



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj
Faculté des Mathématiques et d'informatique
Département d'informatique

Thèse de Doctorat

Par :

Chikouche Somia

Pour obtenir le grade de Docteur en :

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatique

Option : Informatique décisionnelle et informatique distribuée

Titre

Analyse des comportements d'individus sur les réseaux sociaux

Devant le jury composé de :

| | | |
|----------------------------|--|---------------|
| Nouioua Farid | Maitre de conférences A à l'université de BBA | Président |
| Boubetra Abdelhak | Professeur à l'université de BBA | Examineur |
| Mostefai Messaoud | Professeur à l'université de BBA | Rapporteur |
| Bouziane Abderraouf | Maitre de conférences A à l'université de BBA | Co-rapporteur |
| Allaoua Hemmak | Maitre de conférences A à l'université de M'sila | Examineur |
| Akrouf Samir | Maitre de conférences A à l'université de M'sila | Examineur |

Année universitaire 2019-2020

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le Dieu le tout puissant et miséricordieux qui m'a attribué la chance pour l'accès à la formation doctorale, la volonté et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à mes encadreurs. **Prof. Mostefai Messaoud**, je le remercie d'avoir accepté de rapporter cette thèse, l'expérience qu'il m'apporte à chaque réunion, sa façon de gérer le travail et sa rigueur scientifique qui en émane, constituent pour moi une référence.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur, **Dr Bouziane Abderraouf**, pour sa disponibilité, ses précieux conseils, sa confiance et son aide durant ces années. Il m'a patiemment soutenu dans mes errances en tant que jeune chercheur, m'offrant une liberté inestimable pour explorer des voies de recherche dangereuses.

Je tiens à remercier les membres du jury qui m'ont fait un grand honneur en examinant et en participant à l'évaluation de cette thèse. L'intérêt qu'ils manifesteront pour notre recherche avec leurs propositions et commentaires conduira certainement à son enrichissement.

Les mots ne suffisent pas pour exprimer ma profonde gratitude à tous les membres de ma famille, surtout envers mes chers parents, **KARA Saida** et **CHIKOUCHE Abd-Elhafid**. Durant ces années, malgré les contraintes qui m'ont conduit à mes études doctorales, mes parents les plus chers qui ont été ma première source d'encouragement, leur amour inconditionnel m'a toujours accompagné. Mon mari, **GOUFFI Mourad**, qui a été la force qui m'a soutenu et m'a motivé, depuis notre première rencontre, il n'a jamais cessé de trouver toutes les solutions pour m'aider et faciliter les choses. Je remercie aussi mes sœurs, qui m'ont soutenue moralement. Si un

jour je réussirai, c'est parce que ma famille a toujours été à mes côtés, qu'Allah la protège.

La contribution de cette thèse a commencé avec un peu de chance et beaucoup de bonne volonté : **Monsieur Bouhouita Guermech Salah Eddine**, je le remercie pour l'écoute, le sacrifice, la générosité et l'aide précieuse qu'il a apportés au travail, ses propositions fructueuses m'ont permis de tracer un chemin clair. Je voudrais également exprimer mes remerciements les plus profonds à ma tante **Kara Ladmia** et à mon beau-frère **Gouffi Mohammed** pour leur aide inestimable.

Je voudrais exprimer ma gratitude et ma gratitude à l'ensemble du corps enseignant et à l'administration de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj. Finalement, je voudrais remercier chaleureusement tous ceux qui, autour de moi, ont participé d'une manière ou d'une autre, à l'enrichissement et à la réalisation de cette thèse.

✧ À mes **chers parents**.

✧ À mon **agréable mari**.

✧ À mes **magnifiques sœurs**.

✧ À l'esprit de **mon amie Lakehali Meriem**.

✧ **Je dédie ce travail...**

Résumé

L'étude de la diffusion de l'innovation offre un aperçu rigoureux pour prédire son adoption par une communauté particulière. Pour modéliser et analyser ce phénomène social, la théorie de la diffusion de l'innovation a été utilisée comme un cadre général. Malgré le fait que plusieurs études ont été menées sur ce phénomène social et la richesse de la littérature, très peu d'attention a été accordée à la modélisation de la nature de l'innovation et aux caractéristiques des individus qui génèrent des différents comportements à l'égard de cette innovation. En partant du besoin urgent d'inclure le maximum de ces concepts importants, les algorithmes évolutifs ont été choisis pour simuler l'évolution de la décision d'adoption, en tant que processus d'acceptation graduelle affecté par l'exposition aux voisins qui sont déjà adoptants ou l'innovation elle-même. Pour tenir compte de cette limitation, cette thèse propose deux modèles originaux qui reposent sur la théorie de la diffusion de l'innovation. Dans ce sens, nous faisons appel à deux types d'expérimentation. Une simulation à trois formes de structure sociale : réseau en torus, anneau et aléatoire, afin de décrire l'impact des échanges d'informations, dans un premiers temps, suivi par l'utilisation des données de la plateforme Facebook comme un deuxième type. En effet, le travail se concentre sur la relation entre le comportement au micro-niveau et les modèles de diffusion à macro-niveau. À savoir, différents scénarios de simulation ont été réalisés à l'aide d'une base probabiliste qui a démontré l'influence de chaque notion représentée. Les résultats, par conséquent, prouvent un modèle de diffusion explicite et la capacité de déterminer les premiers adoptants sans avoir besoin de données historiques. Finalement, une observation a attiré l'attention, en d'autres termes, les résultats montrent une cohérence entre la représentation inspirée de la théorie de la diffusion de l'innovation - renforcée par le modèle d'acceptation graduelle des individus - avec les caractéristiques les algorithmes évolutifs. Cette conclusion constitue un domaine prometteur pour d'autres recherches exploratoires.

Mots-clés la diffusion d'innovation, algorithme évolutif, acceptation graduelle, caractéristiques d'innovation, hétérogénéité des individus, réseau social, données Facebook.

ملخص

إنَّ ما تقدَّمه دراسة انتشار الابتكارات يُعدّ نظرة استشرافية رائدة لمسألة تقبُّل الإبداعات في مجتمع معيَّن، ذلك أنَّ نظرية نشر الابتكار، بوصفها الإطار العامّ، تعمَّدت توضيح هذه الظاهرة الاجتماعيَّة وتحليلها، وعلى الرِّغم من أنَّ العديد من الدراسات أجريت حول نشر الابتكار وثرأ الأدب، غيَّر أنَّها لم تُولِ الكثير من الاهتمام لنمذجة طبيعة الابتكار وخصائص الأفراد، التي من شأنها توليد سلوكيات مختلفة تُجاء هذا الابتكار. ولاستدراك هذا النقص، تقترح الأطروحة الحاليَّة نموذجين أصليَّين، اعتمداً على نظريَّة نشر الابتكار، إذ اختيرت الخوارزمية التطوريَّة، بناءً على الحاجة الملحة لإدراج الحدِّ الأقصى من هذه المفاهيم الضروريَّة، حيث تُعالج هذه الخوارزمية تطوُّر قرار التبنّي، بوصفه عمليَّة تغيُّر السلوك تدريجيًّا، متأثرة بالتعرُّض لقرار الأشخاص المحيطين أو للابتكار نفسه، وقد عرضنا نوعين من التجارب: المحاكاة، وذلك باللجوء إلى ثلاثة أنواع من البنية الاجتماعيَّة: شعريَّة، حلقة، وشبكة عشوائيَّة، بغرض وصف تأثير تبادل المعلومات، كنوع أوَّل. وأمَّا النوع الثاني، فهو استخدام البيانات من منصَّة "الفيسبوك". هذا، وإنَّ العمل، هُنا، يركِّز على العلاقة ما بين السلوك على المستوى الجزئيّ، وأنماط الانتشار على المستوى الكليّ، وعليه، فقد أجريت سيناريوهات محاكاة مختلفة باستخدام أساس احتماليّ، ممَّا يدلُّ على تأثير كلِّ فكرة مُمثَّلة؛ وبالتالي، فإنَّ النموذج يثبت نمط انتشار واضح وقدرةً على تحديد الأوائل دون الحاجة إلى البيانات التاريخيَّة، حيث جذبت ملاحظة معظم الاهتمام، ما يُؤكِّد أنَّ هناك اتِّساقاً في التمثيل المستوحى من نظريَّة نشر الابتكار - مدعومة بنموذج السلوك التدريجيِّ للأفراد - جنباً إلى جنب مع صفات خوارزميات التطوُّر. وما من شكٍّ في أنَّ هذه النتيجة ممَّا سيكون له أفقٌ واعد لمزيد من البحوث الاستكشافية في هذا المجال.

الكلمات المفتاحية: انتشار الابتكارات، الخوارزمية التطوريَّة، القبول التدريجيّ، خصائص الابتكار، تباين

الأفراد، الشبكة الاجتماعيَّة، بيانات فيسبوك.

Abstract

The study of the innovation diffusion offers an insight to predict its adoption by a particular community. The diffusion of innovation theory was introduced as a general framework to expound and analyze this social phenomenon. Despite the fact that several studies have been conducted about the innovation diffusion and the richness of literature, little attention has been given to modeling innovation nature and individuals' characteristics that generate different behaviors toward this innovation. The evolutionary algorithm was chosen to deepen the evolution of the adoption decision, as a gradual process affected by exposure to the adoption of neighbors or to innovation itself because of the urgent need to include as many of these important concepts as possible. The current thesis proposes two original models to account this limitation, which are sustained with the theory of innovation diffusion; two types of experimentations were carried out. To better describe the impact of information exchange, a simulation with three forms of social structure lattice, ring and random network, as a first type was performed. The use of data from Facebook platform was the second type. Indeed, the research focused on the relationship between the micro-level behavior and the macro-level diffusion patterns. Namely, different simulation scenarios were conducted using a probabilistic foundation, which demonstrated the influence of every represented notion. The model, therefore, proves an explicit diffusion pattern and the ability to determine the early adopters without the need of historical data. The results show that there is a consistency of representation inspired from innovation diffusion theory - reinforced by individuals' gradual acceptance model – along with the features of evolutionary algorithms. This outcome constitutes a promising area for further exploratory researches.

Keywords diffusion of innovation, evolutionary algorithm, gradual acceptance, innovation characteristics, individuals' heterogeneity, social network, Facebook datasets.

Table des Matières

| | |
|---|------|
| REMERCIEMENTS | II |
| RESUME..... | V |
| ملخص..... | VI |
| ABSTRACT..... | VII |
| TABLE DES MATIERES..... | VIII |
| TABLE DES FIGURES | XIII |
| LISTE DES TABLEAUX..... | XVI |
| INTRODUCTION..... | 1 |
| CONTEXTE DE RECHERCHE | 1 |
| MOTIVATION..... | 2 |
| PROBLEMATIQUE | 3 |
| CONTRIBUTION..... | 5 |
| ORGANISATION DU DOCUMENT | 6 |
| PREMIERE PARTIE | 7 |
| CONCEPTS ET MODELES..... | 7 |
| CHAPITRE 1. CONCEPTS DE LA DIFFUSION..... | 8 |
| 1.1. INTRODUCTION..... | 10 |
| 1.2. LES ELEMENTS DE LA THEORIE..... | 11 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 1.2.1. | <i>L'innovation</i> | 12 |
| 1.2.1.1. | L'avantage relatif | 13 |
| 1.2.1.2. | La compatibilité..... | 14 |
| 1.2.1.3. | La complexité | 15 |
| 1.2.1.4. | La possibilité d'essai | 16 |
| 1.2.1.5. | L'observabilité | 16 |
| 1.2.1.6. | Le coût | 17 |
| 1.2.1.7. | La réinvention | 17 |
| 1.2.1.8. | Le risque | 18 |
| 1.2.1.9. | L'image et le volontariat..... | 19 |
| 1.2.1.10. | L'approbation sociale et la divisibilité | 19 |
| 1.2.1.11. | La communicabilité et la rentabilité | 20 |
| 1.2.1.12. | L'utilité perçue et la facilité d'utilisation | 20 |
| 1.2.2. | <i>Le réseau social</i> | 23 |
| 1.2.2.1. | La pression sociale | 24 |
| 1.2.2.2. | La contagion sociale | 24 |
| 1.2.3. | <i>Les canaux de communication</i> | 24 |
| 1.2.3.1. | Les canaux de communication interpersonnelles | 25 |
| 1.2.3.2. | Les masses médias | 25 |
| 1.2.3.3. | L'incertitude..... | 25 |
| 1.2.3.4. | L'homophilie et l'hétérophilie | 26 |
| 1.2.4. | <i>Le temps</i> | 26 |
| 1.2.4.1. | Les étapes de la prise de décision | 27 |
| 1.3. | CYCLE DE LA DIFFUSION DE L'INNOVATION | 27 |
| 1.3.1. | <i>Les innovateurs</i> | 28 |
| 1.3.2. | <i>Les premiers adoptants</i> | 28 |
| 1.3.3. | <i>La majorité précoce</i> | 29 |
| 1.3.4. | <i>La majorité tardive</i> | 29 |
| 1.3.5. | <i>Les retardataires</i> | 29 |
| 1.4. | LES TYPES DE DECISION | 30 |
| 1.4.1. | <i>La décision individuelle</i> | 30 |
| 1.4.2. | <i>La décision collective</i> | 30 |
| 1.4.3. | <i>La décision autoritaire</i> | 31 |
| 1.5. | TAUX D'ADOPTION | 31 |
| 1.6. | RESUME | 32 |
| 1.7. | CONCLUSION | 33 |

CHAPITRE 2. MODELES DE LA DIFFUSION 35

| | | |
|----------|--------------------------------------|-----------|
| 2.1. | INTRODUCTION..... | 37 |
| 2.2. | MACROS-MODELES..... | 38 |
| 2.2.1. | <i>Modèle logistique.....</i> | <i>38</i> |
| 2.2.1.1. | Modèle de distribution normale | 40 |
| 2.2.1.2. | Modèle exponentiel modifié | 41 |
| 2.2.2. | <i>Modèle de Gompertz</i> | <i>42</i> |
| 2.2.2.1. | Discussion | 43 |
| 2.2.3. | <i>Modèle de Bass.....</i> | <i>44</i> |
| 2.2.3.1. | Modèle de Fourt et Woodlock..... | 47 |
| 2.2.3.2. | Modèle de Mansfield | 48 |
| 2.2.4. | <i>Discussion.....</i> | <i>50</i> |
| 2.3. | MICROS-MODELES..... | 52 |
| 2.3.1. | <i>Modèle à seuil.....</i> | <i>53</i> |
| 2.3.1.1. | Automates cellulaires | 54 |
| 2.3.2. | <i>Approche épidémique.....</i> | <i>55</i> |
| 2.3.2.1. | Propagation des rumeurs | 57 |
| 2.3.2.2. | Modèle épidémique SIR..... | 57 |
| 2.3.2.3. | Modèle à base des agents..... | 59 |
| 2.3.3. | <i>Modèle en cascade</i> | <i>61</i> |
| 2.3.3.1. | Modèle en cascade indépendant..... | 62 |
| 2.3.3.2. | Modèle à seuil linéaire..... | 63 |
| 2.4. | DISCUSSION | 63 |
| 2.5. | CONCLUSION | 68 |

DEUXIEME PARTIE. CONTRIBUTIONS 70

CHAPITRE 3. MODELE EVOLUTIONNAIRE..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

| | | |
|--------|---------------------------------|-----------|
| 3.1. | INTRODUCTION..... | 73 |
| 3.2. | APPROCHE EVOLUTIONNAIRE | 74 |
| 3.3. | LES RESEAUX SOCIAUX..... | 76 |
| 3.3.1. | <i>Le réseau régulier</i> | <i>76</i> |
| 3.3.2. | <i>Le petit monde</i> | <i>77</i> |

| | | |
|----------|----------------------------------|----|
| 3.3.3. | <i>Le réseau aléatoire</i> | 77 |
| 3.3.3.1. | <i>Les liens faibles</i> | 78 |
| 3.4. | LE MODELE PROPOSE..... | 79 |
| 3.4.1. | <i>Facteurs internes</i> | 81 |
| 3.4.2. | <i>Facteurs Externes</i> | 81 |
| 3.4.3. | <i>Croisement</i> | 82 |
| 3.4.4. | <i>Fitness</i> | 83 |
| 3.4.5. | <i>Individus</i> | 83 |
| 3.4.6. | <i>Algorithme</i> | 84 |
| 3.4.1. | <i>Réseau social</i> | 86 |
| 3.5. | EXPERIMENTATIONS | 87 |
| 3.6. | DISCUSSION | 89 |
| 3.7. | CONCLUSION | 89 |

CHAPITRE 4. MODELE D'ADOPTION EVOLUTIONNAIRE..... 91

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.1. | INTRODUCTION | 93 |
| 4.2. | LE MODELE PROPOSE..... | 94 |
| 4.2.1. | <i>Les individus</i> | 96 |
| 4.2.2. | <i>Innovation</i> | 97 |
| 4.2.3. | <i>Premiers Adoptants</i> | 98 |
| 4.2.4. | <i>Mutation</i> | 99 |
| 4.2.5. | <i>Croisement</i> | 99 |
| 4.2.6. | <i>Fitness</i> | 101 |
| 4.2.7. | <i>L'algorithme</i> | 102 |
| 4.3. | CONFIGURATION DES EXPERIMENTATIONS | 104 |
| 4.4. | RESULTATS ET DISCUSSION | 104 |
| 4.4.1. | <i>Réseau social</i> | 105 |
| 4.4.2. | <i>Croisement</i> | 106 |
| 4.4.3. | <i>Complexité</i> | 108 |
| 4.4.4. | <i>Avantage relatif</i> | 109 |
| 4.4.5. | <i>Possibilité d'essai</i> | 110 |
| 4.4.6. | <i>Sélection des individus</i> | 111 |
| 4.4.7. | <i>Innovation improductive</i> | 112 |
| 4.4.8. | <i>La réinvention de l'innovation</i> | 113 |

| | | |
|---------------------------------------|--|------------|
| 4.5. | COMPARAISON AVEC D'AUTRES MODELES DE DIFFUSION | 114 |
| 4.5.1. | <i>Les macros-modèles</i> | 114 |
| 4.5.2. | <i>Les micros-modèles</i> | 114 |
| 4.6. | CONCLUSION | 116 |
| CHAPITRE 5. APPLICATIONS | | 118 |
| 5.1. | INTRODUCTION | 120 |
| 5.2. | LA PLATEFORME FACEBOOK | 121 |
| 5.2.1. | <i>Le corpus de données Facebook</i> | 122 |
| 5.2.1.1. | Nœuds et arêtes dans le plus grand CLC | 122 |
| 5.2.1.2. | Nœuds et arêtes dans le plus grand CFC | 122 |
| 5.2.1.3. | Le coefficient de regroupement | 123 |
| 5.2.1.4. | Le diamètre | 123 |
| 5.3. | MODELE EVOLUTIONNAIRE | 123 |
| 5.4. | LE MODELE EVOLUTIONNAIRE D'ADOPTION | 125 |
| 5.4.1. | <i>Un Réseau social dynamique</i> | 126 |
| 5.5. | DOMAINE D'APPLICATION | 127 |
| 5.5.1. | <i>L'estimation de diffusion des nouveaux produits</i> | 130 |
| 5.5.2. | <i>La diffusion et les mouvements sociaux</i> | 130 |
| 5.5.3. | <i>La diffusion et l'opinion publique</i> | 131 |
| 5.5.3.1. | Expérimentations et discussions | 133 |
| 5.5.3.2. | L'avis politique comme innovation | 134 |
| 5.5.3.3. | La collection des données de la diffusion | 136 |
| 5.6. | CONCLUSION | 137 |
| CONCLUSION GENERALE | | 139 |
| PUBLICATIONS | | 145 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 146 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1.1. La courbe en cloche de la diffusion d'innovations | 28 |
| Figure 1.2. Diagramme schématique d'une courbe en S déterminée par 3 paramètres (1) la saturation (2) le temps de croissance (3) le point du milieu..... | 31 |
| Figure 1.3. Regroupement des éléments de la diffusion de l'innovation | 32 |
| Figure 2.1. Schéma de la fonction logistique $N=1, \alpha=1, \beta=50$ | 39 |
| Figure 2.2. Schéma de la fonction de Gompertz où $N=1, \alpha=4, \text{ et } \beta=2$ | 43 |
| Figure 2.3. Le modèle Bass correspondant aux courbes de diffusion cumulative classique en forme de S, en fonction des paramètres p et q | 47 |
| Figure 2.4. Un modèle d'adoption avec un seuil d'individus égale à $4/5$ | 54 |
| Figure 2.5. Le modèle épidémique SIR avec une probabilité de transition: $S \rightarrow I$ égale à ρ , $I \rightarrow R$ égale à P et $R \rightarrow I$ égale à ρI | 58 |
| Figure 2.6. La taxonomie des modèles de diffusion de l'innovation..... | 64 |
| Figure 3.1. Digramme de l'algorithme d'adoption évolutionnaire proposé | 85 |
| Figure 3.2. Les trois structures du réseau choisies | 86 |
| Figure 3.3. Scénario 1.a: structure en treillis (50×20) | 88 |
| Figure 3.4. Scénario 1.b: structure en treillis (5×200) | 88 |
| Figure 3.5. Scénario 2.a: Réseau en anneau (4 relations) | 88 |
| Figure 3.6. Scénario 2.b: Réseau en anneau (8 relations) | 88 |
| Figure 3.7. Scénario 3.a: réseau aléatoire (4 relations) | 88 |
| Figure 3.8. Scénario 3.b: réseau aléatoire (8 relations) | 88 |
| Figure 4.1. Les notions de diffusion de l'innovation conceptualisées dans le modèle proposé..... | 95 |

| | |
|--|-----|
| Figure 4.2. Exemple de la présentation d'individu | 97 |
| Figure 4.3. La technique de la mutation implémentée | 99 |
| Figure 4.4. La technique du croisement implémentée | 100 |
| Figure 4.5. Diagramme schématique de l'algorithme proposé | 103 |
| Figure 4.6. Les trois différentes structures de réseaux choisies lors de la première expérimentation..... | 106 |
| Figure 4.7. L'effet de l'augmentation du croisement | 107 |
| Figure 4.8. Le résultat de l'alourdissement de la complexité | 108 |
| Figure 4.9. L'influence de l'avantage relatif..... | 109 |
| Figure 4.10. Les conséquences d'essai sur la tendance d'adoption | 110 |
| Figure 4.11. Les résultats du modèle en fonction de la sélection des individus | 111 |
| Figure 4.12. L'innovation infructueuse en définissant les caractéristiques d'innovation défavorables..... | 112 |
| Figure 4.13. Le paramétrage de la réinvention de l'innovation..... | 113 |
| Figure 4.14. Les traces des courbes : logistique, Gompertz et Bass en considération avec le modèle d'adoption évolutionnaire | 114 |
| Figure 4.15. Une comparaison des micros modèles avec le modèle proposé | 115 |
| Figure 4.16. Les exécutions des micros-modèles détaillées séparément | 115 |
| Figure 5.1. Scénario 1 : $CRO = 0.5$, $\alpha = \beta = 0.5$ | 124 |
| Figure 5.2. Scénario 2 : $CRO = 1.0$, $\alpha = \beta = 0.5$ | 124 |
| Figure 5.3. Scénario 3 : $CRO = 0.1$, $\alpha = \beta = 0.5$ | 124 |
| Figure 5.4. Scénario 4 : $CRO = 0.5$, $\alpha = 0.7$, $\beta = 0.3$ | 124 |
| Figure 5.5. Scénario 5 : $CRO = 0.5$, $\alpha = 0.3$, $\beta = 0.7$ | 124 |
| Figure 5.6. Collection des résultats de la simulation..... | 124 |
| Figure 5.7. Des expérimentations avec le réseau social Facebook..... | 126 |
| Figure 5.8. Des expérimentations avec un réseau social dynamique | 127 |

| | |
|---|-----|
| Figure 5.9. Schéma du modèle d'influence en deux étapes | 132 |
| Figure 5.10. La diffusion avec les leaders d'opinion | 134 |
| Figure 5.11. La diffusion avec une grande population | 136 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 1.1. Caractéristiques de l'innovation citées dans la littérature en comparaison avec celles citées par Rogers | 22 |
| Tableau 2.1. Les éléments de la théorie de la diffusion de l'innovation considérés par les modèles mentionnés..... | 66 |
| Tableau 3.1. Résultats de la simulation..... | 87 |
| Tableau 4.1. La simulation des trois structures du réseau social | 105 |
| Tableau 4.2. Variation du croisement..... | 107 |
| Tableau 4.3. Variation de la complexité..... | 108 |
| Tableau 4.4. Variation de l'avantage relatif..... | 109 |
| Tableau 4.5. Comparaison entre différentes valeurs d'essai | 110 |
| Tableau 4.6. La simulation d'augmentation des valeurs de la sélection | 111 |
| Tableau 4.7. Résultat défavorable des conditions inadaptées | 112 |
| Tableau 4.8. Résultat de l'adaptation de l'innovation par les individus..... | 113 |
| Tableau 5.1. Statistiques sur la base de corpus données Facebook..... | 122 |
| Tableau 5.2. Résultats de la simulation..... | 125 |
| Tableau 5.3. Résultat de l'utilisation de la plateforme Facebook..... | 126 |
| Tableau 5.4. Simulation d'un réseau social dynamique..... | 127 |
| Tableau 5.5. Regroupement des exemples des domaines d'application | 128 |
| Tableau 5.6. L'avantage des leaders d'opinion..... | 134 |

Introduction

Contexte de recherche

En 2016, les élections présidentielles des États-Unis ont apporté une nouvelle direction politique. Ce phénomène de changement non prévu qui paraît bizarre, n'a pas posé aucun doute. Quelques mois plus tard, suite à plusieurs investigations, une opération d'orientation bien conduite a été découverte. Une société, qui s'appelle « Cambridge Analytica », a rassemblé les données de 87 millions de comptes d'utilisateurs Facebook (Schroepfer, 2018; Le Monde.fr, 2018). Ces informations ont été utilisées d'une façon indirecte pour influencer les avis politiques de la population américaine. Les données collectées ont servi à changer les intentions de votes envers un candidat politique soutenu par la société CA.

L'évolution de l'internet et son utilisation universellement émergente par sa politique démocratique, a permis à tout le monde d'être connecté, et à toute personne d'en bénéficier ainsi que de distribuer n'importe quelle information et proposer ses propres services ou produits. Cette vision de libre échange de l'information impliquant un accès aussi libre, et des diffusions illimitées d'informations, nous laisse réfléchir sur la nature de l'information elle-même, sur plusieurs aspects. L'un des plus importants et sûrement cruciaux est le degré de la propagation de ces informations et ses impacts. L'internet a également encouragé les chercheurs à définir quelles sont les raisons qui encouragent la diffusion ? Les réseaux des mondes réels extraits des réseaux sociaux en ligne constituent un meilleur corpus de données, qui permettent des expérimentations plus explicites, pratiques et réalistes. Les gens actuellement utilisent fréquemment les réseaux sociaux en ligne en raison de la diffusion rapide des informations. Le développement de la technologie 3G et 4G favorise d'avantage l'émergence et la prolifération de ces médias sociaux, ce qui permet aux individus de partager, simultanément, des informations avec n'importe quel nombre de pairs.

Motivation

La notion de diffusion occupe une place cruciale dans tout système social du fait qu'elle est au cœur du comportement des individus (Steyer & Zimmermann, 2004). Par conséquent, le processus de diffusion est la base de l'évolution des sociétés. Étudier la diffusion des innovations, c'est rechercher les mécanismes qui permettent à une société de se transformer et d'orienter les évolutions qualitatives dans le sens du bien de la communauté.

D'autre part, la recherche de diffusion vise à comprendre la manière d'encourager une population à adopter une innovation dont l'avantage n'est pas immédiatement observable. De plus, les entreprises qui recherchent la promotion quotidienne de nouveaux produits sont également concernées par cette approche. Un autre exemple consiste à orienter l'opinion publique vers les stratégies correctes et saines, ou vers une politique gouvernementale, comme le cas des élections présidentielles américaines.

Dans l'ensemble, la diffusion des innovations est un domaine pluridisciplinaire qui réunit le marketing, l'économie, la gestion, la psychologie, la sociologie et l'anthropologie. Chaque domaine a son point de vue. Par exemple, la sociologie tente de comprendre le comportement humain, alors que le marketing essaie de mettre des plans en basant sur ce dernier.

À cet égard, les théories du changement du comportement sont introduites pour formuler et comprendre comment ce changement social se produit. La théorie de la diffusion de l'innovation tente d'expliquer pourquoi et comment l'innovation se répandra dans une population (Valente, 2005). Ce cadre théorique permet aux chercheurs de construire des modèles qui simplifient la réalité et prédisent la dynamique future. Cette théorie a gagné une grande popularité et a été appliquée dans différents domaines. C'est la théorie la plus citée des théories de la communication et la deuxième théorie des sciences sociales la plus citée à ce jour (Kee, 2017; Rice, 2009; Tanye, 2016).

L'adoption est un microprocessus individuel détaillant la série d'étapes depuis la première audition d'une information jusqu'à son acceptation finale. Tandis que la

diffusion est le macro-processus qui évolue d'un petit groupe de la population à un groupe plus large.

Dans ce contexte, la diffusion est un type de changement social qui supporte l'acceptation des adoptants dans la structure sociale. Pour cette raison, lorsque de nouvelles idées, objets ou pratiques sont proposés, ils peuvent être adoptés ou rejetés, ce qui induit certains résultats sur le réseau social. L'adoption d'innovations peut être rapide ou lente, en fonction des croyances sociales, des valeurs et des normes d'une société et beaucoup d'autres facteurs.

Par conséquent, il existe toujours un besoin de systèmes de prise de décision qui maximisent l'intégration des éléments importants de la diffusion. Rogers (1962) a défini quatre facteurs qui sont au cœur de ce processus qui sont : (1) l'innovation elle-même, (2) les canaux de communication, (3) le temps et (4) le système social. Également il a identifié cinq qualités de l'innovation qui déterminent le succès et la rapidité de son adoption dans la société : l'avantage relatif, la simplicité, la compatibilité, l'observabilité et la possibilité d'essayer.

Problématique

Il existe deux catégories de modèles de diffusion de l'innovation qui tiennent en compte des différents éléments du processus de diffusion : les macros modèles (modèles analytiques) et les micros modèles qui regroupent : le modèle à seuil, l'approche épidémiologique, et le modèle en cascade.

Les modèles analytiques ont montré un intérêt particulier sur le taux d'adoptants, faisant des suppositions d'individus homophiles, ou de réseaux sociaux fortement connectés (Valente, 2005; Valente, 1993). Un modèle particulier de ces macro-modèles est le modèle de Bass (1969) où les individus sont restreints en deux groupes : les innovateurs ou les imitateurs. Cependant, dans des scénarios réels, les utilisateurs potentiels ne sont pas similaires et n'interagissent pas toujours avec tous les autres membres du réseau.

La catégorie des modèles à seuil se concentre sur l'influence de la structure sociale, où la décision de l'individu dépend du comportement des autres dans le réseau personnel ou le système social. Cependant, ces modèles ne tiennent pas compte de l'absence de communication entre les membres du système social (Granovetter, 1978; Valente, 2005).

L'impact des canaux de communication entre les membres du système social a été au centre de l'approche épidémiologique dans laquelle la diffusion est traitée comme une maladie épidémique transmise par un contact direct entre les membres de la communauté (Easley & Kleinberg, 2010).

De même, la catégorie des modèles en cascade considère les deux composantes : le système social et le canal de communication, où les membres suivent la foule. Cette hypothèse d'élevage suppose que l'individu néglige son information privée en imitant le comportement d'autrui (Akrouf, et al., 2013). Ce mécanisme donne lieu à la conformité observée dans ce genre des modèles, qui est enraciné dans l'idée de la force sociale. Une limitation remarquable dans ces modèles est qu'ils éliminent les choix personnels. Ils s'appuient sur la pression sociale au lieu d'offrir une raison claire d'adopter l'innovation (Young, 2009).

Si la plupart des modèles existants soutiennent l'hétérogénéité en classant les adoptants potentiels dans différents groupes ou en ajoutant des distributions de probabilité (Young, 2009; 2006 (a)), ils ignorent les caractéristiques de l'innovation et considèrent que toutes les innovations ont le même niveau d'estimation (Chikouche, et al., 2018). Dans une certaine mesure, les caractéristiques de l'innovation peuvent principalement changer son adoption future (Rogers, 2003). Par conséquent, les caractéristiques d'innovation sont essentielles pour la conceptualisation des modèles de diffusion afin de refléter un processus réel.

D'un autre côté, la sélection d'adoptants précoces et la détermination du taux d'adoption initial sont une préoccupation majeure pour de nombreux modèles de diffusion. Par exemple, plus nombreux les adoptants précoces sont définis, plus tôt la diffusion de l'information sera notée (Rogers, 1995). De nombreux chercheurs s'appuient sur des données historiques des innovations similaires ou sur les jugements des experts pour déterminer le taux initial. Dans le cas d'un manque de données, un seuil prédictif

sera utilisé et un ensemble d'adoptants sera choisi aléatoirement (Mahajan & Wind, 1988).

La séparation des éléments importants de l'innovation et l'étude de chaque concept indépendamment des autres peuvent par la suite diminuer la description du modèle et réduire considérablement la précision du résultat (Chikouche, et al., 2019).

Ces modèles concentrent leur attention uniquement sur deux parties de la population. Ils représentent les personnes comme étant dans l'un des deux états possibles à tout moment : soit elles sont adoptants ou non. Une fois qu'elles approuvent l'innovation, elles ne la refuseraient jamais. De même, celles qui rejettent restent neutres et n'ont aucun effet sur les décisions des adoptants et des non-engagés. Cette hypothèse donne lieu à des résultats des innovations toujours réussites.

Contribution

La nouveauté et la contribution que cette recherche est susceptible d'initier est de mettre en évidence l'application de la théorie de la diffusion de l'innovation dans un modèle individu-centré. Cette approche proposée vise à combler l'écart élargi par une pénurie de publications disponibles dans la littérature qui abordent la question de la modélisation des quatre éléments de la diffusion : l'hétérogénéité des individus, la pression sociale et l'influence des canaux de communication dans un même modèle.

Cette étude résout implicitement le problème de sélection des adoptants précoces en insérant des conditions ordinaires pour leur génération. De plus, ce travail se concentre sur la modélisation des cinq qualités d'innovation. En outre, en dépit de la littérature étendue de la diffusion, peu de travaux ont appliqué des techniques basées sur l'algorithme évolutionnaire (O'Mahoney, 2007; Sampaio, et al., 2013). L'originalité de cette étude est d'émerger l'application de l'algorithme évolutionnaire pour simuler la diffusion de l'innovation comme un processus d'acceptation graduel, qui peut être affecté par le choix personnel ou par la valeur de l'innovation elle-même.

Organisation du document

En ce qui concerne l'organisation, ce travail est structuré en deux parties. La première examine les concepts essentiels et les modèles existants. La deuxième partie s'intéresse aux contributions et réalisations. Pour mieux comprendre le contexte, les concepts fondamentaux de la théorie de la diffusion de l'innovation sont présentés dans le premier chapitre. Pour bien aborder ce sujet, le deuxième chapitre traite de la littérature existante.

De plus, le troisième chapitre présente le premier modèle proposé et la façon dont il a été mis en œuvre. Le quatrième chapitre est consacré à une autre contribution, un deuxième modèle proposé, il est expliqué et testé, suivi d'une discussion analytique. Il est important de noter que les éléments clés de la notion de diffusion sont également détaillés. Le cinquième chapitre constitue une mise en œuvre des modèles proposés, en utilisant un extrait des données Facebook. Il traite également une application du modèle évolutionnaire d'adoption sur un cas particuliers, plus précisément, la future dynamique d'un avis politique et des suggestions des éventuelles applications. À la fin, la recherche établit une conclusion générale et des perspectives.

Première partie

Concepts et modèles

Chapitre I.

Concepts de la diffusion

Sommaire

| | | |
|-----------|---|----|
| 1.1. | INTRODUCTION..... | 10 |
| 1.2. | LES ELEMENTS DE LA THEORIE | 11 |
| 1.2.1. | <i>L'innovation</i> | 12 |
| 1.2.1.1. | L'avantage relatif..... | 13 |
| 1.2.1.2. | La compatibilité..... | 14 |
| 1.2.1.3. | La complexité | 15 |
| 1.2.1.4. | La possibilité d'essai | 16 |
| 1.2.1.5. | L'observabilité | 16 |
| 1.2.1.6. | Le coût | 17 |
| 1.2.1.7. | La réinvention..... | 17 |
| 1.2.1.8. | Le risque | 18 |
| 1.2.1.9. | L'image et le volontariat..... | 19 |
| 1.2.1.10. | L'approbation sociale et la divisibilité..... | 19 |
| 1.2.1.11. | La communicabilité et la rentabilité | 20 |
| 1.2.1.12. | L'utilité perçue et la facilité d'utilisation | 20 |
| 1.2.2. | <i>Le réseau social</i> | 23 |
| 1.2.2.1. | La pression sociale..... | 24 |
| 1.2.2.2. | La contagion sociale | 24 |
| 1.2.3. | <i>Les canaux de communication</i> | 24 |
| 1.2.3.1. | Les canaux de communication interpersonnelles | 25 |
| 1.2.3.2. | Les masses médias | 25 |
| 1.2.3.3. | L'incertitude..... | 25 |
| 1.2.3.4. | L'homophilie et l'hétérophilie | 26 |
| 1.2.4. | <i>Le temps</i> | 26 |
| 1.2.4.1. | Les étapes de la prise de décision | 27 |
| 1.3. | CYCLE DE LA DIFFUSION DE L'INNOVATION | 27 |
| 1.3.1. | <i>Les innovateurs</i> | 28 |
| 1.3.2. | <i>Les premiers adoptants</i> | 28 |
| 1.3.3. | <i>La majorité précoce</i> | 29 |
| 1.3.4. | <i>La majorité tardive</i> | 29 |
| 1.3.5. | <i>Les retardataires</i> | 29 |
| 1.4. | LES TYPES DE DECISION..... | 30 |
| 1.4.1. | <i>La décision individuelle</i> | 30 |
| 1.4.2. | <i>La décision collective</i> | 30 |
| 1.4.3. | <i>La décision autoritaire</i> | 31 |
| 1.5. | TAUX D'ADOPTION | 31 |
| 1.6. | RESUME..... | 32 |
| 1.7. | CONCLUSION..... | 33 |

1.1. Introduction

Depuis son existence, l'homme a toujours été ambitieux. Il s'est toujours efforcé de créer les meilleures manières de vivre : manger, s'habiller et proposer des solutions pratiques pour sa santé. L'évolution des créations oblige l'homme à substituer l'ancienne technologie par ce qui est nouveau pour sa propre satisfaction et pour améliorer son mode de vie (Fisher & Pry, 1971). Ce développement a montré sa connaissance et a renforcé ses relations et ses communications malgré les distances. Contrairement à certaines inventions, qui avaient un avenir prometteur, telles que les ordinateurs et l'internet, d'autres ont existé pendant un certain temps et ont péri peu après. Est-ce dû au fait qu'ils n'avaient pas assez de chance ? Donc, elles avaient disparues de l'histoire. Le sociologue et psychologue social français Gabriel Tarde (1903) se demande : « *Pourquoi, parmi une centaine d'innovations différentes conçues simultanément - que ce soit de forme verbale, des idées mythologiques ou des processus industriels - dix se sont propagées, tandis que 90% restent dans l'oubli?* » Voici le problème. Les auteurs d'une nouvelle idée visent à découvrir la clé du succès, ce qui motive les chercheurs à commencer à enquêter sur ces questions afin de trouver des moyens qui empêchent l'échec et augmentent la propagation.

Ryan & Gross (1950; 1943) ont d'abord fondé les bases de la théorie de la diffusion d'innovation (Rogers, 2004; 2003; Valente & Rogers, 1995). Plus tard, Rogers (1962) a résumé plusieurs études indépendantes en une seule analyse (Valente, 2005). Le chercheur a créé un modèle général de diffusion comme théorie, avec une large applicabilité. Dans son livre, l'auteur définit la diffusion comme « *le processus par lequel une innovation est communiquée à travers certains canaux au fil du temps parmi les membres d'un système social* » (Rogers, 2003, p. 11). Quatre facteurs sont au cœur de ce processus: (1) l'innovation elle-même, (2) les canaux de communication, (3) le temps et (4) le système social. Dans ce contexte, Rogers (1962) a aussi défini cinq attributs qui peuvent soit contribuer à l'émergence de l'innovation ou à sa prévention. Ces attributs sont : l'avantage relatif, la compatibilité, la complexité, la possibilité d'essai et l'observabilité.

L'objectif de cette théorie est d'expliquer comment les nouvelles pensées sont diffusées chez les individus d'un certain système social (Valente, 2005; 2010; Valente & Davis, 1999). Dans des recherches relatives à la diffusion de l'innovation, la théorie de Rogers (2003) est l'une des plus référencées puisqu'elle est générale et peut donc s'appliquer aux grandes variétés des problèmes mondiaux existants (Rogers, 2004; Sampaio, et al., 2013; Valente, 2005; Valente & Rogers, 1995). À titre d'exemple, elle est utilisée dans le domaine de la médecine, agriculture, sociologie, marketing, économie ou épidémiologie (pour plus de détail voir 5.5).

La théorie de la diffusion de l'innovation est une théorie de concepts. Dans le sens le plus général ce type de théorie est défini comme « *simplement un ensemble cohérent de principes hypothétiques, conceptuels et pragmatiques qui servent de cadre de référence pour certains domaines d'étude. Un principe est une déclaration propositionnelle relative à un aspect de la réalité et qui fournit une base de raisonnement ou un guide d'action. Il sert aussi à raisonner dans la mesure où d'autres énoncés ou propositions peuvent en découler logiquement* » (Cushman & Kincaid, 1987, p. 3).

Pour avoir une vision globale et florissante du contexte de la recherche, il est indispensable de poursuivre l'étude par une analyse approfondie de la théorie de la diffusion d'innovation tout en soulignant les éléments nécessaires.

1.2. Les éléments de la théorie

Le composant initial de la diffusion est l'introduction de la nouveauté dans le système social. Cette introduction implique une forme de communication entre les membres du système social pour accepter ce changement et aussi pour parvenir à une compréhension mutuelle, ce qui encourage de plus l'adoption.

La diffusion signifie un ensemble de transitions qui se produisent de l'adoption d'innovation. Tandis que l'adoption est un microprocessus d'acceptation individuelle. L'adoption est un état d'esprit personnel, nécessaire pour que la diffusion atteigne le stade de l'acceptation majoritaire.

La diffusion est définie par Folorunso et al. (2010, p. 362) comme « *le processus par lequel une innovation est adoptée et acceptée par les membres d'une communauté donnée* ».

Dans ce cadre, Rice (2009, p. 489) l'a définie comme « *le processus par lequel une innovation (idée, produit, technologie, processus ou service) se diffuse (plus ou moins rapidement, sous plus ou moins la même forme) par le biais des mass médias, des médias numériques et la communication interpersonnelle, au fil du temps, à travers un système social, avec une grande variété de conséquences (positives et négatives)* ».

Un certain nombre de facteurs interagissent pour influencer la dissémination d'une innovation. Sur la base de la définition citée par Rogers (2003, p. 11), on peut noter que « *la diffusion est le processus par lequel (1) une innovation est communiquée à travers certains (2) canaux de communication au fil du (3) temps entre les participants dans (4) un système social* ». Ces quatre principaux éléments sont catégorisés et détaillés dans les sous-sections suivantes.

1.2.1. L'innovation

Une innovation est une idée, une pratique ou un objet ou tout ce qui est reconnu comme étant nouveau par un individu ou d'autres unités d'adoption (Rogers, 2003; Valente, 1996). Selon Damanpour (1991, p. 556) « *une innovation peut être un nouveau produit ou service, une nouvelle technologie de processus de production, une nouvelle structure ou un nouveau système administratif ou un nouveau plan ou programme relatif aux membres de l'organisation. Ainsi, l'innovation est définie comme l'adoption d'un dispositif, système, règle, programme, processus, produit ou service, généré ou acheté en interne, qui est nouveau pour l'organisation adoptante* ».

La recherche sur les caractéristiques de l'innovation est l'un des problèmes classiques de la littérature de la diffusion (Tornatzky & Klein, 1982). L'étude des perceptions d'une innovation décrit les rapports entre les caractéristiques et la mise en œuvre de cette innovation. Ostlund (1974) a affirmé que ces attributs peuvent prédire très efficacement l'avenir de l'innovation beaucoup plus que les variables caractéristiques personnelles des adoptants potentiels. Moore et Benbasat (1991) ont souligné l'intérêt de ces caractéristiques et ont confirmé que les manières des perceptions échantillent le comportement individuel primaire.

En principe, ce qui conduit les adoptants potentiels à des comportements différents est dû aux différentes manières dont ces caractéristiques sont perçues (Fliegel & Kivlin, 1966). Certaines apparences aident à une diffusion réussie, alors que d'autres l'étouffent (Flight, et al., 2011). Ces recherches fortement persistantes ont impliqué un nombre progressif des rapports et ont créé favorablement des efforts fréquents pour systématiser et récapituler les riches constatations rapportées. La recherche sur les attributs perçus soutient l'établissement d'une théorie universelle (Moore & Benbasat, 1991). Une classification des attributs peut être fondée sur des caractéristiques qui peuvent être primaires ou secondaires, et cette distinction a des implications importantes sur la manière d'élaboration de la théorie (Downs & Mohr, 1976).

Dans ce sens, les recherches sur les perceptions de l'innovation s'inspirent généralement de travaux de Rogers (1962), qui a catégorisé cinq principales caractéristiques influençant la décision d'adoption des personnes : l'avantage relatif, la complexité, la compatibilité, l'observabilité et la possibilité d'essayer. En plus de la classification de Rogers, dans les publications relatives à la diffusion, d'autres propositions sont disponibles et qui ont été jugées importantes pour l'adoption d'une innovation comme l'image, le volontariat et l'approbation sociale (Moore & Benbasat, 1991), l'utilité perçue et la facilité d'utilisation (Davis, 1986). Tornatzky et Klein (1982) ont identifié 10 caractéristiques qui comprennent les cinq caractéristiques identifiées ci-dessus par Rogers, en outre : le coût, la communicabilité, l'approbation sociale, la rentabilité et la divisibilité.

I.2.1.1. L'avantage relatif

L'avantage relatif est la perception d'une idée comme étant meilleure que d'autres déjà existantes. Cela peut être par exemple une satisfaction, un prestige social, une commodité, des coûts considérablement réduits, un meilleur service ou une amélioration par rapport à d'autres services existants. Dans le cas d'un nouveau produit ou service, les privilèges impliqués en termes de valeur d'avantage présentés par rapport à d'autres alternatives existantes. Éventuellement, il s'agit d'une transformation (avec de caractéristiques préférables, bénéfiques, meilleurs attributs, forme plus confortable, etc.), un prix réduit (conditions de paiement faciles, garantie échange, meilleures offres et remises), ou les circonstances de la

disponibilité (plus accessible par les magasins physiques, et les magasins électroniques virtuels) ou meilleure communication (les promotions, les publicités). De ce fait, ces avantages reliés aux produits possèdent une nature attirante.

