles			
Ew_0	\mathbb{N}^*	100	énergie initiale
λ^L	$]0 : 1]$	0.5	Ressources permettant de compenser l'effet de la charge
λ^R	$]0 : 1]$	0.5	Qualité de la récupération hors travail
ψ	\mathbb{R}_+^*	0.64	Sensibilité du potentiel à la charge accumulée
θ^R	$[0 : 1]$	0	Proportion d'énergie dépensé en routine
ρ	$[0; 1]$	$1/2$	Préférence ordonnancement des problèmes du bureau

Table A.2.3 : Paramètres des agents du modèle d'activité en organisation

B

Opérateurs d'agrégation

Dans cette annexe, nous décrivons les opérateurs d'agrégations que nous avons utilisé à différents niveaux de notre modèle de satisfaction. Nous nous sommes inspirés des travaux dans le domaine de l'agrégation multi-critères ¹. Notamment, notre choix s'est tourné vers les opérateurs OWA (Ordered Weighed Average) (Yager, 1988) et WOWA (Weighed OWA) Torra (1997).

B.1 l'opérateur OWA

Dans le cas d'une absence de pondération des critères à agréger, nous avons utilisé une simple OWA. De manière générale, l'agrégation s'opère sur un variable x sous la forme décrite dans l'équation B.1 Majdan and Ogryczak (2012) :

$$OWA_{w, x \in X}(F(x)) = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot F(x_{\sigma(i)})) \quad (\text{B.1})$$

Avec F une fonction qui s'applique aux valeurs de x dans l'ensemble $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ des valeurs à agréger de cardinalité n . Les valeurs $F(x_i)$ sont ordonnées en utilisant la fonction de permutation croissante σ de telle sorte que $F(x_{\sigma(1)}) \leq F(x_{\sigma(2)}) \leq \dots \leq F(x_{\sigma(n)})$. Les poids w_i sont nuls ou positifs et somme à 1. Pour calculer ces poids nous avons défini trois profils d'agrégation Carlsson and Fuller (2012) :

1. pour une synthèse, voir (Grabisch and Perny, 2003)

$$\begin{aligned} \text{Profil optimiste} \quad w_i &= \frac{1}{n} \\ \text{Profil optimiste} \quad w_i &= \left(\frac{i}{n}\right)^\kappa - \left(\frac{i-1}{n}\right)^\kappa \end{aligned} \tag{B.2}$$

$$\text{Profil pessimiste} \quad w_i = \left(\frac{n-i+1}{n}\right)^\kappa - \left(\frac{n-i}{n}\right)^\kappa \tag{B.3}$$

Le paramètre $\kappa \geq 1$ représente l'importance du profil dans l'agrégation des critères.

L'OWA ne pondère pas directement les caractéristiques mais associe des pondérations aux rangs dans la permutation σ . Concrètement, les poids w_i correspondent à la position d'une valeur dans l'ordonnancement des valeurs à agréger et traduit l'idée intuitive d'une agrégation floue **Yager (1988)**, tel que « le meilleurs », « parmi les plus faibles » ou encore « au pire. » De ce point de vue, les poids sont neutres quant à la nature des critères : il n'est pas nécessaire de faire d'hypothèses a priori sur le poids des caractéristiques à agréger. Néanmoins, la relation entre l'ordonnancement et le vecteur de poids nécessite d'être paramétré. Dans les images ci-dessous (B.1.1) on voit apparaître les poids pour des vecteurs arbitraires de cardinalité 10 : les images B.1.1a et B.1.1c représente les fonctions correspondant respectivement aux profils pessimiste et optimiste pour des valeur de $\kappa = \{2; 5; 10\}$; la figure B.1.1b représente le profil neutre $\kappa = 1$ qui correspond à une moyenne simple.

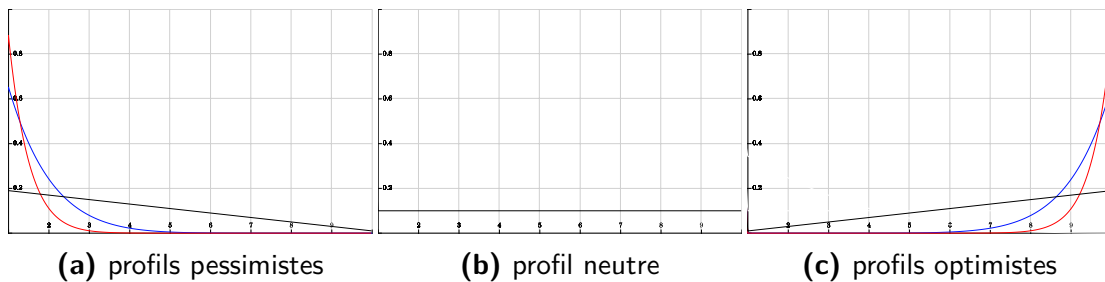


Figure B.1.1 : Fonction de calcul des poids w_i d'indice i pour $n = 10$ et $\kappa = \{2, 5, 10\}$

La conjonction des deux opérateurs (moyenne pondérée et moyenne pondérée ordonnée) se base sur l'interpolation d'une fonction ϕ qui permet de conjuguer la synthèse opérée par le profil de l'OWA tout en conservant la compensation propre aux pondérations sur les caractéristiques - $\phi(i/n) = \sum_{k=1}^i w_{n-k+1}$ où i/n correspond à $\sum_{k=i}^n p_{\sigma(k)}$, soit la somme des pondérations des indices supérieurs à i . Dans notre cas l'interpolation est polynomiale, en se basant sur les propositions de **Torra (2000)**.

B.2 l'opérateur WOWA

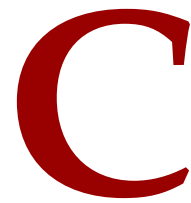
Lorsque les valeurs à agréger intègre une pondération sur les critères (e.g. préférence sur les caractéristiques de l'emploi) nous avons eu recours à l'opérateur WOWA qui est dans ce cas plus adaptée. Cet opérateur a été élaborée comme un raffinement du raisonnement de l'OWA en le combinant à une moyenne pondérée (Yager, 1988). Globalement, l'agrégation se fait à l'aide de deux vecteurs de poids : le premier représente la pondération des caractéristiques et le second est associé au mécanisme d'agrégation de l'OWA. Soit $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ le vecteur de l'OWA et $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n\}$ le vecteur des pondérations sur les critères, avec $\gamma_i \geq 0$ et $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$. L'opérateur prend la forme définie dans l'équation B.5 ci-dessous Majdan and Ogryczak (2012) :

$$WOWA_{w,\gamma}(F(x)) = \sum_{i=1}^n (\pi(w_i, \gamma) \cdot F(x_{\sigma(i)})) \quad (B.4)$$

Avec le poids Π calculé comme suit :

$$\pi(w_i, \gamma) = \phi_w\left(\gamma_i + \sum_{k < \sigma(i)} \gamma_{\sigma(k)}\right) - \phi_w\left(\sum_{k < \sigma(i)} \gamma_{\sigma(k)}\right) \quad (B.5)$$

où ϕ_w représente une fonction d'interpolation linéaire (Torra, 2000).



Questionnaire

Avec l'accord bienveillant de l'entreprise Technologia nous reproduisons ici la partie de leur questionnaire type que nous avons utilisé dans nos différentes expérimentations. Il s'agit de l'ancienne version longue du questionnaire de [Karasek \(1979\)](#), traduite en français par [Niedhammer et al. \(2006\)](#). La version « baromètre » du questionnaire utilisée dans la calibration est une version raccourcie qui utilise les items 2, 4, 5, 9 pour l'autonomie ; 11, 12, 16 et 18 pour la demande psychologique ; 19, 21, 24 et 26 pour le soutien social.