Ce qui est primordial est ce que les gens admettent comme bénéfique, même contrairement aux dépens de la réalité actuelle. Cette caractéristique est étroitement liée aux besoins des individus, l'innovation qui a le plus de chances de réussir est celle qui implique des besoins fortement ressentis. Plus la perception de l'avantage relatif est élevée, plus le processus d'adoption sera rapide (Rogers, 2003). Si les adoptants potentiels ne perçoivent aucun profit dans l'innovation, ils ne l'examineront pas principalement. Les innovations qui montrent un avantage clair et sans ambiguïté en termes de rapport coût-efficacité sont plus facilement adoptées (Greenhalgh, et al., 2004).

L'adoption engage un certain niveau de risque (Burt, 1987) et les individus ajustent cette incertitude en faisant appel aux autres membres du réseau social pour définir une interprétation acceptable, en équilibrant les avantages par rapport aux coûts. Les encouragements d'adoption par des compagnes peuvent augmenter l'avantage relatif (Tanye, 2016). Ces encouragements sont initiés souvent par un niveau plus élevé d'organisation sociale comme le gouvernement, afin d'orienter l'opinion publique à l'égard de cette innovation.

1.2.1.2. La compatibilité

C'est la cohérence avec les besoins, les expériences antérieures, les valeurs personnelles, les normes et les croyances des adoptants potentiels. Dans un cas d'innovation incompatible, l'adoption peut nécessiter beaucoup plus de temps et de discussions avant qu'elle devienne socialement approuvable. Ce retard provient souvent d'un changement de certaines normes ou du processus de la construction d'un système de connaissance des valeurs spéciales. Si une innovation donnée nécessite une grande transformation ou si les adoptants potentiels doivent acquérir des valeurs supplémentaires, il sera probablement infructueux (Rogers, 2003).

Ordinairement, la compatibilité perçue est considérée comme ayant une influence positive sur les intentions. Cette influence a été justifiée et prouvée empiriquement dans plusieurs travaux de recherche (Bozbay & Yasin, 2008). Tornatzky et Klein (1982) ont distingué deux niveaux de compatibilité ; le premier niveau suggère une compatibilité plus opérationnelle ou pratique, alors une adéquation avec ce que les gens font, tandis que le second niveau implique une manière de compatibilité cognitive ou normative, donc un accord avec ce que les gens pensent et jugent.

I.2.1.3. La complexité

Ce facteur représente le taux de la perception d'une innovation comme étant difficile à comprendre ou à utiliser. La complexité est l'opposé conceptuel de la facilité d'utilisation (Moore & Benbasat, 1991). Les économistes ont insisté sur la simplicité dans le lancement de nouveaux produits ; également, les chercheurs en communication et les anthropologues ont aussi manifesté un intérêt élevé (Fliegel & Kivlin, 1966). En fait, l'innovation complexe est adoptée plus lentement (Plsek, 2003; Westrick & Mount, 2009), car elle implique davantage de temps pour être apprise comme une nouvelle façon de penser. De plus, elle nécessite l'internalisation de nouvelles techniques pour réduire la confusion. Contrairement à ce qui a été dit précédemment, la simplicité accélère la dynamique de diffusion.

Par conséquent, plus une innovation est simple, plus il sera facile à être intégré par les adoptants potentiels (Rogers, 2003). La complexité constitue probablement un élément plus sérieux pour une population caractérisée par des niveaux d'éducation moins élevés et avec moins de contact avec la société urbaine (Fliegel & Kivlin, 1966). Un exemple pratique est les applications web 2.0, plus précisément ; les médias sociaux offrent une simplicité de la plateforme sur laquelle ils ont été créés. Cette facilité a caractérisé leur utilisation et elle est l'un des facteurs les plus importants qui a aussi contribué à leur succès. De plus, ce facteur a aidé les utilisateurs à s'adapter plus facilement et a encouragé plus les gens à s'inscrire.

Par contre, la complexité technologique constitue un frein pour la diffusion, en raison de la peur liée à l'achat et à l'utilisation de nouveaux produits complexes. Tout en parlant des exemples, le problème de la complexité de la téléphonie mobile a été résolu par l'introduction des modèles plus simples dans le marché pour ceux qui désirent utiliser l'appareil mobile seulement pour passer et recevoir des appels et des messages. En général, l'assistance technique, les services supplémentaires, la maintenance et la disponibilité d'informations provenant d'autres utilisateurs qualifiés peuvent vraiment diminuer la complexité d'utilisation et par la suite facilite la diffusion technologique.

I.2.1.4. La possibilité d'essai

La possibilité d'essai est le taux d'expérimentation d'une innovation sans pertes significatives ou bien la possibilité de l'expérimenter partiellement. Une innovation expérimentable est caractérisée par moins d'incertitude pour ses futurs adoptants, car elle a la possibilité d'être essayée dans le but d'éliminer l'ambiguïté et les peurs qui y sont associées (Fliegel & Kivlin, 1966). Plus une innovation est expérimentable, plus elle sera susceptible d'être adoptée et sa diffusion se fera plus rapidement (Rogers, 2003). Cette caractéristique a souvent été nommée comme un facteur important pour une adoption rapide (Fliegel & Kivlin, 1966). Les adoptants potentiels peuvent vérifier l'offre innovante, l'évaluer et ensuite décider de son engagement en l'acceptant ou en rejetant.

I.2.1.5. L'observabilité

Ce facteur définit dans laquelle mesure la clarté de bons résultats, la conformité de la récompense, l'efficacité effective et le gain sont visibles aux autres. L'observabilité rappelle directement à la facilité de la transmission de la nouveauté aux autres adoptants potentiels, ce qui agit principalement sur l'adoption d'une innovation quelconque. Si l'adoptant potentiel observe d'autres personnes dans son environnement en sélectionnant une innovation spécifique, il sera motivé pour discuter cette innovation et habituellement il demande des informations d'évaluation à ce sujet. En d'autres termes, l'individu aura non seulement pris conscience plutôt de l'existence d'une telle innovation, mais en aura davantage

bénéficié par l'expérimentation. Le simple fait d'être témoin, en remarquant les conséquences souhaitables ou indésirables de l'adoption, fournit des informations importantes qui seront transmises par la suite (Burt, 1987). Donc, l'individu constitue sa perception des avantages à obtenir en prenant chacun de plusieurs actions alternatives. L'observabilité, par conséquent, peut améliorer la progression de la diffusion. Les chances d'adoption sont plus grandes si l'adoption et leurs avantages relatifs sont clairement observés (Rogers, 2003). Une distinction d'observabilité proposée par Moore et Benbasat (1991), dont ils proposent de conceptualiser davantage l'observabilité sous la forme de deux attributs différents: visibilité et démonstrabilité.

I.2.1.6. Le coût

Les coûts attachés à l'adoption sont fréquemment invoqués comme des obstacles à une diffusion réussite (Fliegel & Kivlin, 1966). Ils sont censés être liés négativement à l'adoption, plus l'innovation est coûteuse, plus il est probable qu'elle sera mise en œuvre lentement. Le coût est lié au niveau de revenu des adoptants, ce qui peut sembler coûteux pour une personne et peu coûteux pour une autre. Le coût a plus d'impact sur le comportement d'achat (Tornatzky & Klein, 1982).

I.2.1.7. La réinvention

Dans les premières années de recherche sur le processus de la diffusion, la décision d'adoption décrivait une imitation de la même façon et la même copie de l'innovation exacte dont elle avait déjà été utilisée par des adoptants précédents. Quelquefois, l'adoption symbolise parfaitement un comportement similaire. Cependant, dans d'autres cas, une innovation n'est pas stable, passant d'adoptant à autre ; elle change et évolue probablement au cours de ce processus. Ce phénomène représente la réinvention. La réinvention est définie comme le taux de changement d'une innovation par les adoptants potentiels au cours de sa mise en œuvre. La réinvention peut survenir au stade de l'implémentation de l'innovation (Rice & Rogers, 1980).

Avant les années 1970, la réinvention était observée comme un comportement très rare, elle était traitée comme un bruit exceptionnel dans les études de la diffusion (Kee, 2017). En conséquence, les adoptants étaient considérés comme des accepteurs plutôt passifs que des accepteurs d'innovation actifs (Rogers, 2003). L'innovation sera adoptée plus rapidement, si les adoptants peuvent l'adapter, modifier ou affiner de toute autre sorte pour l'adaptation à des besoins personnels. La réinvention est fondamentalement cruciale pour les nouvelles pratiques (Greenhalgh, et al. , 2004).

I.2.1.8. Le risque

Le risque perçu est largement détaillé dans la littérature de la prise de décision (Greenhalgh, et al., 2004), bien qu'il n'est pas un concept séparé dans la théorie de Rogers (2003) ; il est incluse dans les avantages relatifs. Le risque agit également comme un obstacle associé négativement à l'adoption de l'innovation (Oren & Schwartz, 1988; Ostlund, 1974; Tanye, 2016). Si l'innovation présente un degré élevé d'incertitude quant aux résultats que l'individu considère comme dangereux, il est moins probable qu'elle soit adoptée (Greenhalgh, et al., 2004).

Étant donné que les avantages et les risques d'une innovation ne sont pas répartis équitablement, plus l'équilibre entre eux est grand, plus il est probable que l'innovation soit diffusée (Denis, et al., 2002). Avec un niveau de risque supérieur, les adoptants potentiels favorisent les choses existantes bien reconnues au lieu d'en adopter de nouvelles, suite à la peur de prendre une mauvaise décision.

Ce risque peut-être de nature fonctionnelle comme le risque de performance, danger physique, un péril social qui provoque une détresse et un gêne sociale, ou une perte financière (Flight, et al., 2011). En prenant l'exemple des nouveaux produits, la sécurité perçue possède une valeur plus importante sur l'intention d'achat que l'utilité et la facilité du produit. Afin d'apaiser cette complication, les spécialistes du marketing conseillent le processus de communication interpersonnelle. Ainsi ils recommandent de se concentrer sur les essais gratuits ou à prix réduit, pour encourager à expérimenter personnellement afin d'aider les clients à surmonter ce risque (Tanye, 2016).

I.2.1.9. L'image et le volontariat

Moore & Benbasat (1991) ont affirmé que les caractéristiques qui déterminent l'adoption le plus sont celles citées par Rogers, cependant avec quelques changements. En conséquence, les chercheurs ont maintenu le concept d'image qui renvoie le taux auquel l'adoption de l'innovation améliore le statut social. Les auteurs ont renommé l'observabilité en étant la visibilité de l'innovation et la possibilité d'en démontrer les résultats. Certains chercheurs, y compris Rogers, ont compromis l'image comme une partie de l'avantage relatif. Rogers l'a mentionné comme une motivation extrêmement importante pour les adoptants potentiels.

En effet, certains chercheurs ont étudié les effets de l'équivalence structurelle ou leur perception de l'action propre en considérant la position dans la structure sociale (Burt, 1987). Au-delà des caractéristiques perçues comme essentielles est le caractère volontaire, défini comme la mesure dans laquelle l'adoption est perçue comme libre ou spontanée. Lors de l'analyse du processus de la diffusion, il faut déterminer si les individus sont libres. À titre d'exemple, l'utilisation d'une innovation particulière au sein des entreprises peut être découragée ou obligatoire par la politique d'organisation. De telles politiques privent les employeurs de la liberté de choix en matière de rejet ou d'adoption. La théorie de la diffusion classe le degré du volontariat comme un type spécifique de décision (voir 1.4).

I.2.1.10. L'approbation sociale et la divisibilité

Tornatzky & Klein (1982) ont confirmé avec une analyse étendue que trois des cinq caractéristiques originales de la théorie de la diffusion encouragent plus la décision. Les chercheurs ont également affirmé que les avantages relatifs et la compatibilité sont des caractéristiques positivement attachés à l'adoption alors que la complexité y est négativement reliée. Dans leur discussion, Tornatzky et Klein (1982) ont ajouté 5 caractéristiques : le coût, la communicabilité, l'approbation sociale, la rentabilité et la divisibilité. Pour Rogers, la divisibilité a

été exprimée dans la possibilité d'essai. Similairement, l'approbation sociale est une valeur jointe en tant qu'un avantage relatif.

I.2.1.11. La communicabilité et la rentabilité

Tornatzky et Klein (1982) ont noté que la communicabilité était étroitement liée à l'observabilité. Le coût et la rentabilité qui sont recensés séparément dans leur étude, Rogers (2003) les a inclus dans les avantages relatifs.

I.2.1.12. L'utilité perçue et la facilité d'utilisation

La théorie de l'action raisonnée est originaire de la psychologie sociale et qui s'intéresse à définir le comportement intentionnellement voulu. Selon cette théorie, le comportement donné est déterminé par l'intention comportementale des personnes. Ce comportement est parallèlement déterminé par le conjointement de l'attitude de la personne et les normes subjectives (Davis, Bagozzi, & Warshaw, 1989). Cette théorie a été adaptée par Davis (1986) qui a sollicité que l'utilisation des systèmes informatiques est déterminée par l'intention comportementale. Cependant, elle diffère en ce sens que l'intention comportementale est considérée comme étant le conjointement de l'attitude et l'utilité perçue. L'attitude se sert d'un objet médiation entre les croyances et les intentions d'utilisation. Elle atteste que deux croyances particulières, sont d'une importance primordiale pour l'acceptabilité (Davis, Bagozzi, & Warshaw, 1989).

Davis (1986) a noté que l'acceptation est déterminée par deux concepts : l'utilité et la facilité d'utilisation. L'utilité est une mesure d'évaluation subjective dans laquelle une innovation est perçue appropriée est bénéfique. La facilité d'utilisation est un indicateur de degré d'absence d'effort physique et mental qui devrait être dépensé pour utiliser l'innovation. Davis (1993) a ensuite publié une étude qui concerne les raisons pour lesquelles les usagers acceptent ou refusent les systèmes d'information. Le chercheur a analysé la façon dont l'acceptation de ces utilisateurs est affectée par les caractéristiques de conception du système. La théorie d'acceptation de la technologie a enrichi les connaissances sur les facteurs qui renforcent les individus à utiliser des systèmes d'information, avec un petit

nombre de variables fondamentales (Davis, Bagozzi, & Warshaw, 1989; Venkatesh, et al., 2003).

Pour certains chercheurs, la théorie d'acceptation de la technologie est considérée comme étant une alternative à la théorie de la diffusion. Cette théorie est assez similaire à la théorie de diffusion d'innovations proposée par Rogers (Moore & Benbasat, 1991) en partant de la raison que les composants de cette théorie ressemblent conceptuellement aux constructions considérées dans la théorie de la diffusion (Moore & Benbasat, 1991), subséquemment et grâce à la richesse supplémentaire de la théorie de la diffusion de l'innovation et sa généralité. Cette théorie est plus acceptée et beaucoup plus utilisée (Bozbay & Yasin, 2008).

Tableau 1.1. Caractéristiques de l'innovation citées dans la littérature en comparaison avec celles citées par Rogers

| Rogers (1962) | Tornatzky et Klein (1982) | Davis (1986) | Moore et Benbasat (1991) | Rogers (2003) |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|--|
| Avantage relatif | Avantage relatif | Utilité perçue | Avantage relatif | Avantage relatif (coût et risque réduits...) |
| | Coût | | L'image | |
| | Rentabilité | | | |
| | Approbation sociale | | | |
| Complexité | Complexité | Facilité d'utilisation | Facilité d'utilisation | Complexité |
| Compatibilité | Compatibilité | | Compatibilité | Compatibilité |
| Observabilité | communicabilité | | Visibilité | Observabilité |
| | Observabilité | | Démonstration des résultats | |
| Possibilité d'essayer | Possibilité d'essayer | | Possibilité d'essayer | Possibilité d'essayer |
| | Divisibilité | | | |
| | | | Volontariat | Réinvention |

1.2.2. Le réseau social

La notion du réseau social et les méthodes d'analyse de ce dernier ont suscité un vif intérêt et une curiosité considérable de la part de la communauté scientifique (Wasserman & Faust, 1994). Dans sa modeste forme, un réseau social est un ensemble de nœuds et de liens. L'angle de la théorie des graphes fournit un cadre pour l'analyse des nombreux systèmes (Albert & Barabási, 2002; Dorogovtsev & Mendes, 2002). Les individus sont reliés les uns aux autres par des liens implicites qui peuvent être d'un type spécifique d'interdépendance ou plusieurs, comme l'amitié, la parenté, l'intérêt commun, les relations de croyance, la connaissance, le prestige et le travail (Kosorukoff & Passmore, 2011). Le nœud peut avoir un petit nombre de relations ou le contraire et peut être des individus, des groupes informels, des organisations et/ou des sous-systèmes (Newman, 2003).

La structure sociale peut changer considérablement le processus de diffusion de l'innovation, aussi la nature des relations entre individus, qui peut également déterminer l'effet des échanges d'informations et d'expériences (Rogers, 2003). Katz (1961, p. voir aussi Rogers 2003) a mentionné que la connaissance des structures sociales est primordiale pour la diffusion de l'innovation, puisque cette connaissance place les adoptants au cœur du succès de la diffusion.

La structure du réseau social affecte la cohérence du comportement humain en y prêtant attention permet une plus grande précision de prédiction. Du point de vue historique, pour la première fois dans une étude classique d'un nouveau médicament antibiotique, Coleman, Katz et Menzel (1957) ont montré l'importance de la perspective du réseau (Contractor & Leveque, 2001). Coleman et al. (1957) ont remarqué que la probabilité d'adoption étaient surtout bien prédits par la position des médecins dans leur réseau social. Une conclusion importante de leur étude montre que ces individus ont plus de tendance à accepter et à prescrire ce nouveau médicament si leurs collègues, avec lesquels ils ont des liens de communication, l'ont déjà choisi.

I.2.2.1. La pression sociale

Un terme souvent utilisé pour exprimer l'influence du réseau social est la pression sociale qui signifie le degré dans lequel un individu peut sentir imposé d'adopter une innovation à cause de l'avis des autres ou sous les attentes du groupe. La structure sociale contraint différemment les individus dans leur tendance à prendre des mesures (Burt, 1982). La volonté des personnes d'adopter, sans influence des autres, est nommé le volontarisme. La différence entre individualisme et collectivisme est le degré de la propre volonté lors de la prise de la décision. Le volontarisme est l'autre extrémité de l'échelle de pression sociale.

I.2.2.2. La contagion sociale

Comme discuté dans la section précédente, le débat qui sous-tend la théorie de la diffusion, est-ce que les personnes sont intentionnelles sous des contraintes structurelles sociales ? Ceci a impliqué un champ très général des hypothèses du fond. L'hypothèse de la contagion sociale considère la propagation du comportement comme la dissémination d'une maladie, un simple contact avec un individu infecté suffit généralement pour transmettre le comportement ou l'information. Usuellement, la contagion sociale résulte de personnes proches dans structure sociale auxquelles cet individu revient pour manager l'incertitude.

I.2.3. Les canaux de communication

Selon Cushman et Kincaid (1987, p. 2) « *la communication, dans son sens le plus général, désigne un processus dans lequel les informations sont partagées par deux personnes ou plus et elle a des conséquences sur une ou plusieurs personnes impliquées* ». Donc, l'échange d'informations dans le processus de diffusion implique (a) une innovation, (b) une personne qui est déjà adoptante ou possède un certain niveau de connaissance, (c) une personne qui n'est pas encore été adoptante (d) les canaux par lesquelles les messages se transfèrent d'un individu à un autre (Rogers, 2003). Deux types peuvent ainsi être identifiés :

I.2.3.1. Les canaux de communication interpersonnelles

Ce premier comprend l'échange d'information directement entre les individus. Cette communication personnelle est appelée bouche-à-oreille (Wilde, 2013). Le phénomène du bouche-à-oreille est envahissant et intrigant. L'étude des canaux de communication est une recherche qui vise à déterminer la structure de la communication entre les individus. Les recherches menées initialement sous le titre de communication interpersonnelle portaient sur la persuasion et son l'influence sociale dans les petits groupes d'individus (Berger & Calabrese, 2006).

I.2.3.2. Les masses médias

Ce second concerne la transmission des masses médias, qui comprennent la télévision, la radio, l'internet, les journaux et autres moyens de transmission unidirectionnels qui peuvent être plus efficaces dans la sensibilisation, la prise de conscience et la transmission de l'information.

Ces deux types de communication jouent un rôle important dans le processus de la diffusion, en tant qu'une partie intégrante (Rice, 2017). L'effet de la communication personnelle est plus concentré sur l'évaluation positive (Van den Bulte & Lilien, 2001). Il est possible d'affirmer que l'information provenant d'un tel système personnel peut être plus pertinente par rapport aux médias (Guilbeault, Becker, & Centola, 2018), au contraire aux autres études qui indiquent que les médias peuvent substituer le réseau personnel en accélérant le changement social (Valente & Saba, 1998). L'objectif de la publicité est la stimulation du désir en donnant de l'intérêt à des marques et à des produits qui parfois n'en ont guère. La publicité permet d'émettre rapidement l'information sur l'existence de l'innovation et non de convaincre de ses bénéfices (Rogers, 2003).

I.2.3.3. L'incertitude

La nouveauté impose un certain degré d'incertitude, ce qui est impliqué par l'absence des informations complètes (Wolfe & Gertler, 2002). La communication constitue l'un des principaux moyens de réduire l'incertitude (Heath & Bryant, 2000; Rogers, 2003).

I.2.3.4. L'homophilie et l'hétérophilie

L'homophilie représente le degré de similitude entre les individus qui appartiennent au réseau personnel et c'est le contraire de l'hétérophilie. Les gens ont tendance à en découvrir d'autres, qui partagent avec eux un comportement harmonique. L'homophilie est un résultat naturel, car les amis ou les voisins du réseau social d'un individu donné ne constituent pas un échantillon aléatoire de la population sous-jacente. L'interaction entre deux individus similaires est plus influente (McPherson, Smith-Lovin, & Cook, 2001), la ressemblance prend la forme d'un niveau d'éducation, âge, de religion, intérêt, occupation, croyance, sexe et de diverses autres caractéristiques personnelles (Sun & Tang, 2011; Yavaş & Yücel, 2014).

I.2.4. Le temps

Ce n'est pas facile d'expliquer pourquoi il faut parfois beaucoup de temps, lorsqu'on diffuse une innovation avantageuse (Rogers, 1983). Ce manque de compréhension est un reflet de la façon de penser aux phénomènes sociaux (Geroski, 2000). Ces phénomènes engagent de nombreuses personnes qui effectuent des choix, souvent de façon interdépendante. Les individus tentent de raisonner avant d'agir, ce qui peut prendre beaucoup de temps. En considérant l'adoption en général comme le résultat d'un processus de décision. La dimension temporelle est une notion centrale. Quoi qu'elle en soit, une innovation bénéficie d'un haut niveau d'importance et d'avantages relatifs ; elle fallait avoir du temps de la disponibilité à la diffusion.

À titre d'exemple, la maladie de scorbut dans la marine britannique qui montre ce qui peut être une solution vitale peut prendre du temps. Explicitement, en 1601, un capitaine de la marine britannique découvrait l'efficacité du jus de citron pour éviter cette maladie mortelle. Cependant, cela n'a sûrement pas été diffusé bien avant 200 ans (Rogers, 1983).

L'adoption des nouvelles technologies par ceux qui semblent les plus susceptibles de tirer parti d'une utilisation intéressante, est un autre exemple illustratif. Il apparaît que le temps essentiel à la diffusion est relativement court mais il prend un temps incroyablement long. La littérature qui tente de comprendre ce phénomène est vaste et

s'étend sur de nombreuses frontières et disciplines. Pour plusieurs chercheurs, la question de comprendre pourquoi les choses se diffusent lentement, est devenue très centrée sur l'individu (Geroski, 2000).

I.2.4.1. Les étapes de la prise de décision

Rogers (1983) a considéré l'adoption comme un processus de prise de décision en cinq phases allant de la première exposition à l'innovation jusqu'à l'adoption ou le rejet de l'innovation. Au départ, l'individu explore l'innovation et ne demande que quelques notions sur son fonctionnement ; c'est la phase de connaissance. Vient ensuite la phase de persuasion : l'individu commence à s'intéresser à l'innovation pour son adoption. La troisième phase de prise de décision : l'individu s'engage dans des activités qui lui permettent d'adopter ou de rejeter l'innovation, en basant sur les préférences personnelles, les besoins, et beaucoup d'autres facteurs. Au cours de la phase de l'implémentation, la quatrième étape du processus, l'individu utilise quotidiennement l'innovation pour évaluer ses avantages. Enfin, vient la phase de confirmation où l'individu tente d'obtenir des informations qui renforcent son choix (adoption ou rejet).

Ces cinq étapes sont les plus couramment utilisées pour comprendre le comportement humain (Valente & Saba, 1998). Les étapes de connaissance et l'implémentation cèdent la place à deux sources d'information sur lesquelles un individu peut tirer des conclusions, des canaux internes et externes. Les canaux internes impliquent des discussions avec les connaissances en les influençant ou bien être influencer par leurs décisions. Les canaux externes consistent à se référer à des articles publiés sur le sujet pour être sensibiliser.

I.3. Cycle de la diffusion de l'innovation

Dans son ouvrage de (1962), dont il est tiré le graphique 1.1, Everett Rogers a défini différents types d'attitudes face à l'innovation. Cette représentation est la plus largement acceptée pour la catégorisation des adoptants (Mahajan, Muller, & Srivastava, 1990), qui affecte des groupes distincts des adoptants potentiels aux différentes phases d'adoption. Certains individus sont plus ouverts à la nouveauté que d'autres. Cette courbe en forme de cloche présente le niveau d'adoption par la population en fonction du temps.

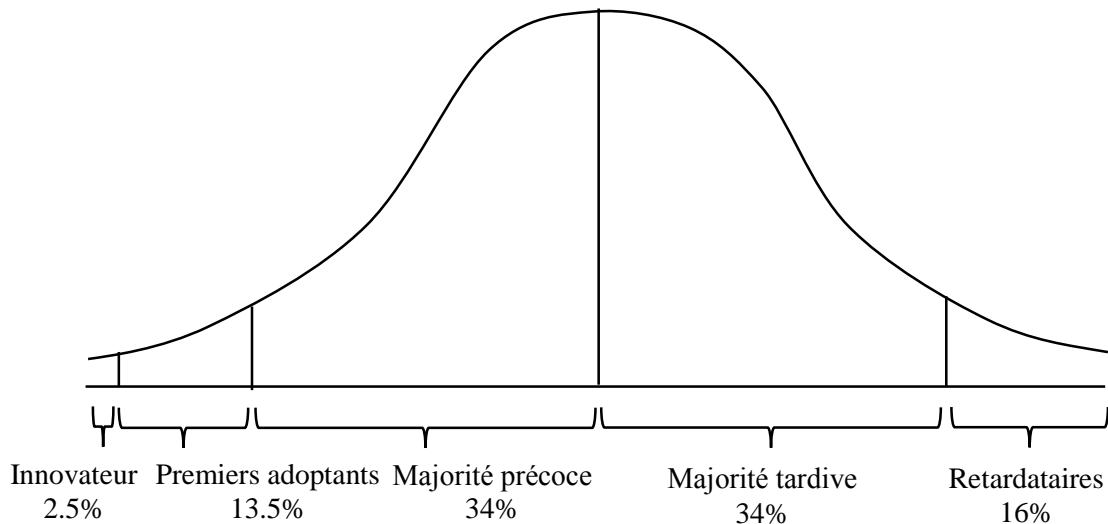


Figure 1.1. La courbe en cloche de la diffusion d'innovations

I.3.1. Les innovateurs

Une inquiétude traditionnelle dans la recherche de la diffusion a été d'identifier les caractéristiques collaboratrices pour être un innovateur, spécifiquement, les individus qui sont les premiers à adopter (Young, 1999). Selon Rogers (1962), les 2.5% premiers personnes sont des personnes courageuses, tirant le changement. Ils sont les individus au penchant très marqués vers les nouvelles idées ou technologies « le goût de l'aventure », ils préfèrent être les premiers à les posséder. Ils ont de bonnes dispositions pour comprendre et appliquer les connaissances technologiques par exemple. Ce sont eux qui présentent une innovation à l'intérieur de leur système social, ils ont des mécanismes de communication très importants. Les innovateurs admettent les problèmes initiaux de fiabilité des nouveaux services ou produits et peuvent davantage proposer des solutions à ces problèmes.

I.3.2. Les premiers adoptants

Ils représentent 13,5% des adoptants et sont appelés les premiers adoptants. Ils suivent de très près les innovateurs. Ils essayent les nouvelles idées, mais d'une manière soigneuse. Ils sont éduqués et plus intégrés à l'intérieur du système social que les innovateurs, leurs avis comptent et peuvent faciliter le processus de diffusion. Ils sont en quelque sorte des leaders d'opinion. Puisqu'ils occupent une place importante dans la communauté. Les leaders d'opinion auprès de leur les autres membres s'informent et

demandent un avis sur l'innovation. Les recherches existantes sur les facteurs socioéconomiques associés à l'adoption précoce d'une nouvelle technologie ont mis en évidence le rôle dominant du statut socio-économique, en particulier l'éducation, la profession et les revenus. Notamment, des explications théoriques sont identifiées, puis elles sont utilisées pour explorer les relations entre ces facteurs et l'adoption des ordinateurs personnels (Dutton, Sweet, & Rogers, 1989).

I.3.3. La majorité précoce

Les 34% suivants les premiers adoptants sont appelés « la première majorité », représente 34%. Ils sont réfléchies, pragmatiques et ne cherchent pas des changements révolutionnaires, mais plutôt des évolutions qui améliorent la vie. Ils ont de nombreux contacts sociaux et acceptent le changement plus rapidement que les autres. Ils adoptent une innovation en groupe avec la cumulation des avis et représenterait un tiers des individus. Grâce à cette majorité, l'innovation peut être considérer en cours de se propager à grande échelle. De plus, elle sert de courroie de transmission entre les membres qui ont adopté l'innovation relativement très tôt et ceux dont la décision tarde. Alors, elle est la cible privilégiée des entreprises de sa quantité et sa facilité à séduire.

I.3.4. La majorité tardive

Cette majorité est représentée par des adoptants conservateurs sceptiques. Ils adoptent une innovation seulement quand la majorité l'a déjà adoptée. Ils sont ceux qui subissent la pression sociale avant de se décider. En effet, la majorité tardive se résigne à adopter l'innovation plus par nécessité économique et pressions sociales (familiales, professionnelles) que par réelle prédisposition. Elle représente aussi 1/3 des membres du système.

I.3.5. Les retardataires

Les derniers 16% des adoptants sont appelés « les retardataires ». Les personnes traditionnelles, très sceptiques, elles aiment être collé aux « vieilles manières », et les accepteront seulement si la nouvelle idée est devenue le courant principal ou même la tradition. Parfois, ils sont critiques au sujet des nouvelles idées et ils attendent une grande

fiabilité de l'innovation, ils n'adoptent que par contrainte ou nécessité absolue. Ils sont des volontaires réfractaires à l'innovation.

Dans leur étude pionnière sur l'adoption des semences, Ryan et Gross (1950) ont remarqué aussi que la dissemblance entre chaque groupe de personne était assignable à l'endroit où ils avaient entendu discuter des semences hybrides. Les innovateurs ont entendu parler des semences surtout par des vendeurs et des magazines agricoles. Les premiers adoptants ont été persuadés par le même moyen, mais aussi par des discussions avec des innovateurs. Les autres membres ont tendance à adopter en basant sur les conversations avec des adoptants connus plus que sur des sources extérieures. Les retardataires n'acceptent la nouveauté que lorsque tout le monde l'admet.

I.4. Les types de décision

Le choix de l'adoptant est du libre arbitre ou lié aux autres autour de lui. Le terme socialement indépendant est employé pour montrer une culture qui joint de plus grands comportements individualistes, l'individualisme fait référence au taux auquel les gens suivent leurs croyances personnelles, alors que socialement attachée fait référence à la contrepartie collectiviste, prenant des décisions en revenant à la confiance aux opinions des autres. Conformément à cette idée, Rogers (2003) a distingué trois types d'unités de prise de décision :

I.4.1. La décision individuelle

L'individu a le choix d'adopter ou de rejeter l'innovation séparément de la décision des autres membres de son système social. L'individu subit l'influence des normes ou l'influence d'information du réseau personnel, mais la décision de changement est finalement prise par cet individu selon son modèle cognitif.

I.4.2. La décision collective

C'est une décision commune en groupe, soit d'adopter ou de rejeter l'innovation, où l'individu ressent une plus grande indépendance lors du processus de décision. Elle peut être observée par exemple au niveau des familles. En l'absence d'un tel libre arbitre, les décisions prises ne laissent guère d'autre choix à l'adoptant que de suivre cette décision.

I.4.3. La décision autoritaire

Elle est prise par individus autoritaires ; les autres membres du système ont très peu ou pas d'influence sur le processus, mais il l'applique, cependant. Ces personnes autoritaires disposent d'un pouvoir de position au sein d'une hiérarchie ; ils imposent le changement pendant que les autres individus ne disposent pas souvent du droit de décider eux-mêmes. Cette forme de prise de décision peut être observée dans les organisations.

I.5. Taux d'adoption

Il présente le niveau d'adoption de l'innovation par la population en fonction du temps. Le taux de diffusion monte initialement, puis tombe au fil du temps, ce qui conduit à une période d'adoption relativement rapide par rapport à la première période, jusqu'à la saturation ; il dessine une courbe en « S ». Ainsi, Rogers a établi sa théorie sur un ensemble de typologies dans le but de suivre l'évolution du taux d'adoption (qui décrit une courbe en « S »), considéré comme la variable descriptive essentielle de la diffusion. Ce classement des adoptants en différentes catégories est intégré dans le processus de diffusion sur une échelle de temps ; le profil des adoptants passerait d'un groupe restreint et marginal à un groupe plus large d'adoptants, puis à un bassin de plus en plus représentatif de la population.

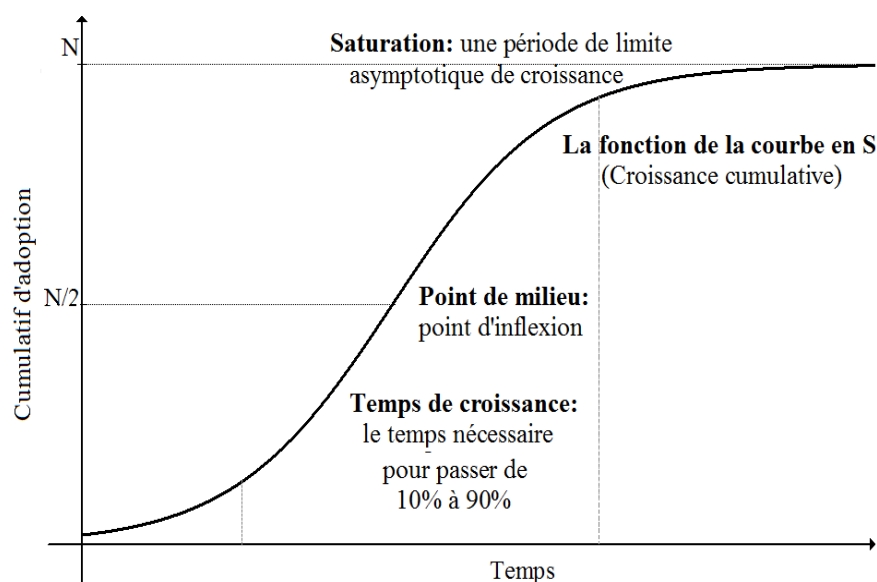


Figure 1.2. Diagramme schématisé d'une courbe en S déterminée par 3 paramètres (1) la saturation (2) le temps de croissance (3) le point du milieu

I.6. Résumé

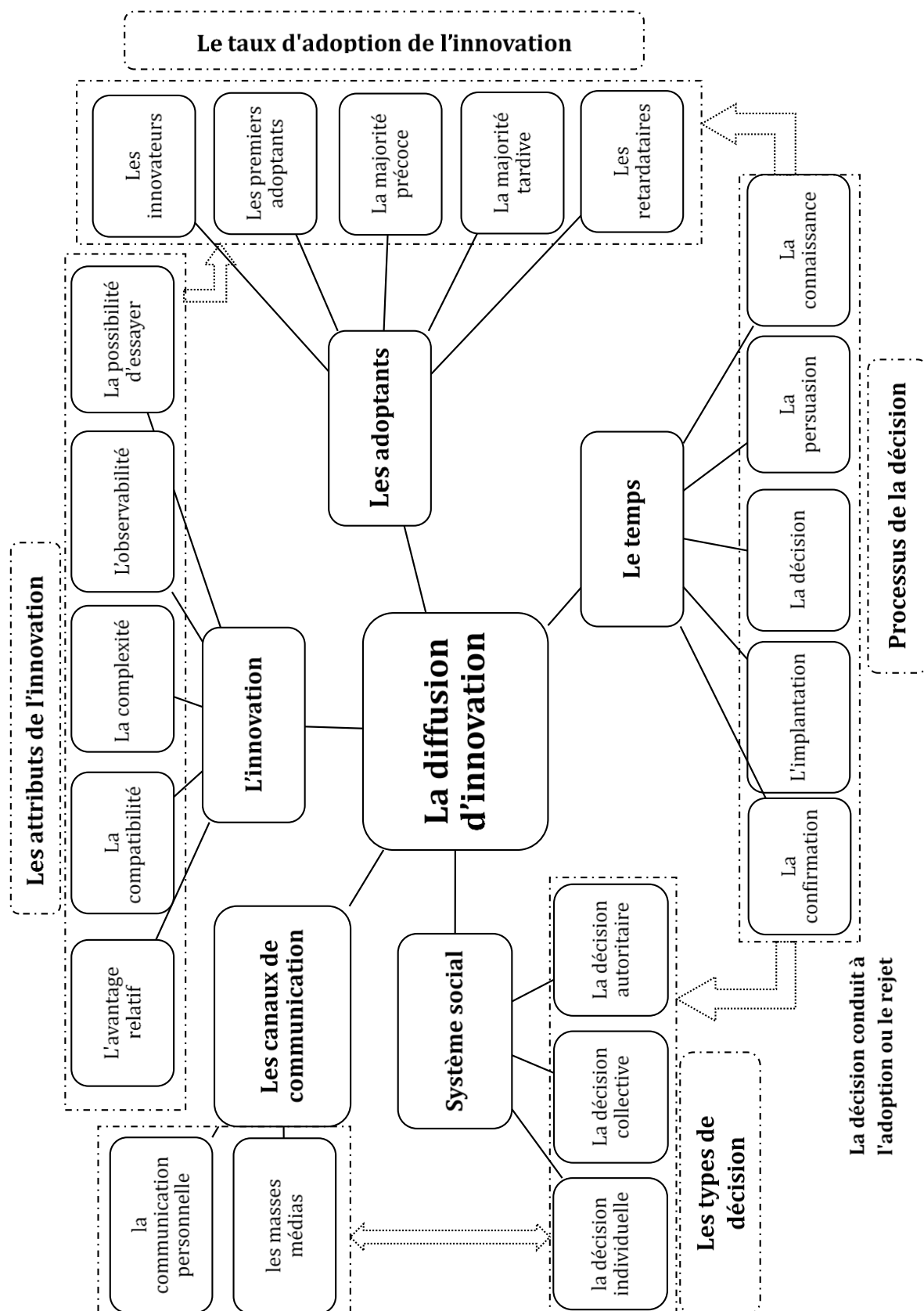


Figure 1.3. Regroupement des éléments de la diffusion de l'innovation

1.7. Conclusion

La théorie de la diffusion de l'innovation a été proposée en 1962 par Rogers dans son étude «*Diffusion of Innovations* ». Le but de cette théorie est d'expliquer la manière dont une innovation évolue du stade d'invention vers celui de son utilisation élargie, contrairement à ce qui était simplement conceptualisée avant comme une certaine forme d'imitation. Selon Rogers (1983), la diffusion est un processus par lequel une innovation est communiquée à tout moment aux membres d'un système social à travers certains canaux. Les canaux disponibles sont deux : les masses médias et les canaux de communication personnelle. Cette communication personnelle est symbolisée par l'expression « bouche à oreille », d'autre part les masses médias concernent tous les moyens de communication à sens unique. Compte tenu des spécificités de la puissance des relations entre les personnes l'honnêteté de l'information venue par une voie personnelle est plus sûre par rapport aux médias sociaux, mais ces derniers, ont une grande force d'émission à la plus grande masse des individus.

Il est important de noter que les cinq attributs qui caractérisent l'innovation sont : l'avantage relatif, la complexité, la compatibilité, l'observabilité et la possibilité d'essayer ont été largement développés. Dans ce chapitre, les caractéristiques détaillées dans la littérature sont aussi exposées, en analysant avec celles citées par Rogers. La séparation et la prise en compte d'une seule caractéristique indépendamment des autres n'est pas conseillée pour prévoir le futur de l'innovation (Rogers, 1995). Dans ce sens, les études ont montré qu'avoir de plus de bonnes caractéristiques augmente les chances d'adoption.

Généralement, les individus ne s'aventurent pas à essayer des choses jamais éprouvées auparavant, car cela peut les exposer à des dangers inattendus (Valente, 1996). Les gens sont différents dans leur volonté d'adopter et de prendre des risques. De ce fait, ce groupe d'individus qui enfreignent les règles de prise de risques sont nommés les premiers adoptants. Rogers (2003) a suggéré également que les adoptants de toute innovation peuvent être classés en cinq catégories: les innovateurs, les adoptants précoces, la majorité précoce, la majorité tardive et les retardataires.

Diverses théories sur l'adoption indiquent qu'elle est le résultat de tout un processus de décision (Van den Bulte & Lilien, 2001). De plus, Rogers (2003) a considéré

que l'adoption ne doit pas être vue comme un simple choix mais plutôt comme une série d'évènements menant à l'adoption continue, alors cinq étapes sont distinguées. Ces étapes décrivent la progression de décision, en commençant par l'exploration initiale de l'innovation (connaissance), suivi par la curiosité et l'intérêt (persuasion) qui participe à l'engagement en jugement favorisant l'adoption ou le rejet (prise de décision), en conséquence l'individu cherche d'articles connexes, en changeant des conversations avec d'autres ou en évaluant par une mise en essai réelle (l'implémentation), ce qui finit par une utilisation personnelle qui soutient son choix (confirmation).

Les courbes de diffusion (en cloche et en « S ») ont été introduites comme un modèle générale qui stipule qu'une innovation est circulée de sa source vers les adoptants finals en traçant une courbe en « S ». Pareillement, en fonction de la majorité des attributs personnels, une courbe en cloche est tracée des adoptants de cette innovation.

Ces éléments clés de la théorie de la diffusion de l'innovation ont été largement expliqués dans ce premier chapitre. Ces détails sont importants pour la compréhension des modèles existants en premier lieu et pour l'élaboration d'un modèle rigoureux. Le chapitre suivant décrit en détail la littérature actuelle.

Chapitre 2.

Modèles de la diffusion

Sommaire

| | | |
|----------|--------------------------------------|----|
| 2.1. | INTRODUCTION | 37 |
| 2.2. | MACROS-MODELES | 38 |
| 2.2.1. | <i>Modèle logistique</i> | 38 |
| 2.2.1.1. | Modèle de distribution normale | 40 |
| 2.2.1.2. | Modèle exponentiel modifié | 41 |
| 2.2.2. | <i>Modèle de Gompertz</i> | 42 |
| 2.2.2.1. | Discussion | 43 |
| 2.2.3. | <i>Modèle de Bass</i> | 44 |
| 2.2.3.1. | Modèle de Fourt et Woodlock | 47 |
| 2.2.3.2. | Modèle de Mansfield | 48 |
| 2.2.4. | <i>Discussion</i> | 50 |
| 2.3. | MICROS-MODELES | 52 |
| 2.3.1. | <i>Modèle à seuil</i> | 53 |
| 2.3.1.1. | Automates cellulaires | 54 |
| 2.3.2. | <i>Approche épidémique</i> | 55 |
| 2.3.2.1. | Propagation des rumeurs | 57 |
| 2.3.2.2. | Modèle épidémique SIR | 57 |
| 2.3.2.3. | Modèle à base des agents | 59 |
| 2.3.3. | <i>Modèle en cascade</i> | 61 |
| 2.3.3.1. | Modèle en cascade indépendant | 62 |
| 2.3.3.2. | Modèle à seuil linéaire | 63 |
| 2.4. | DISCUSSION | 63 |
| 2.5. | CONCLUSION | 68 |

2.1. Introduction

L'objectif principal de la recherche de la diffusion est de comprendre comment et pourquoi ce phénomène fonctionne bien (Rogers, 2004; Rogers, 2003; Rogers, 1995; Rogers, 1962; Valente, 2002). Les modèles et les approches de simulation permettent de mieux comprendre ce processus social et de donner des réponses convaincantes à ces questions (Thiriot, 2009). Geroski (2000, p. 621) a soutenu que : « *Nous utilisons des modèles pour éclairer des phénomènes que nous trouvons difficiles à comprendre ou à résoudre des problèmes trop difficiles. Ces avantages viennent parce que les modèles simplifient la réalité* ».

En fait, pour les recherches de la diffusion de l'innovation, beaucoup d'efforts et de modèles ont été faits pour comprendre ce phénomène social. Depuis le début des années 1960, la modélisation à base des équations mathématiques suscite un vif intérêt des chercheurs universitaires (Wright & Charlett, 1995). La recherche traditionnelle en marketing est généralement axée sur l'élaboration de modèles mathématiques à des fins de quantification (Greenhalgh, et al., 2005). À cette époque, les modèles de diffusion ont visé la généralisation des schémas de diffusions explicites, et décrivent donc la courbe en S.

Ainsi, ces modèles aident à prévoir la demande du marché et constituent un outil d'aide à la décision pour le pré-lancement, le lancement et l'aide aux choix stratégiques post-lancement d'un nouveau produit (Darda, Guseo, & Mortarino, 2012). Plus tard, des approches structurelles sont apparues et ont attiré l'attention sur l'influence globale du réseau social sur l'adoption, telles que la densité du réseau, la présence de liaisons faibles (Granovetter, 1973) ou des positions structurellement équivalentes (Burt, 1987). Ces modèles ont des fondements divers de l'informatique, de l'épidémiologie ou de la sociologie. Le point universel est que les modèles de prévision de la diffusion ont une référence commune dans la littérature, contrairement à d'autres méthodes alternatives (Parker, 1994).