Autonomie (pour le cadrage : "Latitude décisionnelle" dans le modèle Karasek)

Pour nous permettre de construire les indicateurs de risque dans leur globalité, toutes les réponses de cette partie et des deux suivantes sont obligatoires

1. Dans mon travail, je dois apprendre des choses nouvelles

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

2. Dans mon travail, j'effectue des tâches répétitives

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

3. Mon travail me demande d'être créatif

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

4. Mon travail me permet souvent de prendre des décisions moi-même

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

5. Mon travail demande un haut niveau de compétence

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

6. Dans ma tâche, j'ai très peu de liberté pour décider comment je fais mon travail

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

7. Dans mon travail, j'ai des activités variées

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

8. J'ai la possibilité d'influencer le déroulement de mon travail

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

9. J'ai l'occasion de développer mes compétences professionnelles

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

Exigence du travail (pour le cadrage : "Demande psychologique" dans le modèle Karasek)

10. Mon travail me demande de travailler très vite

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

11. Mon travail me demande de travailler intensément

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

12. On me demande d'effectuer une quantité de travail excessive

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

13. Je dispose du temps nécessaire pour exécuter correctement mon travail

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

14. Je reçois des ordres contradictoires de la part d'autres personnes

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

15. Mon travail nécessite de longues périodes de concentration intense

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

16. Mes tâches sont souvent interrompues avant d'être achevées, nécessitant de les reprendre plus tard

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

17. Mon travail est très "bousculé"

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

18. Attendre le travail de collègues ou d'autres départements ralentit souvent mon propre travail

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

Soutien au travail (pour le cadrage : "Soutien social" dans le modèle Karasek)

ATTENTION : dans ce questionnaire, le terme "manager" désigne celui qui distribue les tâches et contrôle le travail accompli (à préciser éventuellement en cadrage)

19. Mon manager se sent concerné par le bien-être de ses subordonnés

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

20. Mon manager prête attention à ce que je dis

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

21. Mon manager m'aide à mener ma tâche à bien

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

22. Mon manager réussit facilement à faire collaborer ses subordonnés

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

23. Les collègues avec qui je travaille sont des gens professionnellement compétents

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

24. Les collègues avec qui je travaille me manifestent de l'intérêt

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

25. Les collègues avec qui je travaille sont amicaux

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

26. Les collègues avec qui je travaille m'aident à mener les tâches à bien

1. Pas du tout d'accord 2. Plutôt pas d'accord 3. Plutôt d'accord 4. Tout à fait d'accord

La réponse est obligatoire.

Caractéristiques individuelles

130. Sexe

1. Homme 2. Femme

131. Quel est votre âge ?

Merci de répondre en chiffres et non en lettres

132. Quelle est votre situation familiale ?

1. Je vis en couple sans enfant à charge résidant à domicile
 2. Je vis en couple avec un ou des enfant(s) à charge résidant à domicile
 3. Je vis seul(e) sans enfant à charge résidant à domicile
 4. Je vis seul(e) avec un ou des enfant(s) à charge résidant à domicile

133. Quel est le niveau du diplôme le plus élevé que vous ayez obtenu ?

1. Sans diplôme ou Brevet des collèges
 2. CAP ou BEP
 3. Baccalauréat général, technologique ou professionnel
 4. Diplômes de niveau Bac plus 2 (DUT, BTS, DEUG, écoles des formations sanitaires ou sociales...)
 5. Diplômes de second ou troisième cycle universitaire (licence, maîtrise, master, DEA, DESS, doctorat) ou diplômes de grande école

134. Quel est votre statut ?

1. Cadre de direction 2. Cadre avec fonction de management 3. Cadre sans fonction de management
 4. ETAM 5. Assistante 6. Ouvrier

A préciser en réunion de cadrage

135. Quel est votre secteur (ou Direction) chez XXX ?

1. Secteur / Direction 1 2. Secteur / Direction 2

A préciser en réunion de cadrage

136. Quelles sont vos fonctions chez XXX ?

1. Fonction 1 2. Fonction 2

A préciser en réunion de cadrage

137. Quel est votre régime horaire ?

1. Régime 1 2. Régime 2

A préciser en réunion de cadrage

138. Quelle est votre ancienneté chez XXX ?

1. Moins de 1 an 2. Entre 1 et 3 ans 3. Entre 4 et 5 ans 4. Entre 6 et 9 ans
 5. Entre 10 et 14 ans 6. 15 ans ou plus

139. Quel est votre niveau de rémunération (salaire net mensuel, hors primes liées aux résultats et hors intéressement) ?

1. Moins de 1000 euros 2. Entre 1000 et 1499 euros 3. Entre 1500 et 1999 euros
 4. Entre 2000 et 2499 euros 5. Entre 2500 et 2999 euros 6. Entre 3000 et 3499 euros
 7. Entre 3500 et 3999 euros 8. Entre 4000 et 4499 euros 9. 4500 euros ou plus

D

De la structure d'organisation au réseau social

Cette section aborde la question de la modélisation des relations sociales dans le cadre du framework Happywork. L'objectif est de proposer une représentation des relations sociales dans le cadre du modèle d'activité, permettant également de connecter les agents du modèle de satisfaction. En effet, il est nécessaire de souligner l'importance des choix de modélisation du voisinage sur l'élaboration de la satisfaction. Comme nous le développons dans la chapitre 4 consacré à la modélisation de la satisfaction dans l'emploi, la satisfaction se forge en partie à travers la comparaison sociale. Le réseau social de relation est l'espace privilégié de modélisation pour établir ce mécanisme de comparaison : les agents seront amenés à se comparer avec leur voisin pour élaborer leur niveau de satisfaction. De ce point de vue, la structure des relations au sein de l'organisation va avoir une influence sur la satisfaction des agents. La mise en place d'un réseau de relation permet également d'envisager l'introduction de mécanismes de coordination entre agents du modèle d'activité ; e.g. la formation d'équipe (Troitzsch, 2012) ou la mise en place d'un mécanisme d'allocation de contrainte décentralisée (Fioretti and Lomi, 2010).

Dans un premier temps nous esquisserons une discussion sur les types de relations et les structures de réseaux qui prévalent dans les organisations de travail. Dans la sous section suivante nous reviendrons sur les différentes propriétés de la matrice qui nous servirons de base à l'élaboration d'un réseau social d'organisation. Nous clarifierons ici le rôle du réseau dans la dynamique du modèle. Enfin, nous détaillerons la procédure qui nous permettra de générer un réseau de relations sur la base de l'organisation des activités telle que définie dans le De-C GCM.

D.1 Introduction à la théorie des réseaux dans les organisations

Nous souhaitons rapidement évoquer la question du réseau social dans les organisations du travail. Les travaux pionniers de Granovetter (e.g. [Granovetter, 1985](#)) ont inscrit la recherche sur les réseaux sociaux dans le monde du travail comme une problématique majeure : la théorie des réseaux sociaux constitue une alternative aux paradigmes « sous et sur-socialisés » de l'individualisme ou du holisme ([Baret et al., 2006](#) ; [Brass, 2011](#)). En effet, le principe d'embeddedness défendu par [Granovetter \(1985\)](#) permet de considérer un individu qui n'est ni entièrement conditionné par des règles globales ni complètement décontextualisé et individualisé : il s'inscrit dans une structure sociale de relation, un réseau. La mise en évidence de la force des liens faibles ([Granovetter, 1973](#)) ou de l'exploitation de trous structuraux ([Burt, 1992](#)) sont des exemples de l'importance des relations sociales dans l'étude des organisations. Tous deux se fondent sur la distinction qualitative des relations par leur potentiel au sein du réseau : la capacité de certains liens à canaliser et maîtriser les relations entre des sous ensembles d'agents du réseau. Par exemple, si A et C sont tous deux connectés à B, ce dernier à une position centrale et stratégique qui peut lui permettre de gérer les relations entre A et C. La théorie des organisations de [Crozier and Friedberg \(1977\)](#) s'appuie également sur ce type de relations. Par ex. les auteurs soulignent l'utilisation de telle position dans le cadre de comportement administratif de blocage ([Mailliard, 2008](#)). L'étude de l'importance des relations entre individus et de la structure globale de ces relations posent la question du choix du type de réseau le mieux approprié pour modéliser les relations sociales dans l'entreprise. Par ailleurs, se pose également le rôle et le poids de ses relations par rapport aux problématiques qui sont les nôtres.

Structure des relations sociales en entreprise

La question reste de savoir quelle topologie de réseau est la plus à même de représenter la structure des relations dans l'entreprise. Au niveau global, plusieurs propriétés de différents types de réseaux ont été observées au niveau empirique : notamment les propriétés des small-world se retrouvent dans les analyses des organisations ([Brass, 2011](#)). Mais certaines propriétés, plus dynamiques, ont été mises en avant, notamment sur le type de réseau scale-free ([Wang and Chen, 2003](#)) avec le principe d'attachement préférentiel ([Borgatti and Foster, 2003](#)). Néanmoins la topologie small-world constitue le benchmark des analyses économiques aussi bien au niveau des relations en firmes (e.g. [Uzzi et al., 2007](#)) qu'entre individus (e.g. [Jackson, 2007](#)). Par ailleurs, les analyses de l'activité économique se basent également beaucoup sur des réseaux ad-hoc générés à partir de données empiriques ([Jackson, 2007](#)). Il est alors difficile de transférer les modèles de tels réseaux dans un algorithme génératif. Enfin, on soulignera une dernière problématique concernant la structuration des relations au sein de l'entreprise : dans quelle mesure la structure

formelle de l'organisation détermine-t-elle la forme du réseau social de l'entreprise ? Sur ce point il est délicat de trancher, mais il existe a priori un lien qui se justifie par exemple par l'homophilie dans les réseaux que traduit également la proximité fonctionnelle dans l'organisation, ou les contacts répétés dans le cadre des activités de travail (Brass, 2011), qui sont autant de causes de formation de liens dans une organisation. Globalement on observe dans la littérature une tendance à conceptualiser les réseaux sur un plan actif ("agency"), que ce soit dans la constitution ou dans les conséquences de la structure des relations (Borgatti and Foster, 2003). Les réseaux sont donc plus analysés de manière bottom-up, en partant des propriétés qui forment les liens aux niveaux des individus, que dans une perspective top-down où sont étudiées les seules propriétés globales du réseau.

D.2 Définition du réseau et des relations sociales du De-C GCM

Les relations sociales dans notre modèle d'activité sont représentées sous la forme d'un réseau dirigé, noté $G^{FD}(V, E)$ où G représente le graphe, FD (pour fonctional dependency) la transformation de la matrice $\mathcal{AT} = \mathcal{A} \times \mathcal{T}$ en $FD = \mathcal{A} \times \mathcal{A}$, et $V(G)$ et $E(G)$ respectivement les nœuds et les arêtes du graphe G . Elles découlent directement de l'allocation des types de problème \mathcal{AT} aux employés. Notre perspective consiste à proposer un réseau social basé sur la distribution des responsabilités au sein de l'organisation.

$$\begin{aligned}
 f: \mathcal{AT} &\mapsto FD \quad G^{FD}(V, E) \text{ avec } V(G) = \mathcal{A} \text{ et } E(G) = f(FD) \\
 FD &= \mathcal{A} \times \mathcal{A} = (fd_{i,j})_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n} \\
 i, j \in [1, \dots, n] \quad i \neq j \quad (fd_{i,j}) &= \{fd_{i,j}, fd_{j,i}\} \quad fd_{i,j}, fd_{j,i} \in [0, 1]
 \end{aligned} \tag{D.1}$$

Chaque entrée de la matrice FD , notée $(fd_{i,j})$ est un vecteur de deux valeurs appartenant à l'intervalle $[0, 1]$. Ces valeurs correspondent à la relation du premier élément, l'agent a_i , au second, l'agent a_j , et du second au premier. Ce couple de valeurs détermine le type de relation qu'entretiennent les agents concernés. Nous développons dans la section ci-dessous les différentes modalités de relations entre agents de l'organisation.

Les types de relations structurelles du De-C GCM Elles sont définis sur la base de deux situations déterminées par la matrice d'allocation (section 7.3.1). Soit un agent est lié fonctionnellement à un autre agent de l'organisation, auquel cas il s'agit d'un lien hiérarchique ou horizontal, soit il ne l'est pas du tout, selon les critères de la division du travail au sein de l'organisation. En effet, les relations telles qu'elles sont définies dans la matrice, découlent directement de la manière dont les tâches y sont réparties entre les agents. Ainsi, nous avons défini dans la section 8.1.1 les types de relation verticale et horizontale :

D.3. ELABORER UN RÉSEAU SOCIAL À PARTIR DE LA STRUCTURE D'ALLOCATION

- (i) Relation verticale : si a_i est le supérieur hiérarchique de a_j (voir conditions ci-dessous) alors $fd_{i,j} > fd_{j,i}$ et à l'inverse si a_j est le supérieur hiérarchique de a_i alors $fd_{i,j} < fd_{j,i}$. Dans le cas présent la relation du supérieur à son subordonné vaut 1 et celle inverse est donnée par la fonction *share* (voir ci-dessous). Dans ce cas, $fd_{i,j} = 1$ et $fd_{j,i} = share(a_j, a_i)$ en vérifiant la relation mentionnée ci-dessus : $fd_{i,j} > fd_{j,i}$. Cela traduit l'idée que a_i est responsable de l'ensemble des tâches que doit accomplir a_j – soit $fd_{i,j} = 1$ – mais que celui-ci ne partage qu'un sous-ensemble avec son supérieur hiérarchique – soit $fd_{j,i} < 1$.
- (ii) Relation horizontale : si les agents a_i et a_j sont des paires alors $fd_{i,j} = fd_{j,i} \neq 0$ avec la valeur commune définie par la fonction $share(a_i, a_j)$ (voir équation 8.1). Elle rend une mesure du partage des responsabilités entre deux agents à partir des valeurs de la matrice \mathcal{AT}^* (voir la matrice 7.3.2)
- (iii) Enfin l'absence de relation entre ces deux agents est notée $(fd_{i,j}) = \{0, 0\}$.

Deux variables ont été retenues par Cowan et ses collègues pour construire un réseau sur la base de la matrice d'allocation : la dépendance et le partage des responsabilités. Elles correspondent à la nature des relations verticales (hiérarchie) et horizontales (collègue) au sein de l'organisation.

D.3 Elaborer un réseau social à partir de la structure d'allocation

L'attribution à chacun des agents d'un rôle identifiable dans la structure donnée par la matrice \mathcal{AT} ne contient pas toutes les informations nécessaires pour identifier la position de l'agent. Il est également nécessaire de transcrire cette situation organisationnelle, au niveau de la structure de l'organisation (e.g. l'organigramme), en position sociale au niveau du réseau des relations au sein de l'organisation (e.g. groupes d'amis). En d'autres termes, à l'aide des propriétés du rôle des agents, de leur position dans la matrice d'allocation et de certains de leurs attributs, nous devons positionner chacun d'eux $\forall a \in \mathcal{A}$ dans le réseau $G^{FG} = \mathcal{A} \times \mathcal{A}$ des relations sociales au sein de l'organisation.

La structure fonctionnelle : les layers – L'une des propriétés immédiates de l'utilisation de la matrice d'allocation est de définir une organisation simple en terme de niveau hiérarchique. En effet, de la définition des dépendances hiérarchiques dépend la formation d'étages de responsabilités : les agents n'ayant aucun subordonné font partie du layer de plus bas niveau, ceux n'ayant de subordonné que dans ce layer font partie du second niveau et pour chaque niveau supérieur les agents concernés n'ont des subordonnés que dans l'ensemble des niveaux inférieurs. Ainsi définis les layers permettent de construire une organisation pyramidale. Nous nous référons ici à l'utilisation de la matrice d'allocation par Cowan et al. (2013) sur la base des relations horizontales et verticales telles que définies ci-dessus (voir section D.2). Ainsi on définit le layer l_0 comme

D.3. ELABORER UN RÉSEAU SOCIAL À PARTIR DE LA STRUCTURE D'ALLOCATION

celui contenant l'ensemble des agents n'ayant aucunes relations hiérarchiques descendantes. Soit \mathcal{A}_{l_0} l'ensemble des agents contenus dans le layer de plus bas niveau l_0 . Ce sous ensemble d'agent est défini comme suit :

$$\forall a_i \in \mathcal{A}_{l_0} \text{ et } \forall a_j \in \mathcal{A} \quad fd_{i,j} \leq fd_{j,i} \quad \text{avec } i, j = \{1, \dots, n\} \text{ et } i \neq j \quad (\text{D.2})$$