Cependant, chacun de ces modèles a eu ses forces et ses faiblesses. Par conséquent, ce chapitre vise à fournir et à discuter des modèles existants, en montrant leur utilité et leurs limitations. De plus, la richesse de la littérature nous a permis de proposer une

taxonomie qui résume l'état de l'art sur ce sujet. L'objectif est de fournir une analyse autour des modèles de la diffusion. Pour positionner correctement ce problème, les macro-modèles seront d'abord expliqués et analysés. Puis, des micro-modèles seront traités en présentant les détails nécessaires. Enfin, on conclura par une discussion qui contient un tableau récapitulatif et une taxonomie, suivie de la conclusion du chapitre.

2.2. Macros-Modèles

Plusieurs modèles de prévision de nouveaux produits ont été élaborés au fil du temps dans le secteur industriel, ainsi que dans l'univers universitaire. Les chercheurs en marketing ont participé à l'élaboration de la théorie de la diffusion à travers des macro-modèles (modèles analytiques) prévoyant et décrivant la diffusion d'une innovation (Bass, 1986; Mahajan, 2010). Il est intéressant de mentionner que la majorité de ces macro-modèles sont inspirés de la biologie, notamment de l'évolution de la population et la propagation des maladies (Mahajan & Peterson, 1985). Cette première catégorie du modèle a été développée afin de présenter le futur taux d'une diffusion. Elle est constituée d'une fonction mathématique simple ; cette fonction décrit le cumul des adoptants en termes du temps et en fonction de certaines caractéristiques générales. L'objectif est de fournir un modèle théorique quantitatif de l'évolution de l'innovation parmi un ensemble donné d'adoptants potentiels dans un système social, qui simplifie en conséquence l'explication d'un tel résultat. En effet, pour appliquer n'importe quel modèle, il faut tout d'abord savoir comment interpréter ses fondements mathématiques ou conceptuels qui requièrent à son tour une compréhension des hypothèses implicites et explicites sous-jacentes à l'articulation du tel modèle. Donc, dans la section suivante, trois modèles bien connus sont détaillés, en examinant ses principaux composants et fondements.

2.2.1. Modèle logistique

De nombreux modèles ont été proposés pour représenter le schéma temporel du processus de diffusion, c'est-à-dire le processus par lequel une innovation est adoptée par une société donnée. Souvent, ces modèles supposent un modèle de croissance en forme de « S ». Un développement observé avec une telle régularité figure comme le résultat de la fonction logistique, qui s'est révélé d'être un modèle cohérent par la recherche

empirique sur la diffusion de l'innovation (Mahajan & Peterson, 1985). Le modèle logistique se base sur un schéma de distribution cumulatif en S. Il suit un modèle de croissance, qui est approché par une fonction décrite par l'équation suivante :

$$F(t) = \frac{N}{1 + \beta \times e^{-\alpha t}}, 0 \leq t \leq T \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

où t est le temps N et α sont des nombres réels positifs ; β un réel, qui détermine le nombre d'adoptants précoces ; N est une limite supérieure numérique de la taille de la croissance ; le coefficient α est appelé coefficient d'influence interne ou coefficient d'imitation.

En 1845, Pierre François Verhulst (1845) a prouvé cette fonction. Verhulst est le premier chercheur qui a référencé la courbe logistique en tant que modèle de croissance de la population (Kucharavy & Guio, 2008). L'auteur l'a proposé comme une extension du modèle exponentiel. Le modèle de croissance de la population dérive à un niveau de saturation caractérisé par une population stable. Ce modèle d'évolution forme une équation déterministe de croissance avec une raideur β et une capacité N .

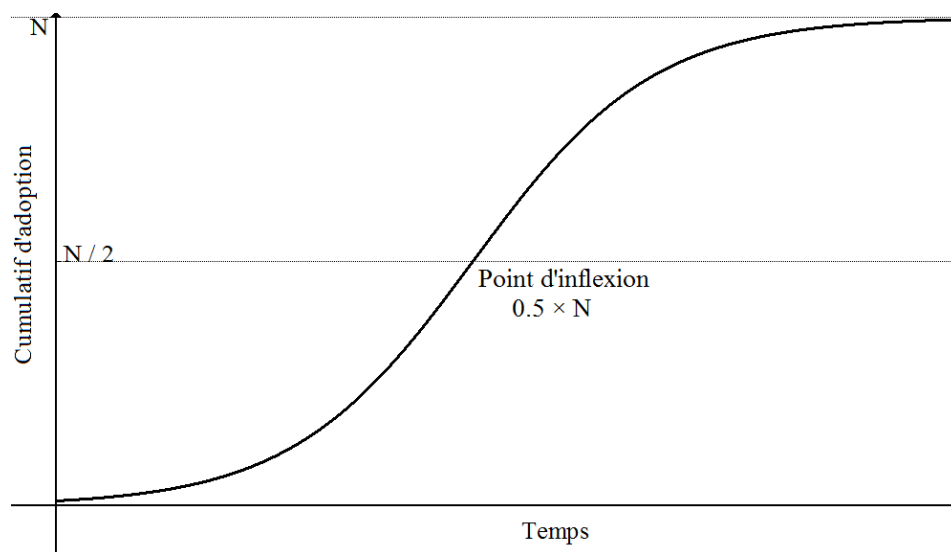


Figure 2.1. Schéma de la fonction logistique $N=1, \alpha=1, \beta=50$

Plusieurs recherches sur l'adoption des nouvelles technologies se fondent sur le modèle logistique. Cette courbe est l'une des courbes les plus connues (Bewley & Fiebig, 1988) et les plus largement utilisées dans la littérature (Kucharavy & Guio, 2008). Dans une application particulière, Fisher et Pry (1971) l'ont exploité avec succès pour décrire la pénétration de nombreux nouveaux produits et technologies sur le marché. Ce modèle

simple et pratique est utilisé dans de nombreux autres domaines, dont les sciences biologiques (Franses, 1994). Dans ce domaine, cette équation modélise la croissance physique, à condition que P soit interprété, assez naturellement, comme la borne de la dimension physique. À partir de cette citation, une ressemblance des caractéristiques de la croissance ordinaire avec les modèles de distributions normales est observée, qui est l'objet du modèle proposé par Rogers (1962).

2.2.1.1. Modèle de distribution normale

Rogers (1962) a conseillé de l'utilisation de la courbe normale cumulative, en sachant qu'elle indique la fréquence à laquelle les consommateurs adoptent un produit. Ce nombre cumulatif d'adoptants est tracé au fil du temps et le résultat est un schéma en forme de S. Rogers précise qu'effectivement « *de nombreux traits humains sont normalement distribués, qu'il s'agisse d'une caractéristique physique, telle que le poids ou la taille, ou d'une caractéristique comportementale, telle que l'intelligence ou l'apprentissage de l'information. On peut donc s'attendre à ce que des variables telles que le caractère innovant soient normalement distribuées* » (Rogers, 1983, p. 244).

L'auteur maintient que ce modèle cumulatif normal est créé à cause de l'effet d'apprentissage à partir de l'interaction personnelle. Au fur et à mesure du temps passé, le groupe d'adoptants augmente, et remonte en effet l'influence interpersonnelle au sein des systèmes sociaux. Le résultat de cette influence qui est censé suivre une courbe cumulative normale, est donné par la loi suivante :

$$F(x) = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Le modèle de distribution normale classique de Rogers est :

$$F(x) = N \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\left(-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} dy \dots\dots\dots (2.3)$$

où σ et μ sont des coefficients d'échelle. La forme de la courbe normale cumulative correspond parfaitement à celle du modèle logistique, cependant ce modèle a été rarement utilisé ailleurs (Meade & Islam, 2006; Wright & Charlett, 1995).

2.2.1.2. **Modèle exponentiel modifié**

L'équation (2.4) constitue la forme générale de la fonction exponentielle de la croissance, dont $\lambda = -1$ revoie à l'équation logistique, et $\lambda = 1$ renvoie approximativement à la courbe exponentielle modifiée (Harvey, 1984).

$$F(t) = N (1 - \beta e^{-\alpha t})^\lambda \dots\dots\dots (2.4)$$

La courbe exponentielle modifiée est utilisée pour modéliser les performances d'un nouveau produit (Gregg, Horse, & Richardson, 1964; Meade & Islam, 1995). La courbe grandit de façon monotone jusqu'au niveau de la saturation ; elle n'a pas un point d'inflexion. Son équation est la suivante :

$$F(t) = N - \beta e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (2.5)$$

Cette fonction mesure la pénétration du marché dont N présente le niveau de saturation, α et β sont tous les deux positifs ; ils sont des coefficients d'échelle. Contrairement aux modèles susmentionnés, sa courbe n'a pas une véritable forme de S. L'objection à cette courbe exponentielle simple est qu'elle présente une forme inadéquate pour la diffusion des innovations parce qu'initialement les conditions de croissance ont un taux très élevé, ce qui implique par la suite une baisse très rapide au stade final (Harrison & Pearce, 1972).

Pour la courbe logistique, le point d'inflexion se produit lorsque la diffusion est extrêmement atteinte. Vu que le schéma de diffusion après le point d'inflexion est l'image miroir du schéma de diffusion avant ce point, cette courbe est typiquement caractérisée comme étant symétrique, et son point d'inflexion est fixé de telle sorte que la population correspondante égale $F(t) = P / 2$.

Par conséquent, en appliquant cette distinctive sur le modèle logistique, le taux de diffusion maximal est une valeur constante qui se produit lorsque précisément 50% de la population ont adopté l'innovation. Cela impose une restriction indésirable qui limite clairement la généralité du modèle. La propriété symétrique a souvent été critiquée comme inappropriée (Bewley & Fiebig, 1988). Elle a constitué la base de plusieurs modèles étendus qui assouplissent cette contrainte avec une version plus paramétrée que

l'original. On peut citer par exemple le travail de Bewley & Fiebig (1988). Les auteurs ont développé un modèle de croissance logistique flexible.

En revanche de cette limitation, l'équation de la croissance logistique a été utilisée davantage pour modéliser de nombreux systèmes biologiques (Tsoularis, 2001). En revanche, Hendry (1972) a indiqué qu'elle est plus adaptée à l'étude des processus de croissance liés aux améliorations technologiques qu'à la prévision des changements sociologiques. Dixon (1980) a favorisé le modèle de Gompertz. L'auteur a évoqué que les processus de diffusion logistique montrent des taux de croissance plus élevés à un stade précoce et qui sont réduits graduellement à un stade ultérieur. Le modèle de Gompertz est asymétrique, avec un point d'inflexion se produisant lorsqu'il est adopté par environ 37 % de la population. Cette formulation procure un assouplissement de cette restriction.

2.2.2. Modèle de Gompertz

En 1825, Benjamin Gompertz a publié un ouvrage développant le modèle de croissance pour l'étude démographique (loi de la mortalité humaine). Cette fonction, qui fait référence à lui, est un cas exceptionnel de la fonction logistique, où le développement se commence et se termine lentement. Cette fonction sigmoïde se rapproche progressivement de la valeur α . La fonction Gompertz est écrite comme suit :

$$F(t) = N e^{-\alpha e^{-\beta t}}, 0 \leq t \leq T \dots\dots\dots(2.6)$$

où, N , α et β sont des nombres réels positifs, N est une asymptote, α influence le plus la valeur initiale, β est le coefficient d'échelle ou coefficient du taux de croissance.

Dans ce cas aussi, la formulation de Gompertz (1825) est asymétrique et possède un point d'inflexion fixe ($F(x) \approx 0.37$). Le modèle de Gompertz est simple et agrégatif. Il a été utilisé dans la littérature de la diffusion pour modéliser la croissance du produit. Hendry (1972) a modélisé la croissance des ventes de produits durables sélectionnés au Royaume-Uni. Également, parmi les autres applications illustrant la fonction de Gompertz dans un contexte de diffusion, on retrouve celle de Dixon (1980), qui l'a appliquée aux données de maïs-grain hybride dans le contexte d'agriculture.

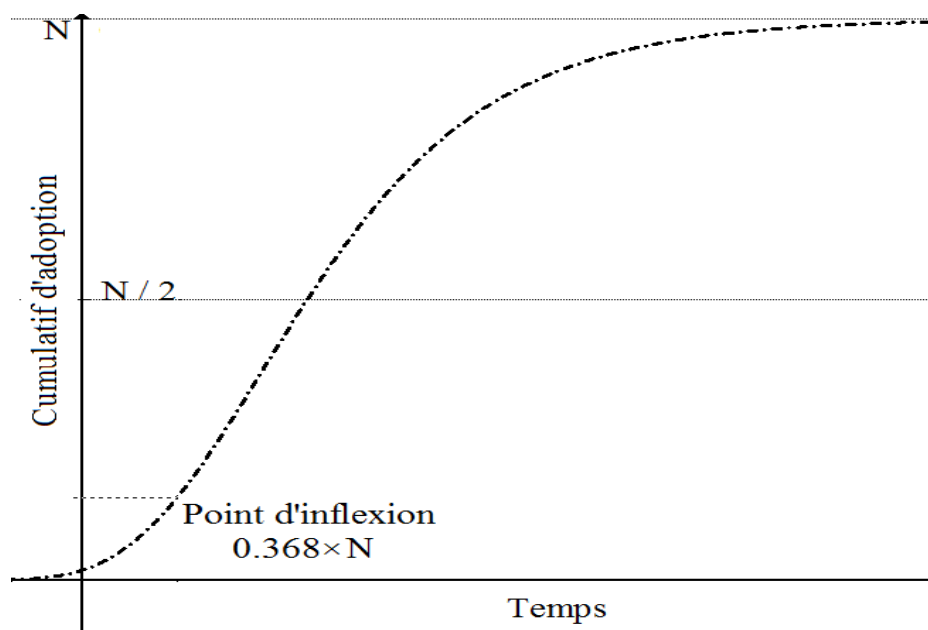


Figure 2.2. Schéma de la fonction de Gompertz où $N = 1$, $\alpha = 4$, et $\beta = 2$

2.2.2.1. Discussion

Dans le cas des scientifiques qui tentent de prédire l'avenir, il est toujours nécessaire de disposer de modèles simples pour décrire les événements. Ces modèles doivent être conçus sur des hypothèses aisément compréhensibles. De même, ils doivent être généraux pour être appliqués à une grande variété de situations (Fisher & Pry, 1971). De plus, Simon (1991) a confirmé que le fait de découvrir la simplicité significative au centre d'une complexité désordonnée est l'objectif des scientifiques.

- **Utilisation**

Les courbes logistiques et celle de Gompertz sont simples. Leurs paramètres sont estimés à partir des phénomènes observés. Elles reposent sur des hypothèses faciles à comprendre, qui soutiennent les prévisionnistes dans leurs efforts. Elles sont fondées sur des coefficients clairement définis. En effet, ces paramètres peuvent être interprétés significativement (Kucharavy & Guio, 2008).

La fonction logistique et la fonction de Gompertz constituent la base pour les modèles de la diffusion du produit (Mahajan & Muller, 1979). Elles pourraient

être utilisées pour comparer les taux de croissance des différentes innovations (Valente, 2005). Elles sont souvent utilisées pour prévoir l'évolution du marché (1984). Cette prédiction n'est le seul but, outre les prévisions, les applications les plus utiles des modèles de diffusion sont pour des objectifs de description d'un phénomène de la propagation. Ces modèles analytiques décrivent la diffusion de manière explicative pour tester des hypothèses spécifiques (Mahajan, Muller, & Bass, 1990).

- **Limitation**

Cependant, Bewley et Fiebig (1988) ont indiqué que les courbes logistiques et Gompertz sont trop rigides. Bien que le modèle de diffusion fondamental a été appliqué d'une manière intensive, son utilité en tant que technique de prévision est de plus en plus remise en question. Les raisons pour lesquelles les gens adoptent dans des périodes diversifiées se réfèrent aux nombreux facteurs comme la pression sociale ou les masses médias. Cependant, ces modèles n'offrent pas cette distinctive. Pour remédier à cette lacune, le modèle de Bass a été introduit.

2.2.3. Modèle de Bass

Une expansion remarquable a eu lieu dans la littérature du marketing des années 1970 et la plus grande amélioration de cette explosion scientifique est un modèle de prédiction de la diffusion des nouveaux produits de consommation. Le modèle porte le nom de Frank Bass (1969) qui l'a présenté à la communauté dans un article publié en 1969. Ce modèle de prévision des biens durables est devenu si important dans le domaine du marketing en raison des réponses plausibles à l'incertitude associée au lancement des nouveaux produits qu'il offre, ainsi que des décisions officielles sur la viabilité et le suivi des performances commerciales. Aujourd'hui, la plupart des spécialistes du marketing se réfèrent simplement à ce modèle (Van den Bulte, 2010). Certaines des plus grandes sociétés américaines ont également utilisé ce modèle (Mahajan, Muller, & Bass, 1990; Rogers, 2003).

Pour mieux décrire la distribution, en particulier pour prendre en compte l'effet de la pression sociale, Bass définit deux forces motrices de l'adoption : l'innovation et

l'imitation. Ces facteurs explicatifs reflètent le fait qu'une partie des individus adopte, par pression sociale des individus qui sont déjà adoptants, tandis que certains adoptent par persuasion interpersonnelle. La vitesse de diffusion est proportionnelle à (a) la population qui a déjà adopté, notée $f(t)$, et (b) le potentiel de marché est représenté par $F(t)$.

À partir du XIXe siècle, le sociologue Gabriel Tarde (1903) a bien mis en évidence l'importance de l'influence sociale et la manière dont elle est à la base de la formation d'une valeur de l'invention, basée sur sa diffusion. Il a utilisé le mot « *imitation* » pour décrire l'adoption dans son livre, qu'il l'a appelé « les lois de l'imitation » publié en 1903.

Mahajan et Peterson (1985) surnomment le modèle de Bass par le modèle de diffusion d'influence mixte. Ce modèle est une courbe symétrique avec un point d'inflexion qui doit se produire lorsque 50% de la population adopte l'innovation. Le modèle Bass (1969) est un modèle mathématique prédictif de la future adoption d'un produit.

Selon le modèle, la dynamique de la population est soit influencée par le désir d'innover (coefficient d'innovation p , influence externe) soit par le besoin d'imiter les autres membres de la population (coefficient d'imitation q , influence interne). Pour l'appliquer, il faut d'abord définir la taille du marché M (potentiel de marché, ou plafond de diffusion), puis les coefficients de l'innovation p et q , alors il est possible d'estimer le nombre d'adoptions à un moment donné. L'équation est la suivante :

$$f(t) = Mp + (q - p)F(t) - \frac{q}{M}F(t)^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

$F(t)$ représente le nombre de personnes qui doivent encore adopter au moment t ; le taux auquel les personnes non-adoptant passent à l'état adoptant est représenté par $f(t)$, également, il représente des personnes ou d'autres unités d'achat, telles que les entreprises.

Le coefficient p capture tous les éléments constants qui peuvent inciter ou empêcher les gens à adopter rapidement. Ceux-ci peuvent être la communicabilité, la disponibilité, le prix, les bonnes caractéristiques, le faible risque, ainsi que beaucoup d'autres

nombreuses caractéristiques économiques et culturelles. Certains chercheurs contraignent ce coefficient à signifier que l'effet de la masse média (Van den Bulte, 2010).

Le coefficient q capture l'influence interne, la bouche à l'oreille, la contagion sociale, des effets d'influence sociale au sein du groupe. Le paramètre q est multiplié par la fraction du marché qui a déjà adopté l'innovation. Reliant la similitude de la diffusion de l'innovation à la propagation d'une épidémie, le modèle de Bass ressemble aux modèles de contagion, qui décrivent la propagation comme étant une maladie transmise par contact avec des personnes infectées.

Mathématiquement, la solution de l'équation de Bass (2.7) est la probabilité $P(t)$ (pour plus d'épreuve voir (Van den Bulte, 2010)). Cette probabilité est exprimée comme suit :

$$P(t) = \frac{[1 - e^{-(p+q)t}]}{[1 + (\frac{p}{q})e^{-(p+q)t}]} \dots\dots\dots (2.8)$$

L'analyse conditionnelle de cette équation fournit des informations supplémentaires sur la manière d'influence des paramètres sur le résultat graphique. La Figure 2.3 illustre comment le rapport de q et p détermine la forme de la courbe ; p et q contrôlent l'échelle. Si $q > p$ la courbe aura une forme en S ; plus la fraction (q / p) sera grande, plus la forme en S sera étendue. Ce schéma est généralement observé réellement pour les nouveaux produits (Van den Bulte, 2010). Si $p > q$, la courbe suit une forme en J inversé.

L'équation différentielle interprète clairement la logique comportementale du modèle. Elle traduit la force qui pousse le nombre d'adoptants à changer leurs comportements. Ces modèles sont exprimés dans une catégorie générale, dont leur équation est la suivante :

$$\frac{dF(t)}{dt} = g(t)[M - F(t)] \dots\dots\dots (2.9)$$

où $\frac{dF(t)}{dt}$ est le taux de diffusion au temps t , $F(t)$ est le cumul d'adoptants à l'instant t , $g(t)$ est la probabilité d'adoption pour les non-adoptants. L'effet de la diffusion est $[M - F(t)]$, qui représente l'effet de saturation, autrement dit, c'est le nombre de personnes finales soustraites du nombre cumulé d'adoptants.

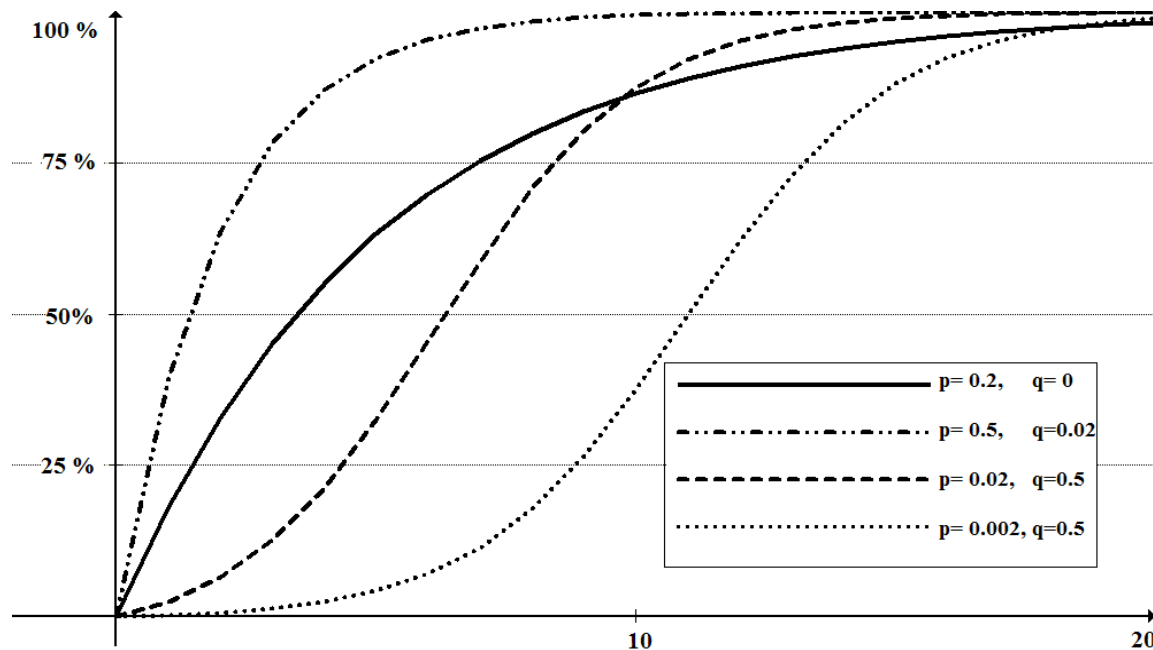


Figure 2.3. Le modèle Bass correspondant aux courbes de diffusion cumulative classique en forme de S, en fonction des paramètres p et q

La variation de la fonction $g(t)$ implique différents modèles, quand $g(t) = p$, elle revoie le modèle d'« influence externe », elle est supposée être dirigée uniquement par pure innovation, comme indiqué dans la Figure 2.3 (Fourt & Woodlock, 1960; Sultan, Farley, & Lehmann, 1990). Ce cas exprime souvent les innovations moins risquées (Van den Bulte, 2010). Lorsque $g(t) = q \times F(t)$, elle revoie le modèle d'« influence interne », qui n'est pas seulement q , mais $q \times F(t)$ (Mansfield, 1961; Sultan, Farley, & Lehmann, 1990; Van den Bulte, 2010).

2.2.3.1. Modèle de Fourt et Woodlock

En marketing, Fourt et Woodlock (1960) ont fourni l'un des tous premiers modèles de croissance de nouveaux produits. Ce modèle a connu une large application également dans le champ industriel (Mahajan & Muller, 1979). De plus, ce modèle conduit à une courbe de diffusion exponentielle modifiée

(Chandrasekaran & Tellis, 2007). Il suppose que la diffusion soit exclusivement influencée par des facteurs externes (Wright, Upritchard, & Lewis, 1997). Il est représenté par l'équation suivante :

$$f(t) = p \times [M - F(t)] \dots\dots\dots (2.10)$$

où p représente l'effet de croissance. Ce modèle suppose que la probabilité d'adoption est constante dans le temps. Fourt et Woodlock (1960) l'ont utilisé pratiquement pour étudier le succès de certains produits d'épicerie.

2.2.3.2. **Modèle de Mansfield**

Dans les années 1960, Edwin Mansfield (1961) a été une source d'inspiration pour la génération des chercheurs qui ont commencé à étudier les changements technologiques. Le chercheur a été un pionnier reconnu dans les études économiques (Metcalf, 2004) et il a suggéré un modèle qui se base uniquement sur les facteurs internes q $g(t) = [q \times F(t)]$, notamment l'adoption est présumée d'être conduite seulement par des processus imitatifs (Fisher & Pry, 1971; Mansfield, 1961; Van den Bulte, 2010). En effet, la croissance des adoptants suit une courbe logistique. L'équation est comme suit :

$$f(t) = [q \times F(t)] [M - F(t)] \dots\dots\dots (2.11)$$

Mansfield (1961) a mis l'accent sur le degré d'incertitude associé à l'innovation et les avantages économiques. Ce modèle a été révisé par Fisher et Pry (1971), qui ont appliqué dans des études de substitution technologique d'innovations industrielles.

Le modèle Bass synthétise les deux modèles, où $g(t) = [p + q(N(t)/M)]$. L'équation est exprimée comme suit :

$$f(t) = [p + q(F(t)/M)] \times [M - F(t)] \dots\dots\dots (2.12)$$

Cette combinaison a été la première formule qui a engendré la force interne et externe, et qui a séparé les leaders et suiveurs dans une équation qui explique mieux la

perspective de Roger sur la base d'une hypothèse de distribution normale (Darda, Guseo, & Mortarino, 2012).

- **Estimation des paramètres**

L'application de tout modèle de diffusion implique l'estimation de ses paramètres. Ainsi, l'estimation des paramètres exacts du modèle de Bass a été le point le plus important pour obtenir une prévision pertinente (Wang, Chang, & Hsiao, 2013). Deux méthodes distinctes ont été appliquées pour l'application. L'article original de Bass contient la première application d'ajustement des paramètres aux données pour estimer les valeurs de p , q et m (Van den Bulte, 2010). Bass a utilisé des innovations des produits similaires pour juger les performances probables. Évidemment, un problème survient généralement lorsque la quantification des paramètres est souhaitée avant que des données de vente ou d'adoption ne soient disponibles.

Toutefois, en l'absence de données historiques ou chronologiques, des jugements d'experts sont faits, leurs propres estimations subjectives ou des estimations provenant d'enquêtes peuvent servir de lignes directrices pour établir les prévisions les plus raisonnables possibles quant à la performance future (Mahajan & Wind, 1988). Ce problème de données s'établit même après le lancement, en particulier très tôt, lorsque seules des données limitées sur les ventes sont disponibles.

Une autre approche consiste à décider quand le moment d'adoption instantanée arrivera, est de déterminer le niveau d'adoption à ce moment-là (Mahajan & Peterson, 1985). Bass (1986) lui-même a montré que cette approche a peu d'intérêt. Pour plus de détails sur les difficultés d'estimation vous pouvez consulter les travaux de Mahajan, Muller et Bass (1990) et Mahajan, Muller et Wind (2000), qui ont largement discuté les solutions susceptibles.

- **Utilisation**

Bass (1969) a testé cette approche principalement pour le but de la prévision sur les données relatives aux ventes initiales de onze biens de consommation

durables (tels que les téléviseurs, les lave-vaisselle et les sèche-linge, etc.). Il a montré que le modèle correspondait bien aux courbes de vente. Ce modèle a également permis d'estimer, de décrire et d'expliquer les schémas de diffusion à long terme. Ce modèle est simple, général et repose sur moins d'hypothèses (Bass, 1986). Cela explique sa popularité, son attraction et sa longévité. En effet, il a engendré un paradigme de la recherche en marketing, qui reste inégalé par aucun autre modèle (Chandrasekaran & Tellis, 2007).

Le modèle Bass et ses modifications ont été appliqués pour prévoir la diffusion des technologies industrielles (Dodds W. , 1973), les produits pharmaceutiques et des biens de consommation durables (Bass, 1969; Dodds W. , 1973), étudier la diffusion des innovations en matière d'éducation (Lawton & Lawton, 1979), améliorer les stratégies de marketing et maximiser les profits (Van den Bulte, 2010), d'expliquer les effets de la concurrence sur le marché (Mahajan & Peterson, 1978) et l'influence de divers variables marketing telles que le prix ou la publicité (Mahajan, Muller, & Bass, 1990).

- **Limitation**

Bien que le modèle de Bass ait beaucoup des atouts et un fort attrait, il souffre des plusieurs limitations. D'abord, il a besoin des données historiques pour fournir des estimations significatives et raisonnables. Cependant, en général, au moment où la prévision se produit, ces données sont manquantes. Le modèle Bass aussi ne comporte pas les variables de marketing tel que le prix ou publicité ; ces variables ont une influence directe sur la décision finale. Il s'agit là d'une difficulté sérieuse étant donné que la majorité des spécialistes du marketing veulent avoir des estimations des ventes avec ces deux variables (Chandrasekaran & Tellis, 2007).

2.2.4. Discussion

Une grande partie des premières recherches sur les processus de diffusion se sont concentrées sur la description des schémas de diffusion observés en termes de fonctions pré-spécifiées. Les fonctions logistiques, Gompertz et Bass, ont toutes été proposées pour modéliser le processus de diffusion car chacune d'elles donne lieu à une courbe en forme

de S. Malgré les développements, les macro-modèles souffrent toujours de limitations conceptuelles dans l'application et la prévision.

Pour les économistes et des autres professionnels ou chercheurs qui s'intéressent à savoir ce qui va se passer, pourquoi, quand se produira l'adoption et dans quelles circonstances données, ces questions ne sont souvent même pas considérées pour les macro-modèles (Geroski, 2000). Les résultats de ces modèles sont surdéterminés. Dans différentes situations, ils peuvent conduire à exactement la même expression mathématique (Van den Bulte, 2010). La stabilité des paramètres du modèle est à l'origine de l'une de ses faiblesses. L'estimation de ces taux par le biais d'innovations réussies pose un sérieux problème. L'objectif étant précisément de prédire le taux d'adoption à un moment donné, s'il est bien connu à l'avance, selon l'hypothèse de sa propagation, il est alors inutile d'appliquer un modèle prédictif (Bass, 1986).

Une autre problématique consiste à l'échec de la propagation de l'innovation qui est irréalisable avec ces modèles, sauf en presumant seulement un nombre minimal des adoptants potentiels, malgré le fait qu'une masse importante peut exister mais ne pas être atteinte par la diffusion. De plus, ces modèles de diffusion fondamentaux sont statiques ; la taille de ces adoptants potentiels est supposée d'être invariable. Ainsi, le système social n'est pas autorisé à accroître ou à diminuer au cours du processus (Mahajan & Peterson, 1978; Sharif & Ramanathan, 1981). De même, le point d'inflexion est fixe et déterminé.

Les macro-modèles préjugent que l'influence interne ou externe reste stable cours de la diffusion. Pratiquement, les adoptants ultérieurs sont moins enclins à discuter des innovations avec d'autres en comparant avec les adoptants précoces. En principe, les adoptants ultérieurs ont des caractères différents de ceux des premiers adoptants et réagissent différemment. Ces modèles ne tiennent pas compte les effets du réseau et l'hétérogénéité des personnes, précisément, la différence entre les catégories d'adoptants détaillées par Rogers (voir 1.3).

L'hétérogénéité associée aux réseaux sociaux est impliquée par les individus et fait en sorte qu'il est difficile de comprendre les corrélations locales et comment elles peuvent influencer la diffusion de ces informations. Alors, hypothèse de l'homogénéité simplifie la tâche de modélisation. Cependant, la modélisation à ce niveau macro est imprécise car

elle suppose un réseau social hautement connecté, dans lequel chaque personne interagit avec tout le monde (Granovetter, 1978; Valente, 2005) . Pelc (2017) a eu pour but d'encourager les chercheurs à intégrer le réseau social où le niveau d'interactivité est si important. De plus, Muller & Peres (2017) ont expliqué en détail la nécessité d'inclure la structure sociale. Epstein (2008) a parfaitement abordé cette question en expliquant les différentes raisons pour construire des modèles sociaux : les modèles analytiques pourraient expliquer (et non prévoir) l'émergence de phénomènes collectifs ou capturer le comportement qualitatif des phénomènes.

Telles critiques limitent fortement la description des modèles de diffusion fondamentaux susmentionnés. Pour tenir compte de l'hétérogénéité de la population et de l'effet de réseau, de nombreuses améliorations et extensions ont été tentées. Ces modèles évoluent vers des approches appelées modèles individus-centrés où la structure sociale et les canaux de communication sont pris en compte. La section suivante détaille les micros-modèles.

2.3. Micros-Modèles

Les chercheurs qui utilisent ou qui prennent en compte cette approche, attestent que les phénomènes que l'on observe à un niveau macro sont des conséquences des interactions qui se font entre les micros entités et qui composent ce niveau. Dans ce cadre théorique, de nombreuses études ont conclu que la perspective de réseau permettait de trouver des réponses aux interrogations relatives aux sciences sociales et comportementales, en attribuant formellement des aspects structurels et sociétales dans des contextes économiques ou politiques (Wasserman & Faust, 1994).

Pour mesurer la diffusion d'innovation sur les réseaux du monde réel, les recherches conduisent souvent une cartographie complète des liens sociaux entre les individus et ensuite suivent la diffusion d'une innovation à partir des rapports d'adoption ou le changement du comportement au fil du temps. Des outils et des modèles très variés ont été utilisés pour estimer et pour prévoir la dynamique future. En conjonction avec la structure sociale, la simulation sur des réseaux pleinement observés permet pratiquement une analyse profonde, en donnant un aperçu aux facteurs associés à une diffusion réussie. L'innovation est introduite dans le système avec l'adoption d'un petit

nombre de personnes, qui encouragent également la diffusion dans leurs réseaux personnels.

En général, les modèles développés dans ce contexte considèrent le réseau comme un monde fermé et reposent sur l'hypothèse selon laquelle les informations ne peuvent pas être propagées à partir des nœuds externes du réseau et que par conséquent, les personnes ne sont influencées que par les actions prises par leurs connexions. Trois différents micros-modèles ont été choisis de la littérature. La section suivante examinera ces approches et leurs principes généraux.

2.3.1. **Modèle à seuil**

La manière dont le réseau social influence le processus de diffusion est le principal objectif du modèle à seuil (Valente, 2005). Ce modèle a été élaboré pour comprendre le processus de diffusion de l'innovation (Valente, 2005). L'interdépendance entre les individus, d'ailleurs, peut à son tour influencer le comportement collectif des décideurs (Granovetter & Soong, 1988; López-Pintado & Watts, 2008). La littérature sociologique sur l'innovation insiste sur l'idée que les individus ont des seuils distincts qui encouragent l'adoption. Le seuil est la fraction d'adoptants dans un système nécessaire pour qu'un individu soit un adoptant. Valente (1996) a appliqué ce concept comme une extension du travail de Granovetter (1978) où la décision de l'individu dépend du comportement des autres membres du groupe ou du système. Pour cette raison, les individus sont plus affectés par les faits reçus du réseau personnel. Valente (1996) a recommandé d'utiliser le réseau personnel plutôt que le système auquel l'individu appartient. Par conséquent, les personnes sont davantage influencées par les informations et les connaissances reçues du réseau de communication directe (Valente, 2005).

L'exposition E_i est la proportion des adoptants dans le réseau personnel. Il est mesuré par avec l'équation suivante :

$$E_i = \frac{\sum w_{ij} \times y_j}{\sum w_{ij}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Les modèles à seuil suivent le principe qu'un individu change d'état si une proportion assez grande de ses voisins est dans cet état. Cette proportion, qui compose le

seuil de l'individu, tiennent en compte la diversité de la prise de la décision, la divergence de ces seuils, ainsi que la disposition de l'individu sur le réseau social. Elles génèrent une hétérogénéité dans la population, ce qui est un fait réel.

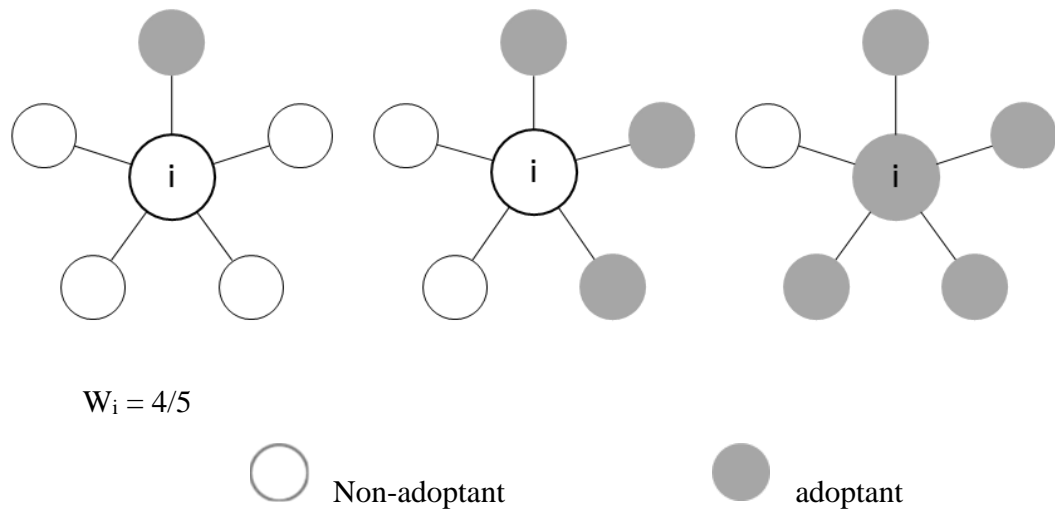


Figure 2.4. Un modèle d'adoption avec un seuil d'individus égale à 4/5

La dynamique de ces modèles a été étudiée pour la première fois par Schelling (1971; 1978), en s'appuyant sur les automates cellulaires. Schelling (1973) a eu pour objective la formulation d'un modèle établi sur les seuils d'adoption, qui sont fondées sur les influences des membres du système social. La théorie de Roger a été utilisée par Mehmood, Barbieri et Bonchi (2016) pour modéliser les différentes étapes de la diffusion des innovations, en appliquant deux dimensions principales de la diffusion, stade d'évolution de la diffusion et la tendance à l'acceptation de l'innovation par les utilisateurs et la vitesse d'adoption à différents stades. Un seuil probabiliste est utilisé qui augmente avec le temps en fonction de ses pairs sociaux qui adoptent le produit.

2.3.1.1. Automates cellulaires

La complexité des systèmes naturels reflète la difficulté inhérente au micro modélisation. Pour simplifier cette tâche, les automates cellulaires ont été introduites. Elles sont constituées de nombreux composants identiques, simples au niveau élémentaire, mais capables d'un comportement complexe au niveau collectif, elles sont dynamiques discrets (Wolfram, 1984). Les structures sociales

implémentées en basant sur les automates cellulaires constituent un cas particulier des réseaux dans lesquels les interactions sont définies par voisinage sur une grille (réseau en treillis). L'un des premiers modèles à base des agents et des automates cellulaires revient au modèle de Schelling (Macy & Willer, 2002). Ce modèle de Schelling (1971) est basé sur le mouvement des agents colorés en rouges et verts, et qui sont distribués de manière aléatoire suivant un certain seuil. Cette ségrégation extrême est finalisée par des agents qui se délocalisent pour éviter d'être minoritaires ; ils suivent la couleur générale pour se conformer avec les membres de la communauté.

Certes, les modèles à seuil incorporent l'hétérogénéité à certain degré mais le processus de communication est absent. L'existence des adoptants dans le système social ne signifie guère qu'une discussion encourageante a survenue. Les conversations sont des notions inexprimées dans ces modèles. Prendre en compte les interactions entre les individus est critique car ils sont le principal moteur de l'évolution des individus (Rogers, 2003). Les approches épidémiques insistent explicitement sur cet événement et son impact.

2.3.2. Approche épidémique

Après la publication du livre de Norman Bailey (1957) sur la théorie mathématique des épidémies, les travaux qui se basent sur cette approche sont diffusés comme une épidémie (Dietz, 1967). Goffman et Newill (1964) ont aussi attiré l'attention sur l'analogie entre la dissémination d'une maladie infectieuse et la propagation d'informations (Daley & Kendall, 1964). L'une des applications les plus importantes du processus stochastique dans le domaine de la biologie et de la médecine a été appliquée à la théorie mathématique des épidémies (Bailey, 1964). Il est facile d'observer la relation entre la maladie épidémique et la diffusion de l'information. La grippe, par exemple, est une maladie contagieuse qui se transmet d'une personne à autre. Les épidémies peuvent affecter une population ou elles peuvent persister pendant des longues périodes à des faibles niveaux.

À fur et à mesure que les épidémies se propagent entre les personnes, les idées et les informations peuvent également se transmettre d'une personne à l'autre à travers des réseaux similaires qui mettent en relation les personnes en tant que phénomène de chaîne

de réaction. La diffusion de l'innovation est généralement considérée comme une contagion sociale (Ronald, 1987). En effet, cette approche est souvent utilisée pour décrire la transmission des innovations (Easley & Kleinberg, 2010). Notamment, elle est la plus appropriée pour simuler la diffusion dans les circonstances où le canal principal de communication est la bouche à oreille (Geroski, 2000). Schelling (1973) a constaté que la diffusion des technologies est semblable à des contagions complexes dans plusieurs domaines de la vie sociale.

D'abord, il y a un peu des adoptants, les membres de leurs réseaux adoptent, puis ils passent à leurs propres réseaux et ainsi de suite ; d'abord, lentement, puis de plus en plus vite, puis ils ralentissent encore parce que les adoptants potentiels sont réduits. L'approche épidémique repose sur l'hypothèse que l'exposition à l'information est suffisante pour être informée et que, par conséquent, cette personne peut potentiellement communiquer avec quelqu'un d'autre. Mathématiquement, ce phénomène est mieux décrit par une courbe en S et il peut être facilement construit à partir d'un tableau de fréquences d'adoption.

Les comportements collectifs se propagent ordinairement par contact social. L'émergence de normes sociales est un exemple qui explique l'adoption d'innovations technologiques. Ces approches sociales suivent un élargissement de mouvements communs, où les réseaux sociaux sont des voies par lesquelles se dispersent ces contagions. En effet, les études ont montré que la topologie sociale a probablement des enchaînements considérables sur les conséquences finales (Guilbeault, Becker, & Centola, 2018).

Le réseau social et les liens à travers lesquels l'influence de sources externes se produisent, est l'élément central intéressant pour Myers, Zhu et Leskovec (2012). Les auteurs ont étudié la manière dont les informations se propagent dans le réseau d'un nœud à l'autre. Myers, Zhu et Leskovec (2012) ont appliqué le modèle épidémique pour confirmer les effets des sources externes sur la diffusion de l'information. À savoir, en quantifiant ce degré d'influence dans le temps, ils affirment que l'information est susceptible de « sauter » sur le réseau.

Iyengar, Christophe, & Valente (2011) ont ajouté le concept de leader d'opinion, en étudiant la contagion sociale au sein des réseaux sociaux, afin de percevoir la dynamique future d'un nouveau produit. Burt (1987) a souligné l'importance de la proximité physique, qui a une certaine capacité, à provoquer la contagion sociale. Cette proximité permet le développement des modèles inspirés de la géographie (Burt, 1987), contrairement à Ba et al. (2012), qui ont conclu leur étude en accentuant que la distance géographique ne crée pas en elle-même un obstacle à la diffusion de l'information. Les auteurs ont implémenté un modèle épidémique, en se basant aussi sur le modèle à seuil afin de créer l'hétérogénéité de la population.

2.3.2.1. Propagation des rumeurs

L'étude de la propagation de rumeurs sur des réseaux sociaux est devenue un problème fondamental qui a été largement étudié par les chercheurs (Dietz, 1967; Moreno, Nekovee, & Pacheco, 2004; Xia, et al., 2015). La rumeur est souvent définie comme « *la propagation de choses, d'événements ou d'interprétations non confirmées du public à travers divers canaux. En tant que forme importante de communication sociale, la rumeur peut aussi être perçue comme une contagion de pensées dont l'authenticité ne peut être jugée, ce qui a une grande influence sur la vie des gens* » (Xia, et al., 2015, p. 295). L'approche épidémique a été utilisée pour modéliser la propagation des rumeurs pour la première fois dans le modèle de Daley-Kendal (1964).

2.3.2.2. Modèle épidémique SIR

Étant donné que le modèle pour la transmission d'idées est semblable à la propagation de la maladie, une discussion des principes primordiaux pour cette conception est convenable. Ces notions font partie de l'épidémiologie, alors les objets engagés dans cette dynamique de dissémination d'une maladie infectieuse sont (1) une population ; (2) une exposition au matériel infectieux (Goffman & Newill, 1964). Ce matériel est considéré comme une simple information ou les différents types de l'innovation. Le modèle SIR présume que l'état des individus évolue selon trois étapes possibles : **Susceptible**, **Infectieux**, et **Retiré** à n'importe quel moment donné dans le temps. (a) Dans l'état **Susceptible** l'individu est soupçonné

d'attraper la maladie de ses voisins. Plus le contact entre les susceptibles et les voisins infectés, plus il est probable que l'adoption produira. Dès que la contagion a été transmise, ceci est immédiatement suivi par la période infectieuse (Dietz, 1967). (2) Pour l'état **Infectieux** l'individu a déjà attrapé la maladie, il devient contagieux et risque d'infecter ses voisins. Les Infectieux sont des personnes qui propagent activement l'innovation. Finalement, (3) l'état **Retiré** survient après une certaine période d'infection ; l'individu est retiré de la considération ; parfois il ne peut plus jamais récupérer la contagion ou la transmettre ou le contraire ; le symbole R signifie parfois l'état **Réfractaire**. Les personnes **Retirées** ont entendu de l'innovation mais, elles n'ont aucun intérêt à la répandre.

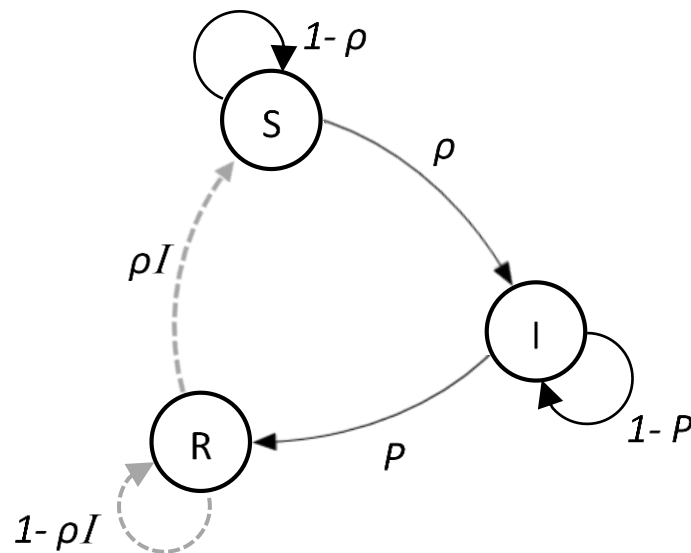


Figure 2.5. Le modèle épidémique SIR avec une probabilité de transition: $S \rightarrow I$ égale à ρ , $I \rightarrow R$ égale à P et $R \rightarrow I$ égale à ρI

La Figure 2.5 schématise la transition entre l'état susceptible, infectieux et retiré. Le trait discontinué représente une immunité temporaire. Il y a d'autres variantes du modèle avec deux états seulement dans le cas de SIS, qui s'est appelé parfois SI, trois états comme SIRS, ou quatre états comme SEIR, SIER, SEIRS. Par exemple, dans le modèle SEIR, l'individu est d'abord susceptible, puis il devient **Exposé** pendant une période de latence, suivie par l'état infectieux et retiré. La classe exposée englobe aussi ceux qui sont infectés mais ne sont pas encore infectieux. Lorsque la période de suspension se termine, l'individu entre dans l'état des infectieux, en ce sens qu'il a la capacité de transmettre la contagion.

Les acronymes SIS, SIRS, SIERS stressent sur le fait que l'individu n'a pas une immunité permanente ; il peut éventuellement acquérir et rattraper l'infection encore. L'état exposé est souvent omise, vu qu'elle n'est pas cruciale pour l'interaction susceptible-infectieuse (Hethcote, 2000). Les fractions s , i et r sont des individus dans les états S, I et R ; ils sont alors régis par les équations différentielles suivantes:

$$\frac{ds}{dt} = -\rho i s, \quad \frac{di}{dt} = \rho i s - P i, \quad \frac{dr}{dt} = P i \dots\dots\dots(2.14)$$

$$s(t) + i(t) + r(t) = N \dots\dots\dots(2.15)$$

L'approche épidémique présume que les rencontres entre individus peuvent être aléatoirement dans la population. Néanmoins, dans un instant t , les individus ne sont pas tous exposés à l'information. De même, les individus n'ont pas la même intention à adopter et à communiquer instantanément après la réception de l'information. Ainsi, la probabilité uniforme pose un grand problème, qui a été assoupli par la modélisation à base des agents, où chaque individu a des caractéristiques différentes par rapport à l'autre.

2.3.2.3. Modèle à base des agents

Plus récemment, la simulation à base d'agents a de plus en plus attirée l'attention des chercheurs car elle opère au micro-niveau. Elle capture éventuellement des phénomènes émergents complexes, alors elle est très adéquate pour la recherche en diffusion (Darda, Guseo, & Mortarino, 2012; Kiesling, et al. , 2012). Cette fameuse approche spécifie directement les comportements des individus en modélisant via des interactions entre les agents. L'adoption est déterminée par une règle de décision (Peres, Muller, & Mahajan, 2010). Dans la littérature, les contraintes des modèles analytiques sont dépassées en décrivant les décisions d'adoption individuelles et en les associant à des résultats globaux (Ba, et al., 2012). En sociologie, la diffusion des innovations a été étudiée avec cette approche. En supposant que chaque agent a un seuil d'adoption distinct (Young,

2005), cette diversification crée l'hétérogénéité. Alors, l'élaboration des théories est beaucoup plus facile avec cet outil en analysant des scénarios réels, de même, il est plus pratique de s'appuyer sur les stratégies et les politiques de gestion, pour avoir des recommandations pertinentes (Thiriot, 2009).

À titre d'exemple, Jackson & Lopez-Pintado (2013) ont affirmé que la corrélation entre l'homophilie et la diffusion sont des domaines de recherche relativement récents. Dans ce contexte, Yavaş & Yücel (2014) ont abordé la façon dont l'homophilie dans le réseau social peut affecter le processus de diffusion. Un modèle de simulation basé sur les agents démontre que l'homophilie se renforce d'elle-même (auto-renforçant), en particulier lors de son augmentation au départ. En d'autres termes, il s'agit d'un soutien plus favorable au début de la diffusion que par la suite. De plus, en appliquant le réseau homophile évolutif, l'extension du degré de l'homophilie globale a plus d'influence que celle de la préférence de voisinage local de l'individu.

De plus, Cowana et Jonard (2004) ont mis en place des agents hétérogènes connectés en échange d'informations au fil du temps. Cette interaction implique la connaissance, qui est représentée par un vecteur évolutif. Deroïan (2002) a fait valoir que la formation de réseaux sociaux pourrait être une raison possible, pour comprendre pourquoi certaines innovations ont besoin de beaucoup de temps pour être diffusées, alors que d'autres échouent souvent. Le modèle des agents d'interaction est utilisé pour tenir compte de l'influence interpersonnelle et des effets de réseau. La formation progressive du réseau est considérée comme un apprentissage progressif pour stimuler le processus d'adoption. Ce dernier doit ensuite mener une évaluation collective de l'innovation technologique par la population.

Dans un autre côté, Alvarez-Galvez (2016) a mis l'accent sur l'opinion publique minoritaire. En revanche de la littérature étendue sur la dynamique de la formation d'opinion, l'auteur s'est moins préoccupée d'expliquer comment la structure sociale peut influencer la propagation des avis minoritaires, en se basant sur la contagion sociale et la modélisation à base d'agents. Pareillement, Christoff et

Hansen (2015) ont ajouté le cadre logique général, pour mieux spécifier le processus de raisonnement, tout en reposant sur l'approche agent.

Les modèles épidémiques ont un objectif commun pour décrire le nombre d'infectants en fonction du temps ou d'autres variables pertinentes, comme ceux qui ont été mentionnés. Ils peuvent être simplement généralisé à une épidémie déterministe qui se déroule sur un réseau social fortement connecté, bien que ce système évolué notamment d'architecture d'interaction, soit beaucoup plus compliqué que son homologue totalement mixte (Newman, 2003). Ces modèles déterministes sont fondés usuellement sur un système d'équations différentielles (Guille, et al. , 2013) ; ils prédisent le comportement au fur à mesure pour avoir un asymptotique finale. Ils ne tiennent pas compte des variations considérables qui se produisent dans diverses situations en mesure des instants spécifiques. Dans certains cas, les modèles qui décrivent l'évolution temporelle sont beaucoup plus appropriés comme les modèles en cascade. Ces derniers ont hérité des avantages de la modélisation à base d'agents, et encore à chaque instant t , seulement un groupe d'adoptant potentiel est choisi.

2.3.3. Modèle en cascade

Cette catégorie des modèles suppose que l'innovation se propage à cause de cascades d'informations, et que le comportement social se produit lorsqu'une séquence d'individus effectue une action identique en ignorant leurs signaux d'informations privées. On peut distinguer deux étendues de modèles dans cette catégorie : (i) le modèle en cascade indépendant et (ii) le modèle à seuil linéaire.

Le modèle en cascade indépendant est une généralisation du modèle SIR, au lieu d'une seule probabilité d'infection, il accorde une probabilité d'infection diverse à chaque nœud. Le modèle à seuil linéaire est une extension probabiliste du modèle à seuil et épidémique, car ses seuils sont tirés au hasard et attribués à chaque nœud différemment à l'autre. Les probabilités des seuils peuvent être affectées en termes de la proximité géographique ou la fréquence des interactions (Shakarian, et al. , 2015).

Le principe général est que temps t l'adoption se produit pas à pas. Si un nœud adopte, il devient actif (c'est-à-dire a adopté l'innovation et essaie de la propager), sinon

il reste inactif. Un nœud inactif peut se transformer en actif. L'aptitude d'un nœud inactif à se transformer est positivement corrélée au nombre de voisins actifs, car les activations survenues sont effectives à la prochaine itération. Couramment ce processus commence par une séquence initiale, puis il s'exécute jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'activations. Ce processus de diffusion peut être considéré comme une activation consécutive sur l'ensemble du réseau social. Dans ce qui suit, ces deux catégories seront détaillées, en analysant leurs représentations dans les deux cas, et aussi leurs dérivations développées.

2.3.3.1. Modèle en cascade indépendant

La dynamique du modèle en cascade indépendant consiste à l'activation séquentielle. Ce modèle commence par un ensemble initial de nœuds actifs. Ces nœuds nouvellement activés rejoignent ce mouvement et ils essaient encore d'activer leurs voisins avec une probabilité associée à chaque nœud inactif, et ainsi de suite. Le processus se déroule par des étapes discrètes ; la chance d'activer les voisins inactifs dans un tour est unique. Cette force sociale de conformité s'augmente avec les temps. Il est possible qu'au début les gens n'aient vu aucune raison d'adopter, ils n'avaient aucune information privée ou publique laissant supposer que cela est nécessaire ou mieux ce qu'ils existent. Mais avec de plus en plus de gens approuvant, les futurs adoptants auraient peut-être rationnellement décidé qu'il y avait de bonnes raisons de le faire, en se basant sur les informations venant du milieu social. Ce processus peut au moins expliquer en partie de fait d'imitation.

Un cas particulier du modèle Cascade indépendante est appelé cascade pondérée, dans lequel la somme totale des poids entrants de chaque nœud est inférieure ou égale à 1, c'est-à-dire $\sum W_{i,j \text{ entrant}} \leq 1$ (Kempe, Kleinberg, & Tardos, 2015). Par d'autres mots, le succès pour l'activation est pondéré par le degré global du nœud. Le modèle à cascade pondérée ressemble au modèle à seuil linéaire en ce sens que le nombre de voisins qui réussiraient à activer un nœud quelconque est égal à 1. Ce modèle est proposé également par Kempe, Kleinberg et Tardos (2003).

Le succès de la cascade peut être remarqué dans le vote des candidats populaires, la mode, le succès des livres placés en bonne place sur les listes de best-sellers ou bien les choix technologiques des consommateurs. Dans ces situations, les personnes prennent des décisions en revenant aux inférences de ce qu'ils ont fait les autres (Easley & Kleinberg, 2010).

2.3.3.2. Modèle à seuil linéaire

Le modèle du seuil linéaire a été proposé par Kempe et al. (2003). Des seuils aléatoires uniformes de 0 à 1 sont attribués à chaque individu et lien. Le modèle fonctionne comme suit : l'individu est influencé par chaque voisin en fonction d'un poids non négatif uniformément aléatoire dans l'intervalle [0,1]. Si la somme des degrés d'influence dépasse leur propre seuil, il sera actif. Ce degré d'influence est impératif pour l'individu pour devenir un adoptant. Pour chaque étape de la simulation, une séquence d'individus actifs active de la même manière leurs voisins, et ainsi de suite. La propagation se termine lorsqu'il n'y a plus de personne inactive.

$$\sum W_{i,j \text{ entrant}}(Y_j) \geq W_i \dots\dots\dots(2.16)$$

En résumé, les mécanismes derrière le modèle en cascade indépendant et seuil linéaire reflètent deux points de vue opposés. Dans le premier, le changement est centré sur l'expéditeur, tandis que dans le deuxième, ce basculement est centré sur le récepteur (Guille, et al., 2013).

Une problématique liée au modèle en cascade est que le système reste définitivement stationnaire; les nœuds actifs ne peuvent pas passer aux états inactifs et les nœuds activés ne peuvent pas se désactiver. Encore, dans un instant t tous les nœuds actifs ont la capacité d'activer les autres. En réalité, les individus n'acceptent pas l'innovation simultanément.

2.4. Discussion

La diffusion de l'innovation conduit à des représentations en forme de S. Cet objet est garanti par la plupart des modèles. La théorie de la diffusion de l'innovation décrit les

mécanismes qui conduisent à la diffusion de l'innovation ; il ne contient pas d'aspect quantitatif. Figure 2.6 illustre une taxonomie qui reprend l'état de l'art en matière de diffusion de l'innovation. Les fonctions logistiques et Gompertz sont des modèles beaucoup plus utilisés pour démontrer l'effet cumulatif. En 1969, inspiré par Rogers et d'autres théoriciens du domaine, Frank Bass (1969) a développé un modèle servant à quantifier le taux d'adoption d'une innovation particulière dans une population (Rogers, 2003). Des d'évaluation supplémentaires du modèle de Bass à travers des études ont offert un pilier empirique solide au modèle structurel dans des circonstances diversifiées.

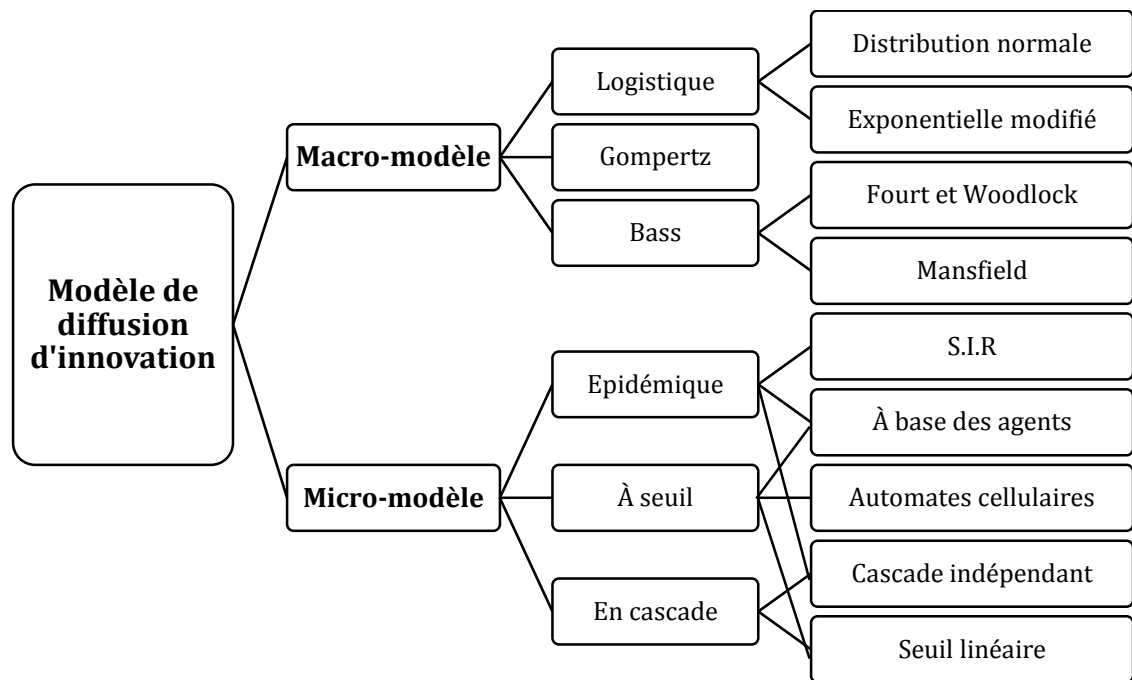


Figure 2.6. La taxonomie des modèles de diffusion de l'innovation

Les modèles les plus connus de diffusion qui sont utilisés à des fins de diffusion technologique et la commercialisation de nouveaux produits sont le modèle de Bass, les modèles de familles logistiques (Bewley & Fiebig, 1988), le modèle Gompertz, Fourt et Woodlock ainsi que le model du Mansfield (Mahajan & Muller, 1979). Les critères les plus importants correspondants à l'élaboration d'un modèle de la diffusion, sont considérablement exprimés dans la discussion (voir 2.2.4), on peux les résumer dans une limitation grave, ce problème est l'absence de la structure sociale. En conséquence, des modèles qui opèrent au niveau individuel nommés micros modèles sont recommandés.

Pour cette étude, trois célèbres modèles sont été choisis : à seuil, épidémique et en cascade.

Valente (2010) a indiqué que le modèle de diffusion établi sur les individus peut être une nouvelle approche pour comprendre l'interdépendance entre les réseaux et le comportement final. Le modèle à seuil se caractérise notamment par l'accent mis sur l'aspect structural (Liu, et al., 2017). Alors, les modèles de seuil ont montré un intérêt particulier pour le système social, en l'accordant une probabilité distribuée afin de créer l'hétérogénéité. Le seuil représente une proportion minimum d'adoptants qu'il devra être existant pour être également un adoptant. Ces seuils sont considérés généralement par les sociologues. Bien que les seuils soient générés de manière informelle, ils expliquent possiblement la forme de S des courbes d'adoption. Ces entrées reflètent des dissemblances de réactions face à la pression sociale ou plutôt un désir de conformité (Young, 2005). La question est de savoir comment faire cela pour un réseau personnel avec suffisamment d'adoptants et une brève interaction.

Ainsi, l'impact des canaux de communication est au centre de l'approche épidémiologique. Cette approche s'inspire de la propagation de certains phénomènes contagieux à travers une population quelconque en fonction du temps (Easley & Kleinberg, 2010). Cette propagation est représentée comme la transmission d'un agent pathogène d'une source infectée à un hôte sensible non infecté. Cet agent pourrait être une idée, une rumeur ou un bien de consommation. Ces modèles se présentent généralement dans les sciences biologiques et sociales (Dodds & Watts, 2004). Les modèles à base des agents sont inspirés de l'informatique, ils ont résolu beaucoup des problèmes rencontrés au niveau micro. Elle suppose que la population est un ensemble d'unités qui réagissent les unes avec les autres par l'intermédiaire de liens.

Les modèles en cascade supposent que les individus suivent la foule ; cette hypothèse tend à se produire même dans une population qui préfère la diversité. Les individus sont des nœuds actifs ou inactifs ; un nœud inactif est influencé par tous ses voisins actifs à chaque pas de temps. À chaque étape, un nœud inactif devient actif selon une condition du poids total des voisins, alors, le comportement collectif va émerger jusqu'à la saturation.

Bien que plusieurs modèles dans la littérature de la diffusion de l'innovation, les éléments fondamentaux sont considérés différemment dans le processus de modélisation. Rogers (2003) a mentionné quatre éléments importants : (1) l'innovation, (2) le temps, (3) le système social et (4) les canaux de communication. En se basant sur les éléments catégorisés par Rogers, le Tableau 2.1 résume les éléments de diffusion de l'innovation plus ou moins pris en compte par les modèles susmentionnés.

Tableau 2.1. Les éléments de la théorie de la diffusion de l'innovation considérés par les modèles mentionnés.

| Modèles | Innovation | Réseau social | Communication | temps |
|--------------------------|------------|---------------|---------------|-------|
| Logistique | x | x | x | ✓ |
| - Distribution normale | x | x | x | ✓ |
| - Exponentielle modifié | x | x | x | ✓ |
| Gompertz | x | x | x | ✓ |
| Bass | x | x | x | ✓ |
| - Fourt et Woodlock | x | x | x | ✓ |
| - Mansfield | x | x | x | ✓ |
| A seuil | x | ✓ | x | ✓ |
| - Automates cellulaires | x | ✓ | x | ✓ |
| Epidémique | x | x | ✓ | ✓ |
| - S.I.R et ses variances | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| - À base des agents | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cascade | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Cascade indépendant | x | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Seuil linéaire | x | ✓ | ✓ | ✓ |

Une limite notable des modèles existants est qu'ils ignorent l'innovation. Ils n'expliquent pas les raisons claires pour inciter les gens à adopter cette innovation, mais, ils s'appuient sur le fait que l'adoption sera décidée étant donné que d'autres l'ont déjà pris sans évaluation personnelle (Young, 2009). En d'autre termes, les choix des individus dans tous ces modèles dépendent de la pression sociale. Pour se rapprocher de la réalité, l'adoption doit venir de raisons de croire que l'innovation est meilleure que celles qui

existent, où l'observation directe des conséquences pour les adoptants précédents prouve cette conviction.

Ainsi, le besoin d'un modèle tenant compte des différentes caractéristiques de l'innovation est essentiel tel que l'avantage relatif, la compatibilité, la complexité, la possibilité d'essai et l'observabilité, en accordant aussi une attention sur la dynamique de la réinvention. Tandis que tous les modèles mentionnés ont montré que l'innovation existe théoriquement mais pas explicitement dans la conception.

En contrepartie des variétés des concepts de fondement des modèles existants, une interprétation commune que le retard d'adoption s'est référé à l'hétérogénéité des adoptants potentiels (Young, 2006 (a)). Les gens perçoivent différemment les avantages de l'innovation, les entendent à des moments différents ou ont des prédispositions différentes à respecter, etc., tandis que la majorité des modèles de la littérature conçoivent l'hétérogénéité de manière très restreinte. La diversité est créée à travers une distribution des valeurs comme dans le cas des modèles à seuil (Young, 2009). Ainsi, l'hétérogénéité provient des différentes caractéristiques des individus (détaillée dans la section 1.3).

Dans ce contexte, ces caractéristiques génèrent des comportements préliminaires dissimilaires envers cette innovation. Une autre limitation remarquable des modèles de la littérature est qu'ils nécessitent les adoptants précoces pour que la simulation commence ; le choix de ces adoptants est aléatoire. Une sélection suivant des jugements logiques est obligatoire, principalement en s'établissant sur ces différentes caractéristiques personnelles de chaque catégorie des adoptants. Ce problème apparaisse dans l'instant t_0 .

Dans les étapes suivantes de la simulation, juste un groupe de personne est exposé à l'innovation où parle d'elle. Les modèles mises en œuvre souffrent d'une exposition globale. Tous les individus propagent simultanément l'innovation et dans des scénarios réels, ce phénomène est rare.

Un autre point négatif est le système social qui reste statique dans le temps. Dans n'importe quel moment l'individu peut créer de nouvelles relations, et relâche des autres, qui impliquent le besoin de la réalisation des modèles plus dynamiques.

Malgré la distinction des domaines qui les concernent, les modèles examinées ici constituent un exemple de continuité et de cumul dans la conception des approches et ils sont basés sur l'hypothèse selon laquelle toute la population peut être exclusivement divisée en deux groupes : ceux qui sont déjà des adoptants et ceux qui peuvent potentiellement être des adoptants. Par conséquent, toute la population adopte finalement l'innovation, et une innovation une fois adoptée ne sera jamais rejetée.

De plus, la partie de la population qui a déjà adopté l'innovation ne peuvent pas l'abandonner. Dans cette mesure, les personnes qui refusent l'innovation restent neutres. Les opposants à l'innovation n'influencent pas les décisions de ceux qui ont déjà adopté et des non-engagés (Sharif & Ramanathan, 1982).

Cette hypothèse est irréaliste et constitue une grave problématique. Dans les conditions des propagandes, les opinions négatives affectent activement les décisions prises par ceux qui sont adoptants et surtout ceux qui ne sont pas engagés encore. De même, la transition immédiate entre ces deux états extrêmement opposés est en doute. La prise de décision véritable est absolument survenue graduellement, ce point de vue a été expliqué dans la section (1.2.4). La conception des modèles existants néglige ce recours fondamental.

2.5. Conclusion

Lorsque des nouvelles idées, activités ou objets sont inventés, diffusés, adoptés ou rejetés, des changements sociaux se produisent. La recherche dans ce domaine a produit divers modèles théoriques. Une étude sur les modèles de diffusion de l'innovation a été présentée dans ce chapitre. L'étude propose que les approches de la littérature soient des macros-modèles ou micros-modèles. Cet état de l'art, volontairement synthétise, expose les principales approches qui existent.

Pour les responsables de la gestion des nouveaux produits, les macros-modèles ont la capacité d'offrir des informations sur les phases d'introduction et de la croissance. Les avantages éventuels de ces modèles consistent à la création de la forme générale de la courbe de diffusion, ainsi que la prévision avec relativement peu de données d'entrée

(Wright, Upritchard, & Lewis, 1997). Les modèles logistiques, Gompertz ou BASS sont des exemples des modèles utilisés pour décrire la diffusion des innovations.

Les limites des macros modèles ont été illustrées, puis des approches centrées l'individu ont été discutées. Trois micros modèles sont été choisis. Les modèles à seuil utilisent une probabilité d'adoption qui dépend du nombre d'expositions instantanées aux voisins adoptants. Le modèle à seuil linéaire est une version améliorée. Les modèles épidémiologiques ont été inspirés par la diffusion de la contagion. Cette approche estime que les rencontres entre individus apparaissent suivant une certaine probabilité dans la population. Le modèle en cascade indépendant est une continuité de l'approche épidémiologique, en évoluant sa description de sorte que la probabilité soit diversifiée. En conséquence, une fois l'individu est infecté, il a la possibilité d'infecter son voisin au prochain pas de temps et en fonction de la probabilité déjà associée. Finalement, une évaluation générale des modèles a été aussi développée.

Cependant, il existe des nombreux modèles de prévision mais il n'y a pas un critère général qui devrait être appliqué pour évaluer ces modèles, même pour les classer dans des catégories (Mahajan & Wind, 1988). Un effort personnel a été mis en place pour constituer un état de l'art bien compréhensible et successif. Beaucoup des critères importants sont déduits. Ces critiques développées seront utilisées, afin de construire et d'évaluer le modèle proposé, pour qu'elles soient notamment prises en compte lors de la conception d'un modèle de prévision de la dynamique future de la diffusion, car elles garantissent que les résultats seront plus pertinents et réalistes.

Ces modèles existants diffèrent grandement dans leurs objectifs et dans leur approche. Néanmoins, ils convergent vers des résultats similaires qui sont des courbes de diffusion « S ». En combinant les conclusions des macros et des micro-modèles, et à la lumière de l'énoncé discuté dans ce chapitre, deux modèles originaux sont développés. L'adoption, qui est un processus complexe, qui suit une évolution dans plusieurs états à changer, est soumise à plusieurs facteurs internes tels que les caractéristiques personnelles et externes qui résident dans la pression sociale. Ces facteurs sont largement expliqués dans la théorie de la diffusion des innovations. Ce qui mérite certainement une attention rigoureuse et qui est la substance du travail présenté dans le chapitre suivant.

Deuxième Partie

Contributions

Chapitre 3.

Modèle évolutif

Sommaire

| | | |
|----------|----------------------------------|----|
| 3.1. | INTRODUCTION..... | 73 |
| 3.2. | APPROCHE EVOLUTIONNAIRE | 74 |
| 3.3. | LES RESEAUX SOCIAUX..... | 76 |
| 3.3.1. | <i>Le réseau régulier</i> | 76 |
| 3.3.2. | <i>Le petit monde</i> | 77 |
| 3.3.3. | <i>Le réseau aléatoire</i> | 77 |
| 3.3.3.1. | Les liens faibles..... | 78 |
| 3.4. | LE MODELE PROPOSE..... | 79 |
| 3.4.1. | <i>Facteurs internes</i> | 81 |
| 3.4.2. | <i>Facteurs Externes</i> | 81 |
| 3.4.3. | <i>Croisement</i> | 82 |
| 3.4.4. | <i>Fitness</i> | 83 |
| 3.4.5. | <i>Individus</i> | 83 |
| 3.4.6. | <i>Algorithme</i> | 84 |
| 3.4.1. | <i>Réseau social</i> | 86 |
| 3.5. | EXPERIMENTATIONS..... | 87 |
| 3.6. | DISCUSSION | 89 |
| 3.7. | CONCLUSION..... | 89 |

3.1. Introduction

L'extrême objectif de tous les créateurs d'innovation est d'assurer sa diffusion, ce qui constitue le cœur de la théorie de la diffusion. Une des questions clé fondamentales est : « *Quelle est la raison pour laquelle certaines innovations peuvent atteindre des masses importantes d'individus, alors que d'autres sont oubliées avant d'être reconnues par une minorité de la population ?* ».

L'étude révolutionnaire dans le domaine de la diffusion a été menée par Ryan et Grosse (1943; 1950). Les auteurs ont eu pour but de savoir pourquoi certains agriculteurs achetaient des semences de maïs hybrides presque immédiatement après leur disponibilité, tandis que d'autres attendaient que presque tous les agriculteurs de la région aient acheté. De même, Coleman, Katz et Menzel (1957) ont voulu savoir pourquoi certains médecins ont commencé à prescrire de la tétracycline dès qu'elle était disponible, alors que d'autres ont attendu que la plupart des médecins l'aient déjà prescrite.

La théorie de la diffusion de l'innovation tente d'expliquer comment et pourquoi les nouvelles idées sont diffusées (Valente, 2005; 2010). La question fondamentale est la suivante : « *Quelle est la bonne méthode pour intégrer cette théorie dans un système qui prend en compte les concepts importants ? De plus, comment pouvons-nous modéliser le comportement humain en tant que processus influencé par les autres adoptants ?* »

Ainsi, l'objectif principal de ce chapitre est de répondre à toutes ces questions en introduisant une nouvelle technique de présentation simplifiée, en se basant sur une perspective évolutive pour la modélisation de la diffusion de l'innovation (Chikouche, et al., 2017). Axelrod (1986) a affirmé que les algorithmes bio-inspirés pourraient offrir des outils avantageux pour simuler les systèmes sociaux. Cependant, un peu de la littérature disponible qui applique des techniques basées sur les algorithmes évolutionnaires (O'Mahoney, 2007; Sampaio, et al., 2013).

Le modèle introduit est basé sur les facteurs internes en tant que processus progressif, et les facteurs externes qui repoussent sur l'exposition aux voisins déjà adoptants. Le modèle conçu présente une caractéristique clé, à savoir l'association de ces deux facteurs importants, la persuasion et l'apprentissage, qui dépend des caractéristiques personnelles considérés comme un facteur interne, ainsi que les facteurs externes qui sont influencés par l'entourage. Ces éléments importants sont pris en compte et sont donc présentés dans un modèle capable de prédire l'avenir de l'innovation. Dans un temps passé, c'était rare que le modèle de diffusion réunisse l'influence externe et interne (Mahajan & Peterson, 1985).

Afin de confirmer l'habilité du modèle proposé pour produire le pattern de diffusion explicite, une simulation a été réalisée en utilisant trois types de réseaux sociaux : un réseau en treillis sur un tore, un réseau régulier en anneau et un réseau aléatoire.

Pour bien placer ces objectifs, les algorithmes évolutionnaires seront d'abord expliqués. Ensuite, parce que le modèle proposé est basé sur les réseaux sociaux, ses concepts clés seront définis, suivi par une présentation du modèle tout en éclaircissant les détails nécessaires et la mise en œuvre du modèle, en mettant en évidence la manière dont elles sont appliquées. Après, une discussion des expérimentations et des résultats obtenus sera exposée. Ce chapitre sera conclu par une discussion de nos constatations.

3.2. Approche évolutionnaire

Les algorithmes évolutionnaires sont inspirés de la nature (Wong, 2016). Ils sont originaires de la théorie de l'évolution classique (Buss, et al., 1998), précisément la sélection naturelle et la génétique. Ils peuvent être simplement décrits par sélection et évaluation (Goldberg, 1989). Les algorithmes évolutifs peuvent être utilisés pour traiter un large éventail de problèmes (Streichert, 2002).

Plusieurs publications sont apparues ces dernières années, traitant l'intégration de la perspective théorique évolutionnaire à la science sociale, connue sous le nom de psychologie évolutionnaire. Ce mariage occupe une place importante dans la science psychologique (Buss, et al., 1998; Confer, et al., 2010). L'adaptation et la sélection

naturelle sont les notions de base de la science de la psychologie évolutionnaire (Buss, et al., 1998; Confer, et al., 2010; Heylighen, 2014).

En réalisant une étude étendue, Confer et ses collègues (2010) ont visé à encourager les chercheurs à adopter et à exploiter le domaine évolutionnaire. L'objectif des auteurs a été de répondre aux questions et de clarifier les questions controversées. Les psychologues l'ont appliqué pour expliquer comment l'esprit humain a évolué au profit de la personne (Wu & Chen, 2012).

Une illustration de l'application de la psychologie évolutionnaire dans le contexte de l'apprentissage est le travail de Wu & Chen (2012). Les auteurs ont choisi le système d'apprentissage en ligne, car il peut offrir une solution dans l'enseignement supérieur. Par conséquent, les chercheurs ont utilisé deux principales perspectives de la psychologie évolutionniste : l'interaction sociale et le moindre effort. En intégrant ces deux perspectives, les auteurs ont étudié l'effet de la prise de décision des étudiants.

La recherche en psychologie évolutionniste met en lumière l'importance de l'intégration des concepts évolutionnaires en sociologie, mais elle ne l'a pas été appliquée directement à la diffusion de l'innovation. En dépit de la quantité importante de publications traitant de la diffusion des innovations, seulement un nombre limité d'entre elles ont appliqué des techniques basées sur les algorithmes évolutionnaires (O'Mahoney, 2007; Sampaio, et al., 2013; 2012).

Un exemple particulier implique l'effort de Sampaio et al. (2013; 2012), dans laquelle les auteurs ont suggéré un micro-modèle utilisant un algorithme évolutionnaire comme une approche alternative qui simule l'évolution de processus de la diffusion de l'innovation au sein des organisations. Sampaio et al. (2013; 2012) se sont appuyé principalement sur la théorie de Rogers (2003) et sur la formalisation de Young (1999) comme support principal de leur travail. En effet, les auteurs ont mis en œuvre l'approche évolutionnaire à travers des fonctions de sélection, mutation et fitness.

D'autre part, la représentation des individus était limitée par trois gènes. Le premier est le gène d'adoption qui prend la valeur 1 pour les adoptants et 0 pour le contraire. Le deuxième gène est lié à la connaissance de l'individu, que les auteurs ont implémenté en

utilisant la fonction Verhulst (voir 2.2.1), afin de simuler le progrès des connaissances. Le troisième concerne le gène de l'exposition, où l'influence du réseau social via la formalisation bien connue de Valente (voir 2.3.1). La fonction de mutation change les individus en adoptants suivant une certaine probabilité. La fonction de fitness évalue les réponses des individus en termes de connaissances et de valeurs d'exposition. Un réseau d'interactions en tore a été défini, avec un voisinage constant de quatre individus représentés comme une structure en treillis. Cependant, l'algorithme de Sampaio et al. (2013; 2012) a été basé sur l'association des fonctions de Verhulst et de Valente.

L'approche mémétique est un cas particulier des algorithmes évolutionnaires où le terme mème correspond à une petite unité d'information. La mémétique concerne la duplication des mèmes et la capacité de les transférer d'un esprit à d'autre (Wilde, 2013). Cette auto-propagation est un exemple de fonctionnalité représentant la diffusion de l'innovation, alors que la duplication des mèmes est le phénomène d'imitation. Par conséquent, O'Mahoney (2007) a appliqué un processus évolutif dynamique par une approche mémétique pour soutenir la description de la diffusion des innovations en termes de sa gestion. L'auteur a insisté que la réplication, la sélection et la variation pourraient constituer un algorithme évolutionnaire, qui aide le processus de la diffusion et le développement des mèmes.

3.3. Les réseaux sociaux

Une grande importance dans de nombreux systèmes a été attribuée à l'analyse de la structure sociale en point de vue de la théorie des graphes (Albert & Barabási, 2002; Dorogovtsev & Mendes, 2002). Burt (1987; 1982) a confirmé que certainement la diffusion de nouvelles idées ou pratiques dépend de la disposition de la structure sociale. Dans le cadre de cette étude, trois structures sociales ont été sélectionnées et détaillées.

3.3.1. Le réseau régulier

Une propriété générale pour le réseau régulier est que chaque nœud possède le même nombre des relations, et tous les individus ont un degré de centralité identique, de sorte qu'ils ont une chance égale d'être influencés ou d'avoir des voisins. La structure en treillis est un cas particulier des graphes réguliers où l'influence se limite à 4 membres au maximum. Les réseaux électriques et les réseaux de communication sont généralement

modélisés à l'aide de réseaux en treillis (Shu, et al., 2018). La structure en anneau n'a aucune limite sur le nombre de relations mais plutôt sur la manière d'association. Cependant, malgré le fait que le réseau en anneau soit plus ouvert dans le nombre de relations, il est toujours limité par les liens avec les voisins les plus proches qui ne reflètent pas un véritable réseau social. De même, cette propriété est observée pour le réseau en treillis. Ces réseaux réguliers sont également qualifiés par la distance moyenne élevée parce que la structure n'a pas de « ponts » pour connecter des individus éloignés. Cependant, ces réseaux sont en fait très peu observés dans la nature ; ils sont souvent utilisés comme base pour établir des réseaux plus réalistes (Alkemade & Castaldi, 2005).

3.3.2. Le petit monde

Une propriété populaire dans les réseaux sociaux est connue sous le nom de petit monde. Ce concept décrit aisément le fait qu'en revanche de la taille souvent importante du réseau, les distances entre la plupart des nœuds sont relativement courtes (Albert & Barabási, 2002; Boccaletti, et al., 2006; Dorogovtsev & Mendes, 2002). Le témoignage le plus populaire de ce type de réseau est la notion de « six degrés de séparation », qui a été découverte par le psychologue social Stanley Milgram (1967). Milgram a remarqué qu'il existait une relation de connaissances avec une caractéristique de distance d'environ six entre la majorité des paires d'individus. La propriété du petit monde progresse les performances de nombreux processus de diffusion par rapport aux réseaux réguliers, grâce à l'existence de raccourcis directs qui eux accélèrent la communication entre des nœuds distants et permettent un chemin plus court entre deux nœuds du réseau (Albert & Barabási, 2002; Dorogovtsev & Mendes, 2002; Strogatz, 2001; Watts & Strogatz, 1998).

3.3.3. Le réseau aléatoire

Beaucoup des comportements se dispersent par un lien social (Centola & Macy, 2007). De ce fait, les contacts personnels ont éventuellement un effet déterminant sur la diffusion (Watts & Strogatz, 1998). Le réseau aléatoire possède la propriété que chaque pair nœud est connecté avec une probabilité p , créant un graphe avec des arêtes distribuées de manière aléatoire. Ces graphes ont été étudiés préalablement par les mathématiciens hongrois Paul Erdős et Alfred Rényi (1960). Le terme aléatoire fait référence à la nature désordonnée de la disposition des liens entre différents nœuds.

Il existe deux hypothèses contradictoires sur la manière dont l'influence de la structure du réseau sur la diffusion : l'hypothèse pour les **liens faibles** qui assume que les réseaux avec de liens longs génèrent disperseront un comportement plus rapidement et plus loin qu'un réseau dans lequel les liens sont fortement liés (Watts D. J., 1999). Par contre, l'autre hypothèse postule que l'acceptation de l'information est un processus complexe ; l'individu adopte un comportement quand il s'expose à plusieurs contacts avant d'être persuadées (Granovetter, 1978). C'est les cas des **liens forts** dans les réseaux réguliers. Cette hypothèse assume que réseaux réguliers ont des liens plus redondants avec des clusters, favoriseront socialement l'adoption. Ainsi, ils renforcent la propagation au sein de larges populations (Centola, 2010; Strogatz, 2001; Watts & Strogatz, 1998).

Rogers (2003) a insisté sur la force des liens longs. L'auteur postule que son avantage réside dans le fait que les liens diminuent la redondance en branchant des personnes dont les amis ne se connaissent pas, ceci permettant subséquemment à l'innovation de se diffuser rapidement à d'autres bords du réseau. L'absence de redondance est le cas courant d'un réseau aléatoire, dans lequel la population abondante et chaque lien s'étend vers des différentes parties (Newman, 2000).

Granovetter (1973) a modéré la force de la liaison à travers la répétition des contacts. Des autres recherches ont proposé un ensemble de facteurs pour indiquer la force des liens sociaux, tels que le niveau des sentiments échangés dans une relation, la durée de l'interaction, etc (Liu, et al., 2017). Sur la base de ces critères, les liens faibles sont souvent déterminés comme des relations qui nécessitent peu d'investissements.

3.3.3.1. Les liens faibles

La théorie des liens faibles, énoncée dans l'article fondamental de Granovetter (1973) intitulée « La force des liens faibles », met en évidence les liens sociaux faibles, plus précisément, leur rôle dans la diffusion de l'information. Les personnes faiblement connectées au système social sont importantes pour promouvoir la diffusion. Cette force revient au point que ces liens ont tendance à être longs ; ils connectent des personnes et lieux socialement éloignés (Centola & Macy, 2007).

Ainsi, il est clair que pour garantir la diffusion à travers les autres membres du réseau social, les liens les plus faibles assurent le fait que les autres sous-groupes garderont une plus grande portée (Valente, 2010). Ces liens sont plus susceptibles d'être des liens de rapprochement, étant donné que leur disposition les rend plus capables à atteindre des informations extérieures que des liens forts (Liu, et al., 2017), ce qui permet à l'information de se diffuser rapidement (Centola & Macy, 2007).

L'essentialité de ces liens faibles est au niveau globale, et beaucoup plus moins qu'au niveau individuel, parce que lorsqu'un individu prend une décision, il revient à ses liens forts. Donc ces liens faiblement connectés sont éventuellement plus utiles pour la diffusion de l'information que pour le changement de comportement, en d'autres mots, les individus accueillent facilement l'information par ces liaisons, tandis que pour le changement de comportement, le processus est plus difficile et plus complexe sur le plan.

3.4. Le modèle proposé

Étant donné que la diffusion d'une innovation est un changement complexe impliquant une grande masse de population, ce micro processus est le résultat des décisions individuelles élémentaires et au niveau macro il suit des hypothèses extrêmes (Meade & Islam, 2006). Le cadre théorique du mécanisme de diffusion détaillé par Rogers (2003) a été choisi comme un support pour ce travail.

Une rétrospective historique montre que les psychologues ont utilisé les modèles mathématiques comme une théorie quantitative du comportement (Suppes, 1962). Après une certaine durée, une réponse est souhaitée à la question : « *A quel point les modèles mathématiques peuvent-ils soutenir les sciences sociales ?* » Epstein (2008) a soutenu que ces modèles peuvent éventuellement expliquer le phénomène social mais n'ont pas la possibilité de prédire son avenir. Silverman & Bryden (2007) ont recommandé donc la simulation car elle offre une solution optimiste aux sciences sociales. Le développement actuel des technologies permet à la simulation d'être plus ouverte et capable d'étudier des systèmes complexes en les comparant à des modèles mathématiques (Jong, 2006).

Axelrod (1997(a)) a expliqué qu'en sciences sociales, la simulation permet de prendre en compte l'interaction et son influence.

Un inconvénient majeur des approches existantes est que la simulation de la décision d'adoption est fondée sur la décision des autres membres du réseau social (Young, 2009). Certains modèles supposent que tous les adoptants sont semblables. En revanche, les adoptants potentiels ne sont pas tous identiques dans leur comportement, en raison du fait qu'ils ont une grande diversité de personnalité. C'est pourquoi il faut également insister sur ce point. Dans une certaine mesure, les caractéristiques personnelles peuvent principalement changer l'avenir des innovations (Rogers, 1995). Dans des situations concrètes, la décision d'adoption s'agit essentiellement d'un choix personnel. En effet, les choix personnels sont influencés par l'observation et la communication avec les autres membres du réseau interpersonnel.

Les algorithmes évolutifs ont été préférés pour simuler l'évolution du processus d'adoption. L'adoption ne se produit pas immédiatement (2010), mais elle suit un processus évolutif graduel. L'adoptant commence par devenir conscient, de chercher plus de connaissance sur ce sujet jusqu'à prendre la décision. L'algorithme évolutif est l'approche la plus appropriée pour modéliser ce processus.

Boyd et Richerson (2005) ont confirmé que les théories de l'évolution supposent que l'apprentissage suit généralement les variables de l'environnement au moyen de mécanismes génétiques adaptés seulement. La persuasion personnelle est le résultat de facteurs internes différents d'un individu à l'autre et de l'influence de l'entourage, qui sont exprimés dans le présent travail comme des facteurs externes. Il est important de noter que ce qui diffère l'être humain à d'autres espèces, réside dans son capacité à accumuler des informations et en les transmettant générations après générations. Ce processus d'apprentissage évolutif est dû aux concepts complexes recueillis à partir de petites innovations (Boyd & Richerson, 2005). De plus, les interactions entre les individus conduisent à une amélioration de la conscience humaine, qui peut aussi positivement affecter la persuasion.

3.4.1. Facteurs internes

En gardant une trace de ce qui a été dit précédemment, les caractéristiques personnelles avec l'influence du réseau social ; changent le point de vue de l'individu. Donc, une fonction qui résume les deux a été proposée, présentée par **la persuasion**, cette fonction est graduelle et cumulative. Elle est mise à jour à partir des informations reçues des voisins.

La décision de l'homme compte sur l'expérience des autres membres du réseau social. Ce développement est transféré à la génération suivante et ainsi de suite. C'est pourquoi la fonction de Gompertz a été sélectionnée pour gérer ce facteur dynamique nécessaire. Le modèle de diffusion d'influence interne est communément ancré à la fonction convenablement connue de Gompertz, qui est énormément utilisée dans les prévisions technologiques (Mahajan & Peterson, 1985). Le facteur interne ψ est calculé par l'équation suivante :

$$\psi = e^{-\lambda e^{-\theta \mu}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Les paramètres λ et θ sont des valeurs aléatoires constantes, implémentées par une loi normale. Ces deux paramètres sont utilisés pour modéliser la variété humaine.

Parce que la persuasion peut être influencée par transmission d'informations entre les individus. Cette évolution est présentée par le paramètre μ . De plus, cet impact dépend du croisement et de l'intensité de la relation. En d'autres termes, la communication positive augmente la volonté d'adoption de nouvelles idées. Rogers (1983) a soutenu que l'effet d'apprentissage social retourne à l'interaction personnelle. Au fur à mesure du temps, il augmente à travers l'effet de l'influence interpersonnelle au sein des systèmes sociaux. Boyd & Richerson (2005) ont confirmé que la progression de l'apprentissage doit être modélisée comme un processus évolutif, en conséquence, on peut considérer la persuasion comme une fonction culturelle. Cette hypothèse de progression est cruciale.

3.4.2. Facteurs Externes

Le modèle d'influence interne repose sur un paradigme dans lequel la diffusion ne se produit que par une persuasion achevée, alors que le modèle d'influence externe

repose sur l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas d'influence survenue de la perception personnelle. Souvent, l'interprétation de cet effet est présentée par les médias de masse, bien qu'il ait été utilisé pour symboliser l'influence des vendeurs, des agences gouvernementales, compagnies, et toute influence autre qu'une adoption antérieure.

Valente (2005) a soutenu que les personnes sont affectées par leur réseau personnel. Le modèle de seuil intègre l'influence des réseaux sociaux en comptant le nombre d'opinions positives. Les individus diffèrent dans leur volonté d'accepter de nouvelles idées avant les autres (Valente, 1996). Le seuil ϖ est le pourcentage du nombre d'adoptants souhaité, qui doit être atteint pour qu'un individu donné soit un adoptant. Le facteur externe χ est le pourcentage d'adoptants dans un certain temps. Il peut être calculé avec l'équation :

$$\frac{\sum v(i,j) \times \varphi(i)}{\sum v(i)} = \chi \dots\dots\dots (3.2)$$

Si le facteur externe était supérieur à la valeur du seuil ϖ , χ conservera la valeur 1.