On peut alors étendre la définition du niveau 0, où les agents ne sont les supérieurs hiérarchiques d'aucun autre agent, en généralisant cette relation à l'ensemble des agents. Pour ce faire, il faut considérer l'ensemble des relations hiérarchiques d'un agent. Si celles-ci se trouvent entièrement comprises dans les layers déjà formés, alors cet agent fait partie du layer immédiatement au dessus. Soit \mathcal{A}_{l_k} l'ensemble des agents contenus dans le layer de niveau k . Tout agent $a_i \in \mathcal{A}_{l_k}$ doit remplir les deux conditions suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Condition 1} \quad & \exists a_j \in \mathcal{A}_{l_{k-1}} \quad \text{tel que } fd_{i,j} > fd_{j,i} \quad \text{avec } k \neq 0 \\ \text{Condition 2} \quad & \forall a_j \in \mathcal{A} \setminus \bigcup_{m=0}^{k-1} \mathcal{A}_{l_m} \quad fd_{i,j} \leq fd_{j,i} \end{aligned} \quad (\text{D.3})$$

La première condition assure que l'agent a_i du layer de niveau k soit effectivement le supérieur hiérarchique d'au moins un agent a_j dans le layer de niveau $k - 1$ immédiatement en dessous. La seconde condition vérifie que l'agent a_i ne soit le supérieur hiérarchique d'aucun agent a_j non compris dans l'ensemble des layers inférieurs au niveau k – ce sous ensemble est désigné comme suit : $\mathcal{A} \setminus \bigcup_{m=0}^{k-1} \mathcal{A}_{l_m}$, soit l'ensemble des agents soustraits de l'union des agents contenus dans les layers inférieurs à l_k . De cette manière, les layers sont définis en suivant le cours ascendant des relations verticales, en partant des agents du layer l_0 de plus bas niveau, puis à leurs supérieurs directs au layer l_1 et ainsi de suite jusqu'à obtenir la classification de l'ensemble des agents en layers.

Générer le réseau social de l'organisation – En se basant sur la structure des relations définies par l'organisation du De-C GCM, le challenge consiste à établir les éléments de topologie pertinents dans le cadre de relations sociales en organisation et de les transcrire dans un réseau. Pour ce faire nous avons établi les réseaux small-world (Watts and Strogatz, 1998 ; Wang and Chen, 2003) comme point de comparaison dans le cadre des organisations (Uzzi et al., 2007). En effet, ils se caractérisent par deux propriétés que l'on retrouve dans les organisations : des sous ensembles relativement bien connectés, capturés par un indicateur de propension à la formation de clique (cliquishness) au sein du réseau, et une tendance à connecter n'importe quelle paire d'agents en peu de liens, soit un plus court chemin moyen relativement faible. Ainsi nous avons comparé les réseaux issus de notre générateur à ce standard.

En nous basant sur les caractéristiques des organisations telles que nous les avons générées,

D.3. ELABORER UN RÉSEAU SOCIAL À PARTIR DE LA STRUCTURE D'ALLOCATION

deux règles ont présidé à l'élaboration des liens entre les agents de l'organisation : le premier élément prend en compte le partage des responsabilités, de sorte que plus les agents partagent des tâches plus ils auront de chance d'être connectés. La valeur $HNP(a_i, a_j)$ permet d'exprimer la probabilité que les deux agents a_i et a_j soient connectés en fonction du vecteur de leurs responsabilités, tel que :

$$HNP(a_i, a_j) = 1 - \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^m \frac{a\tau_{i,k}}{z_{a_i}} \cdot \frac{a\tau_{j,k}}{z_{a_j}}} \quad (D.4)$$

Dans cette probabilité, un agent i aura d'autant plus de chance d'être connecté à un agent j qu'ils partagent un grand nombre de leurs responsabilités. En revanche, s'ils ne partagent aucune responsabilité cette valeur sera nulle. Dans ce cas, un lien peut néanmoins se créer à la faveur de la distance hiérarchique entre agents. En effet, la probabilité de créer un lien est également dépendante de l'éloignement hiérarchique entre agents, de telle manière que plus les agents sont éloignés en terme de niveau hiérarchique moins sera grande la probabilité qu'ils soient connectés. A chaque layer hiérarchique est associé un indice compris entre 0 et le layer de plus haut niveau qui servira à déterminer la distance hiérarchique entre agents. Soit l_{a_i} et l_{a_j} le niveau de layer des agents a_i et a_j défini comme un nombre entier nul ou positif. Selon leur layer on définit la probabilité de connecter deux agents comme suit :

$$VPN(a_i, a_j) = \frac{\text{argmin}(l_{a_i}, l_{a_j}) + 1}{\text{argmax}(l_{a_i}, l_{a_j}) + 1} \quad (D.5)$$

On voit ici que la probabilité est toujours non nulle, mais décroît en fonction de la distance entre les niveaux hiérarchiques des agents. A partir de ces deux caractéristiques issues de la matrice d'allocation, nous sommes donc en mesure de créer un ensemble de liens. La première étape peut donc être résumée comme suit : connecter les agents sur la base d'une probabilité intégrant un facteur horizontal (conjonction des responsabilités) et un facteur vertical (distance hiérarchique). La probabilité de lier deux agents au sein du réseau est donnée par la moyenne de ces deux probabilités :

$$NP(a_i, a_j) = \frac{HNP(a_i, a_j) \cdot VPN(a_i, a_j) + d}{2} \quad (D.6)$$

Par ailleurs, le paramètre d définit le degré moyen attendu sur l'ensemble du réseau, exprimé sous la forme d'une proportion de l'ensemble des agents de l'organisation. Par extension, ce paramètre permet de contrôler le nombre de voisin de nos agents au sein du réseau qui ne dépend plus uniquement des caractéristiques de l'organisation. **Watts and Strogatz (1998)** indiquent que pour obtenir un small-world, il est nécessaire de vérifier la condition suivante : $n \gg k \gg \ln(n)$ avec k le degré moyen et n le nombre de nœuds (dans notre cas le nombre d'agents). Afin d'assurer cette propriété, nous avons choisi d'ajouter un paramètre qui permet de définir le degré

moyen. Dans le cas présent, d représente la probabilité fixe de connexion de deux agents : si deux agents ont exactement le même rôle dans l'organisation et font partie du même niveau hiérarchique, la probabilité qu'ils soient connectés est de $1 + d/2$. À l'inverse deux individus qui sont extrêmement éloignés en terme de niveau hiérarchique et de rôle, ont une probabilité de connexion de l'ordre de $d/2$.

La dernière étape de la construction du réseau se fait en deux temps : à l'instar de l'algorithme de génération de small world de [Watts and Strogatz \(1998\)](#) on opère une ré-allocation de lien sur la base d'une probabilité donnée. Dans les faits, il existe une probabilité β_{watts} que chacun des voisins de chaque agent soit remplacé par un agent tiré uniformément sur l'ensemble du réseau. Cela nous permet de créer des liens qui ne découlent pas directement de la structure organisationnelle : en effet, les relations sociales au sein des organisations ne sont pas strictement dictées par l'architecture fonctionnelle des rôles et des responsabilités. En d'autres termes, la structure de l'organisation ne dicte pas strictement la création de liens entre agents. En l'absence d'autres indications sur la teneur de tels liens, une procédure aléatoire nous est apparue comme étant la plus neutre et la plus simple à mettre en place.

Enfin, à l'issue de l'ensemble du processus, on vérifie que le graphe ne comporte pas de composante faiblement connexe. Plus précisément, on cherchera à obtenir un réseau avec un indicateur d'inclusion très faible. En effet, d'une part il est extrêmement peu probable qu'il coexiste dans une même organisation des sous ensembles absolument non connectés. Il est peu concevable par exemple qu'une partie d'une entreprise ne soit d'aucune manière liée à ses dirigeants. En revanche, il est tout à fait concevable qu'un petit nombre d'agents soit strictement isolé au sein de l'organisation. Par conséquent afin de préserver la possibilité de voir quelques agents non connectés, tout en garantissant qu'il n'existe pas de sous-graphes avec un degré élevé, nous avons déterminé un seuil d'inclusion limite. L'indicateur d'inclusion utilisé se calcule comme le ratio d'agents non connectés sur l'ensemble des agents dans le réseau. De telle manière qu'un faible taux d'inclusion toléré permet de ne pas établir une contrainte trop forte sur la génération d'un réseau fortement connexe, tout en garantissant la possibilité de voir apparaître un nombre restreint d'agents n'ayant aucun lien dans le réseau.

D.4 Propriété des réseaux générés

Dans l'objectif de déterminer quel type de réseau est généré sur la base de la structure d'allocation du modèle d'activité, nous avons mis en place trois indicateurs : la tendance à générer des cliques ou cliquishness, le plus court chemin moyen ou PCCM et un facteur de centralisation du réseau. Ce dernier est une généralisation à l'ensemble du réseau d'un indicateur individuel de centralité (betweenness) établi comme la proportion de présence d'un agent sur le plus court chemin entre toutes les paires d'agents. Nous comparons ces indicateurs moyennés sur 100 générations de réseaux par rapport à deux standards : un réseau Small world généré à l'aide de l'algorithme

D.4. PROPRIÉTÉ DES RÉSEAUX GÉNÉRÉS

défini dans [Watts and Strogatz \(1998\)](#) et un réseau aléatoire uniforme (ci-dessous Random). On constate que les réseaux générés à partir de nos organisations ont une structure similaire, malgré les différences entre les organisations. En effet, comme l'indique les valeurs du tableau D.4.1 ci-dessous, malgré leurs bases organisationnelles distinctes, notamment sur le nombre de niveaux hiérarchiques (2nd colonne), les résultats statistiques des réseaux sont très similaires concernant la tendance à produire des cliques (Cliquishness entre 0.16 et 0.2) et la longueur du plus court chemin moyen (PCCM entre 3.3 et 3.8)

Organisation	Layers	degré moyen	Cliquishness	PCCM	Centralisation
Random	–	9.2	0.18	3.5	0.86
SmallWorld	–	9.9	0.57	4.8	0.86
Polyvalente	2.04	8.7	0.18	3.55	0.87
Spécialisée	1.32	10.7	0.23	3.2	0.88
Pyramide	2.98	9.9	0.18	3.55	0.87
Triangulaire	4.55	7.7	0.16	3.8	0.86

Table D.4.1 : Quelques éléments statistiques sur les réseaux sociaux générés sur la base des organisations ($n = 100$ et $d = 0.3$) du De-C GCM. Les réseaux *SmallWorld* et *Random* ont été générés à partir de l'algorithme défini dans [Watts and Strogatz \(1998\)](#) avec respectivement des probabilités de ré-allocation (β^{watts}) à 0.1 et 1

Par ailleurs, la faible tendance à produire des cliques couplées à un plus court chemin très faible, traduit plutôt une structure de réseaux de type réseau aléatoire ([Watts and Strogatz, 1998](#)). En effet, on voit que le réseau Small world de référence a un indicateur de cliques beaucoup plus important. Ce dernier est calculé de la même manière que [Watts and Strogatz \(1998\)](#) : pour chaque agent, on calcule le nombre de liens maximum qu'il peut exister entre tout ses voisins, soit a_v , l'agent, k_v , le nombre de ses voisins et $k_v * (k_v - 1) / 2$ le nombre maximum de liens entre eux ; l'indicateur Cliquishness est la moyenne, sur l'ensemble des agents, du nombre effectif de liens entre tous les voisins k_v , divisé par le nombre maximum de liens possible. Plus l'indicateur est grand plus les voisins d'un agent quelconque seront liés entre eux. Nos réseaux ont une tendance à former des cliques similaires au réseau aléatoire : il se forme peu de clique. Pour consolider la nature du type de réseau généré à partir de nos organisation, il faudrait tester la robustesse des indicateurs de liens moyens et de tendance à créer des cliques.

Dans les graphiques de la figure D.4.1, nous avons représenté à titre indicatif trois réseaux typiques à partir des générateurs mentionnés ci-dessus : le réseau aléatoire à gauche, celui défini à partir des propriétés des organisation du De-C GCM au centre et à droite le réseau en small world. Ils s'appuient sur l'organisation polyvalente et relie 30 agents. La taille des noeuds représente

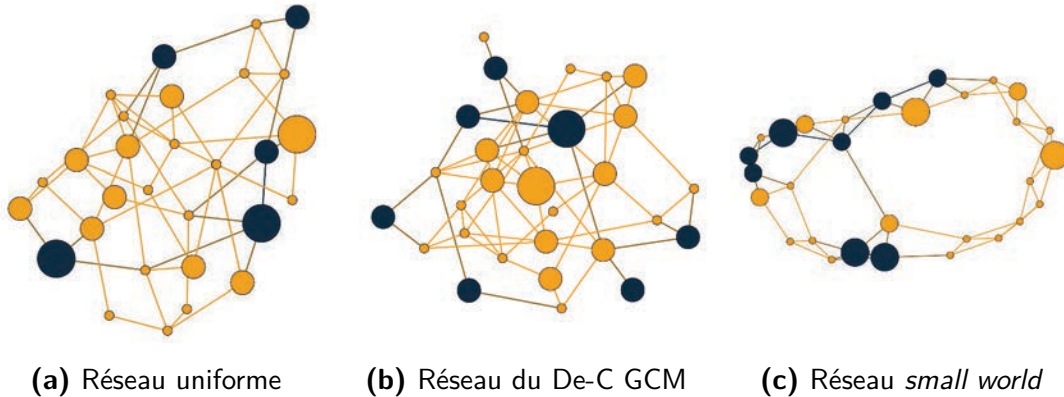


Figure D.4.1 : Différents réseaux de relations pour l'organisation polyvalente générés à partir de trois algorithmes différents : aléatoire uniforme à gauche, basé sur les propriétés de la matrice au centre, à partir du générateur de [Watts and Strogatz \(1998\)](#) à droite

le nombre de responsabilités. Chaque couleur représente un layer distinct. On voit que la topographie des réseaux aléatoire et celle issus de notre générateur sont très similaires. La tendance à former des cliques y est absente, contrairement à la dernière forme de réseau. Cette propriété découle directement de l'étape préliminaire de l'algorithme de [Watts and Strogatz \(1998\)](#) : leur modèle de *small world* s'élabore sur un lattice duquel sont ré-agencés une petite proportion de liens ($\pm 1/10$). Pour retrouver les propriétés de ce type de réseau, il est nécessaire de former au préalable des groupes d'agents connectés entre eux. Ce que ne garantit ni le réseau aléatoire uniforme (D.4.1a), ni le réseau du De-C GCM (D.4.1b).

D.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé un générateur de réseau basé sur les propriétés des organisations du De-C GCM. La structure des réseaux qui en découle est proche d'une topologie de réseau aléatoire. En outre, le modèle donne des types de réseaux similaires malgré les différences dans la structure des organisations.