3.4.3. Croisement

Pour modéliser la fonction adaptative de la pression sociale, qui signifie l'acquisition des connaissances par l'observation ou l'apprentissage des autres. Le croisement a été mis en œuvre par l'acquisition d'informations auprès des voisins. Ce croisement μ est défini comme suit :

$$\mu = \mu + \omega(i,j) \text{ if } (U(0,1) < \delta) \dots\dots\dots (3.3)$$

Pour définir qui interagit avec qui et dans quelles circonstances, une variable aléatoire suivant une distribution uniforme $U \sim (0, 1)$ a été introduite. Pour le modèle d'interaction humaine, la communication est cruciale car elle implique une interaction directe entre les individus. La structure du réseau social peut principalement affecter le processus de diffusion parce que les relations peuvent fortement décrire le résultat de l'échange d'informations. La culture est une information que les gens acquièrent par l'enseignement, l'imitation ou d'autres formes d'apprentissage social. À une échelle inconnue chez les autres espèces, les personnes acquièrent des compétences, des

croyances et des valeurs auprès des personnes qui les entourent, et celles-ci affectent fortement le comportement de la personne (Boyd & Richerson, 2005).

3.4.4. Fitness

L'algorithme évolutionnaire peut simplement être exécuté par des fonctions de sélection et d'évaluation. Dans le modèle proposé, la fonction fitness comprend deux paramètres d'évaluation α et β . L'évaluation crée un équilibre entre le principe de persuasion et l'influence du réseau social. L'équation est écrite comme suit :

$$\alpha\psi + \beta\chi = \xi \dots\dots\dots (3.4)$$

où

$$\alpha + \beta = 1 \dots\dots\dots (3.5)$$

Les paramètres α et β obtiennent leurs valeurs par simulation afin d'identifier l'impact de chaque facteur.

3.4.5. Individus

La matrice M contient toutes les informations sur les individus. La ligne i signifie le nombre d'individus et les colonnes sont structurées comme suit :

- **Valeur φ**

La valeur d'adoption, qui reçoit la valeur 1 pour adoptant et 0 pour le contraire. Tous les individus sont initialisés par 0.

- **Paramètre λ**

C'est implémenté par une distribution de probabilité aléatoire normale, sa valeur étant dispersée dans le range de $\{1, \dots, 10\}$. Rogers (1983) a précisé le fait que les variables personnels sont normalement distribués. Ce paramètre désigne les attitudes préalables envers cette nouvelle information, ou bien les perceptions initiales acquises par les individus.

- **Paramètre θ**

Il est mathématiquement identique à λ . Il symbolise la rapidité de l'adoption ; il converge de 0 à 1.

- **Degré μ**

Il représente la quantité d'influence accumulée au fil du temps. Il est accumulé grâce aux informations apprises des voisins.

- **Seuil ϖ**

C'est le seuil personnel nécessaire à un individu pour être un adoptant. Le seuil ϖ est modélisé comme une distribution normale de 0 à 1.

- **Seuil $v(i, j)$**

Il représente les relations et leurs poids. Il faut noter que le poids des relations est asymétrique $v_{ij} \neq v_{ji}$ et présentées par une distribution de probabilité aléatoire uniforme $U \sim (0,1)$.

3.4.6. Algorithme

Dans la littérature des modèles d'influence interne, la diffusion est qualifiée seulement en fonction de la communication interpersonnelle et les interactions sociales entre les adoptants antérieurs et les adoptants potentiels. Alors, le modèle d'influence interne est plus adéquat lorsqu'une innovation est visible dans le système social. Les préférences personnelles ne sont pas prises en compte uniquement le plan social est impliqué. En effet, ces modèles considèrent l'adoption comme **une imitation pure** (Mahajan & Peterson, 1985).

Le modèle de Bass (1969) considère que les facteurs internes résident dans la pression sociale et les facteurs externes résident dans les masses médias, en presumant l'individu et son réseau personnel comme une seule unité. Au contraire, le modèle proposé sépare l'individu de son réseau et suppose que les facteurs internes sont originaires de l'individu lui-même (l'acceptabilité personnelle), et tous ceux qui sont en dehors de ce cadre sont considérés comme externes. Au début de l'exécution de l'algorithme, les premiers adoptants ont été sélectionnés. L'opération de sélection est

effectuée par la suite. Après cela, pour chaque individu choisi, deux procédures principales sont effectuées, initialement le croisement, dans lequel l'individu communique et partage son expérience, ensuite, l'évaluation de l'individu.

Algorithme 3.1. Algorithme d'adoption évolutionnaire

! Génération aléatoire de la population initiale (la matrice M)

! Génération aléatoire des premiers adoptants ()

Tant que (NB d'adoptants < la population) fait

 Sélection ($U \sim (0,1)$)

 Pour chaque individu sélectionné (i)

 Croisement (i, j)

 Fitness (i)

 Fin pour

t + 1

Fin

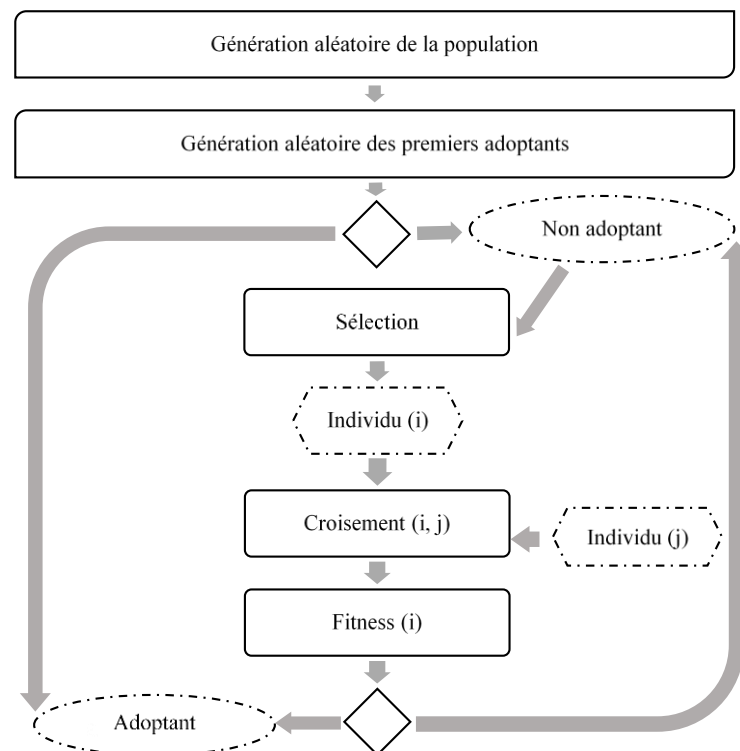


Figure 3.1. Digramme de l'algorithme d'adoption évolutionnaire proposé

3.4.1. Réseau social

Pour les expérimentations, trois types de réseaux ont été étudiés. L'objectif est de connaître l'impact de la structure sociale sur la diffusion de l'information. Le premier est le réseau en treillis sur un tore, dans lequel le nombre de voisins est de quatre pour tout le monde, et les individus ne peuvent être influencés que par ces quatre voisins. Le deuxième type est un réseau régulier en anneau, où les liens sont fixés de quatre à huit. Le troisième est le réseau aléatoire suivant le modèle de réseau d'Erdős-Rényi (1960) et dans lequel les liens et leur nombre sont tous deux aléatoires.

Kreindler & Young (2014) ont également utilisé ces trois types de réseaux sociaux. Cowana et Jonard (2004) ont mis l'accent sur la relation entre la topologie du réseau et le processus de diffusion. Les auteurs ont examiné les effets de la diffusion progressive des innovations au moyen de trois architectures différentes. Par la suite, les chercheurs ont utilisé un réseau régulier et aléatoire, de plus le réseau en petit monde. Ces trois types ont également été choisis par Alkemade & Castaldi (2005). Sampaio et al. (2013) , Shu et al. (2018) et Young (1999; 2006 (b)) ont réduit leur choix uniquement au réseau en treillis, qui est plus adapté pour les modèles basés sur les automates cellulaires, ce qui est le cas du modèle suggéré par Young (2009).

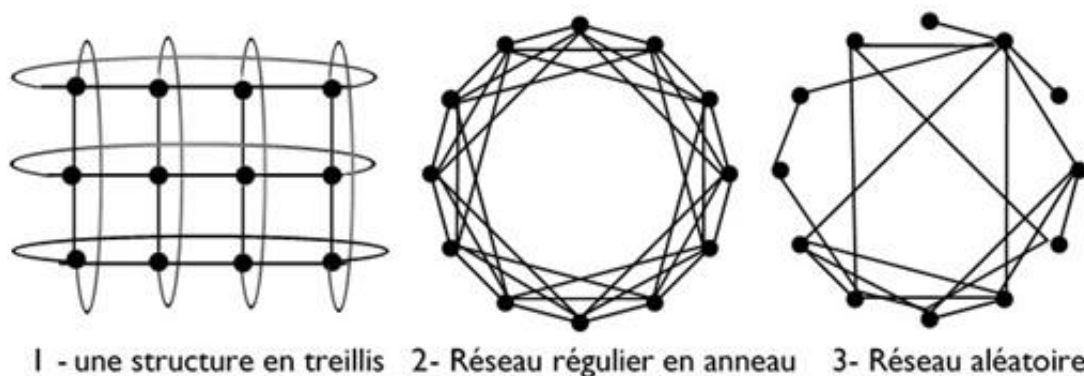


Figure 3.2. Les trois structures du réseau choisies

3.5. Expérimentations

La conclusion la plus importante et le résultat le plus largement énoncé de la diffusion de l'innovation concernent la courbe en « S » ou la courbe sigmoïde (Chandrasekaran & Tellis, 2007). La courbe est un graphe de l'accumulation des adoptants en fonction du temps (Mahajan, Muller, & Bass, 1990; Mahajan, Muller, & Wind, 2000; Mahajan & Peterson, 1985; Rogers, 2003; 1983). Le schéma de diffusion explicite est l'objectif crucial de tout modèle de diffusion.

Une simulation de 100 essais indépendants a été réalisée par une approche probabiliste. Les expérimentations varient sur trois structures différentes. Pour chacun, deux scénarios distincts (a, b) ont été testés. Le langage Fortran a été utilisé pour implémenter le code de l'algorithme. La population a été générée par une probabilité aléatoire uniforme. Le Tableau 3.1 résume les résultats de la simulation où : **MOY adoptants** représente la durée moyenne des simulations dans lesquelles le pourcentage d'adoptants est de 50% ou 100%. **100% adoptants** représente le temps de simulation min ou max pris dans différentes exécutions.

Tableau 3.1. Résultats de la simulation

| | Temps | | | |
|--------------|---------------|------|----------------|------|
| | MOY adoptants | | 100% adoptants | |
| | 50% | 100% | Min | Max |
| Scénario 1.a | 141 | 315 | 263 | 381 |
| Scénario 1.b | 128 | 291 | 228 | 363 |
| Scénario 2.a | 179 | 366 | 314 | 428 |
| Scénario 2.b | 64 | 212 | 162 | 308 |
| Scénario 3.a | 139 | 353 | 267 | 1018 |
| Scénario 3.b | 58 | 208 | 164 | 340 |

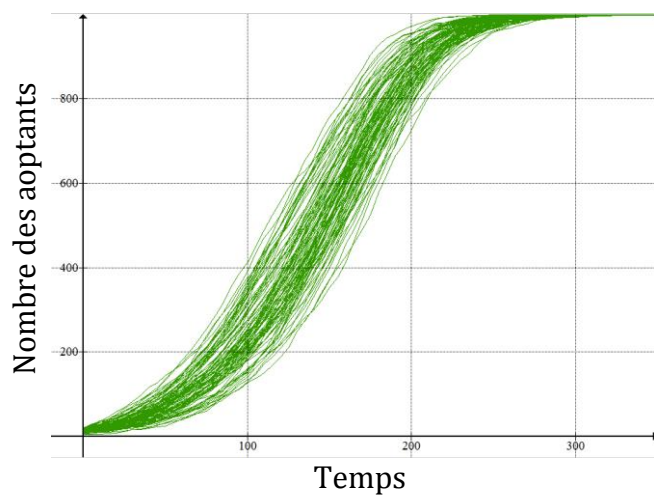


Figure 3.3. Scénario 1.a: structure en treillis (50×20)

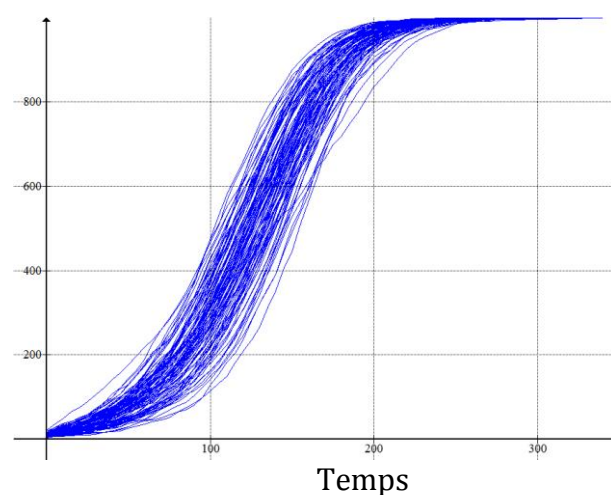


Figure 3.4. Scénario 1.b: structure en treillis (5×200)

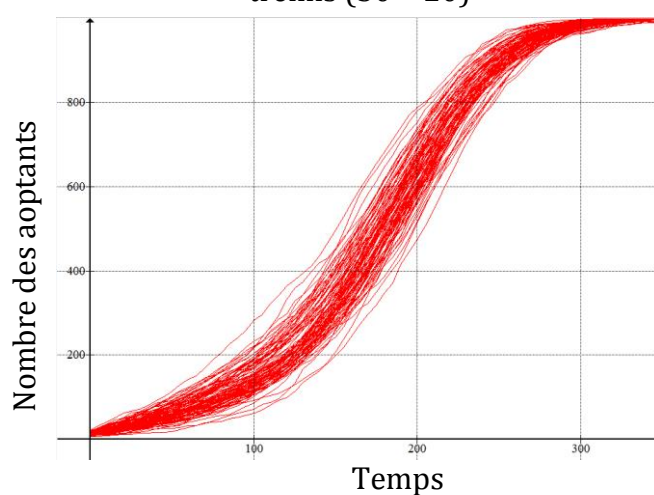


Figure 3.5. Scénario 2.a: Réseau en anneau (4 relations)

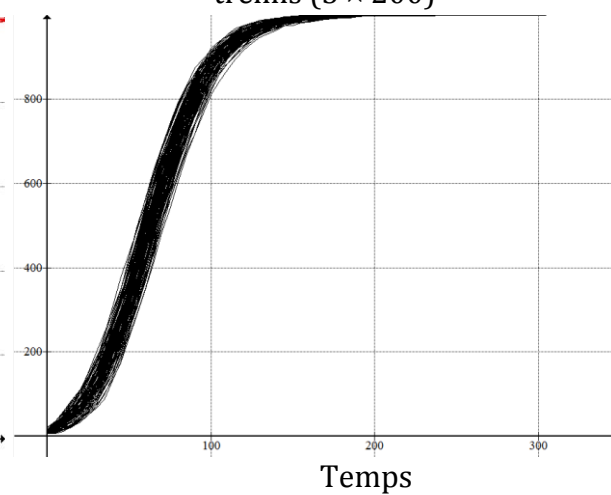


Figure 3.6. Scénario 2.b: Réseau en anneau (8 relations)

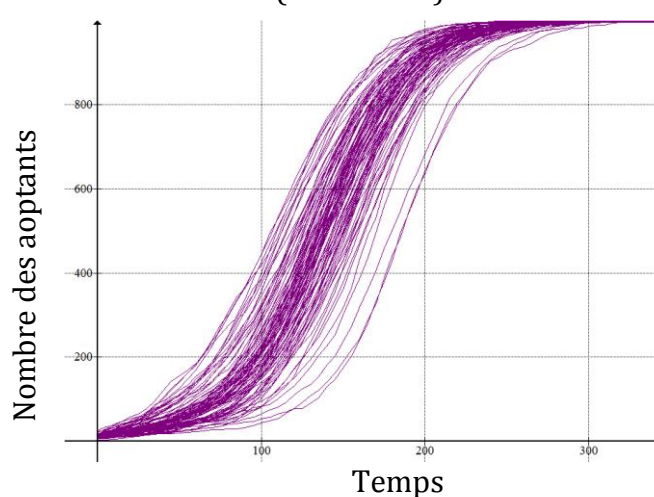


Figure 3.7. Scénario 3.a: réseau aléatoire (4 relations)

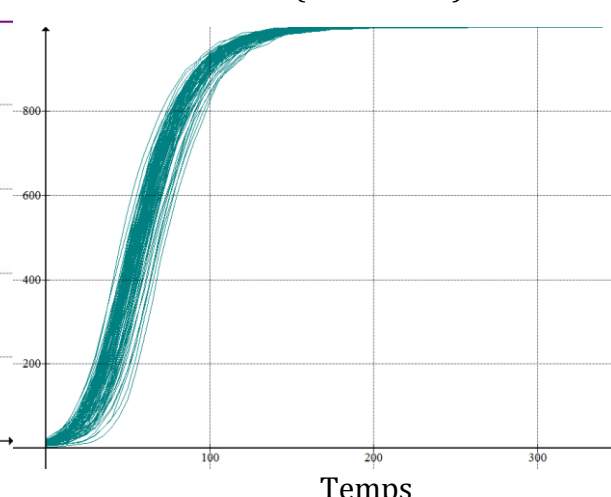


Figure 3.8. Scénario 3.b: réseau aléatoire (8 relations)

3.6. Discussion

C'est important de noter que les courbes de la diffusion suivent la forme de « S »: les taux de propagation sont d'abord augmentés, puis réduits au fil du temps, ce qui dérive par rapport à une période d'adoption rapide au début, et ralentit à la fin. À partir des Figures 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 et 3.8, on peut clairement observer ces schémas sigmoïdes. Nous pouvons également noter la corrélation surtout entre la structure du réseau et la rapidité d'adoption, ce qui est dû à l'intensité de la communication.

Sur la bases de la Figure 3.6 et la Figure 3.8, on déduit que l'augmentation des relations a un effet positif et accélère la diffusion de l'innovation. Les interactions augmentent le niveau de connaissance et réduisent l'incertitude liée à cette nouveauté. Notre attention a été attirée sur les courbes dispersées des Figures 3.3, 3.4, 3.5 et 3.7 où les relations étaient de quatre. C'est également important de noter que la structure en treillis limite la diffusion, contrairement à l'anneau et l'aléatoire ; ceci est dû au fait que ces deux derniers sont plus libres.

3.7. Conclusion

Afin de mieux comprendre le modèle proposé, ce chapitre a expliqué tout d'abord les algorithmes évolutionnaires tout en se projetant sur la littérature des modèles de la diffusion, suivi aussi par une présentation des structures de réseaux sociaux. La théorie de la diffusion d'innovation a été utilisée pour modéliser le phénomène social de l'adoption.

Un modèle basé sur des facteurs internes et externes a été proposé. En d'autres termes, il introduit une nouvelle présentation en tant que processus décisionnel évolutionnaire influencé par la persuasion personnelle et les interactions dans le réseau social. Car la décision ne vient pas directement de la première exposition à l'innovation, mais elle suit un processus évolutif affecté par les autres voisins déjà adoptants. Cette interaction sociale dénote la communication parce qu'elle repose sur ces deux facteurs associés. L'influence des voisins adoptants a été introduite comme une valeur accumulée qui augmente la persuasion en observant ou en contactant d'autres personnes dans le

cercle social personnel. Trois types de réseaux sociaux ont été expérimentés : le réseau en treillis sur un tore, le réseau régulier en anneau et le réseau aléatoire.

Le modèle conçu a démontré la capacité de construire une représentation simplifiée permettant de prédire l'évolution d'une idée dans une population. Il a aussi prouvé un pattern de diffusion explicite. Le schéma en forme de « S » est cohérent avec les principes de la théorie susmentionnée. Les adoptants potentiels sont choisis suivant une certaine probabilité, seulement un groupe des individus est sélectionné dans un instant donné. Par conséquent, le modèle peut offrir un aperçu significatif pour mieux comprendre le sujet du comportement humain.

L'hypothèse au fondement de cette thèse est que la modélisation du comportement humain, qui influence forcément tout phénomène de la diffusion, est due à la diversité des personnalités qui génèrent différentes réactions envers ces différentes innovations. Ce comportement varié, ainsi il faut obligatoirement intégrer sa valeur indispensable. C'est vrai que le modèle évolutionnaire proposé a mis en évidence l'hétérogénéité de la population avec des paramètres bien adaptés à la réalité mais il reste restreint par des contraintes qui ne supportent que 3 choix au maximum.

Le choix entre ce qui semble crucial à prendre en compte dans un modèle d'un celui qui apparaît secondaire, est un enjeu majeur qui a participé à la construction d'un nouveau modèle original, beaucoup plus ouvert, détaillé dans le chapitre suivant.

Chapitre 4.

Modèle d'adoption évolutionnaire

Sommaire

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.1. | INTRODUCTION..... | 93 |
| 4.2. | LE MODELE PROPOSE..... | 94 |
| 4.2.1. | <i>Les individus.....</i> | 96 |
| 4.2.2. | <i>Innovation.....</i> | 97 |
| 4.2.3. | <i>Premiers Adoptants.....</i> | 98 |
| 4.2.4. | <i>Mutation.....</i> | 99 |
| 4.2.5. | <i>Croisement.....</i> | 99 |
| 4.2.6. | <i>Fitness.....</i> | 101 |
| 4.2.7. | <i>L'algorithme.....</i> | 102 |
| 4.3. | CONFIGURATION DES EXPERIMENTATIONS..... | 104 |
| 4.4. | RESULTATS ET DISCUSSION | 104 |
| 4.4.1. | <i>Réseau social.....</i> | 105 |
| 4.4.2. | <i>Croisement.....</i> | 106 |
| 4.4.3. | <i>Complexité.....</i> | 108 |
| 4.4.4. | <i>Avantage relatif.....</i> | 109 |
| 4.4.5. | <i>Possibilité d'essai.....</i> | 110 |
| 4.4.6. | <i>Sélection des individus.....</i> | 111 |
| 4.4.7. | <i>Innovation improductive.....</i> | 112 |
| 4.4.8. | <i>La réinvention de l'innovation.....</i> | 113 |
| 4.5. | COMPARAISON AVEC D'AUTRES MODELES DE DIFFUSION..... | 114 |
| 4.5.1. | <i>Les macros-modèles.....</i> | 114 |
| 4.5.2. | <i>Les micros-modèles.....</i> | 114 |
| 4.6. | CONCLUSION..... | 116 |

4.1. Introduction

Les économistes, sociologues, épidémiologistes et autres professionnels reconnaissent l'importance des recherches sur la diffusion des idées et des comportements à travers les communautés humaines. L'acceptabilité est le moteur de l'évolution d'une propagation. Ainsi, plusieurs modèles ont été développés pour mieux modéliser ce processus. Deux catégories de modèles de diffusion sont désignées : les macros-modèles et les micros-modèles.

Les macro-modèles ne comportent pas l'hétérogénéité de la population et même la structure du réseau social. En revanche les micro-modèles se concentrent sur l'influence de la structure sociale. On peut regrouper les micros-modèles comme suit : le modèle à seuil, le modèle épidémique et les modèles en cascade. Les modèles à seuil supposent que la décision des personnes dépend seulement du comportement des autres membres du réseau. Les modèles épidémiques supposent simplement que les innovations se propagent lorsque les adoptants d'une innovation entrent en contact avec des adoptants potentiels. La dernière catégorie est représentée par les modèles en cascade, dans lesquelles les individus suivent carrément la foule. En appliquant cette hypothèse, l'individu omet son propre avis en simulant le comportement des autres.

Plusieurs limitations de ces modèles ont été déjà discutées dans le deuxième chapitre. La plus remarquée est que ces modèles écartent les choix personnels, et ils se reposent sur la pression sociale sans montrer une logique en ce qui concerne la décision d'adoption. Ainsi, ils ignorent les caractéristiques de l'innovation. L'originalité de cette étude est l'introduction d'un modèle individu-centré en appuyant sur la théorie de la diffusion de l'innovation. Ce modèle vise à résoudre ces limitations par l'intégration des quatre éléments de la diffusion, l'hétérogénéité des individus, la pression sociale, l'influence des canaux de communication et les cinq qualités d'innovation dans un même modèle. L'intégration de presque tous ces éléments fondamentaux de la théorie de la diffusion de l'innovation peuvent éventuellement augmenter la description du modèle et renforcer la précision du résultat.

Grace à la nature adaptative complexe de l'esprit humain, il a la capacité merveilleuse de réorganiser et connecter les connaissances pour générer des idées utiles (Plsek, 2003).

L'adoption d'une innovation est un processus de changement progressif à travers de la recherche locale, basée par exemple sur l'intérêt personnel, afin de trouver une réponse créative aux problèmes. Cette autonomie, qui génère notamment un apprentissage propre menant à une transformation structurelle, se traduit par un avantage collectif (Barrientos & Andrade, 2017). Les phénomènes sociaux impliquent que plusieurs personnes interagissent ensemble, couramment de façon interdépendante, les individus tentent de raisonner avant d'agir, en séquence cette réflexion représente éventuellement une affaire très lente.

En raison de cette nature, la décision ne se produit pas instantanément (Valente, 2010), mais elle suit un processus de changement graduel (Young, 2002) qui peut être affecté par le choix personnel d'adoptants ou par la valeur de l'innovation elle-même. L'autre contribution est l'application des algorithmes évolutionnaires pour simuler l'évolution progressive du processus d'adoption, Pour la meilleure connaissance des auteurs, l'algorithme et cette modélisation des concepts d'innovation sont originaux et n'ont jamais été réalisés auparavant.

Le choix des premiers d'adoptants est un point essentiel pour le bon déroulement d'une simulation. Par contre, ce choix constitue un problème pour les modèles de diffusion, parce que plus il y a de premiers adoptants, plus vite la diffusion sera notée. Alors, les études s'appuient sur les jugements des experts, les données historiques des innovations similaires ou sur un seuil prédictif. Le modèle proposé résout implicitement ce problème en introduisant les conditions ordinaires pour leur génération.

Donc, ce chapitre procède en proposant un codage pour chaque notion. Ces codages seront structurés dans un algorithme complet qui renferme les effets de ces notions. Pour plus de compréhension, chaque notion est détaillée séparément, suivi par des expérimentations qui éclairent l'importance et la manière d'influence. Ensuite, une comparaison entre le modèle proposé et les micros et les macros modèle sera présentée.

4.2. Le modèle proposé

Rogers (2003) dans son livre, a largement expliqué pourquoi et comment l'innovation se répand dans une population quelconque. Ce cadre théorique a été choisi comme

support d'étude pour le présent travail. La notion de changement progressif est profonde pour ce modèle proposé, tandis que beaucoup des modèles de la littérature négligent ce point. Dans la vie, les gens n'échangent pas leurs croyances immédiatement, mais cette amélioration se fait lentement avec le temps. Les caractéristiques de l'innovation sont aussi importantes dans un modèle qui prévoit l'avenir, mais qui n'ont pas été malheureusement prises en compte. Ce travail met en évidence cette limitation, en y accordant une grande attention, contrairement aux modèles existants qui impliquent une transition extrême des non-adoptants vers les adoptants ; la décision passe par plusieurs étapes : de devenir conscient, de chercher plus de connaissance à ce sujet et de prendre une décision. Ce processus a été formellement établi. Des autres concepts qui sont déterminants pour le bon déroulement d'une diffusion, sont certainement ont été intégrés dans ce modèle proposé, par exemple : l'incertitude et la bouche à oreille. La Figure 4.1 résume tous les concepts de diffusion de l'innovation impliqués dans la conceptualisation du modèle.

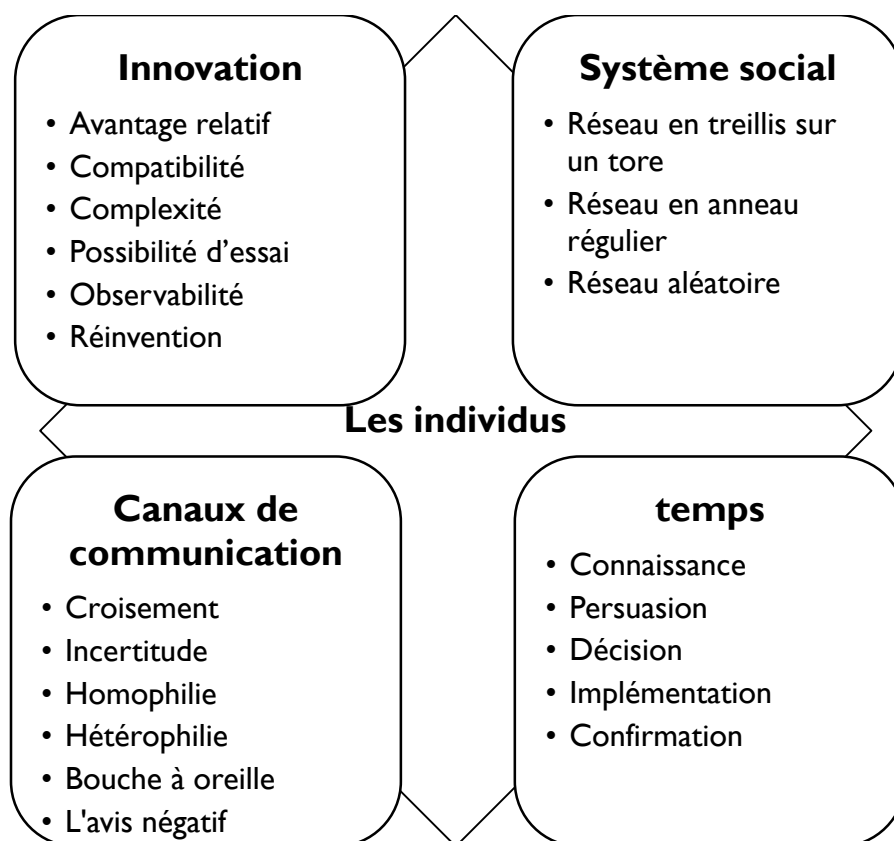


Figure 4.1. Les notions de diffusion de l'innovation conceptualisées dans le modèle proposé

4.2.1. Les individus

Plusieurs études se concentrent sur les préférences personnelles et les réseaux de communication pour expliquer l'adoption (Contractor & Leveque, 2001). Une représentation commune de N individus est comme une séquence d'un nombre fixe de bits M (Axelrod, 1997 (b); Apolloni, et al., 2009). Les individus sont initialisés avec une distribution aléatoire uniforme, qui est impliqué en conséquence de manque des données sur des preuves empiriques, alors les recherches se concentrent uniquement sur la structure des réseaux (Watts & Dodds, 2007). Donc, on suppose que chaque bit modélise une caractéristique d'une personne. Par conséquent, une séquence différente engendre un comportement divers chez les personnes et provoque une hétérophilie. Ensuite, ces séquences sont compactées dans la matrice des gènes de l'individu $G (N, M)$. Rogers (1983) a souligné que l'étude de l'influence de la structure sociale sur la diffusion indépendamment des effets des caractéristiques des individus dans le système est une tâche plutôt inutile.

La deuxième matrice $D (N, R + 4)$ utilisée est celle de l'individu où les informations de tous les individus sont collectées. Chaque ligne i représente l'individu et les colonnes sont ordonnées comme suit :

- **Adoption**

Elle prend la valeur 0 ou 1 (Adoptant ou non).

- **Acceptabilité**

Le désir d'adopter l'innovation diffère d'un individu à l'autre. Un petit nombre d'individus ont la volonté de la prise de risque (Valente, 1996). Par conséquent, l'acceptabilité est représentée par une variable aléatoire selon une distribution de probabilité normale dans l'intervalle (0, 1).

- **Incertitude**

De même, chaque individu a un niveau d'incertitude différent pour cette innovation. Par conséquent, le niveau d'incertitude est une variable aléatoire normale attribuée de 0 à 1.

- **Avantage relatif**

Il est simplement représenté par une valeur choisie au hasard.

- **Relations R (poids W_{ij})**

Elles supposent sur le fait que dans un réseau social bien déterminé, les rencontres entre les individus ne se produisent que s'il existe un lien entre eux. Elles se fassent généralement entre les mêmes individus, selon des structures données (Wasserman & Faust, 1994). De plus, dans tout réseau de monde réel, certains nœuds sont plus fortement connectés que d'autres (Strogatz, 2001). Pour quantifier cet effet, nous proposons le poids asymétrique non négatif W_{ij} entre deux membres directement liés $\{i, j\}$. L'influence et la force de l'interaction est donnée par le poids asymétrique $W_{ij} \neq W_{ji}$.

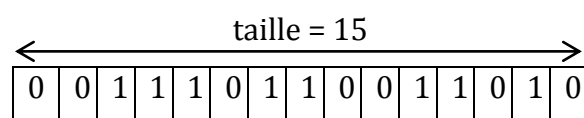


Figure 4.2. Exemple de la présentation d'individu

4.2.2. Innovation

Les attributs invariants, tels que la taille, l'observabilité et la possibilité d'essai sont constantes quel que soit l'adoptant. Les attributs changeants, tels que l'avantage relatif et la compatibilité, peuvent varier d'un adoptant à l'autre, en fonction des perceptions et du contexte des adoptants (Tidd, 2006). Les attributs invariants sont intrinsèques à une innovation, indépendamment de leur perception par les adoptants potentiels. En raison

des différences entre les adoptants potentiels, ils jugent certains caractéristiques de manières diverses. Cette perception change leurs comportements éventuels (Downs & Mohr, 1976). Le modèle proposé suggère une représentation originale pour capturer autant que possible les caractéristiques de l'innovation invariante. Cette hypothèse de représentation est cruciale. D'ailleurs, l'innovation est représentée comme une séquence d'un certain nombre de bits, où chaque bit modélise l'une des propriétés pertinentes, en plus des autres cinq attributs qui sont modélisés comme suit :

- **Avantage relatif**

Les bénéfices et les inconvénients d'une adoption seront d'abord jugés pour déterminer ses avantages relatifs. Les profits comprennent le confort, la réduction d'efforts, le gain du temps et d'autres mesures (Lee, 2004). Selon Rogers (2003), l'avantage relatif est l'un des facteurs de prédiction les plus forts d'un taux d'adoption de l'innovation. Le modèle le génère aléatoirement de 1 à un certain plafond. Cette valeur varie d'un individu à l'autre, de sorte qu'elle est ajoutée à la matrice d'information des individus.

- **Compatibilité**

Cette notion est très sensible dans l'étude, car elle décrit à quel point la structure de l'individu correspond à la séquence d'innovation. La compatibilité est calculée par la fonction de similarité de Hamming entre l'innovation et l'individu.

- **Complexité**

C'est une valeur fixe qui dénote la taille de séquence des bits de l'innovation. Plus cette dimension est grande, plus l'innovation sera complexe.

- **Possibilité d'essai**

Elle est choisie comme un nombre réel fixe « essai » de 0 à 1. Cette valeur est unifiée pour tous les individus.

- **Observabilité**

Elle survient lorsque l'opération de croisement a eu lieu.

4.2.3. Premiers Adoptants

Les premiers adoptants sont choisis selon une raison logique pour laquelle cette innovation est très compatible avec l'individu, et aussi selon son niveau d'acceptabilité de la nouveauté, qui doit être beaucoup plus fort que son incertitude.

Procédure 4.1. Premiers Adoptants

Si (Compatibilité > 0.75 & Incertitude < Acceptabilité) alors

Adoptant (i)

Mise à jour des gènes !afin d'être compatible avec l'innovation

End

4.2.4. Mutation

Le plan adaptatif évolutionnaire mûrit selon une population en constante évolution (Holland, 1992). La mutation révèle l'attitude de l'individu à changer sa représentation interne sans aucune influence des voisins. Cela reflète la décision de changer en réagissant à l'exposition à cette innovation.

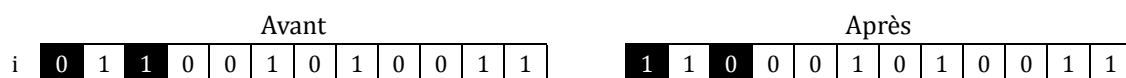


Figure 4.3. La technique de la mutation implémentée

Procédure 4.2. Mutation

si ($U \sim (0, 1) < 0.001$) alors

muter 1 gène () ! en choisissant au hasard le gène de la mutation

fin si

4.2.5. Croisement

La communication réussite s'est produite lorsque deux personnes ou plus parviennent de façon interactive à un ensemble d'interprétations mutuelles. Dans cette perspective, une communication réussite est une question de compréhension mutuelle, parce qu'elle se centralise sur les accords entre les estimations des individus, selon lesquelles les informations partagées sont une conséquence des interactions. (Cushman & Kincaid, 1987). La communication est une notion essentielle pour ce travail car elle engage une interaction directe entre les individus, de sorte que sa représentation doit être faite avec attention. L'adaptation se produit comme une conséquence de l'interaction (Confer, et al., 2010). Le croisement est un mécanisme qui opère au niveau local. Le croisement symbolise les phénomènes d'adaptation. Tant que deux personnes font des

choix similaires, l'adaptation se produit, car les personnes ont à peu près les mêmes positions de réseau et sont par conséquent exposées aux mêmes difficultés et opportunités (Marin & Wellman, 2009).

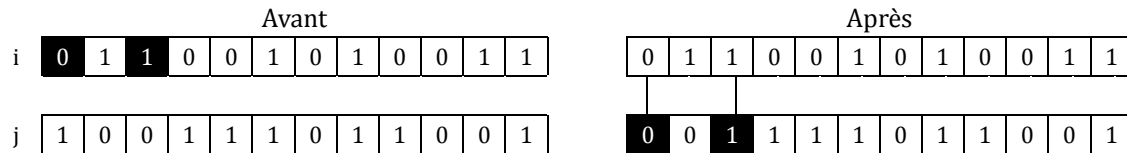


Figure 4.4. La technique du croisement implémentée

Le croisement se produit entre deux individus, dans lesquels l'un d'eux importe une partie de l'autre selon une certaine probabilité, bien que dans l'implémentation commune de cette fonction, elle dénote un changement de bits de l'un à l'autre. Dans le modèle proposé, l'individu importe seulement le bit sans remplacer le bit de l'autre. Lorsque deux individus peuvent subjectivement donner du sens à partir de leurs perceptions et leurs connaissances en changeant leurs points de vue, alors, une communication a certainement eu lieu. Une telle conception d'une communication réussite met l'accent sur la capacité de traitement de l'information interne d'un individu. Le croisement concerne une présentation enracinée dans des processus intellectuels et représente une estimation subjective d'une innovation mutuellement.

Procédure 4.3. Croisement

Si ($U(0, 1) < \text{Valeur}$) alors

 pour chaque relation j faire

 si ($\text{adoptant}(j) \ \& \ \text{rand} < \text{Poids}(i, j)$) alors

 Croisement ($i, j, \text{Poids}(i, j)$)

! Communication

 Avantage relatif + Poids (i, j)

! Observabilité

 Incertitude - Essai

! Possibilité d'essai

 fin si

 fin pour

Fin si

Pour déterminer qui interagit avec l'autre, une valeur a été initialisée puis paramétrée dans les expérimentations. Cette valeur indique l'intensité de la

communication. Si les adoptants potentiels observent d'autres personnes dans leur cercle de relation adoptant une innovation spécifique, ils tendront plus probablement à l'adopter. La spécificité de cette opération est qu'elle peut vraiment exprimer l'impact de la communication en réduisant l'incertitude et en accumulant le niveau d'avantage relatif. L'innovation montre des caractéristiques souhaitables mais elle peut aussi avoir des conséquences indésirables. Les adoptants potentiels veulent profiter des avantages d'une innovation, tout en évitant les effets défavorables.

Pour diminuer ce risque, les individus tentent de rassembler les informations des personnes proches par la communication ou par l'expérience pratique et la démonstration. Le croisement représente ce phénomène. Encore dans la même mesure, il peut spécifier l'impact d'une conversation négative, si l'individu discute avec celui qui désapprouve l'innovation. Ce groupe des personnes qui rejettent l'adoption, ne reste pas reculé et il change les décisions de ceux qui ont déjà adoptants ou des non-engagés surtout.

4.2.6. Fitness

Les innovations subissent une longue période de négociation entre les adoptants potentiels dans laquelle leurs avantages sont discutés ou contestés. Une telle conversation peut élever ou réduire les bénéfices perçus de l'innovation.

Procédure 4.3. Fitness

si (compatibilité = 1.0 & Incertitude = 0) alors

 Adoptant (i)

sinon

 Incertitude - essai

 if (Compatibilité \geq Acceptabilité) & (Incertitude

! Possibilité d'essai

 <Acceptabilité) & (Avantage relatif > 0) alors

 Avantage relatif - I

! Faire un gène

 Changer I gène

compatible avec

l'innovation

Fin

Cependant, lorsqu'il est difficile, voire impossible, de profiter des conséquences souhaitables, en évitant les conséquences indésirables, la possibilité d'adoption peut être réduite. Dans l'autre scénario, les avantages sont vraiment indispensables et les résultats indésirables ne sont pas vraiment ressentis, avec des tels caractéristique, la possibilité d'adoptions va être augmentée.

La fonction de fitness proposée compare la compatibilité de l'individu avec l'innovation et son incertitude vis-à-vis cette nouveauté. Si le résultat est égal à un, et que l'individu n'a aucun doute, il sera un adoptant. Autrement, l'incertitude sera réduite, en outre, si l'individu a un certain degré d'acceptabilité et n'a pas un degré élevé de doute, et si cette innovation est intéressante pour lui ; le gène individuel sera modifié pour être compatible avec une caractéristique d'innovation. Fisher & Pry (1971) ont soutenu l'avis selon lequel le processus de changement est un ensemble de substitution évolutif ou révolutionnaire. Ils confirment aussi que quel que soit le rythme du changement, il subit rarement un changement radical instantané.

4.2.7. L'algorithme

Algorithme 4.2. Adoption évolutionnaire

Initialiser :

! la population initiale des individus $D(N)$ est générée de manière aléatoire

! Rand. Initiale. d'innovation

! Initiale. de $S(N, Relations + 4)$

Premiers Adoptants ()

Tant que (compter les adoptants < Population)

 Sélection () Sélectionnez le sous-ensemble des individus

 Pour chaque individu (i)

Mutation (i)

Croisement (i, j)

Fitness (i)

 Fin pour

 temps + 1

Fin tant que

Selon Geroski (2000) il n'existe pas une base de référence que nous pourrions éventuellement appliquer comme une métrique pour mesurer le passage du temps dans de tels processus de décision. Donc, dans cet algorithme le temps est paramétré comme une séquence à passer étape par étape. Pratiquement, les influences des concepts susmentionnés sont les suivantes : premièrement, lorsque l'innovation atteint les personnes, soit elle est déjà compatible avec leurs croyances et besoins, soit, elle nécessite un changement du système de valeurs, un avantage relatif élevé et plus de temps pour être acceptée. Dans le cas d'un avantage relatif inférieur, l'influence externe reste le seul facteur qui change l'opinion des individus. Cela signifie que l'adoption est le résultat d'un comportement mutuel ou d'une exposition continue à l'innovation elle-même.

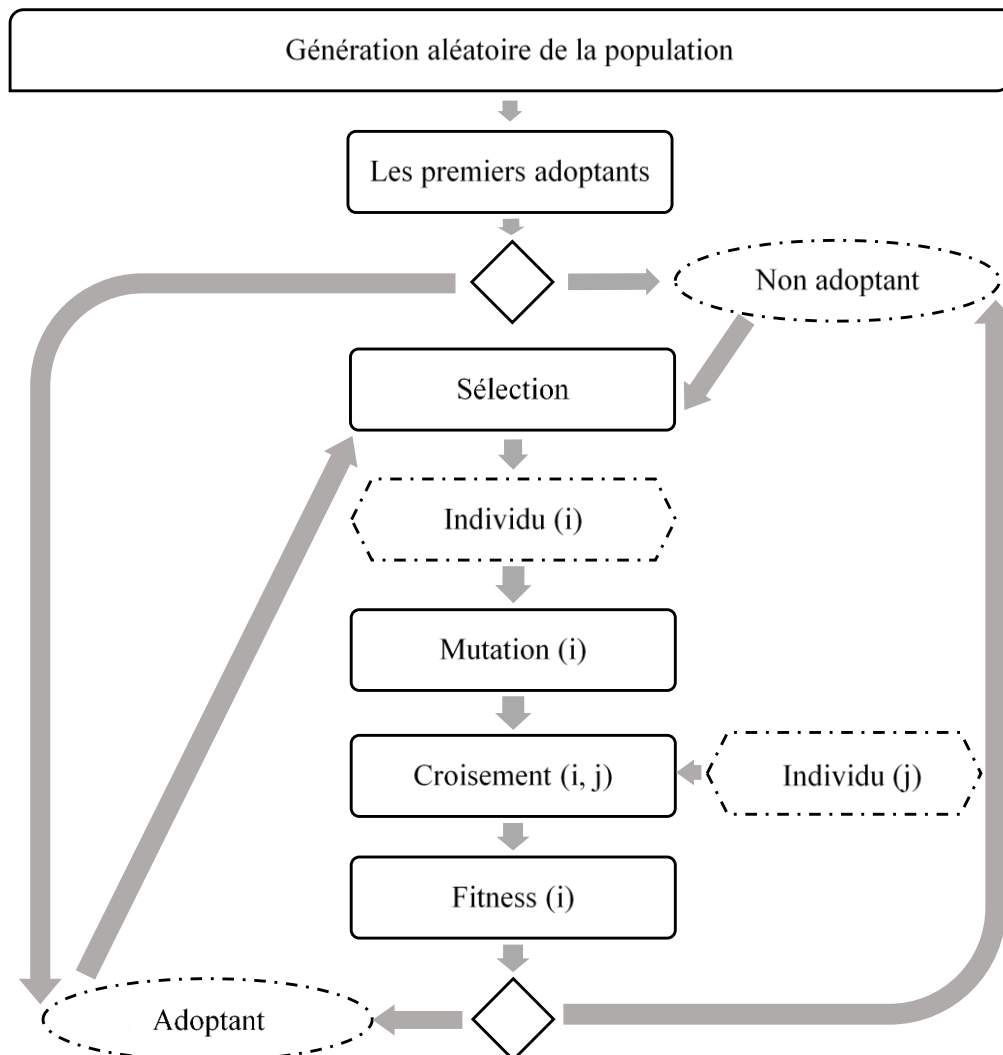


Figure 4.5. Diagramme schématisé de l'algorithme proposé

4.3. Configuration des expérimentations

Le code Fortran a été implémenté selon une approche probabiliste. La moyenne des résultats de simulation a été calculée sur 100 essais indépendants avec une population égale à 1000. Pour chaque itération, la matrice des gènes d'un nouvel individu et la matrice d'information des individus ont été générées de manière aléatoire. Les paramètres utilisés pour l'expérimentation varient d'une expérimentation à autre pour bien étudier l'impact de chacun d'entre eux. La génération d'individu est créée une seule fois. A chaque itération, la sélection se fait en continu, en passant par une étape de temps, ce qui signifie qu'un nouveau groupe d'individus est choisi, car dans l'instant t peu de personnes sont exposées à l'innovation ou en parlent.