E

Graphiques

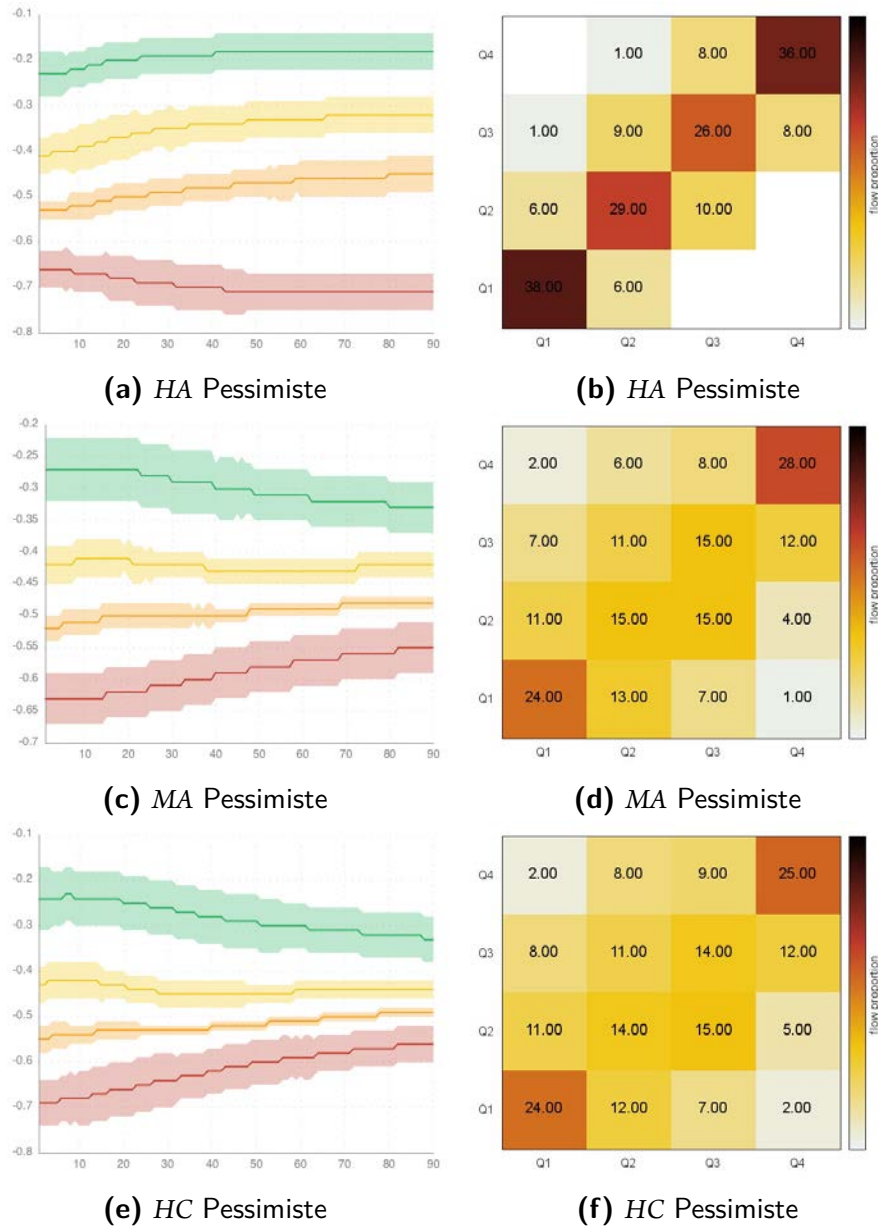


Figure E.0.1 : Les graphiques à gauche représentent la satisfaction $sat(a)$ agrégée (moyenne) par groupe de quartils, des agents les moins satisfaits Q1 en rouge aux plus satisfaits Q4 en vert. Les graphiques de droite représente les matrices de flux entre ces groupes. Chaque ligne correspond à une population d'agents au profil d'état d'esprit pessimiste et de comparaison sociale parmi l'assimilation forte (1^{er} ligne), modérée (2^{ème} ligne) et le contraste (3^{ème} ligne)

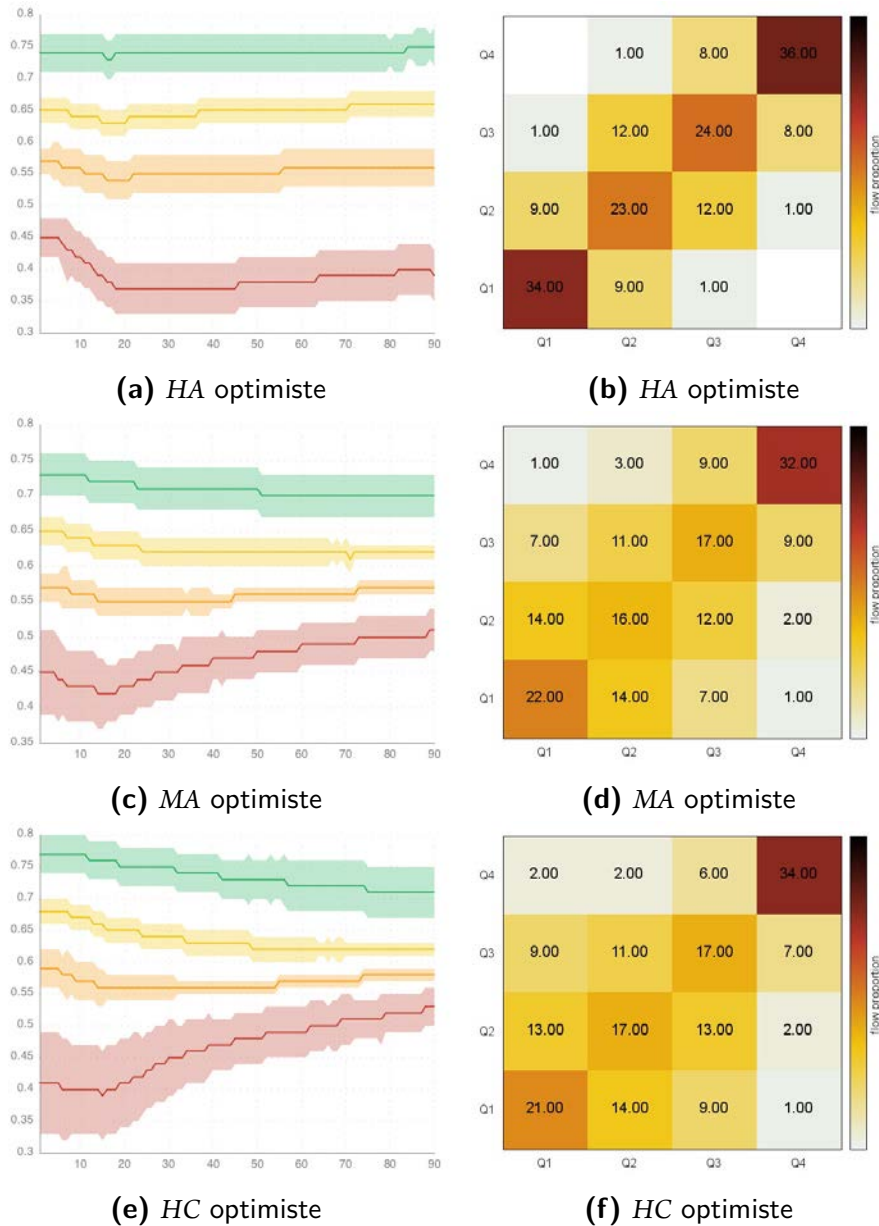


Figure E.0.2 : Les graphiques à gauche représentent la satisfaction $sat(a)$ agrégée (moyenne) par groupe de quartils, des agents les moins satisfaits Q1 en rouge aux plus satisfaits Q4 en vert. Les graphiques de droite représente les matrices de flux entre ces groupes. Chaque ligne correspond à une population d'agents au profil d'état d'esprit optimiste et de comparaison sociale parmi l'assimilation forte (1^{er} ligne), modéré (2^{ème} ligne) et le contraste fort (3^{ème} ligne)

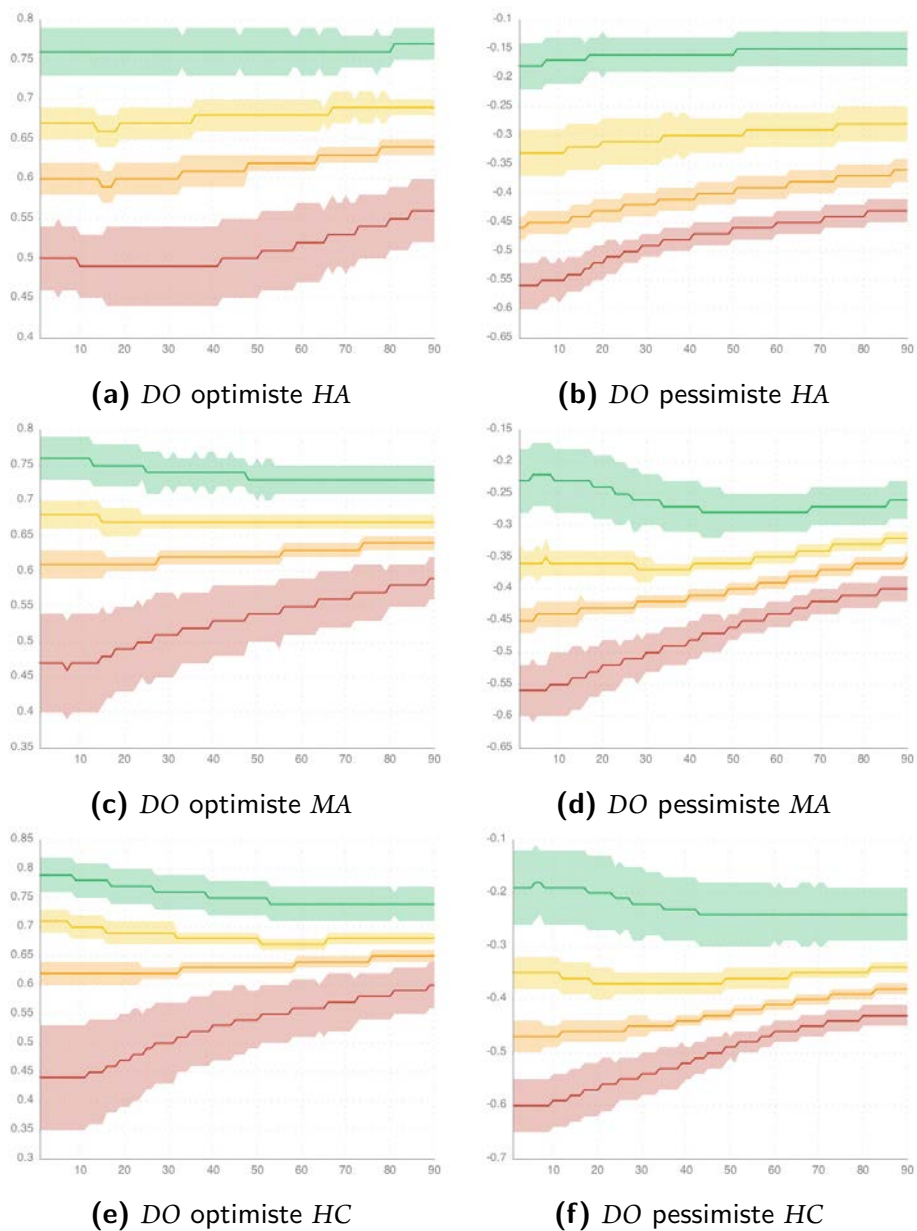


Figure E.0.3 : Satisfaction $sat(a)$ agrégée (moyenne) par groupe de quartils, des agents les moins satisfaits Q1 en rouge aux plus satisfaits Q4 en vert. Les graphiques de gauche représentent des populations optimiste, au profil d'orientation directe avec trois profils de comparaison sociale différents. Les graphiques de droite représente les même population mais dont le profil d'état d'esprit est pessimiste

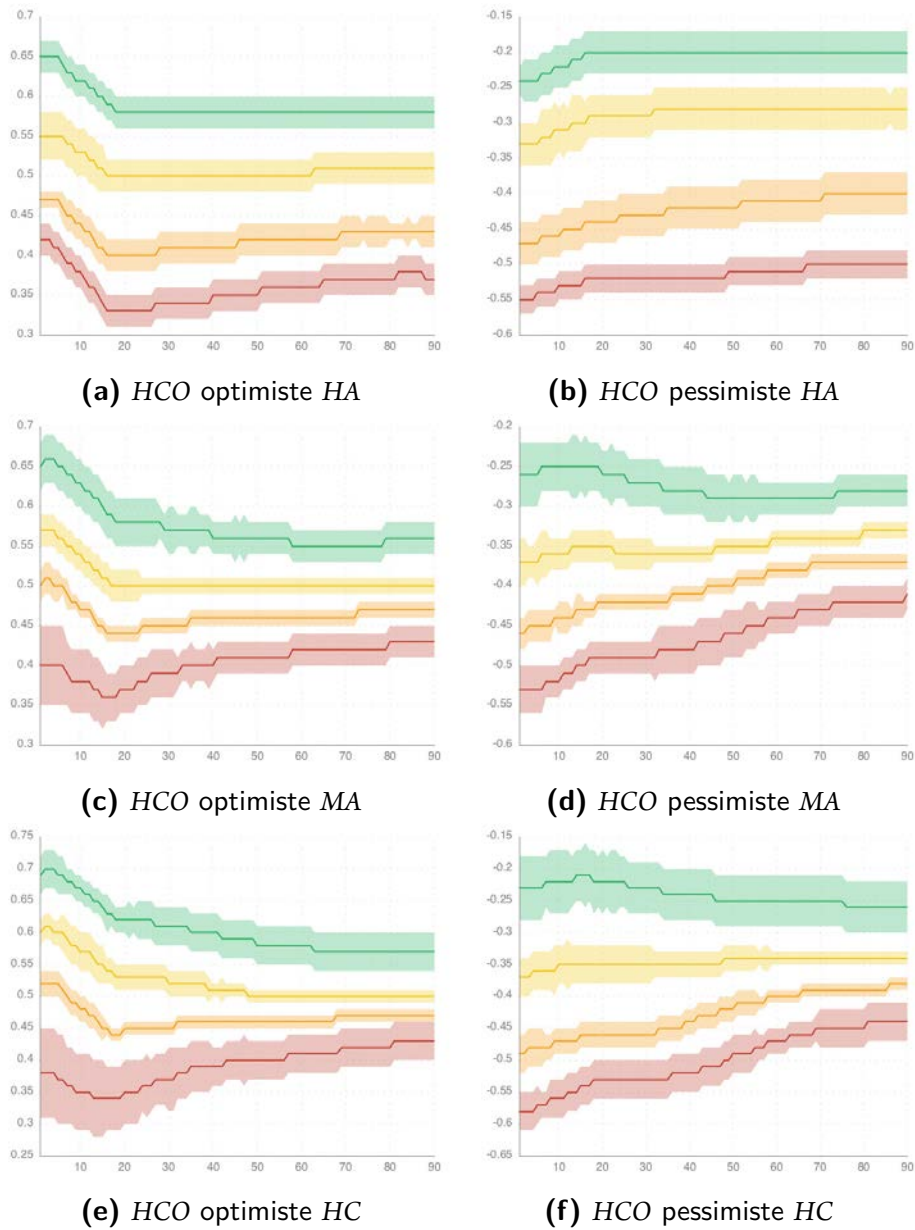


Figure E.0.4 : satisfaction $sat(a)$ agrégée (moyenne) par groupe de quartils, des agents les moins satisfaits Q1 en rouge aux plus satisfaits Q4 en vert. Les graphiques de gauche représentent des populations optimiste, au profil d'orientation à la comparaison historique avec trois profils de comparaison sociale différents. Les graphiques de droite représentent la même population mais dont le profil d'état d'esprit est pessimiste