Les abréviations utilisées pour les paramètres d'algorithmes sont *CPX* : Complexité ; *ADV* : avantage relatif ; *CRO* : Croisement ; *RELS* : nombre de relations ; *T* : temps. Les paramètres globaux sont résumés dans les Tableaux 4.1, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6, 4.7 et 4.8. La simulation a été menée pour déterminer dans quelle mesure l'algorithme correspond au processus de diffusion réel et comment il réalise bien les objectifs principaux. Dans toutes les exécutions de simulation, la moyenne des adoptants est le temps moyen de simulation dans lequel le pourcentage d'adoptants de 50% ou 100% sont calculés. Le maximum d'adoptants est le temps minimum ou maximum dans lequel le maximum du niveau des adoptants est enregistré. Le moyen 100% pour le maximum des adoptants est la moyenne du maximum atteint des adoptants.

4.4. Résultats et discussion

Les objectifs initialement visés sont d'abord la modélisation des quatre éléments de la diffusion de l'innovation : l'innovation, le réseau social, les canaux de communication et le temps. Le réseau social est analysé dans la première sous-section. Le croisement, qui représente l'influence des canaux de communication et l'impact de la pression sociale, sera décrit dans la sous-section suivante. Les avantages relatifs à l'innovation, la complexité, possibilité d'essai, sélection des premiers adoptants et réinvention seront étudiés séparément dans les sous-sections suivantes, tandis que la compatibilité et l'observabilité sont le résultat de l'exécution de l'algorithme. De plus, la dimension temporelle est implicitement prise et mise à jour automatiquement en passant une étape

de l'itération de l'algorithme. Finalement, une comparaison avec les macros et les micros modèles sera effectuée et analysée.

4.4.1. Réseau social

Trois architectures de réseaux sociaux ont été comparées: le réseau en treillis sur un tore (20×50) avec un nombre fixe de quatre voisins, le réseau en anneau avec 8 et 16 relations, et le réseau aléatoire avec 8 et 16 relations. Selon la Figure 4.6 de la première expérimentation, un constat immédiat est que l'intensité des liens a un impact important sur la diffusion, ainsi que sur sa vitesse. La haute exposition aux adoptants dans les réseaux personnels accélère le processus d'adoption. On observe une amélioration visible avec des connexions intenses de 4, 8 à 16, et il y a une légère différence entre les réseaux aléatoires et les réseaux en anneau, où le réseau aléatoire est meilleur. Les réseaux aléatoires ont une caractéristique principale qui soutient la diffusion. Cette fonction réside dans la structures de ramification localement pures (Dodds P. S., 2018). Par conséquent, ce réseau a été choisi favorablement pour analyser les effets des paramètres modélisés sur la propagation de la diffusion.

Tableau 4.1. La simulation des trois structures du réseau social

| ADV | CPX | CRO | MOY Temps | | | MAX adoptants | | | |
|--|-----|-----|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|--|
| 16 | 8 | 0.5 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T | |
| (a). treillis 4 relations | | | 17 | 99 | 1204 | 1000 | 635 | 5949 | |
| (b). anneau 8 relations | | | 18 | 122 | 492 | 1000 | 372 | 816 | |
| (c). anneau 16 relations | | | 17 | 75 | 347 | 1000 | 233 | 547 | |
| (d). aléatoire 8 relations | | | 17 | 126 | 741 | 1000 | 385 | 3125 | |
| (e). aléatoire 16 relations | | | 18 | 67 | 340 | 1000 | 246 | 520 | |
| Sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, essai= 0.5 | | | | | | | | | |

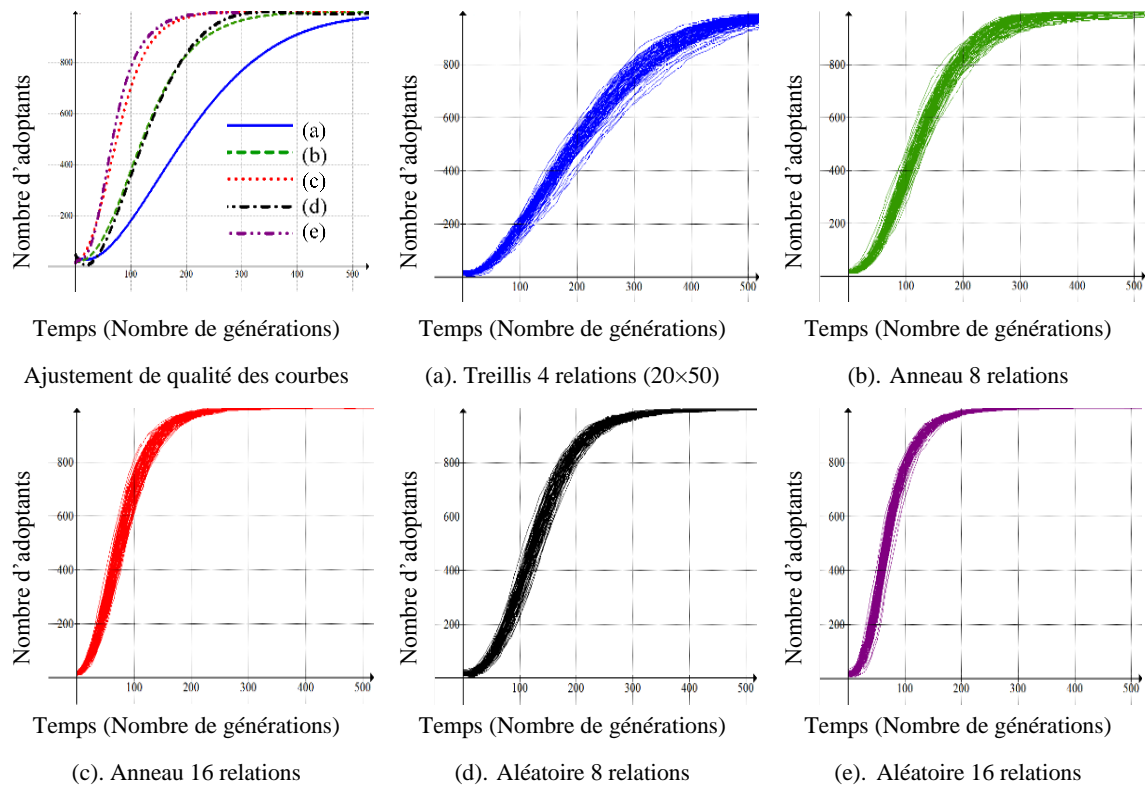


Figure 4.6. Les trois différentes structures de réseaux choisies lors de la première expérimentation

4.4.2. Croisement

Une observation claire est la forte corrélation entre le croisement et l'adoption dans la Figure 4.7 qui peut être justifiée par le fait que le processus de communication est souvent connu sous le nom de bouche-à-oreille et qui affecte positivement l'adoption. La communication augmente le niveau de l'avantage relatif qui encourage les voisins à essayer cette innovation et à diminuer l'incertitude associée à cette nouvelle idée ou produit. Le croisement joue un rôle clé dans le processus de diffusion au début et influence la décision d'adoption plus tard. L'augmentation du paramètre de croisement diminue sensiblement la différence relative entre la diffusion de l'innovation et le nombre de relations différentes. Donc, il a un impact positif sur le résultat final du processus de diffusion.

Tableau 4.2. Variation du croisement

| ADV CPX RELs | | | MOY temps | | | MAX adoptants | | |
|--------------|---|----|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|
| 12 | 6 | 6 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY100% | MIN T | MAX T |
| (a). 0.05 | | | 55 | 927 | 1898 | 988 | 6141 | / |
| (b). 0.1 | | | 55 | 498 | 4094 | 1000 | 3497 | 9975 |
| (c). 0.5 | | | 54 | 143 | 2037 | 1000 | 626 | 9277 |
| ADV CPX RELs | | | MOY temps | | | MAX adoptants | | |
| 12 | 6 | 12 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY100% | MIN T | MAX T |
| (d). 0.05 | | | 56 | 32 | 3523 | 1000 | 2416 | 5960 |
| (e). 0.5 | | | 55 | 67 | 350 | 1000 | 251 | 576 |

Réseau : aléatoire, sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, essai 0.5

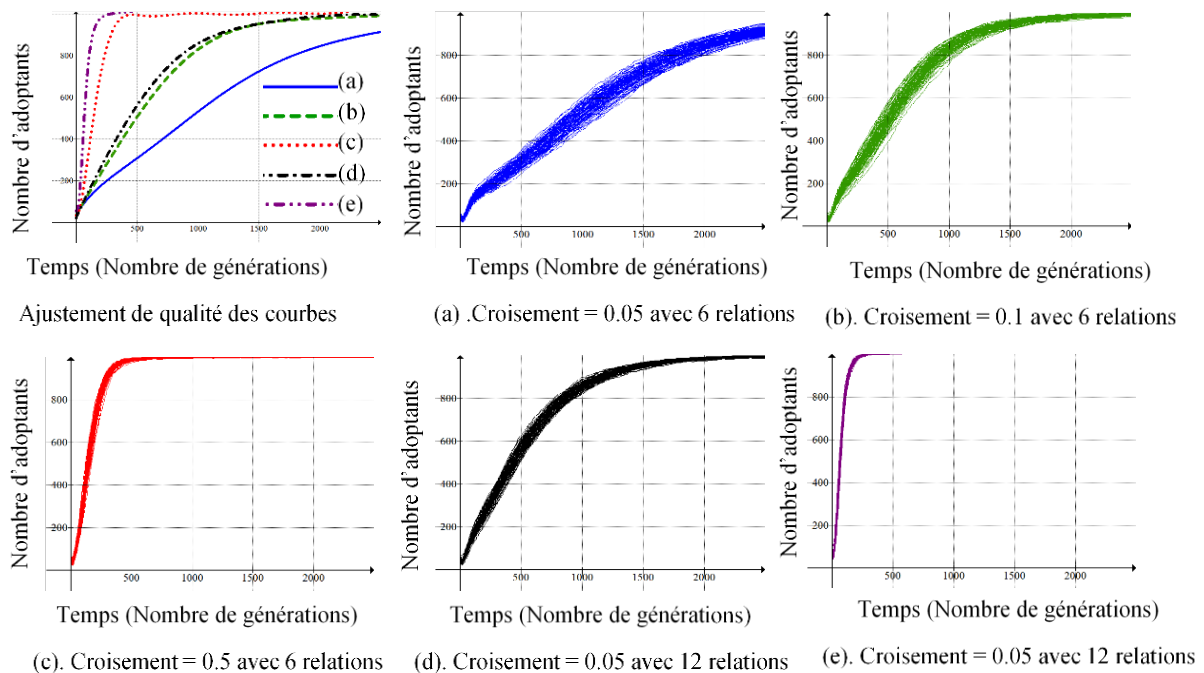


Figure 4.7. L'effet de l'augmentation du croisement

4.4.3. Complexité

Figure 4.8 illustre l'augmentation de la complexité. Son résultat est une diminution du taux des premiers adoptants, en premiers lieu et le taux d'adoptions en deuxième lieu. On peut donc noter que la complexité a un impact négatif sur la diffusion.

Tableau 4.3. Variation de la complexité

| ADV | CRO | REls | MOY temps | | | MAX adoptants | | | |
|-----|-----|------|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|--|
| 12 | 0.5 | 6 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T | |
| (a) | 4 | | 31 | 135 | 1854 | 1000 | 633 | 9939 | |
| (b) | 8 | | 17 | 178 | 2216 | 1000 | 714 | 9495 | |
| (c) | 12 | | 10 | 229 | 2729 | 1000 | 742 | 9230 | |
| (d) | 16 | | 5 | 294 | 2951 | 1000 | 1107 | 9815 | |

Réseau : aléatoire, sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, essai 0.5

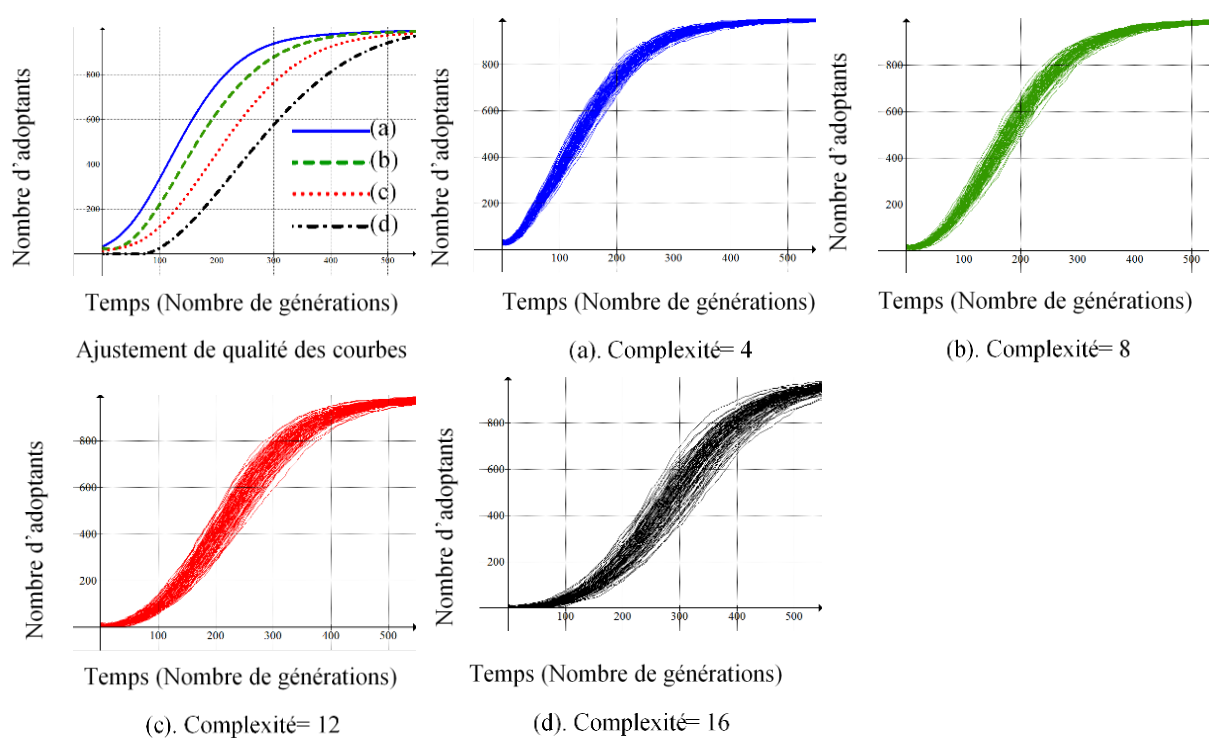


Figure 4.8. Le résultat de l'alourdissement de la complexité

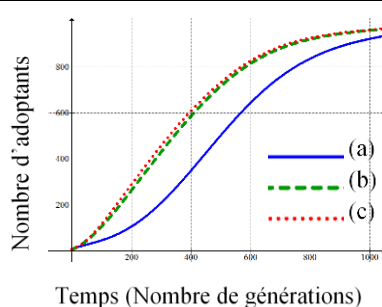
4.4.4. Avantage relatif

Il a été également noté à partir du Figure 4.9 que le taux d'adoption augmente avec un seuil élevé d'avantage relatif de (4 à 16). Ce résultat s'explique simplement par le fait que l'avantage relatif supérieur motive les individus à adopter cette innovation. Même, avec peu d'avantage relatif, l'exposition aux voisins augmente aussi la bonne estimation de cette nouveauté. Notre attention a été attirée sur la légère différence de (16 à 32) due à la circonstance mentionnée précédemment : quel que soit le profit réel de l'innovation, elle se diffuse lentement dans la population, et que l'avantage relatif seul ne garantit pas une adoption généralisée.

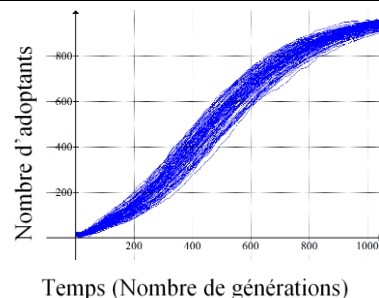
Tableau 4.4. Variation de l'avantage relatif

| RELS | CPX | CRO | MOY time | | | MAX adoptants | | |
|--------|-----|-----|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|
| 8 | 8 | 0.1 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T |
| (a) 4 | | | 18 | 472 | 3055 | 1000 | 1757 | 8602 |
| (b) 16 | | | 17 | 338 | 2773 | 1000 | 1695 | 8570 |
| (c) 32 | | | 17 | 323 | 2617 | 1000 | 1548 | 7288 |

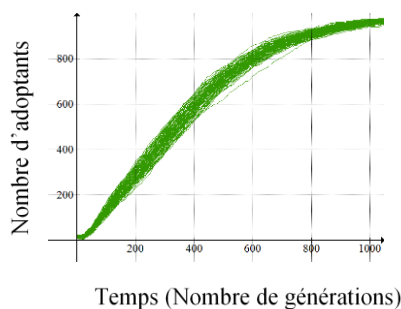
Réseau : aléatoire, sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, essai 0.5



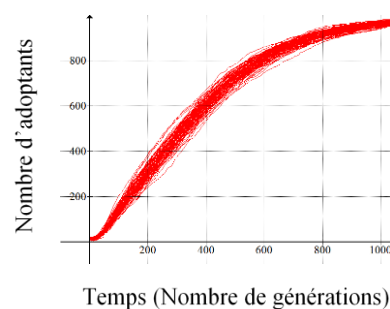
Ajustement de qualité des courbes



(a). Avantage relatif = 4



(b). Avantage relatif = 16



(c). Avantage relatif = 32

Figure 4.9. L'influence de l'avantage relatif

4.4.5. Possibilité d'essai

Figure 4.10 montre la conséquence de l'essai sur le processus d'adoption, de 905 pour l'adoption à 100%, à 430 pour l'adoption totale. La possibilité aux fins d'essai, concerne directement la minimisation des risques liés à l'adoption d'innovations. Ceci est simplement dû au fait que l'incertitude est rapidement réduite par le test. L'augmentation de l'essai accélère la diffusion de l'innovation, mais à un certain niveau, cet effet diminue.

Tableau 4.5. Comparaison entre différentes valeurs d'essai

| RELS CPX CRO | | | MOY temps | | | MAX adoptants | | | |
|--------------|----|-----|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|--|
| 10 | 12 | 0.5 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T | |
| (a) 0.1 | | | 10 | 284 | 905 | 1000 | 683 | 2132 | |
| (b) 0.5 | | | 10 | 127 | 478 | 1000 | 339 | 804 | |
| (c) 1.0 | | | 10 | 101 | 430 | 1000 | 283 | 1163 | |

Réseau : aléatoire, sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, ADV= 12

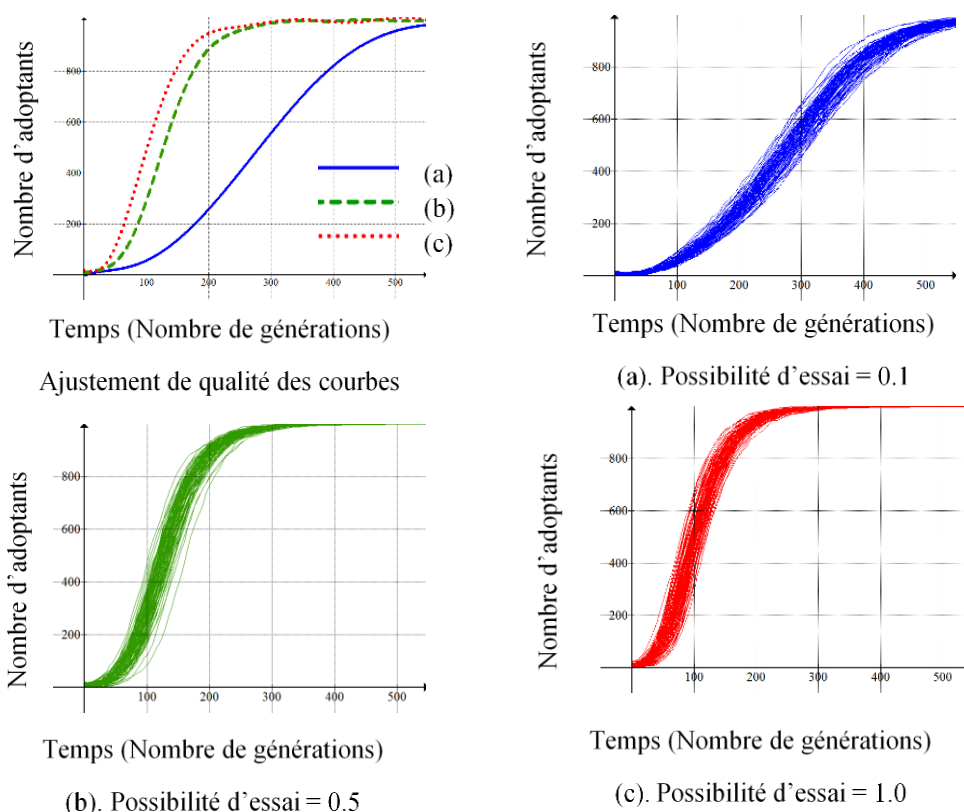


Figure 4.10. Les conséquences d'essai sur la tendance d'adoption

4.4.6. Sélection des individus

La fonction de sélection possède un impact positif. La forte exposition à l'innovation conduit à une adoption plus rapide. Ce fait est usuellement aperçu et appliqué par la publicité. Figure 4.11 montre cette rapidité d'augmentation.

Tableau 4.6. La simulation d'augmentation des valeurs de la sélection

| RELs | CPX | CRO | MOY temps | | | MAX adoptants | | |
|------|------|-----|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|
| 10 | 12 | 0.5 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T |
| (a) | 0.05 | | 10 | 129 | 484 | 1000 | 342 | 1292 |
| (b) | 0.1 | | 10 | 64 | 234 | 1000 | 158 | 388 |
| (c) | 0.5 | | 9 | 13 | 47 | 1000 | 33 | 121 |

Réseau : aléatoire, mutation $U \sim (0,1)$ <0.001, ADV 12, essai 0.5

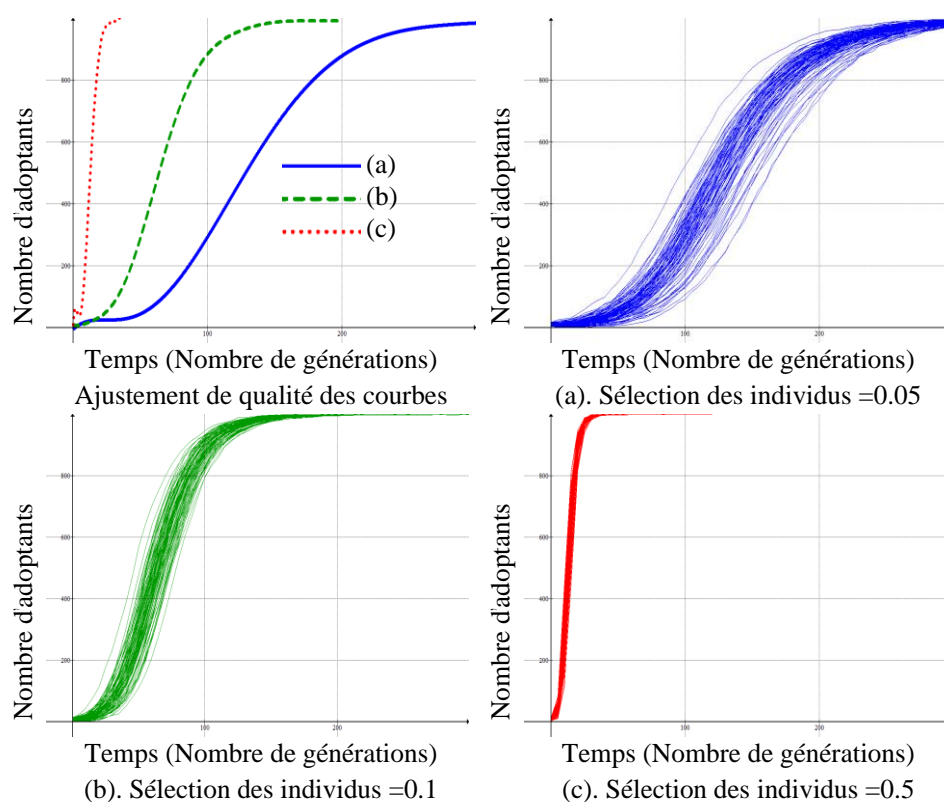


Figure 4.11. Les résultats du modèle en fonction de la sélection des individus

4.4.7. Innovation improductive

Dans des conditions plus extrêmes, le modèle peut s'attendre à un échec de l'innovation avec une courbe plus stable dans le temps et un petit nombre d'adoptants. Figure 4.12 montre la conséquence indésirable d'une situation gênante. L'échec peut être exprimé en définissant les caractéristiques défavorables de l'innovation, telles qu'un petit avantage relatif, un degré de complexité élevé, une faible aptitude à l'essai, un minimum d'observation positive et une absence d'effet encourageant du bouche-à-oreille.

Tableau 4.7. Résultat défavorable des conditions inadaptées

| RELs | ADV | CRO | MOY temps | | | MAX adoptants | | |
|-------------|-----|------|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|
| 10 | 4 | 0.01 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T |
| (a) CPX =10 | | | 27 | / | / | 26 | / | / |
| (b) CPX =16 | | | 5 | / | / | 6 | / | / |

Réseau : aléatoire, sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, essai 0.1

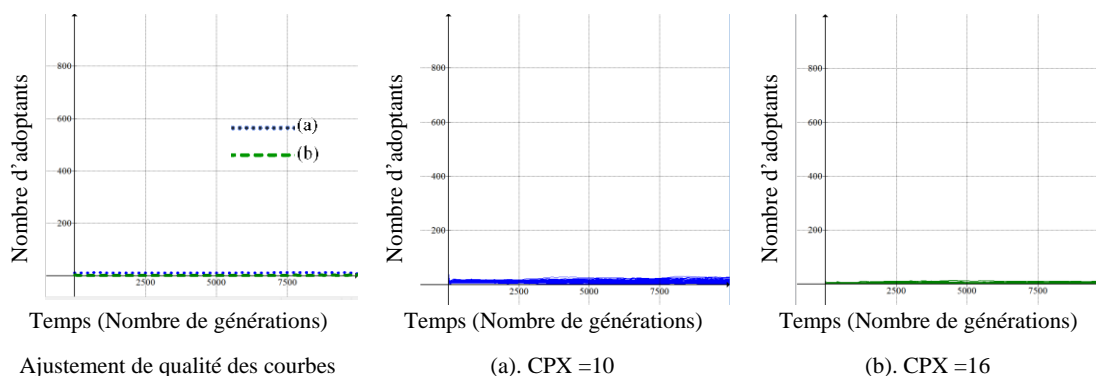


Figure 4.12. L'innovation infructueuse en définissant les caractéristiques d'innovation défavorables

4.4.8. La réinvention de l'innovation

L'innovation ne conforme pas toujours et totalement les besoins, les opinions ou l'attitude des individus. Si la réinvention est possible, elle serait plus acceptable par les adoptants potentiels. Ce conformisme se manifeste par le fait que l'individu modifie et adapte l'innovation afin de la mettre mieux en harmonie avec lui. Les courbes de la Figure 4.13 schématisent cette amélioration.

| Tableau 4.8. Résultat de l'adaptation de l'innovation par les individus | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|--|
| ADV | CPX | CRO | MOY temps | | | MAX adoptants | | | |
| 12 | 12 | 0.5 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T | |
| (a). Pas de réinvention | | | 10 | 123 | 488 | 1000 | 307 | 1179 | |
| (b). réinvention 10% | | | 9 | 110 | 491 | 1000 | 324 | 1162 | |
| (c). réinvention 20% | | | 9 | 97 | 545 | 1000 | 318 | 3927 | |
| Réseau : aléatoire, sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, essai 0.5 | | | | | | | | | |

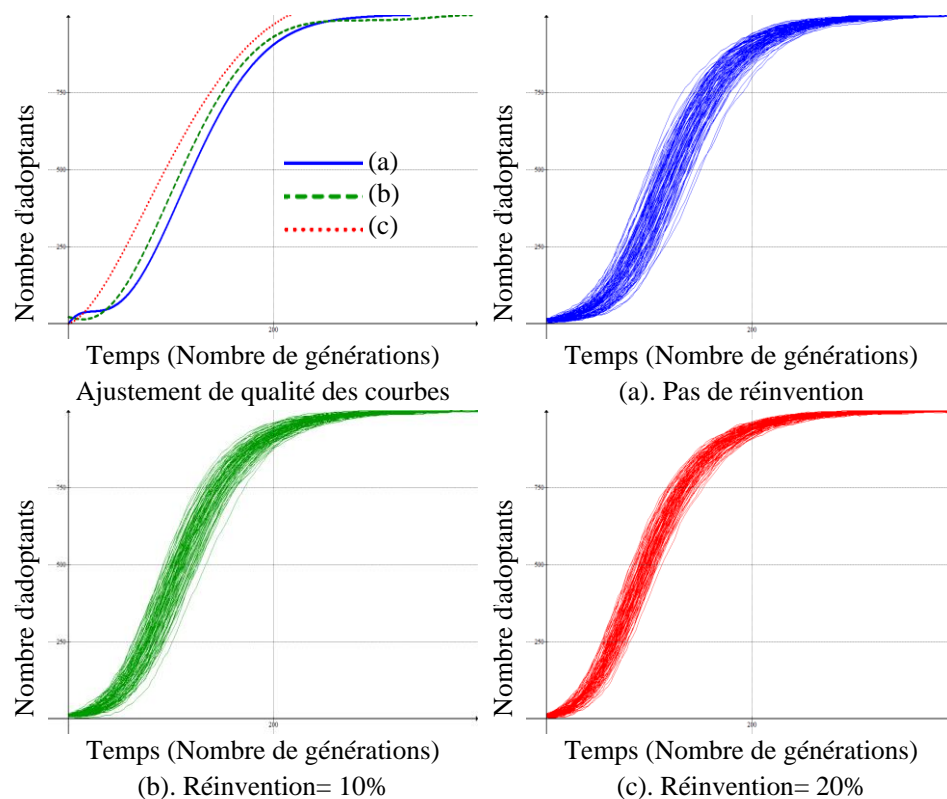


Figure 4.13. Le paramétrage de la réinvention de l'innovation

4.5. Comparaison avec d'autres modèles de diffusion

Le modèle proposé a été examiné préalablement avec les macro-modèles : Bass, Gompertz et Logistique, comme le montre la Figure 4.17. Ensuite, une comparaison avec les micros-modèles a été établie, résumée dans la Figure 4.18 et encore la Figure 4.19.

4.5.1. Les macros-modèles

Le résultat de diffusion obtenu par la simulation du réseau aléatoire semble suivre les trois macros-modèles sans avoir besoin de données historiques. Ces trois courbes ont été ajustées pour l'estimation des paramètres de diffusion.

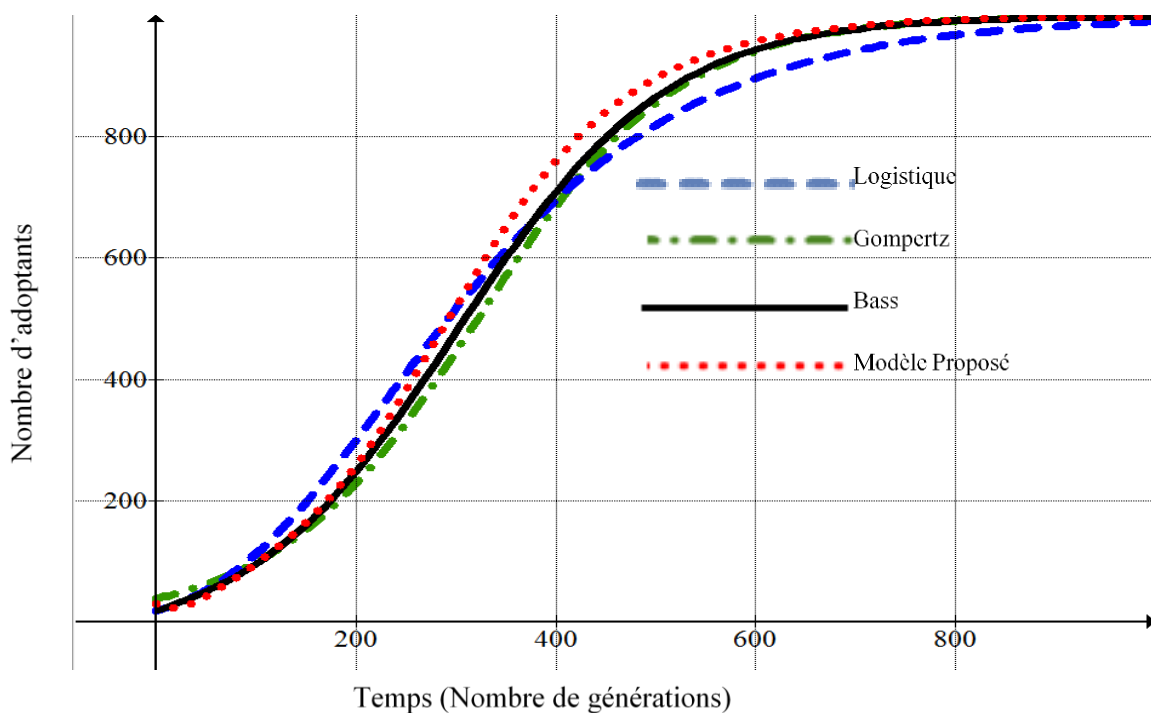


Figure 4.14. Les traces des courbes : logistique, Gompertz et Bass en considération avec le modèle d'adoption évolutionnaire

4.5.2. Les micros-modèles

Les micros-modèles sont simulés avec un réseau social aléatoire. La Figure 4.15 indique clairement que leurs courbes ne suivent pas vraiment un schéma en « S », notamment le modèle à seuil et épidémique, mais elles grandissent initialement avec un taux très élevé. Nous pouvons noter la même remarque pour le modèle en cascade

indépendant, mais avec un niveau d'adoucissement. En comparaison à ces modèles, les courbes obtenues de la simulation du modèle à seuil linéaire augmentent peu à peu, alors elles tracent finalement une courbe qui semble linéaire. Les résultats de ces micro-modèles restent inchangables quelle que soit l'innovation. Ils illustrent aussi que ces modèles ne peuvent pas expliciter les notions de la théorie de la diffusion, ni incorporer l'hétérogénéité des caractéristiques des individus.

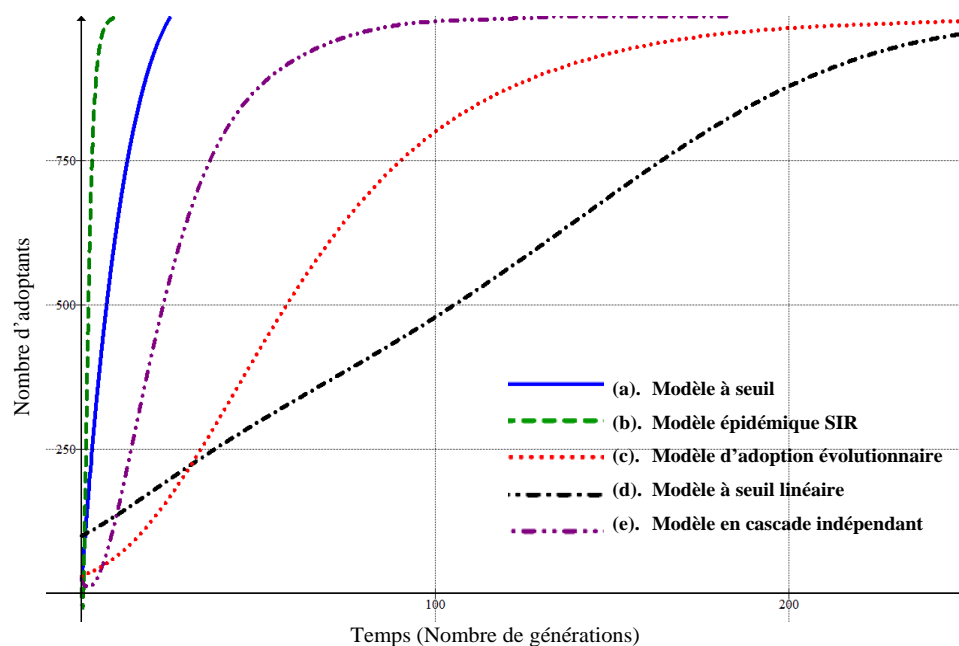


Figure 4.15. Une comparaison des micros modèles avec le modèle proposé

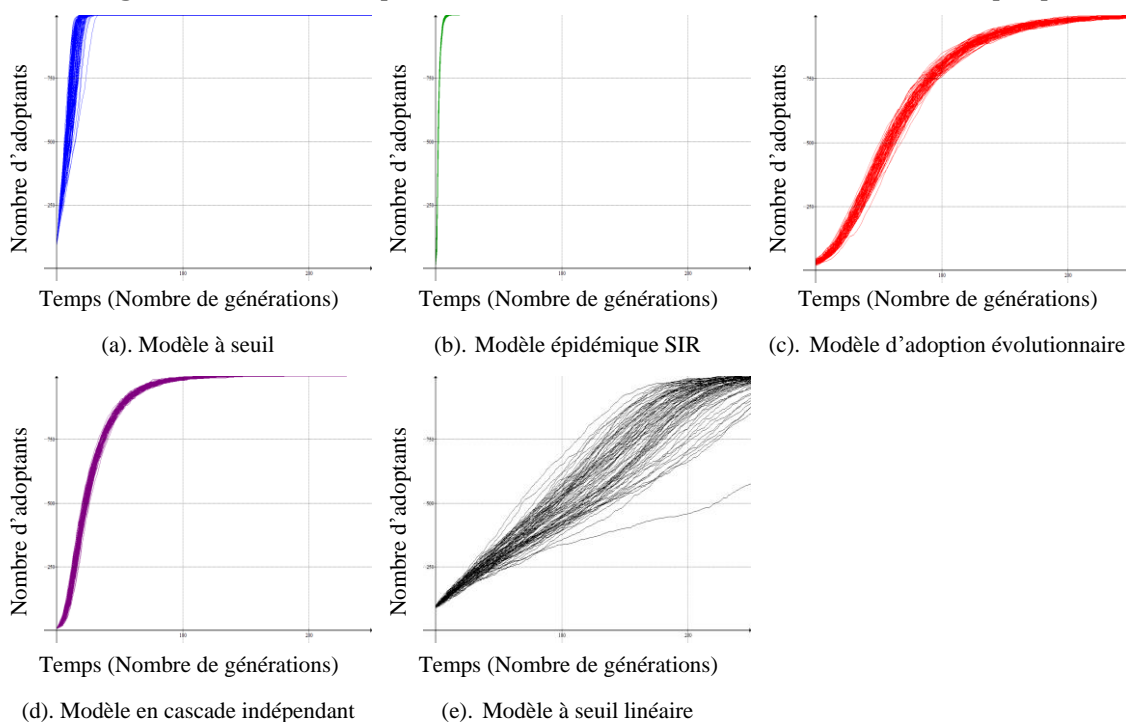


Figure 4.16. Les exécutions des micros-modèles détaillées séparément

4.6. Conclusion

En partant du besoin urgent d'inclure le maximum des concepts qui mènent à une simulation réaliste, les algorithmes évolutionnaires ont été choisis pour simuler la décision d'adoption, comme un processus affecté par des caractéristiques personnelles et par l'exposition aux voisins adoptants. L'objectif principal est de décrire l'impact des échanges d'informations qui génèrent différents comportements face à cette innovation.

Le modèle évolutionnaire d'adoption a permis une simulation rigoureuse du processus d'acceptation graduel, ce qui a mené à une description plus réaliste de la diffusion dans un réseau social. La fonction de sélection présente l'exposition de l'individu à l'innovation ou la recherche des connaissances sur ce sujet. De plus, le croisement représente l'interaction entre voisins, l'échange d'informations, l'influence réciproque et l'homophilie dans le temps. Une telle conception de la communication réussite est ancrée dans le consensus social, qui consiste les estimations de deux personnes ou plus vers cette innovation, et elle peut aussi bien indiquer les effets d'une communication négative. De plus, on peut avoir un groupe de personne qui désapprouve l'innovation. La mutation désigne le changement d'individus provenant de lui-même. Ce modèle a été renforcé en y ajoutant par le maximum de concepts de théorie de la diffusion de l'innovation.

Par exemple, l'avantage relatif et la possibilité d'essai, ces deux valeurs ont un effet positif sur la diffusion jusqu'à un certain niveau. Ceci est dû principalement au fait que, quel que soit son profit réel, une innovation est diffusée lentement dans une population, depuis son apparition jusqu'à son acceptation ou son rejet. De plus, la complexité est considérée comme la taille de l'innovation. Par conséquent, une innovation de grande taille est plus complexe et nécessite donc plus de temps pour être diffusée. La valeur de la compatibilité est calculée en comparant la structure de l'innovation avec les caractéristiques de l'individu. Une compatibilité élevée signifie que cette innovation est très proche de la perception et de l'exigence du futur adoptant. L'observabilité est mise à jour par l'interaction des individus avec les voisins adoptants, plus précisément par le croisement.

Le modèle proposé a été validé sur la base d'une comparaison avec les macros et les micros modèles. Les courbes de résultats de diffusion semblent suivre ces modèles bien

connus. Trois types de réseaux sociaux ont été utilisés dans cette étude : le réseau en treillis, le réseau en anneau et le réseau aléatoire. Cette distinction a été mise en œuvre afin d'identifier comment la structure du système social ou de la communication affecte la diffusion et l'adoption des innovations.

Le modèle proposé a mis l'accent sur les limitations existantes en les dépassants par l'intégration de l'avis négatif des non-adoptants qui refuse l'innovation. Ce facteur donne lieu à des différentes formes des résultats des innovations. Il se concentrant aussi sur impact de la réinvention de l'innovation.

Cependant dernièrement, le processus de diffusion est beaucoup plus rapide, grâce aux améliorations des systèmes de communication. Les réseaux sociaux en ligne forment un préférable corpus de données réel. Tout à fait, ils permirent des expérimentations plus pratiques. Le chapitre suivant offre un aperçu sur l'utilisation du corpus de données Facebook. Le but est d'examiner le taux d'adoption en incluant les facteurs importants qui incitent les individus à adopter une innovation. Les apports du modèle évolutionnaire d'adoption seront également présentés, en détaillant les éventuelles pertinentes applications.

Chapitre 5.

Applications

SOMMAIRE

| | | |
|----------|--|-----|
| 5.1. | INTRODUCTION | 120 |
| 5.2. | LA PLATEFORME FACEBOOK | 121 |
| 5.2.1. | <i>Le corpus de données Facebook</i> | 122 |
| 5.2.1.1. | Nœuds et arêtes dans le plus grand CLC | 122 |
| 5.2.1.2. | Nœuds et arêtes dans le plus grand CFC | 122 |
| 5.2.1.3. | Le coefficient de regroupement | 123 |
| 5.2.1.4. | Le diamètre | 123 |
| 5.3. | MODELE EVOLUTIONNAIRE | 123 |
| 5.4. | LE MODELE EVOLUTIONNAIRE D'ADOPTION | 125 |
| 5.4.1. | <i>Un Réseau social dynamique</i> | 126 |
| 5.5. | DOMAINE D'APPLICATION | 127 |
| 5.5.1. | <i>L'estimation de diffusion des nouveaux produits</i> | 130 |
| 5.5.2. | <i>La diffusion et les mouvements sociaux</i> | 130 |
| 5.5.3. | <i>La diffusion et l'opinion publique</i> | 131 |
| 5.5.3.1. | Expérimentations et discussions | 133 |
| 5.5.3.2. | L'avis politique comme innovation | 134 |
| 5.5.3.3. | La collection des données de la diffusion | 136 |
| 5.6. | CONCLUSION | 137 |

5.1. Introduction

En parallèle avec l'évolution des technologies de l'information et de la communication, les médias sociaux sont diversifiés et évolués. Ces plateformes apparaissent comme un monde virtuel à laquelle presque toutes les personnes se familiarisent. L'utilisation généralisée des plateformes des médias sociaux pourrait être associée à la diversité des choix qui assurèrent les besoins individuels tels que l'information, les interactions, l'expression de soi et le divertissement (koçak, Kaya, & Erol, 2013).

Alors, ces membres se connectent à cette plateforme à plusieurs fins. La motivation principale est la communication et le maintien des relations. Cette technologie ambitieuse de la communication a fourni un outil simplifié qui permet à des participants passifs de devenir une communauté active. Facebook est parmi les réseaux sociaux en ligne très connus. Sa popularité de Facebook a incité l'étude à utiliser ses données pour valider les modèles proposés, en observant le comportement des individus au micro et macro niveau. Donc, la section qui suit, sera consacrée à l'arrière-plan du corpus de données de Facebook, certaines statistiques particulières seront fournies. Ensuite, les résultats de l'application de ces données sur les deux modèles évolutionnaires sera analysés et discutés.

Ce chapitre étudie en termes théoriques et pratiques le modèle diffusion des innovations et l'approche évolutionnaire. Il offre une compréhension plus approfondie de la manière d'application des modèles proposés. Cette conjonction est utilisée pour la construction d'un modèle prédictif et descriptif des changements du comportement de la population. Les éventuelles applications du modèle de diffusion seront généralement expliquées suivi par une sélection d'une implémentation d'un cas particulier de la formation de l'opinion politique.

Au cours des années 1950, Lazarsfeld et Katz et leurs collègues (Lazarsfeld, Berelson, & Gaudet, 1944; Katz & Lazarsfeld, 1955) ont formulé une théorie révolutionnaire son but est d'expliquer comment l'opinion publique se transforme. Elle a visé à concilier le rôle des médias avec la prise de conscience croissante. Cette théorie a concentré sur l'importance des leaders d'opinion et l'interaction face à face par la

communication interpersonnelle. Les leaders d'opinion promeuvent le changement de comportement. Ils contribuent à faire évoluer les normes sociales (Valente, 2007). Valente & Davis (1999) ont essayé d'intégrer les leçons de la littérature sur la diffusion pour accélérer ce processus, en utilisant ce concept. Sur la base d'une simulation, les chercheurs ont montré à quel point la diffusion s'est produite beaucoup plus rapidement. Une vision plus structurelle sur ce processus dans les réseaux sociaux est de définir le rôle des leaders d'opinion. Par conséquent, le présent chapitre traite l'effet de l'introduction de ce concept sur le résultat du modèle évolutionnaire d'adoption.

5.2. La plateforme Facebook

Les sites réseaux sociaux ont des principaux rôles. L'une des fonctions consiste à connecter des individus qui partagent des intérêts communs. Ils ont donné aux utilisateurs la possibilité de créer et partager leur propre contenu. Facebook est un exemple de ces médias sociaux qui est né en 2004 à l'Université Harvard. Initialement réservé à ses étudiants, ce réseau social a ensuite été ouvert aux autres universités américaines avant de devenir accessible à tout le monde en septembre 2006 (Dwyer, Hiltz, & Katia, 2007).

Le réseau social en ligne s'est légèrement enrichi : applications, pages, messagerie instantanée ou bien diffusion vidéo en direct. Depuis quelques années, Facebook est devenu une plateforme de partage "illimitée". Par exemple, en juin 2016, Facebook a ajouté deux fonctionnalités : la possibilité de parcourir des photos à 360° directement depuis son fil d'actualité et de répondre à un commentaire avec une vidéo. Les utilisateurs doivent créer un profil pour établir des relations avec leurs connaissances et avec ceux qu'ils rencontrent via le site. Le profil constitue la liste des informations personnelles, par exemple le nom qui peut être le vrai nom ou un pseudonyme, des photos, la date de naissance, la religion, la ville natale, un intérêt personnel, etc. Les membres se connectent aux autres en envoyant une demande, qui doit être admise par l'autre partie afin d'établir le lien.

Facebook permet aux utilisateurs de publier facilement des posters, une mise à jour des informations, le partage des photos, des témoignages, des événements ou l'envoi de messages privés, etc.

5.2.1. Le corpus de données Facebook

Un extrait de données du réseau social Facebook a été choisi. Ce corpus de données est publié sur internet¹. Les informations des utilisateurs sont anonymes, par le remplacement des noms d'utilisateurs Facebook par des nouveaux identifiants. Dans le paragraphe suivant, certaines mesures appliquées dans les statistiques sur les données sont définies.

Tableau 5.1. Statistiques sur la base de corpus données Facebook

| | |
|-----------------------------------|--------|
| Nœuds | 4039 |
| Arcs | 88234 |
| Maximum Degré de sortie | 1045 |
| Nœuds dans le plus grand CLC | 4039 |
| Arcs dans le plus grand CLC | 88234 |
| Nœuds dans le plus grand CFC | 4039 |
| Arcs dans le plus grand CFC | 88234 |
| coefficient de regroupement moyen | 0.6055 |
| Diamètre (plus long chemin) | 8 |

5.2.1.1. Nœuds et arêtes dans le plus grand CLC

Le composant légèrement connecté est la mesure dans laquelle tous les composants sont reliés entre eux par un chemin, en ignorant la direction des arêtes. En d'autres termes, pour chaque paire de nœuds a et b , il y a un chemin non dirigé du nœud a vers b et un chemin dirigé de b vers le nœud a .

5.2.1.2. Nœuds et arêtes dans le plus grand CFC

CFC est le composant fortement connecté dans lequel nous mesurons la connexion entre tous les composants reliés entre eux par un chemin, en tenant compte de la direction des arêtes. Alors, chaque nœud est accessible par tous les

¹ Les données sont disponibles à <https://snap.stanford.edu/data/ego-Facebook.html>

autres en suivant les directions. Par exemple, pour chaque paire de nœuds distincts, il existe un chemin direct de : a à b et de b à a .

5.2.1.3. Le coefficient de regroupement

C'est le degré auquel les nœuds ont tendance à se rassembler. Le coefficient de regroupement moyen est le niveau de coefficient de regroupement de tous les nœuds du graphe.

5.2.1.4. Le diamètre

Il peut être calculé comme le plus long des plus courts chemins calculés dans un réseau. La longueur moyenne du chemin est calculée par la définition du plus court chemin entre toutes les paires de nœuds, en les comptant, puis en divisant par le nombre total de paires.

L'étude cherche à aborder les facteurs qui ont un impact sur l'adoption de l'innovation. Donc, dans les sections suivantes, on revient respectivement aux modèles proposés, en les simulant avec ses données. Le travail s'appuiera non seulement sur les observations de la diffusion, mais aussi sur les autres éventuels domaines d'application, tout en dressant les applications et les apports du modèle évolutionnaire d'adoption.

5.3. Modèle évolutionnaire

Une simulation a été menée sur 100 itérations, fondée fondamentalement sur une approche probabiliste. Les expérimentations divergent sur trois valeurs de croisement différentes (1, 0.5, 0.1), pour le seuil de 0.5 deux scénarios distinctifs. Pour les trois premiers scénarios, α et β ont été égaux et pour la quatrième expérimentation, α est égal à 0,7 et β à la valeur 0,3. Dans la dernière expérimentation, α prend la valeur 0.3 et β reçoit 0.7. Si le fitness évaluée ξ est supérieure à 0,75, les individus seront des adoptants. Le Tableau 5.2 résume les résultats des expérimentations et quelques statistiques qui ont été réalisées. Les graphes suivants résument toutes les courbes obtenues, dans lesquelles le nombre cumulé d'adoptants en fonction du temps a été tracé.

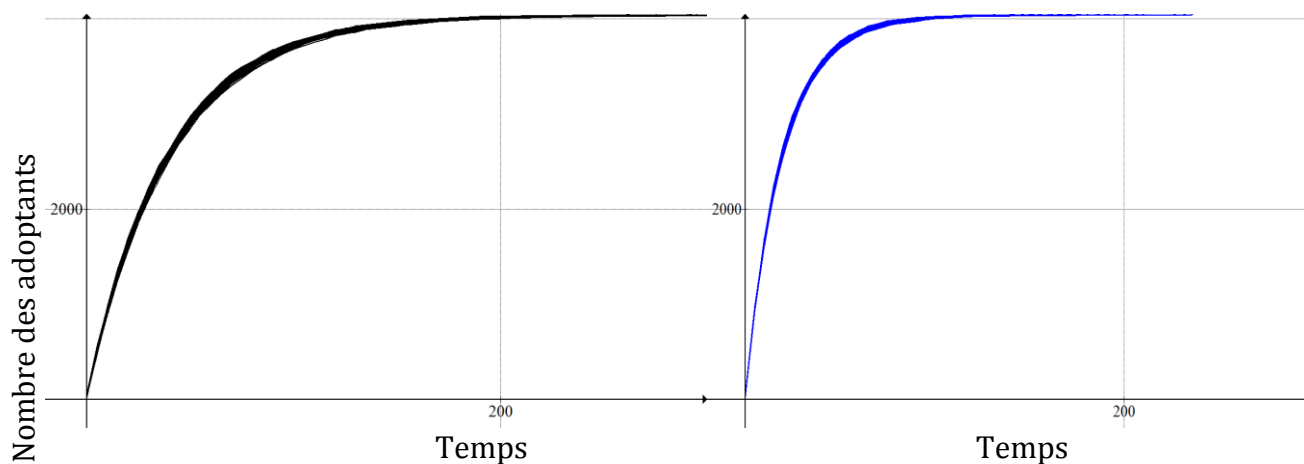


Figure 5.1. Scénario 1 : $CRO = 0.5$, $\alpha = \beta = 0.5$

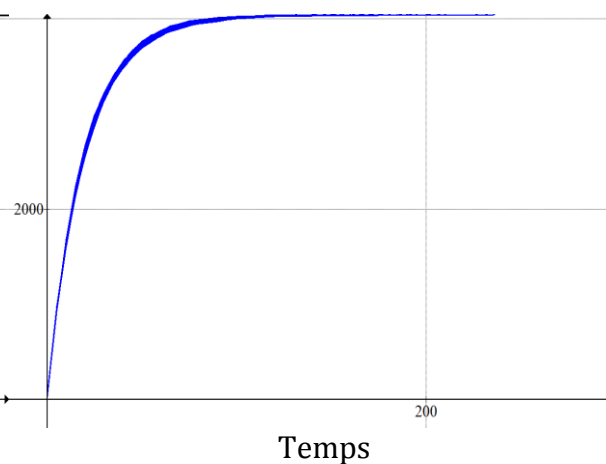


Figure 5.2. Scénario 2 : $CRO = 1.0$, $\alpha = \beta = 0.5$

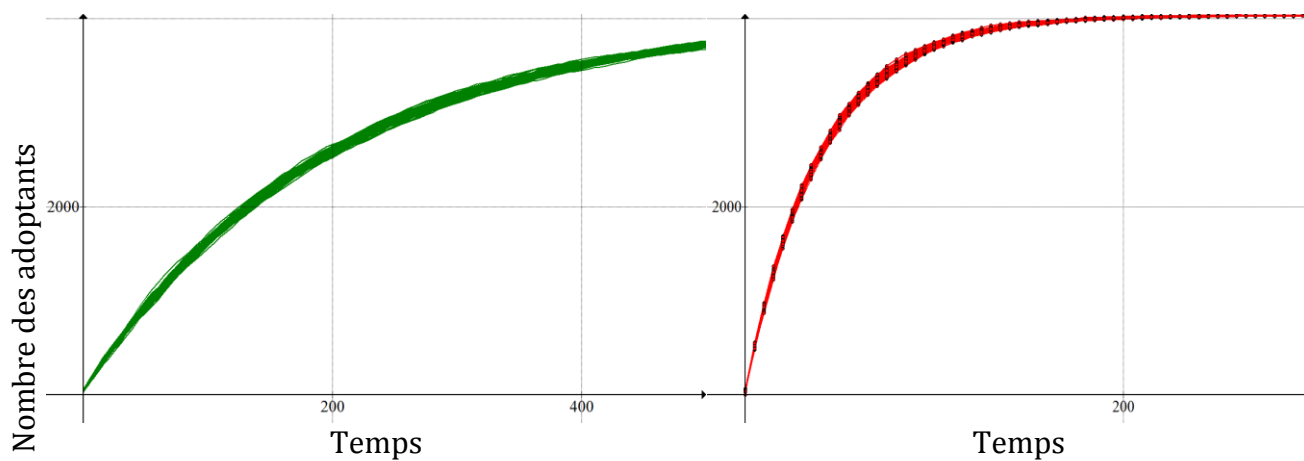


Figure 5.3. Scénario 3 : $CRO = 0.1$, $\alpha = \beta = 0.5$

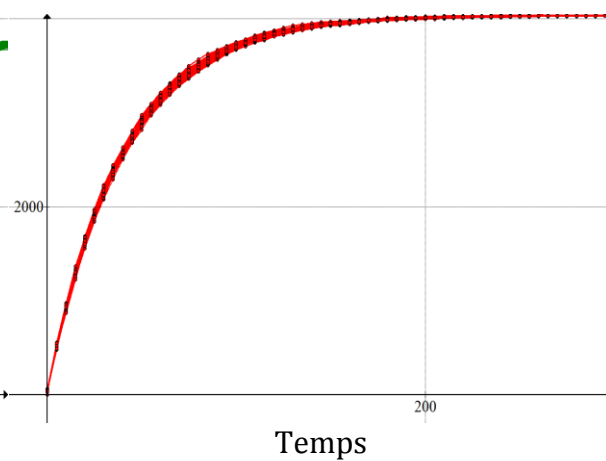


Figure 5.4. Scénario 4 : $CRO = 0.5$, $\alpha = 0.7$, $\beta = 0.3$

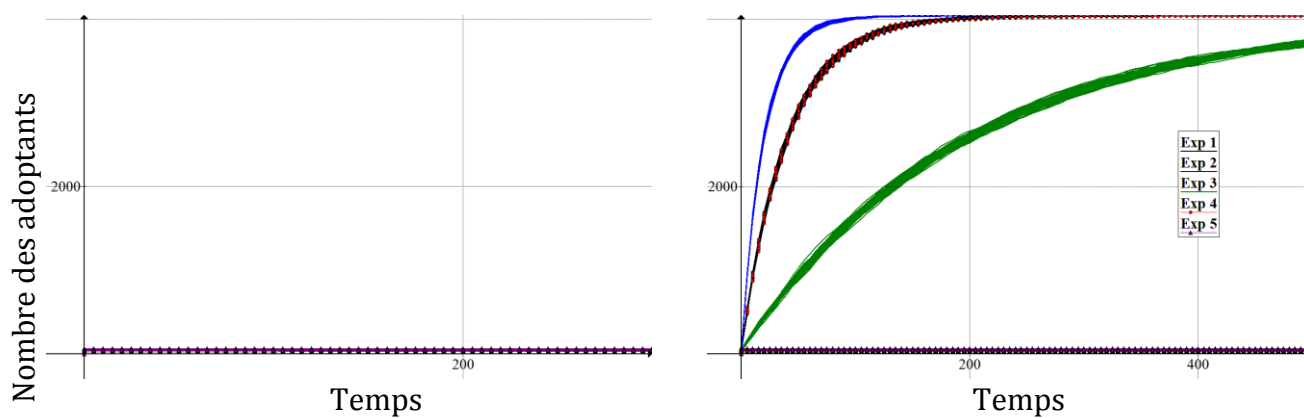


Figure 5.5. Scénario 5 : $CRO = 0.5$, $\alpha = 0.3$, $\beta = 0.7$

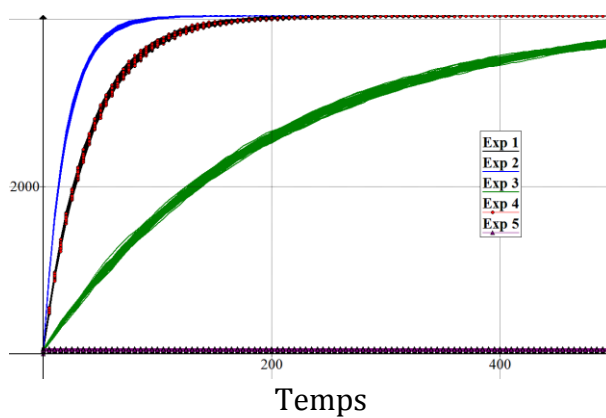


Figure 5.6. Collection des résultats de la simulation

Tableau 5.2. Résultats de la simulation

| # EXP | Max adoptants enregistrés | MOY Temps | | Temps Max adoptants | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------|------|---------------------|-----|
| | | 50% | 100% | Min | Max |
| CRO = 0.5, $\alpha = \beta = 0.5$ | 4039 | 27 | 343 | 263 | 471 |
| CRO = 1.0, $\alpha = \beta = 0.5$ | 4039 | 14 | 175 | 133 | 237 |
| CRO = 0.1, $\alpha = \beta = 0.5$ | 3722 | 134 | / | / | / |
| CRO=0.5, $\alpha=0.7, \beta=0.3$ | 4039 | 28 | 338 | 263 | 499 |
| CRO=0.5, $\alpha=0.3, \beta=0.7$ | 51 | / | / | / | / |

Les Figures 5.1, 5.2 et 5.4 montrent clairement que les paires de membres sociaux qui interagissent plus souvent sont plus susceptibles de s'influencer mutuellement et d'accroître les probabilités d'adoption. Sur la base des Figures 5.4 et 5.5 nous pouvons noter que la persuasion a un effet important sur l'acceptation rapide, donc une plus grande chance d'adopter cette innovation et son contenu. En soutenant la communication positive, une augmentation de la diffusion de l'innovation a été constatée.

En comparant les courbes de simulation illustrées dans la Figure 5.6, les résultats indiquent que les facteurs internes ont plus d'influence sur la décision d'adoption. De plus, la communication de bouche à oreille a conduit à une plus grande exposition aux voisins adoptants mais elle se concentre davantage sur ce facteur que sur les choix personnels ce qui a conduit à des conséquences insatisfaites, autrement dit à une diffusion infructueuse de l'innovation.

5.4. Le modèle évolutionnaire d'adoption

La diffusion de l'information sur Facebook est un processus dynamique et complexe. La décision d'adopter ou de rejeter l'information est soumise à une grande variété de facteurs. La position des individus dans le réseau social peut davantage influencer le comportement final (Valente & Foreman, 1998). Le Tableau 5.3 montre que l'adoption n'a pas été globalement achevée, ce qui est un fait réel. Les liens faibles peuvent changer grandement la façon dont l'innovation se diffuse. L'absence de ces dépendances reliant les groupes divergents est parmi les facteurs liés à cette conclusion.

Tableau 5.3. Résultat de l'utilisation de la plateforme Facebook

| ADV | CPX | MOY temps | | | MAX adoptants | | |
|-----|------------|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|
| | | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T |
| (a) | CRO = 0.05 | 40 | 392 | / | 3932 | / | / |
| (b) | CRO = 0.1 | 39 | 215 | / | 3935 | / | / |
| (c) | CRO = 0.5 | 39 | 55 | / | 3943 | / | / |

Sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, essai 0.5

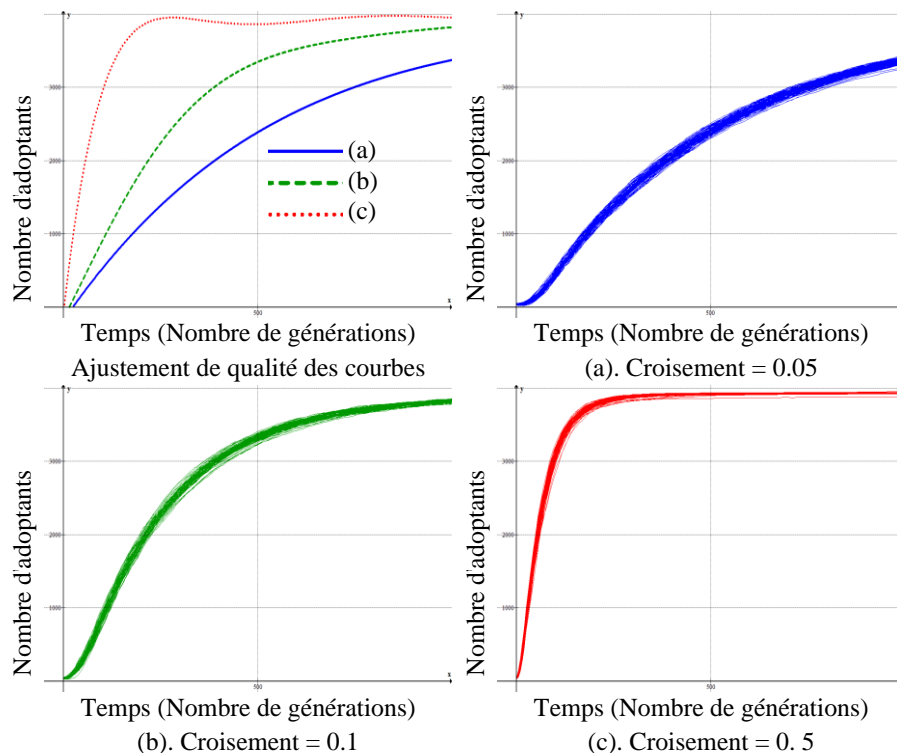


Figure 5.7. Des expérimentations avec le réseau social Facebook

5.4.1. Un Réseau social dynamique

En sachant que les liens faibles peuvent faciliter la diffusion de l'innovation (voir 3.3.3.1), les expérimentations résumées dans la Figure 5.8 montrent que le fait de forcer ces relations avec d'autres va maintenir et garantir une dissémination globale. En réalité, le réseau social se développe avec le temps, alors, des nouvelles relations apparaissent et d'autres disparaissent. Ce fait construit toujours des nouvelles communautés, qui permet l'accès à des groupes non achevés auparavant.

| Tableau 5.4. Simulation d'un réseau social dynamique | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|--|
| ADV | CPX | CRO | MOY time | | | MAX adoptants | | | |
| 12 | 12 | 0.5 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T | |
| (a) Non dynamique | | | 39 | 55 | / | 3943 | / | / | |
| (b) Dynamique= 5 % | | | 38 | 52 | 249 | 4035 | 351 | 4917 | |
| (c) Dynamique= 10 % | | | 39 | 50 | 416 | 4039 | 300 | 1092 | |
| Sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, essai 0.5 | | | | | | | | | |

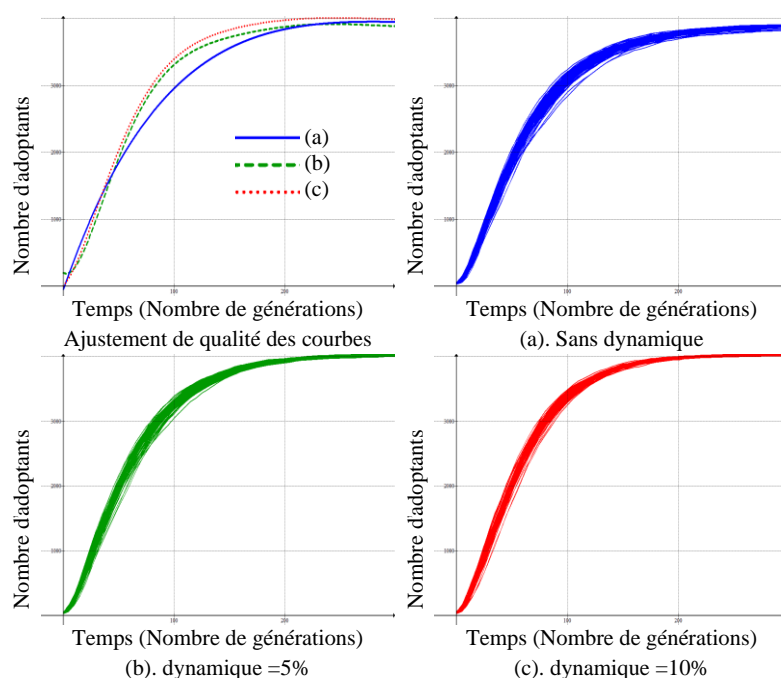


Figure 5.8. Des expérimentations avec un réseau social dynamique

5.5. Domaine d'application

La diffusion de l'innovation ne s'est pas limitée à une seule discipline, elle a été utilisée pour étudier la propagation de nouvelles idées, objets et pratiques dans une grande variété de contextes (Dearing, 2009; Valente & Davis, 1999; Young, 2005). Cette généralité n'est pas surprenante, les recherches menées ont marqué les conséquences sociales importantes (Downs & Mohr, 1976). Tableau 5.5 regroupe quelques objectifs ou manières d'application du modèle d'adoption évolutionnaire, en citant des publications existantes, qui ont également traitées des sujets relatifs.

Tableau 5.5. Regroupement des exemples des domaines d'application

| | La manière ou l'objectif d'application | Publications relatives |
|----------------------|--|--|
| Communication | C'est l'étude sur les canaux de communication soit les médias ou la communication interpersonnelle, et comment conceptualiser cette innovation pour améliorer la rapidité de la transmission des informations et le style du message transféré (ex. voir 5.5.2 et 5.5.3). | (Rice, 2017; Wu, Hu, & Zhang, 2013) |
| Sociologie | Au sein de la sociologie, le modèle représente la diffusion d'innovation, parmi les membres d'un système social (ex. voir 5.5.2). | (Kohles, Bligh, & Carsten, 2013; Valente & Davis, 1999) |
| Agriculture | Il favorise les bonnes pratiques d'agriculture dans les sociétés rurales. | (Ba, et al., 2012; Simin & Janković, 2014) |
| Politique | Le modèle vise le contexte politique et idéologique de l'innovation dans les sociétés comme un concept clé (voir 5.5.3). | (Katz, 1957) |
| Economie | Il étudie le fonctionnement du nouveau produit et service, sa production, et l'analyse des consommateurs (voir 5.5.1). | (Aizstrautaa, Gintersa, & Erolesb, 2015; Venkatesan & Kumar, 2002) |
| Gestion | Il concerne la gestion efficace de l'innovation et la gestion des ressources humaines. (voir 5.5.1) | (Kohles, Bligh, & Carsten, 2013; O'Mahoney, 2007) |
| Marketing | Dans ce domaine l'innovation est un service ou un produit, et la prise de la décision d'adoption est une analyse rationnelle des coûts et des avantages par l'adoptant potentiel. (voir 5.5.1) | (Van den Bulte & Lilien, 2001; Flight, et al., 2011) |
| Psychologie | L'adoption des innovations a été recentrée de manière centralisée sur la psychologie des personnes sur une idée particulière. | (Bozbay & Yasin, 2008; Rogers, 2003) |

| | La manière ou l'objectif d'application | | Publications relatives |
|------------------------------|--|--|---|
| Médecine | L'objectif est de garantir la diffusion des médicaments ou tous ce qui est relative à la santé et le comportement des praticiens. | | (Dearing, 2009; Zhang, et al., 2015) |
| Epidémiologie | Dans cette discipline scientifique, les maladies en relation avec le réseau social sont étudiées, notamment les facteurs influant la santé de la population ; le but est de freiner la dissémination. | | (Newman, 2002; Rogers, 2003) |
| Anthropologie | La recherche dans cette tradition a cartographié l'homme et étudié ses Choix concernant les costumes, les pratiques, et les attitudes ; le modèle étudie systématiquement l'impact de l'innovation dans des communautés humaines passées et présentes. | | (Rogers, et al., 2005; Singhal & Rogers, 2004) |
| Pharmaceutique | Il repose sur des phénomènes liés au produit pharmaceutique mettant en jeu les caractéristiques individuelles et l'environnement social et culturel des médecins, pareillement le médicament lui-même, sa contribution thérapeutique ; l'importance de l'investissement promotionnel réalisé par les firmes pour faciliter la diffusion. | | (Auvray, Hensgen, & Sermet, 2003; Coleman, Katz, & Menzel, 1957) |
| Promotion de la santé | L'étude des idées ou pratiques visant à améliorer la santé de population et leurs modes de vie. | | (Rogers & Peterson, 2008; Wu, Hu, & Zhang, 2013; Lee, 2004) |
| Développement | L'utilisation du modèle de la diffusion, précisément les attributs perçus de l'innovation, est pour le but d'expliquer les problèmes liés au contexte du développement des stratégies plus adéquates, l'adaptation et de 'utilisation des technologies. | | (Mohandes, Sanfilippo, & Al Fakhri, 2018; Musa, Ezra, & Monsurat, 2015) |

En outre des domaines généraux d'application du modèle de la diffusion cités dans le tableau, ces sections détaillent davantage et spécifient des éventuelles suggestions d'application du modèle d'adoption évolutionnaire.

5.5.1. L'estimation de diffusion des nouveaux produits

L'une des tâches de gestion les plus difficiles et les plus critiques est la prédiction de la performance de nouveaux services ou produits (Bewley & Fiebig, 1988). Une prévision fiable nécessite une conception efficace des changements à venir et à distance (Kucharavy & Guio, 2015). La performance d'un nouveau produit ou service dépend d'un grand nombre de facteurs sur le marché. L'attraction et la satisfaction du consommateur sont parmi les conditions essentielles. Pourtant, il est indispensable d'avoir une prévision précise des performances des nouveaux produits, car l'estimation de l'incertitude rend la prédiction beaucoup plus complexe. La prévision précise des performances des nouveaux produits constitue un apport primordial à la majorité des décideurs commerciaux. Ainsi, en tenant compte de cette importance et du défi intellectuel que le développement des modèles améliorés représente, le modèle proposé peut intégrer beaucoup des éléments essentiels qui expliquent les futurs résultats.

5.5.2. La diffusion et les mouvements sociaux

Le mouvement social se développe progressivement. Initialement, un petit nombre se suit et jours après jours, les gens se joignent progressivement et acceptent les idées derrière cette action, jusqu'à la saturation où il n'y aura plus personne d'autre qui acceptera de participer. L'adoption est généralement relative à la perception des autres membres du réseau social et aussi à l'exposition à cette nouvelle pensée à travers les médias. La théorie de la diffusion peut modéliser ce phénomène en se basant essentiellement sur les modèles descriptifs. Le modèle d'adoption évolutionnaire peut englober la description du phénomène, voire la prévision du futur nombre des participants. Le conformisme produit par les objectifs collectifs met les normes sociales similaires. Par d'autres termes, les objectifs transforment les participants en une présentation unifiée comme celle présentée dans le modèle proposé, tout en respectant la notion de l'adoption graduelle.

5.5.3. La diffusion et l'opinion publique

De toute évidence, le partage de l'information est aujourd'hui la base de la société humaine (Li, Dong, & Li, 2016). Au cours du processus de la propagation de l'information, la compréhension de comment l'opinion publique se transforme et l'impact des médias vis-à-vis de la prise de conscience par les autres est une tâche délicate. L'intérêt est de modéliser les nombreux effets de la transmission de l'information à travers un modèle descriptif et prédictif. Actuellement, les individus se connectent les uns aux autres de différentes dispositions. Ils peuvent avoir des opinions distinctes sur la même chose, et leurs propres opinions amènent à l'adoption ou non de la nouvelle information. Plus loin, un modèle qui peut affecter la vie quotidienne des gens, en changeant leurs perceptions personnelles, précisément leur intention de vote, est très sollicité, surtout dans une période des élections.

La formation de l'opinion publique par le biais de processus d'interaction sociale a suscité un vif intérêt dans les sciences sociales telles que la sociologie, les sciences politiques, la communication ou la psychologie, et plus récemment dans d'autres domaines de recherche tels que la physique, l'ingénierie ou l'informatique (Alvarez-Galvez, 2016). Des différentes théories tentent d'expliquer le processus de la diffusion. Cette approche repose sur l'hypothèse selon laquelle il existe une relation bien définie entre l'utilisation des médias et les individus.

Par conséquent, ces approches ont été examinées dans le but de projeter les bases théoriques des sur des expériences concrètes. Alors, les théories de formations de l'opinion publique à ouvrir la porte vers des applications réelles. Leur utilisation en associations avec les réseaux sociaux en lignes crée une interaction plus large entre ce candidat politique et le public. Cela signifie qu'une personne quelconque peut recevoir un message différent de celui de son voisin similaire. Un phénomène semblable a été impliqué dans les élections américaines, en se basant principalement sur le réseau social Facebook (Schroepfer, 2018; Le Monde.fr, 2018), non seulement pour atteindre les masses importantes de la population, mais plutôt pour les perspectives de comprendre comment mieux influencer leurs comportements et croyances.

L'objectif principal de tout candidat politique est la réussite, en orientant l'opinion publique vers lui, voire en adaptant les programmes proposés aux besoins des électeurs potentiels, en fonction de leurs intérêts, croyances, préférences religieuses, désirs et attentes, habitudes de consommation, etc. Compte tenu de la facilité d'atteindre les masses d'individus à travers les médias, ces individus sont difficiles à retenir, que ce soit en termes d'attention ou d'adoption du contenu du message. Lazarsfeld, Berelson et Gaudet (1944) ont constaté que certaines personnes se réfèrent davantage sur les conversations et moins sur les médias officiels en tant que sources d'informations. Ces chercheurs ont été les premiers à suivre les décisions des votants lors de campagne électorale (Katz & Warshel, 2001).

Dans une variété de scénarios, les personnes peuvent être encore influencées par d'autres moyens que les médias. Dans les décennies qui ont suivi l'introduction de la théorie de deux étapes, elle a fini par occuper une place fondamentale dans les littératures de la diffusion des innovations (Van den Bulte & Joshi, 2007). La théorie stipule que l'influence des canaux de communication interpersonnels, par les leaders d'opinion est plus importante que les médias. Elle souligne aussi le fait que l'information de médias se déplace en deux étapes distinctes (Tanye, 2016). La Figure 5.9 présente schématiquement cette théorie, où les leaders d'opinion sont les étoiles qui sont une minorité de la population. Ils assurent le rôle d'intermédiaires entre la masse média et le reste de la société (cercles). Cette conception en deux étapes considère une étape de sensibilisation suivie d'une étape combinant l'adoption et l'évaluation.

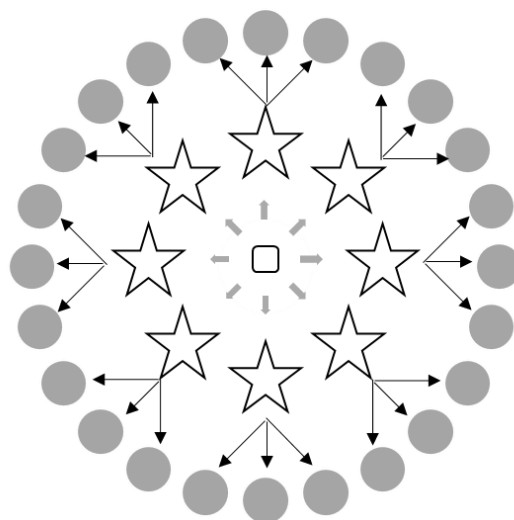


Figure 5.9. Schéma du modèle d'influence en deux étapes

Les leaders d'opinion ont été définis par Rogers (2003) comme ceux qui ont pu rejoindre le plus grand nombre de personnes au sein de leur réseau, en conséquence, ils ont été favorisés parce qu'ils avaient plus d'importance sur le taux d'adoption. L'information circule par l'intermédiaire des leaders d'opinion (Watts & Dodds, 2007), qui se ressemblent beaucoup aux personnes qu'ils influencent ; ils sont des membres de famille, d'amis de collègues, plus généralement, ils appartiennent souvent aux mêmes groupes. Tandis que le leader d'opinion interagit probablement avec son entourage propre, il peut influencer d'autres personnes très loin de son cercle qui ont un autre niveau d'intérêt.

La partie pertinente dans laquelle ce leader exerce son influence consiste à mettre en contact les gens avec les médias. Ces personnes affectives ayant un rôle d'échange d'une sphère du groupe à une partie du monde qui appartiennent en hors du groupe. Il est vrai que, cette catégorie de personnes a une plus grande exposition aux médias, mais il est hautement probable qu'elle est influencée par d'autres personnes également, qui ne sont pas principalement affectées par les moyens de communication (Katz, 1957).

5.5.3.1. Expérimentations et discussions

Parmi les premières approches de réseaux sont les études de l'influence de la position des leaders d'opinion sur le processus de la diffusion. Ces leaders sont déterminés par le nombre de fois qu'un individu a été indiqué comme partenaire dans le réseau personnel au moment de l'adoption (Liu, et al., 2017). Ils sont identifiés par des variables démographiques comme l'éducation et les qualifications professionnelles pertinentes basées sur l'expérience (Moore, et al., 2004). Pour l'actuelle l'expérimentation les leaders ont été choisis selon le nombre des liens et ils se sont différenciés des autres personnes par des relations caractérisées d'un grand poids, leurs caractéristiques liées aux compétences facilitent la diffusion, comme indiqué dans la Figure 5.10. Tableau 5.6 regroupe les résultats des exécutions avec les leaders d'opinion définis, en les comparants à d'autres seuils.

Tableau 5.6. L'avantage des leaders d'opinion

| RELs CPX CRO | | | MOY temps | | | MAX adoptants | | |
|--------------|------|-----|----------------------------|-----|------|---------------|-------|-------|
| 10 | 12 | 0.5 | 1 ^{ers} adoptants | 50% | 100% | MOY 100% | MIN T | MAX T |
| | Sans | | 10 | 129 | 484 | 1000 | 342 | 1292 |
| | 0.9 | | 29 | 106 | 453 | 1000 | 323 | 864 |
| | 0.8 | | 87 | 78 | 432 | 1000 | 302 | 1050 |
| | 0.7 | | 187 | 57 | 434 | 1000 | 297 | 2269 |

Réseau : aléatoire, sélection $U \sim (0,1) < 0.05$, mutation $U \sim (0,1) < 0.001$, ADV 12, essai 0.5

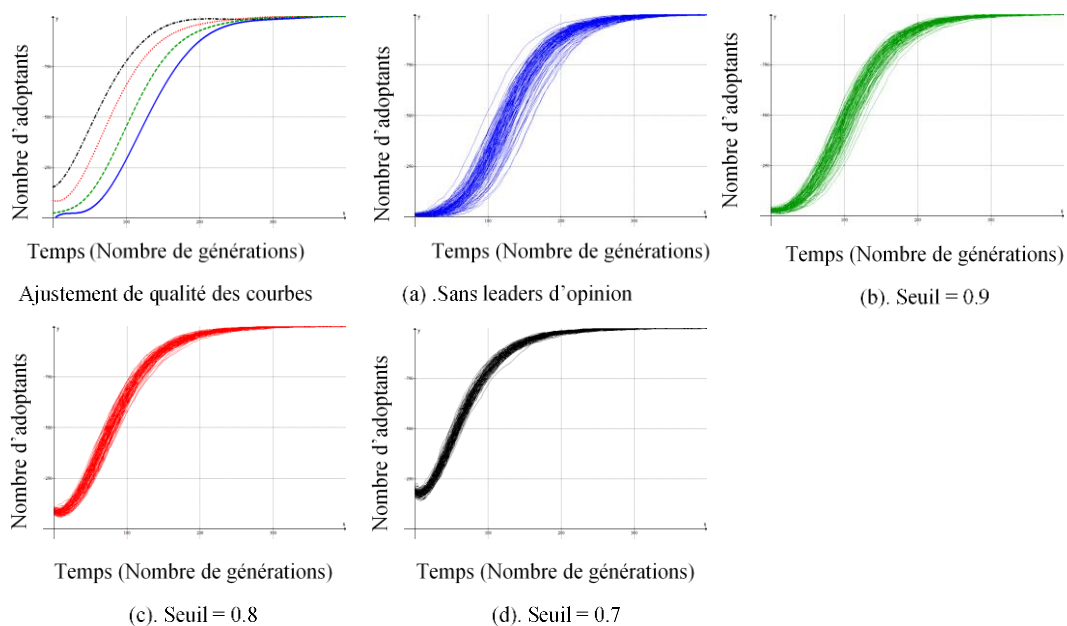


Figure 5.10. La diffusion avec les leaders d'opinion

5.5.3.2. L'avis politique comme innovation

Avant l'opération des élections, plusieurs compagnies collectent activement les données avec les sondages, en suivant des métriques bien établies. Ces statistiques offrent des prévisions sur le futur candidat sollicité. Cela peut aider les gérants professionnels des compagnies électorales dans certaines mesures limitées. La communication politique efficace est dispendieuse et complexe. Elle nécessite non seulement la gestion et le contrôle des messages véhiculés directement, mais également la compréhension du traitement des messages engendrés par le biais d'une interaction sociale. Sans un modèle de la simulation, cette opération ne peut pas être réalisée.

Le modèle proposé peut donner des prévisions pertinentes, en offrant le message le plus possiblement compatible. Au niveau opérationnel, l'idée est de présenter le candidat et son programme de la meilleure façon pour être accepté et proprement adapté par la grande partie de la population dans des courts délais, en visant chaque individu séparément de l'autre.

L'avantage relatif indique les intérêts, les désirs et les attentes des individus, si le candidat réussira. La complexité est fixée par la taille du programme politique, en ajoutant les caractéristiques personnelles du candidat. De plus, la valeur de la compatibilité est calculée en comparant ce programme avec les caractéristiques de l'individu. Une compatibilité élevée signifie que ce candidat est très proche de la perception et de l'exigence des adoptants potentiels. L'interaction des individus avec leurs voisins est représentée par le croisement. La communication positive augmente plus l'acceptation du candidat. La forte exposition au sujet qui favorise l'adoption par les média sociaux peut augmenter la chance du succès, ce phénomène est symbolisé par la sélection. La possibilité d'essai dans ce cas est une valeur minimale car on ne peut savoir les futures conséquences.

Généralement, la grande population est intéressante, soit à l'échelle d'une région ou d'un pays. Donc, la simulation suivante va porter sur ce fait. Figure 5.11 décrit une exécution maintenue sur une population équivalente à 1 million. La dynamique d'opinions dans le cas d'exemple des élections est exprimée dans les résultats.

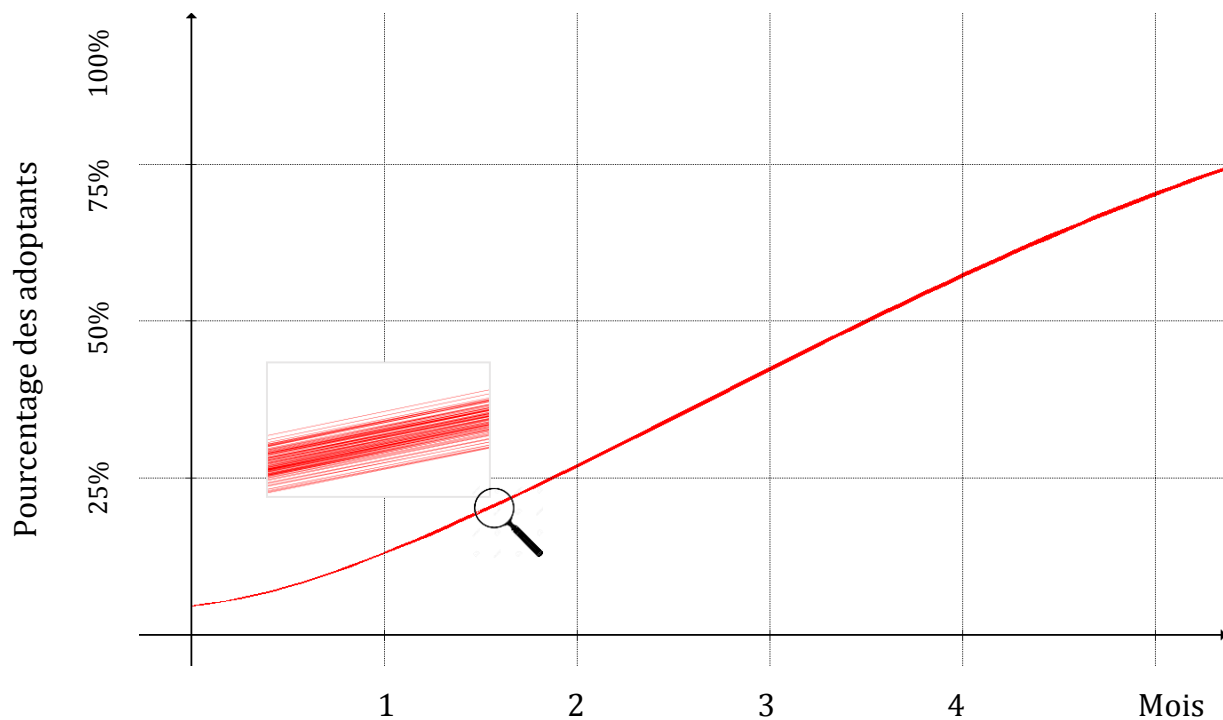


Figure 5.11. La diffusion avec une grande population

5.5.3.3. La collection des données de la diffusion

La collection des données est nécessaire, de même l'organisation et la de sorte que les cas spécifiques dotés d'attributs distinctifs sont aussi manipulés. Les modèles de communication sont enracinés dans des hypothèses sur les structures sociales. Les chercheurs peuvent ne pas théoriser formellement ces structures sociales plus profondes, mais ils s'appuient sur des hypothèses à leur sujet pour concevoir la recherche et interpréter les résultats (Bennett & Manheim, 2006). Dans le cas général, la simulation peut apporter une solution au problème de savoir comment et pourquoi les populations diffuseront et accepteront les innovations.

Une constatation très forte est la sensibilité du résultat du modèle vis-à-vis la structure d'interactions sociale et les caractéristiques personnelles. Tout à fait, cette vérité est observé dans n'importe modèle individu-centré. En conséquence, identifier les caractéristiques personnelles réelles reste un défi pour tout système qui étudie la diffusion de l'innovation. Dans toute recherche de diffusion, des données complètes répondront à plusieurs questions. La collection à grande échelle n'est pas simple ; elle requiert au minimum un mariage de la disponibilité de données vastes et très

différenciées sur les membres du public potentiel avec les dynamismes régulière de la communication.

5.6. Conclusion

Les médias sociaux deviennent un moyen populaire pour la propagation et le partage d'informations. Ces derniers fuient et font partie du quotidien, sont considérés comme une technologie relativement nouvelle par rapport aux médias traditionnels (koçak, Kaya, & Erol, 2013). Notre thèse est fondée sur l'idée que la société avec les technologies de la communication a changé les comportements des individus. De même, les réseaux sociaux traditionnels influent sur la façon dont les individus reçoivent et traitent l'information. En conséquence, ces changements sociaux et technologiques remettent directement sur les hypothèses sous-jacentes de la théorie de la diffusion. Alors, les réseaux sociaux virtuels ont permis plus des expérimentations explicites.

Donc, les modèles proposés ont été expérimentés avec le corpus des données Facebook qui constitue le public de masse. Pour chaque modèle, différentes configurations sont réalisées et différents résultats sont obtenus. Ainsi, chaque résultat est discuté indépendamment.

Les expérimentations du premier modèle ont montré que les choix personnels des personnes ont plus d'influence, en comparaison à la pression sociale. Les résultats ont confirmé l'idée selon laquelle la persuasion personnelle est enrichie par l'influence positive du réseau social peut amener les gens à adopter l'innovation. Cette notion importante a été ignorée dans la littérature existante.

Parce que, la diffusion des innovations est un domaine pluridisciplinaire et le deuxième modèle évolutionnaire d'adoption est générale, alors il peut être appliqué dans de nombreux domaines. Ce chapitre détaille d'avantage ce fait. L'étude a ainsi proposée une conceptualisation de ce modèle en tenant compte de l'impact du leader d'opinion. Les analyses démontrent que les leaders d'opinion peuvent constituer un moyen important de dissémination d'innovation.

Le modèle d'adoption évolutionnaire est un outil d'analyse des comportements d'individus, en développant des réseaux entre des groupes hétérogènes liés par des

objectifs communs, y compris l'hétérogénéité des membres et de l'innovation. Ce modèle repose sur les caractéristiques déterminantes des individus et les attributs de l'innovation. Le but est de prévoir l'émergence de l'adoption de l'innovation dans les systèmes sociaux et dans une certaine mesure d'avoir une vision globale sur les principes fondamentaux à respecter lors de gestion de la diffusion. Le cas d'une élection présidentielle a été exploité en but de projeter la lumière sur une des applications concrètes et cruciales de la vie des individus. Les expérimentations ont montré une éventuelle utilisation du modèle proposé pour orienter l'opinion publique.

Conclusion générale

Les nouvelles idées, activités et produits avantageux prennent du temps à être adoptés et parfois ils sont rejetés. La recherche sur la diffusion de l'innovation vise à comprendre ce phénomène social. Les organisations et les entreprises cherchent à prédire le succès ou l'échec d'une innovation. Ils espèrent également accélérer et faciliter sa diffusion à moindre coût. Pour comprendre comment les changements sociaux se produisent, les théories du changement de comportement sont introduites (Valente, 2002).

Rogers (1962) a développé une théorie générale de la diffusion pour expliquer le comportement humain. La théorie de la diffusion des innovations a une utilisation universelle pour la modélisation de ce phénomène social (Rogers, 2004; 1991). Elle représente une enquête essentielle sur l'implication du comportementale sur le réseau social (Valente, 2010; Valente & Rogers, 1995). Les modèles déjà implémentés souffrent cependant d'un certain nombre de limites essentiellement liées au faible nombre de variables disponibles. Cette simplicité représente un point positif pour certains chercheurs. Dans le cas d'un modèle qui reflète la réalité, ce facteur restreint sa description, puisque, beaucoup de facteurs sérieux produisent les différentes formes de la diffusion.