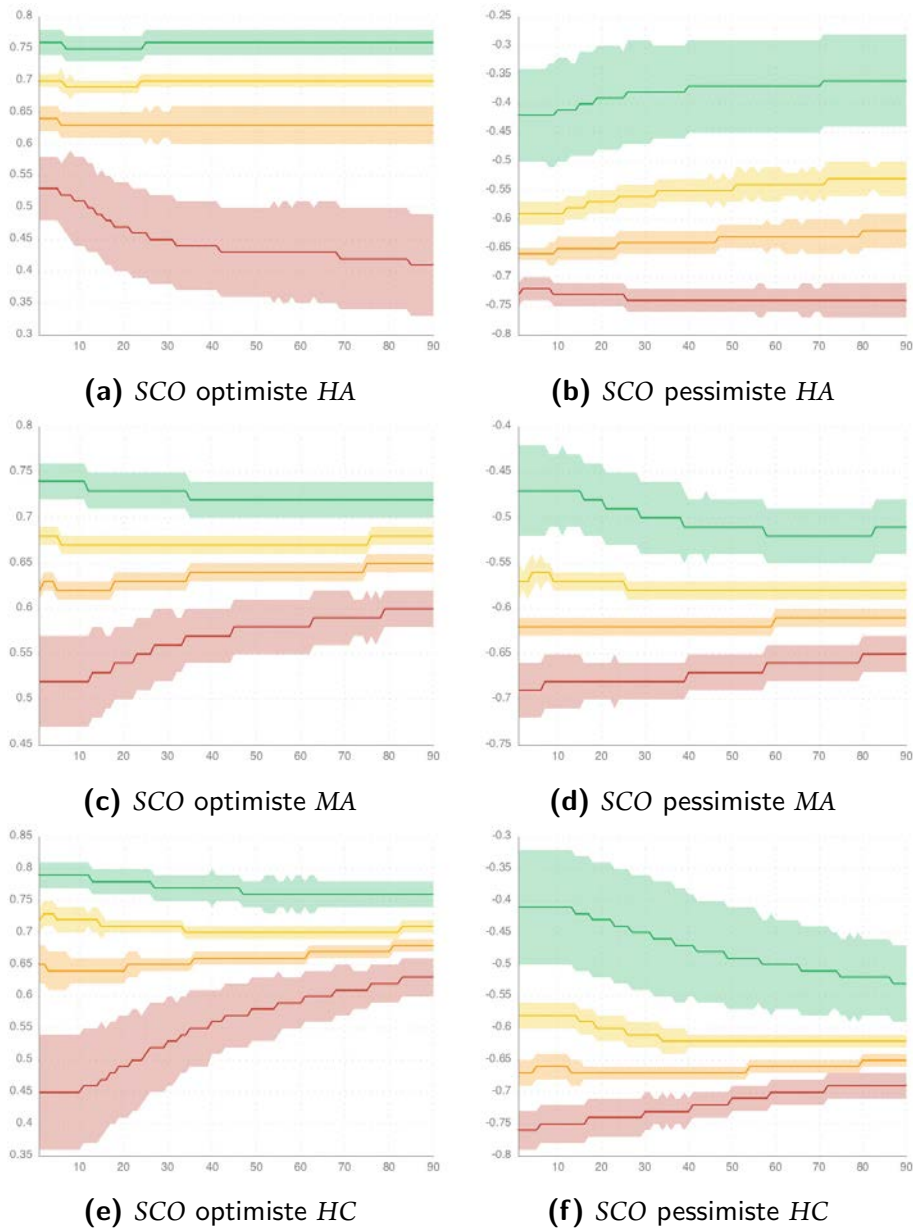
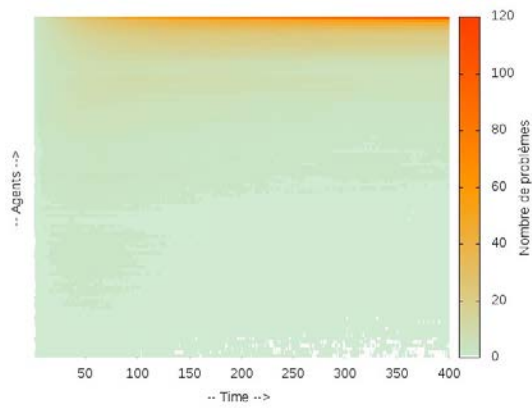
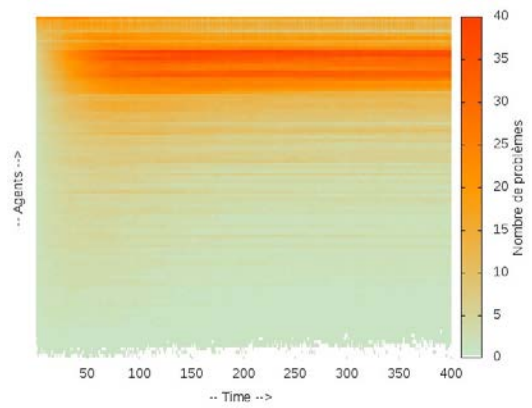


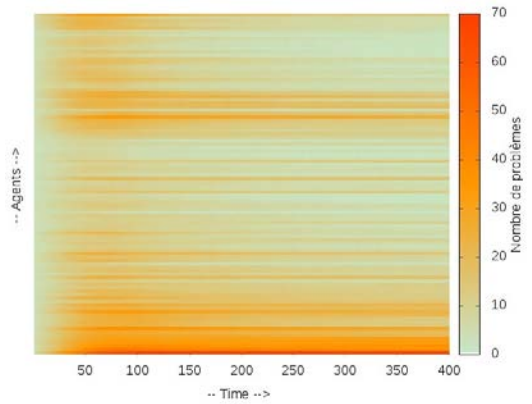
Figure E.0.5 : satisfaction $sat(a)$ agrégée (moyenne) par groupe de quartils, des agents les moins satisfaits Q1 en rouge aux plus satisfaits Q4 en vert. Les graphiques de gauche représentent des populations optimiste, au profil d'orientation à la comparaison sociale avec trois profils de comparaison sociale différents. Les graphiques de droite représente les même population mais dont le profil d'état d'esprit est pessimiste



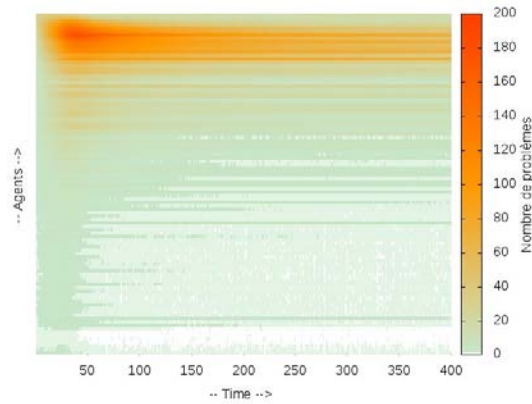
(a) Matrice polyvalente



(b) Matrice pyramide

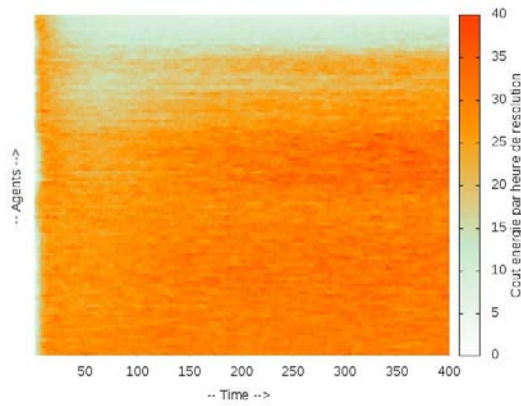


(c) Matrice spécialisée

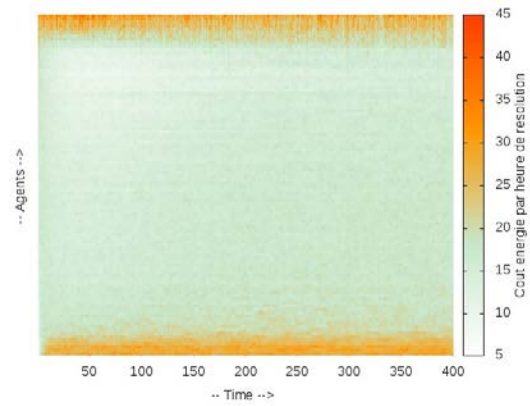


(d) Matrice triangulaire

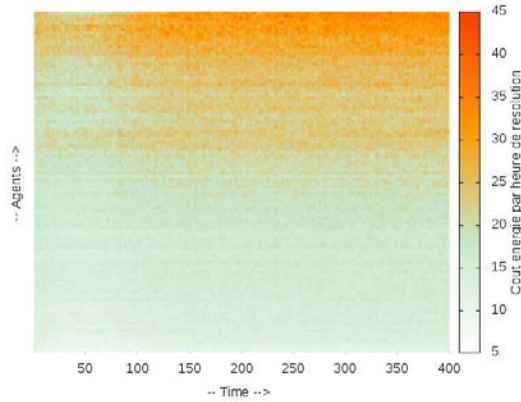
Figure E.0.6 : Nombre problèmes alloués par agent dans les 4 organisations types. Les agents $\mathcal{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ avec $n = 100$ – en abscisse sont ordonnés par ordre croissant de responsabilité. Le nombre de problème évolue en fonction du temps en nombre de ticks de simulation en ordonnée



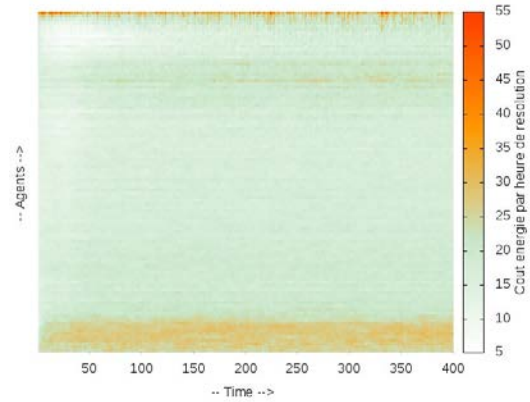
(a) Matrice polyvalente



(b) Matrice pyramide



(c) Matrice spécialisée



(d) Matrice triangulaire

Figure E.0.7 : Coût d'énergie par heure de résolution et par agent dans les 4 organisations types. Les agents $\mathcal{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ avec $n = 100$ – en abscisse – sont ordonnés par ordre croissant de responsabilité. Le coût horaire évolue en fonction du temps en nombre de ticks de simulation en ordonnée