«L'importance de la science n'est pas tant d'obtenir des nouvelles réalités mais de découvrir de nouvelles façons de penser à leur sujet.» (Bragg, 1957, p.124). En partant d'un algorithme inspiré de la nature pour modéliser un phénomène social et en se basant sur la théorie de la diffusion d'innovation, le résultat correspond parfaitement à ce qui était attendu/assumé. Le premier modèle proposé met en œuvre cette théorie en utilisant un algorithme évolutif pour simuler la diffusion de l'innovation en tant que processus évolutif influencé par les interactions. Il a été suivi par un deuxième modèle d'adoption évolutionnaire qui a analysé le comportement d'individus sur les réseaux sociaux afin de prédire l'acceptabilité d'une idée particulière, parce que l'adoption n'est pas un simple

choix mais plutôt un résultat d'un processus consécutif interdépendant. Les nouveautés et les contributions que ce modèle est susceptible d'apporter sont :

- **Le schéma de diffusion en S**

Tous les résultats de l'application du modèle montrent une croissance sigmoïde en fonction des paramètres choisis. Le cumul d'adoption évolue, initialement, seule une minorité des gens adopte, avec le temps, cependant, le nombre d'adoptants augmente jusqu'à ce que la courbe de diffusion se stabilise et le processus atteigne un niveau d'asymptote ou de saturation supérieur.

- **La décision graduelle**

La décision suit des étapes consécutives afin de changer les convictions et les normes, ce processus a été parfaitement implémenté. La représentation de l'algorithme évolutionnaire a permis de simuler l'évolution réelle de la décision précisément comme un processus d'acceptation graduel, ce qui a conduit à une description plus précise de la diffusion réelle de l'innovation dans un réseau social.

- **Les éléments de la théorie de la diffusion**

L'attention s'est portée non seulement sur le modèle orienté individu, mais aussi sur le renforcement de celui-ci en y ajoutant le maximum de concepts de théorie de la diffusion de l'innovation. Les quatre éléments essentiels de la théorie de la diffusion ont été pris en compte : l'innovation, le système social, les canaux de communication et le temps. Les expériences de simulation ont été menées en utilisant une base probabiliste permettant de projeter la lumière sur la sensibilité de chaque notion. Les résultats montrent clairement la relation entre le comportement au micro niveau et les modèles de diffusion au macro niveau.

- **Les caractéristiques de l'innovation**

Relativement, peu de modèles prennent en compte les caractéristiques d'innovation. Ce dernier peut principalement changer l'avenir de sa diffusion. Cinq caractéristiques essentielles ont été mentionnées par Rogers (2003) :

l'avantage relatif, la compatibilité, la complexité, la possibilité d'essai et l'observabilité. En raison du fait que chaque détail est précieux, tous ces éléments ont été introduits et quantifiés dans le présent modèle.

- **L'hétérogénéité de la population**

Les points communs du concept d'hétérogénéité sont explorés en profondeur, sous des nombreuses dimensions. Une caractéristique cruciale est que l'hétérogénéité est la raison pour laquelle les gens adoptent dans des périodes diversifiées. Elle est capable généralement d'expliquer les divers comportements dans un large éventail. Une grande attention a été accordée à ce facteur.

- **Le choix des premiers adoptants**

Le processus de diffusion à travers tout système social nécessitera un groupe d'adoptants qui déclenchera ce processus. Avec plus d'individu adoptant l'innovation, l'acceptabilité sera presque atteinte par tous les membres. Absolument, le choix raisonnable de ce groupe est obligatoire, le présent modèle fait cette sélection en suivant des caractéristiques logiques.

- **La sélection des adoptants potentiels**

En choisissant des individus qui interagissent et communiquent avec d'autres personnes dans les différentes étapes de la simulation, une diffusion plus pertinente est assurée. D'une manière générale, la société ne s'expose pas d'un coup à l'innovation.

- **Les innovations non réussies**

En principe, un modèle utile est non seulement pour les prévisions, mais aussi pour les explications, afin que les chercheurs puissent identifier les raisons pour lesquelles une innovation donnée peut être inacceptable. En appliquant le modèle proposé, les mesures correctives appropriées peuvent être aussi déduites.

- **Une population non statique et pas neutres**

Citant l'influence des personnes qui refusent l'innovation, d'un moyen ou d'un autre, l'impact de ce rejet n'est pas négligeable. Ces personnes font preuve d'une très grande résistance à l'adoption au sein de la population. Une telle pression sociale peut également influencer les décisions de ceux qui sont déjà adoptants et ceux qui sont en cours de prendre la décision. Pratiquement, cette pression du groupe était significativement prouvée par les expérimentations menées.

- **La réinvention de l'innovation**

La réinvention de l'innovation par les adoptants potentiels réfère au concept de l'adaptation de l'innovation avec les besoins personnels. Le modèle intègre implicitement et explicitement ce principe.

- **Réseau social dynamique**

La littérature indique que le processus de l'adoption est largement déterminé par le comportement du groupe social. Cette structure sociale est dynamique. Elle évolue avec le temps ; de nouvelles relations apparaissent, comme d'autres disparaissent. Des expérimentations ont été conduites sur ce phénomène.

- **Le concept de leader d'opinion**

Cette étude faisait partie d'un effort visant à éprouver les concepts de la diffusion en les appliquant avec une approche évolutionnaire. Le concept de leader d'opinion résume l'importance de la connaissance de la structuration sociale. Les avantages des leaders ont été étudiés. Ils sont considérés en tant qu'agents soutenant la diffusion et les expérimentations ont mis en évidence leur valeur.

Les réseaux sociaux en ligne sont des nouvelles technologies de communication. Ces technologies supporteraient la diffusion et permettent aux individus de partager, simultanément, des informations avec n'importe quel nombre de pairs. Afin d'inciter la population à adopter une certaine innovation, une politique de diffusion bien visé est recommandée. Pour cette fin, plusieurs recherches ont été continuellement proposées.

Par exemple, on peut mentionner dans ce cas, la propagation qui devrait garantir l'introduction d'un nouveau produit sur le marché. Ainsi, ces médias sociaux peuvent constituer un moyen de publicité efficace aux entreprises commerciales en leur permettant de joindre des conversations avec des milliers de clients (potentiels) chaque jour et peuvent, donc, être intégrés à leur stratégie d'étude du marché. Ces plateformes offrent aux chercheurs un espace vaste pour valider des hypothèses voire de trouver de nouvelles perspectives (Morris & Ogan, 1996). Donc, un petit extrait du réseau Facebook a été utilisé pour mettre la lumière sur des concepts cruciaux.

Les modèles de diffusion des innovations ne concentrent pas généralement sur la spécificité du milieu, qui requiert une étude distinctive. L'entourage crée également des caractéristiques communes. Ceci est parfois expliqué par la nature localisée de la criminalité. En perspective, une étude sur ce sujet peut clairement expliquer les causes et les circonstances du processus.

L'interaction entre deux individus similaires est plus influente. La prise en compte de cette citation dans la fonction du croisement peut avoir un effet considérable. De plus, le nombre des individus défini n'est pas autorisé à augmenter ou à diminuer au cours du processus. Une structure plus souple est souhaitable. Une contrainte qui a été imposée par le langage de programmation, en remplaçant l'outil d'implémentation par un autre plus dynamique. Ce problème peut être résolu en utilisant le modèle d'adoption évolutionnaire proposé. Fortran qui est connu pour la modélisation mathématique, est choisi au préalable sur la base de la raison d'une intention, pour concevoir un modèle analytique pour la diffusion. C'est important de rappeler que le premier modèle évolutionnaire a été fondé sur des équations mathématiques. En raison des critères associés aux modèles analytiques, la première approche évolutive proposée n'était pas libre et comportait peu de variables. La nécessité de passer à un niveau de présentation plus général, tout en préservant le code original, a donc donné lieu à une continuité obligatoire avec ce langage.

Dans les modèles existants, l'innovation une fois initialisée n'évolue plus. Dans le cas d'une innovation technologique, les nouveaux produits ajoutent des fonctionnalités évoluées. Le modèle proposé dans cette étude offre la possibilité d'une innovation

dynamique, mais cette propriété malheureusement n'a été pas expérimentée. Par conséquent, à l'avenir, il est également souhaitable de faire davantage d'expériences pour mieux comprendre ce fait.

En raison du manque de connaissances sur la tendance d'acceptabilité des individus envers l'innovation, la perspective aléatoire a été implémentée pour exprimer les différents niveaux d'hétérogénéité. L'absence de données réelles qui inclut la structure du réseau et le temps d'adoption fait référence à la difficulté de rassembler la structure de réseau et les enregistrements de décision d'adoptants au bon moment.

Prenant en compte ce problème, plusieurs recherches ont utilisé des statistiques rétrospectives, incluant seulement le taux de la propagation (Van den Bulte & Lilien, 2001; Valente, 2005). Alors, dans ce cas de cette recherche, un recours à la simulation a été mené pour valider le modèle proposé. Dans d'autres études, une mise en œuvre basée sur des données réelles sera très fructueuse. Le présent modèle est capable de capturer et de prédire le mécanisme caché sous-jacent à la diffusion. En conséquence, les données collectées de sondages par exemple, fournissent des informations pertinentes sur le moment d'adoption, également la manière et la raison d'acceptation et les personnalités des adoptants.

Publications

- Chikouche, S., Bouziane, A., Bouhouita-Guermech, S. E., & Mostefai, M. (2019). New Evolutionary Adoption Model for Innovation Diffusion. *Journal of Information Technology Research (JITR)*, 12(2), 115-130.
- Chikouche, S., Bouziane, A., Bouhouita-Guermech, S. E., Mostefai, M., & Gouffi, M. (2018). Innovation Diffusion in Social Networks: A Survey. Dans A. Amine, M. Mouhoub, O. Ait Mohamed, & B. Djebbar, *Computational Intelligence and Its Applications. CIIA 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 522 (pp. 173-184). Cham: Springer.
- Chikouche, S., Bouhouita-Guermech, S. E., Bouziane, A., Mostefai, M., & Gouffi, M. (2017). Evolutionary knowledge based on human interaction model for the innovation diffusion in social networks. Dans A. A. Korba, A. Ahmim, & M. Derdour (Éd.), *3rd International Conference on Networking and Advanced Systems*, (pp. 72-77). Annaba, Algeria.
- Chikouche, S., Bouziane, A., & Mostefai, M. (2015). Modeling connectivity and interaction in Online Social Networks: A Survey. *Troisième journée doctorale en IDID organisée par l'Université de BBA, 17 décembre 2015*.
- Chikouche, S., Bouziane, A., & Mostefai, M. (2014). La détection des sujets populaires dans les réseaux sociaux. *Deuxième journée doctorale en IDID organisée par l'Université de BBA, 18 décembre 2014*.
- Chikouche, S., Mostefai, M., & Bouziane, A. (2013). Modeling and analysis of individual behavior in social networks. *Première journée doctorale en IDID organisée par l'Université de BBA, 25 décembre 2013*.

Bibliographie

- Aizstrautaa, D., Gintersa, E., & Erolesb, M.-A. P. (2015). Applying theory of diffusion of innovations to evaluate technology acceptance and sustainability. *Procedia Computer Science*, 69 – 77.
- Akrouf, S., Laifa, M., Belayadi, Y., & Mouhoub, N. E. (2013). Social network analysis and information propagation: A case study using flickr and youTube networks. *International Journal of Future Computer and Communication*, 2(3), 246-252.
- Albert, R., & Barabási, A.-L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of modern physics*, 74(1).
- Alkemade, F., & Castaldi, C. (2005). Strategies for the diffusion of Innovations on social networks. *Computational Economics*, 25, 3–23.
- Alvarez-Galvez, J. (2016). Network Models of Minority Opinion Spreading: Using Agent-Based Modeling to Study Possible Scenarios of Social Contagion. *Social Science Computer Review*, 34(5), 567–581.
- Apolloni, A., Channakeshava, K., Durbeck, L., Khan, M., Kuhlman, C., Lewis, B., & Swarup, S. (2009). A study of information diffusion over a realistic social network model. In *Proceedings of the 2009 International Conference on Computational Science and Engineering. 04 (CSE '09)*, pp. 675-682. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.
- Auvray, L., Hensgen, F., & Sermet, C. (2003). La diffusion de l'innovation pharmaceutique en médecine libérale : revue de la littérature et premiers résultats français. *Questions d'économie de la santé Irdes*, 73(11).
- Axelrod, R. (1986). An evolutionary approach to norms. *The American Political Science Review*, 80(4), 1095-1111.
- Axelrod, R. (1997 (b)). The dissemination of culture - a model with local convergence and global polarization. *Journal of Conflict Resolution*, 41(2), 203–226.
- Axelrod, R. (1997(a)). Advancing the art of simulation in the social sciences. Dans R. Conte, R. Hegselmann, & P. Terna, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (Vol. 456, pp. 21-40). Berlin, Heidelberg: Springer.

- Ba, K., Boutet, A., Corenthin, A., & Lishou, C. (2012). "Étude de la diffusion d'innovations en milieu rural à l'aide de simulations multi-agents", Study of the diffusion of innovations in rural areas using multi-agent simulations. *Studia Informatica Universalis*, 10(1), 129-154.
- Bailey, N. T. (1957). *The mathematical theory of epidemics*. Hafner.
- Bailey, N. T. (1964). *The elements of Stochastic Processes with applications to the natural sciences*. New Yor: John Wiley & Sons, Inc.
- Barrientos, A. H., & Andrade, Y. D. (2017). Modelling and Simulation of Complex Adaptive System: The Diffusion of Socio-Environmental Innovation in the RENDRUS Network. Dans D. Cvetković, *Computer Simulation* (pp. 1-17). IntechOpen.
- Bass, F. M. (1969). A new product growth model for consumer durables. *Management Science*, 15(5), 215-227.
- Bass, F. M. (1986). The adoption of a marketing model: Comments and Observations. Dans V. Mahajan, & Y. Wind, *Innovation Diffusion of New Product Acceptance* (pp. 27-33). Cambridge, MA: Ballinger Publishing Company.
- Bennett, W. L., & Manheim, J. B. (2006). The One-Step Flow of Communication. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 608(1), 213-232.
- Berger, C., & Calabrese, R. (2006). Uncertainty Reduction . Dans W. contributors, *Communication Theory* (pp. 9-20). Wikibooks.
- Bewley, R., & Fiebig, D. (1988). A Flexible Logistic Growth Model with Applications in Telecommunications. *International Journal of Forecasting*, 4(2), 177-192.
- Boccaletti, S., Latora, V., Y. Moreno, M. C., & Hwang, D.-U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424, 175-308.
- Boyd, R., & Richerson, P. J. (2005). *The origin and evolution of cultures*. New York, USA: Oxford University Press, Inc.
- Bozbay, Z., & Yasin, B. (2008). The Impact of Perceived Innovation Characteristics on Technology Adoption. *The International Journal Of Technology, Knowledge And Society*, 4(4), 117-127.
- Burt, R. S. (1982). *Toward a Structural Theory of Action: Network Models of Social Structure Perception, and Action*. New York: Academic Press.
- Burt, R. S. (1987). Social contagion and innovation: cohesion versus structural equivalence. *American Journal of Sociology*, 92, 1287-1335.

- Buss, D. M., Haselton, M. G., Shackelford, T. K., Bleske, A. L., & Wakefield, J. C. (1998). Adaptations, exaptations, and spandrels. *American Psychologist*, 53(5), 533-548.
- Bragg, S. L. (1959). The Atom. In M. L. Lawrence, J. A. Oliphant, C. C. Bragg, C. F. Ratcliffe, H. Raven, P. F. Sherwood, ... B. Postan, *A Short History of Science: Origins and Results of the Scientific Revolution* (p. 118). Garden City, N.Y.: Doubleday Anchor books.
- Centola, D. (2010). The Spread of Behavior in an Online Social Network Experiment. *Science*, 329, 1194-1197.
- Centola, D., & Macy, M. (2007). Complex Contagions and the Weakness of Long Ties. *American Journal of Sociology*, 113(3), 702-734.
- Chandrasekaran, D., & Tellis, G. J. (2007). A critical review of marketing research on diffusion of new products. Dans N. K. Malhotra, *Review of marketing research* (Vol. 3, pp. 39-80). Emerald Group Publishing Limited.
- Chikouche, S., Bouhouita-Guermech, S. E., Bouziane, A., Mostefai, M., & Gouffi, M. (2017). Evolutionary knowledge based on human interaction model for the innovation diffusion in social networks. Dans A. A. Korba, A. Ahmim, & M. Derdour (Éd.), *3rd International Conference on Networking and Advanced Systems*, (pp. 72-77). Annaba, Algeria.
- Chikouche, S., Bouziane, A., Bouhouita-Guermech, S. E., & Mostefai, M. (2019). New Evolutionary Adoption Model for Innovation Diffusion. *Journal of Information Technology Research (JITR)*, 12(2), 115-130.
- Chikouche, S., Bouziane, A., Bouhouita-Guermech, S. E., Mostefai, M., & Gouffi, M. (2018). Innovation Diffusion in Social Networks: A Survey. Dans A. Amine, M. Mouhoub, O. Ait Mohamed, & B. Djebbar, *Computational Intelligence and Its Applications. CIIA 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 522 (pp. 173-184). Cham: Springer.
- Christoff, Z., & Hansen, J. U. (2015). A logic for diffusion in social networks. *Journal of Applied Logic*, 13(1), 48-77.
- Coleman, J., Katz, E., & Menzel, H. (1957). The diffusion of an innovation among physicians. *Sociometry*, 20(4), 253-270.
- Confer, J. C., Easton, J. A., Fleischman, D. S., Goetz, C. D., Lewis, D. M., Perilloux, C., & Buss, D. M. (2010). Evolutionary psychology controversies, questions, prospects, and limitations. *American Psychologist*, 65(2), 110-126.
- Contractor, N. S., & Leveque, C. (2001). Adoption of Communication Technologies and the

- Evolution of Communication Networks in Organizations. Dans V. Burton, D. Herr, & T. Finnegan, *Wayfarer: Charting Advances in Social Science Computing (CD)*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Cowan, R., & Jonard, N. (2004). Network structure and the diffusion of knowledge. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 28(8), 1557–1575.
- Cushman, D. P., & Kincaid, D. L. (1987). Introduction and Initial Insights. Dans D. L. Kincaid, *COMMUNICATION THEORY: EASTERN AND WESTERN PERSPECTIVES* (pp. 1-10). San Diego, N. Y. : Academic Press, Inc.
- Daley, D. J., & Kendall, D. G. (1964). Epidemics and rumours. *Nature*, 204, 1118.
- Damanpour, F. (1991). Organizational Innovation: A Meta-Analysis of Effects of Determinants and Moderators. *The Academy of Management Journal*, 34(3), 555-590.
- Darda, M. A., Guseo, R., & Mortarino, C. (2012). Modelling Diffusion of Innovations with Homogeneous and Heterogeneous Populations. *12th Islamic Countries Conference on Statistical Sciences*. 23. Doha, Qatar: Qatar University.
- Davis, F. D. (1986). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- Davis, F. D. (1993). User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38(3), 475–487.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982-1003.
- Dearing, J. W. (2009). Applying diffusion of innovation theory to intervention. *Research on Social Work Practice*, 19(5), 503–518.
- Denis, J. L., Hébert, Y., Langley, A., Lozeau, D., & Trottier, L. H. (2002). Explaining diffusion patterns for complex health care innovations. *Health Care Management Review*, 27(3), 60–73.
- Deroïan, F. (2002). Formation of social networks and diffusion of innovations. *Research Policy*, 31(5), 835–846.
- Dietz, K. (1967). Epidemics and Rumours: A Survey. *Journal of the Royal Statistical Society*, 130(4), 505-528.

- Dixon, R. (1980). Hybrid Corn Revisited. *Econometrica*, 48(6), 1451-1461.
- Dodds, P. S. (2018). A Simple Person's Approach to Understanding the Contagion Condition for Spreading Processes on Generalized Random Networks. Dans S. Lehmann, & Y.-Y. Ahn, *Complex Spreading Phenomena in Social Systems: Influence and Contagion in Real-World Social Networks* (pp. 27-45). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018.
- Dodds, P. S., & Watts, D. J. (2004). Universal Behavior in a Generalized Model of Contagion. *Physical Review Letters*, 92(21), 218701.
- Dodds, W. (1973). An application of the Bass model in long term new product forecasting. *Journal of Marketing Research*, 10(3), 308-311.
- Dorogovtsev, S. N., & Mendes, J. F. (2002). Evolution of networks. *Advances in Physics*, 51(4), 1079 - 1187.
- Downs, G. W., & Mohr, L. B. (1976). Conceptual Issues in the Study of Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 21(4), 700-714.
- Dutton, W. H., Sweet, P. L., & Rogers, E. M. (1989). Socioeconomic Status and the Early Diffusion of Personal Computing in the United States. *Social Science Computer Review*, 7(3), 259-271.
- Dwyer, C., Hiltz, S. R., & Katia, P. (2007). Trust and privacy concern within social networking sites:A comparison of Facebook and MySpace. *13th Americas Conference on Information Systems*, August 09 - 12 . Keystone, Colorado , USA: Proceedings of the Thirteenth Americas.
- Easley, D., & Kleinberg, J. (2010). *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*. Cambridge: Cambridge University Press
- Epstein, J. M. (2008). Why model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4), 12.
- Erdős, P., & Rényi, A. (1960). On the evolution of random graphs. *Institute of mathematics, Hungarian academy of sciences*, 17-60.
- Fisher, J. C., & Pry, R. H. (1971). A simple substitution model of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 3(1), 75-78.
- Fliegel, F. C., & Kivlin, J. E. (1966). Attributes of Innovations as Factors in Diffusion. *American Journal of Sociology*, 72(3), 235-248.
- Flight, R. L., Allaway, A. W., Kim, W.-M., & D'Souza, G. (2011). A Study of Perceived

- Innovation Characteristics Across Cultures and Stages of Diffusion. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(1), 109-126.
- Folorunso, O., Vincent, R. O., Adekoya, d. F., & Ogunde, A. O. (2010). Diffusion of Innovation in Social Networking Sites among University Students. *International Journal of Computer Science and Security*, 4(3), 361-372.
- Fourt, L. A., & Woodlock, J. W. (1960). Early Prediction of Market Success for New Grocery Products. *Journal of Marketing*, 25(2), 31-38.
- Franses, P. H. (1994). A Method to Select Between Gompertz and Logistic Trend Curves. *Technological Forecasting and Social Change*, 46, 45-49.
- Geroski, P. (2000). Models of technology diffusion. *Research Policy*, 29(4-5), 603-625.
- Goffman, W., & Newill, V. A. (1964). Generalization of Epidemic Theory: An Application to the Transmission of Ideas. *Nature*, 204, 225-228.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine Learning*. USA: Addison-Wesley Publishing Company, INC.
- Gompertz, B. (1825). On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115, 513-583.
- Granovetter, M. S. (1973). The Strength of Weak Ties. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360-1380.
- Granovetter, M. S. (1978). Threshold models of collective behavior. *The American Journal of Sociology*, 83(6), 1420-1443.
- Granovetter, M. S., & Soong, R. (1988). Threshold models of diversity: Chinese restaurants, residential segregation, and the spiral of silence. *Sociological Methodology*, 18, 69-104.
- Greenhalgh, T., Robert, G., Bate, P., Macfarlane, F., & Kyriakidou, O. (2005). *Diffusion of innovations in health service organisations: a systematic literature review*. (Wiley-Blackwell, Éd.) Blackwell Publishing Ltd.
- Greenhalgh, T., Robert, G., Macfarlan, F., Bate, P., & Kyriakidou, O. (2004). Diffusion of Innovations in Service Organizations: Systematic Review and Recommendations. *The Milbank Quarterly*, 82(4), 581-629.
- Gregg, J. V., Horse, C. H., & Richardson, J. T. (1964). *Mathematical Trend Curves: An Aid to Forecasting*. (Monograph, Éd.) Oliver and Boyd.

- Guilbeault, D., Becker, J., & Centola, D. (2018). Complex Contagions: A Decade in Review. Dans S. Lehmann, & Y.-Y. Ahn, *Complex Spreading Phenomena in Social Systems: Influence and Contagion in Real-World Social Networks* (pp. 3-25). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018.
- Guille, A., Hacid, H., Favre, C., & Zighed, D. A. (2013). Information Diffusion in Online Social Networks: A Survey. *SIGMOD Record*, 42(2), 17-28.
- Harrison, P., & Pearce, S. (1972). The use of trend curves as an aid to market forecasting. *Industrial Marketing Management*, 1(2), 149-170.
- Harvey, C. A. (1984). Time Series Forecasting Based on the Logistic Curve. *Journal of the Operational Research Society*, 35(7), 641-646.
- Heath, R. L., & Bryant, J. (2000). *Human Communication Theory and Research. Concept, Context and Challenges*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hendry, I. (1972). The Three Parameter Approach to Long Range Forecasting. *Long Range Planning*, 51(1), 40-45.
- Hethcote, H. W. (2000). The Mathematics of Infectious Diseases. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 42(4), 599-653.
- Heylighen, F. (2014). Evolutionary psychology. Dans A. C. Michalos, *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research* (pp. 2058-2062). Berlin: Springer Netherlands.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. Cambridge, Massachusetts, USA: MIT Press/Bradford Books edition.
- Iyengar, R., Christophe, V. d., & Valente, T. W. (2011). Opinion Leadership and Social Contagion in New Product Diffusion. *Marketing Science*, 20(2), 195-388.
- Jackson, M. O., & Lopez-Pintado, D. (2013). Diffusion and contagion in networks with heterogeneous agents and homophily. *Network Science*, 1(01), 49-67.
- Jong, K. A. (2006). *Evolutionary Computation A Unified Approach*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Katz, E. (1957). The two-step flow of communication: an up to-date report on an hypothesis. *Political opinion quarterly*, 21(1), 61-78.
- Katz, E. (1961). The social itinerary of technical change: Two studies on diffusion of innovation. In Studies on Innovation. *Human Organization*, 20(2), 70-82.

- Katz, E., & Lazarsfeld, P. F. (1955). *Personal influence: the part played by people in the flow of mass communications*. New York, NY, US: Free Press.
- Katz, E., & Warshel, Y. (2001). *Election Studies: What's Their Use?* Boulder, Colorado: Westvirw Press.
- Kee, K. F. (2017). Adoption and Diffusion. Dans C. R. Scott, L. K. Lewis, J. K. T. Kuhn, P. K. Turner, & L. K. Lewis, *The International Encyclopedia of Organizational Communication* (pp. 41-54). Hoboken: Wiley Blackwell.
- Kempe, D., Kleinberg, J., & Tardos, E. (2003). Maximizing the spread of influence through a social network. *KDD '03 Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining ACM* . New York, NY.
- Kempe, D., Kleinberg, J., & Tardos, E. (2015). Maximizing the spread of influence through a social network. *Theory of Computing*, 11(4), 105–147.
- Kiesling, E., Günther, M., Stummer, C., & Wakolbinger, L. M. (2012). Agent-based simulation of innovation diffusion: a review. *Central European Journal of Operations Research*, 20(2), 183–230.
- koçak, N. G., Kaya, S., & Erol, E. (2013). Social Media from the Perspective of Diffusion of Innovation Approach. *The Macrotheme Review*, 2(3), 22-29.
- Kohles, J. C., Bligh, M. C., & Carsten, M. K. (2013). The vision integration process: applying Rogers' diffusion of innovations theory to leader–follower communications. *Leadership*, 9(4), 466–485.
- Kosorukoff, A., & Passmore, D. L. (2011). *Social Network Analysis: Theory and Applications*. Passmore, D. L.
- Kreindler, G. E., & Young, H. P. (2014). Rapid Innovation Diffusion In Social Networks. *In the Light of Evolution VIII: Darwinian Thinking in the Social Sciences- Colloquium Paper - Social Sciences - Economic Sciences, January 10–11, 2014*. 111 (Supplement 3), pp. 10881-10888. Irvine, CA: PNAS 2014.
- Kucharavy, D., & Guio, R. D. (2008). Logistic Substitution Model And Technological Forecasting. *TRIZ Future 2008 - Synthesis in Innovation*, 65-73.
- Kucharavy, D., & Guio, R. D. (2015). Application of Logistic Growth Curve. *Procedia Engineering*, 131, 280 – 290.
- Lawton, S. B., & Lawton, W. H. (1979). An Autocatalytic Model for the Diffusion of Educational Innovations. *Educational Administration Quarterly*, 15(1), 19–46.

- Lazarsfeld, P. F., Berelson, B., & Gaudet, H. (1944). The People's Choice: How the Voter Makes Up His Mind in a Presidential Campaign. Dans Duell, Sloan, & Pearce, *The People's Choice: How the Voter Makes Up His Mind in a Presidential Campaign* (pp. 13-18). N.Y.: Columbia University Press.
- Le Monde.fr. (2018, 4 4). LE MONDE. *Cambridge Analytica : 87 millions de comptes Facebook concernés*. Consulté le 8 14, 2018, sur https://www.lemonde.fr/pixels/article/2018/04/04/cambridge-analytica-87-millions-de-comptes-facebook-concernees_5280752_4408996.html
- Lee, T.-T. (2004). Nurses' Adoption of Technology: Application of Rogers' Innovation-Diffusion Model. *Applied Nursing Research*, 17(4), 231-238.
- Li, J., Dong, T., & Li, M. (2016). Research of Social Network Information Propagation Model Based on Public Interest and Opinion. *Social Networking*, 5(2), 75-81.
- Liu, W., Sidhu, A., Beacom, A. M., & Valente, T. W. (2017). Social Network Theory. *The International Encyclopedia of Media Effects*, 10(10), 128-142.
- López-Pintado, D., & Watts, D. J. (2008). Social Influence, Binary Decisions and Collective Dynamics. *Rationality and Society*, 20(4), 399-443.
- Macy, M. W., & Willer, R. (2002). FROM FACTORS TO ACTORS: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 28, 143-166.
- Mahajan, V. (2010). Innovation diffusion. Dans J. Sheth, N. Malhotra, J. Sheth, & N. Malhotra (Éds.), *Wiley International Encyclopedia of Marketing*. John Wiley & Sons Ltd.
- Mahajan, V., & Muller, E. (1979). Innovation Diffusion and New Product Growth Models in Marketing. *Journal of Marketing*, 43(4), 55-68.
- Mahajan, V., & Peterson, R. A. (1978). Innovation Diffusion in a Dynamic Potential Adopter Population. *Management Science*, 24(15), 1589-1597.
- Mahajan, V., & Peterson, R. A. (1985). *Models for innovation diffusion (quantitative applications in the social sciences)*. Newbury Park: SAGE Publications, Inc.
- Mahajan, V., & Wind, Y. (1988). New product forecasting models: Directions for research and implementation. *International Journal of Forecasting*, 4(3), 341-358.
- Mahajan, V., Muller, E., & Bass, F. M. (1990). New product diffusion models in marketing: a review and directions for research. *Journal of Marketing*, 54, 1-26.
- Mahajan, V., Muller, E., & Srivastava, R. K. (1990). Determination of Adopter Categories by Using Innovation Diffusion Models. *Journal of Marketing Research*, 27(1).

- Mahajan, V., Muller, E., & Wind, Y. (2000). New product diffusion models: from theory to practice (International series in quantitative marketing). Dans V. Mahajan, E. Muller, Y. Wind, V. Mahajan, E. Muller, & Y. Wind (Éds.), *New product diffusion models* (pp. 3–24). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Mansfield, E. (1961). Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*, 29(4), 741-766.
- Marin, A., & Wellman, B. (2009). Social Network Analysis: An Introduction. Dans J. Scott, & P. J. Carrington, *The SAGE handbook of social network analysis* (pp. 11-25). London: SAGE Publications Ltd.
- McPherson, M., Smith-Lovin, L., & Cook, J. M. (2001). Birds of a feather: homophily in social networks. *Annual Review of Sociology*, 27, 415–444.
- Meade, N. (1984). The use of growth curves in forecasting market development—a review and appraisal. 3(4), 429-451.
- Meade, N., & Islam, T. (1995). Forecasting with growth curves: An empirical comparison. *International Journal of Forecasting*, 11(2), 199-215.
- Meade, N., & Islam, T. (2006). Modelling and forecasting the diffusion of innovation – A 25-year review. *International Journal of Forecasting*, 22, 519-545.
- Mehmood, Y., Barbieri, N., & Bonchi, F. (2016). Modeling adoptions and the stages of the diffusion of innovations. *Knowledge and Information Systems*, 48(1), 1–27.
- Metcalfe, J. (2004). Ed Mansfield and the Diffusion of Innovation: An Evolutionary Connection. *The Journal of Technology Transfer*, 30(1-2), 171–181.
- Milgram, S. (1967). The small world problem. *Psychology Today*, 1(1), 61-67.
- Mohandes, N., Sanfilippo, A., & Al Fakhri, M. (2018). Modeling residential adoption of solar energy in the Arabian Gulf Region. *Renewable Energy*, 131, 381-389.
- Moore, G. C., & Benbasat, I. (1991). Development of an Instrument to Measure the Perceptions of Adopting an Information Technology Innovation. *Information Systems Research*, 2(3), 192-222.
- Moore, K. A., Peters, R. H., Hills, H. A., LeVasseur, J. B., Rich, A. R., Hunt, W. M., . . . Valente, T. W. (2004). Characteristics of Opinion Leaders in Substance Abuse Treatment Agencies. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, 30(1), 187–203.
- Moreno, Y., Nekovee, M., & Pacheco, A. F. (2004). Dynamics of rumor spreading in complex networks. *PHYSICAL REVIEW E* 69, 066130, 1-7.

- Morris, M., & Ogan, C. (1996). The Internet as Mass Medium. *Journal of Communication*, 46(1), 39-50.
- Muller, E., & Peres, R. (2017). The effect of social networks structure on innovation performance: A review and directions for research. *International Journal of Research in Marketing*, 1-17.
- Musa, A. I., Ezra, G. S., & Monsurat, M. F. (2015). Perceived Attributes of Diffusion of Innovation Theory as a Theoretical Framework for understanding the Non-Use of Digital Library Services. *Journal of Information & Knowledge Management* 5(9):82, 5(9), 82-87.
- Myers, S. A., Zhu, C., & Leskovec, J. (2012). Information diffusion and external influence in networks. In *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining (KDD '12)*. (pp. 33-41). New York, NY, USA,: ACM.
- Newman, M. E. (2000). Models of the Small World: A Review. *Statistical Mechanics*, 101, 819-841.
- Newman, M. E. (2002). The spread of epidemic disease on networks. *Physical review, E* 66, 016128.
- Newman, M. E. (2003). The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, 45, 167-256.
- O'Mahoney, J. (2007). The diffusion of management innovations: the possibilities and limitations of memetics. *Journal of Management Studies*, 44(8), 1324-1348.
- Oren, S. S., & Schwartz, R. G. (1988). Diffusion of new products in risk-sensitive markets. *Journal of Forecasting*, 7(4), 273-287.
- Ostlund, L. E. (1974). Perceived Innovation Attributes as Predictors of Innovativeness. *Journal of Consumer Research*, 1(2), 23-29.
- Parker, P. M. (1994). Aggregate diffusion forecasting models in marketing: A critical review. *International Journal of Forecasting*, 10(2), 353-380.
- Pelc, K. I. (2017). Diffusion of innovation in social Networking, selected concepts, issues and cases. Dans L. Zacher, *Technology, Society and Sustainability*, (pp. 3-13). Gewerbestrasse, Switzerland: Springer International Publishing AG 2017. doi:10.1007/978-3-319-47164-8_1
- Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V. (2010). Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions. *International Journal of Research*

in Marketing, 27(2), 91-106.

- Plsek, P. (2003). Complexity and the Adoption of Innovation in Health Care. *Accelerating Quality Improvement in Health Care Strategies to Speed the Diffusion of Evidence-Based Innovations*, January 27-28. Washington, DC.
- Rice, R. E. (2009). Diffusion of innovations: Theoretical extensions. Dans R. Nabi, & M. B. Oliver, *Handbook of media effects* (pp. 489-503). CA: Sage.
- Rice, R. E. (2017). Intermediality and the Diffusion of Innovations. *Human Communication Research*, 43(4), 531-544.
- Rice, R. E., & Rogers, E. M. (1980). Reinvention in the Innovation Process. *Knowledge*, 1(4), 499-514.
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovation* (éd. 1). New York: Free Press of Glencoe.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovation*. New York: The Free Press. A Division of Macmillan Publishing Co., Inc.
- Rogers, E. M. (1991). Rise of the classical diffusion model. *Current Contents*, 13(15), 16.
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations* (éd. 4). New York: THE FREE PRESS A Division of Simon & Schuster Inc.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (éd. 5). New York: Free Press.
- Rogers, E. M. (2004). A prospective and retrospective look at the diffusion model. *Journal of Health Communication*, 9(1), 13-19.
- Rogers, E. M., & Peterson, J. c. (2008). Diffusion of clean indoor air ordinances in the southwestern United States. *Health Education & Behavior*, 35(5), 683-697.
- Rogers, E. M., Medina, U. E., Rivera, M. A., & Wiley, C. J. (2005). Complex adaptive systems and the diffusion of innovations. *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal*, 10(3), 1-26.
- Ronald, S. B. (1987). Social contagion and innovation: Cohesion versus structural equivalence. *American Journal of Sociology*, 92(6), 1287-1335.
- Ryan, B., & Gross, N. C. (1943, March). The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. *Rural Sociology*, 8(1), 15-24. Consulté le septembre 24, 2016
- Ryan, B., & Gross, N. C. (1950). *Acceptance and diffusion of hybrid corn seed in two Iowa communities* (Vol. 29). (R. B. Experiment, Éd.)

- Sampaio, L., Varajão, J., Pires, E. S., & Oliveira, P. d. (2012). Diffusion of Innovation in Organizations: Simulation using Evolutionary Computation. *2012 Fourth World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC)* (pp. 25-30). Mexico City, Mexico: IEEE.
- Sampaio, L., Varajão, J., Pires, E. S., & Oliveira, P. d. (2013). Diffusion of innovation simulation using an evolutionary algorithm. Dans M. L. Gavrilova, C. K. Tan, & A. Abraham, *Transactions on Computational Science XXI: Special Issue on Innovations in Nature-Inspired Computing and Applications* (pp. 46-63). Springer Berlin Heidelberg.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2), 143-186.
- Schelling, T. C. (1973). Hockey Helmets, Concealed Weapons, and Daylight Saving: A Study of Binary Choices with Externalities. *The Journal of Conflict Resolution*, 17(3), 381-428.
- Schelling, T. C. (1978). Sorting and Mixing. Dans T. C. Schelling, *Micromotives and Macrobehavior* (pp. 137-166). New York: Norton: WW Norton and Company.
- Schroepfer, M. (2018, 4 4). Facebook newsroom. *An Update on Our Plans to Restrict Data Access on Facebook*. Menlo Park, California 94025: Facebook © 2018 <https://newsroom.fb.com/>.
- Shakarian, P., Bhatnagar, A., Aleali, A., Shaabani, E., & Guo, R. (2015). *Diffusion in Social Networks*. Heidelberg, Allemagne: Springer International Publishing.
- Sharif, M., & Ramanathan, K. (1981). Binomial Innovation Diffusion Models with Dynamic Potential Adopter Population. *Technological Forecasting and Social Change*, 20(1), 63-87.
- Sharif, M., & Ramanathan, K. (1982). Polynomial Innovation Diffusion Models. *Technological Forecasting and Social Change*, 21(4), 301-323.
- Shu, P., Wang, W., Stanley, H. E., & Braunstein, L. A. (2018). A general social contagion dynamic in interconnected lattices. *Physica A*, 511, 272-279.
- Silverman, E., & Bryden, J. (2007). From artificial societies to new social science theory. Dans F. Almeida e Costa, L. Rocha, E. Costa, I. Harvey, & A. Coutinho (Éd.), *Advances in artificial life*. 4648. Berlin, Heidelberg: Advances in Artificial Life. ECAL 2007. Lecture Notes in Computer Science, Springer.
- Simin, T. M., & Janković, D. (2014). Applicability of diffusion of Innovation theory in organic agriculture. *Economics of Agriculture*, 61(2), 517-529.

- Simon, H. A. (1991). *Models of My Life*. (T. A. series, Éd.) New York, US: Basic Books.
- Singhal, A., & Rogers, E. M. (2004). The Status of Entertainment-Education Worldwide. Dans A. Singhal, M. J. Cody, E. M. Rogers, & M. Sabido, *Entertainment-Education and Social Change: History, Research, and Practice* (pp. 3-20). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Steyer, A., & Zimmermann, J.-B. (2004, hiver). Influence sociale et diffusion de l'innovation (Social influence and Diffusion of innovation). *Mathématiques et sciences humaines, Social networks Hiver 2004*(168), 43-57.
- Streichert, F. (2002). Introduction to evolutionary algorithms. *Frankfurt MathFinance Workshop, April 2-4*. Frankfurt, Germany.
- Strogatz, S. H. (2001). Exploring complex networks. *Nature*, 410, 268-276 .
- Sultan, F., Farley, J. U., & Lehmann, D. R. (1990). A meta-analysis of applications of diffusion models. *Journal of Marketing Research*, 27, February,, 27(1), 70-76.
- Sun, J., & Tang, J. (2011). A SURVEY OF MODELS AND ALGORITHMS FOR SOCIAL INFLUENCE ANALYSIS. Dans C. C. Aggarwal, *Social Network Data Analytics* (pp. 177-2014). Hawthorne, New York : Springer .
- Suppes, P. (1962). Models of data. Dans E. Nagel, P. Suppes, & A. Tarski (Éd.), *Logic, Methodology, and Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress* (pp. 252-261). Palo Alto, CA: Stanford University Press.
- Tanye, H. A. (2016). Perceived Attributes of Innovation: Perceived Security as an Additional Attribute to Roger's Diffusion of Innovation Theory. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, 3(6), 6-18.
- Tarde, G. (1903). *The laws of imitation*. (E. C. Parsons, Trad.) New York : H. Holt and Company.
- Tidd, J. (2006). *Innovation Models Paper 1 a Review of Innovation Models a Review of Innovation Models a Review of Innovation Models*. Tanaka Business School: Imperial College London.
- Tornatzky, L. G., & Klein, K. J. (1982). Innovation Characteristics and Innovation Adoption-Implementation A Meta-Analysis of Findings. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 29(1), 28-43.
- Tsoularis, A. (2001). Analysis of Logistic Growth Models. *Research Letters in the Information and Mathematical Sciences*, 23-46, 23-46.

- Valente, T. W. (1993). Diffusion of Innovations and Policy Decision-Making. *Journal of Communication*, 43(1), 30-45.
- Valente, T. W. (1996). Social network thresholds in the diffusion of innovations. *Social Networks*, 18, 69-89.
- Valente, T. W. (2002). *Evaluating health promotion programs*. (N. O. New York, Éd.)
- Valente, T. W. (2005). Network models and methods for studying the diffusion of innovations. Dans P. J. Carrington, J. Scott, & S. Wasserman, *Models and Methods in Social Network Analysis (structural analysis in the social sciences)* (pp. 98-116). New York: Cambridge University Press.
- Valente, T. W. (2007). Identifying Opinion Leaders to Promote Behavior Change. *Health Education & Behavior*, 34(6), 881-896.
- Valente, T. W. (2010). *Social networks and health*. Oxford University Press.
- Valente, T. W., & Davis, R. L. (1999). Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 566(1), 55 – 67.
- Valente, T. W., & Foreman, R. K. (1998). Integration and radiality: Measuring the extent of an individual's connectedness and reachability in a network. *Social Networks*, 20(1), 89-105.
- Valente, T. W., & Rogers, E. M. (1995). The origins and development of the diffusion of innovations paradigm as an example of scientific growth. *Science Communication*, 16(3), 242 - 273.
- Valente, T. W., & Saba, W. P. (1998). Mass-Media-Generated Interpersonal Communication as Sources of Information About Family Planning. *Communication Research*, 25(1), 96-124.
- Van den Bulte, C. (2010). Bass model. (J. N. Malhotra, Éd.) *Wiley International Encyclopedia of Marketing*.
- Van den Bulte, C., & Joshi, Y. V. (2007). New Product Diffusion with Influentials and Imitators. *Marketing Science*, 26(3), 285-448.
- Van den Bulte, C., & Lilien, G. L. (2001). Medical innovation revisited: social contagion versus marketing effort. *American Journal of Sociology*, 106(5), 1409-1435.
- Van den Bulte, C., & Lilien, G. L. (2001). Two-Stage Partial Observability Models of Innovation Adoption. *ISBM Report 15-*.

- Venkatesan, R., & Kumar, V. (2002). A genetic algorithms approach to growth phase forecasting of wireless subscribers. *International Journal of Forecasting*, 18(4), 625-646.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- Verhulst, P. F. (1845). Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population. 18, 1-42.
- Wang, F.-K., Chang, K.-K., & Hsiao, Y.-Y. (2013). Implementing a diffusion model optimized by a hybrid evolutionary algorithm to forecast notebook shipments. *Applied Soft Computing*, 13(2), 1147-1151.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Structural analysis in the social sciences. Social network analysis: Methods and applications*. New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Watts, D. J. (1999). Networks, Dynamics, and the Small-World Phenomenon. *American Journal of Sociology*, 105(2), 493-527.
- Watts, D. J., & Dodds, P. S. (2007). Influentials, networks, and public opinion formation. *Journal of Consumer Research*, 34, 441-458.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393, 440-442.
- Westrick, S. C., & Mount, J. K. (2009). Impact of perceived innovation characteristics on adoption of pharmacy-based in-house immunization services. *International Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 17(1), 39-46.
- Wilde, S. (2013). *Viral marketing within social networking sites: the creation of an effective viral marketing campaign*. (D. Verlag, Éd.) Hamburg, Germany: Bod Third Party Titles.
- Wolfe, D. A., & Gertler, M. S. (2002). Innovation and Social Learning: an Introduction. Dans M. S. Gertler, & D. A. Wolfe, *Innovation and Social Learning: Institutional Adaptation in an Era of Technological Change* (pp. 1-24). New York: Palgrave Macmillan .
- Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature*, 311(5985), 419-424.
- Wong, K.-C. (2016). Evolutionary algorithms: concepts, designs, and applications in bioinformatics. Evolutionary algorithms for bioinformatics. Dans Information Resources Management Association, *Nature-Inspired Computing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (Vol. 2, pp. 111-137). Hershey PA, USA: IGI

Global.

- Wright, M., & Charlett, D. (1995). New Product Diffusion Models in Marketing: An Assessment of Two Approaches. *Marketing Bulletin*, 6(4), 32-41.
- Wright, M., Upritchard, C., & Lewis, T. (1997). A Validation of the Bass New Product Diffusion Model in New Zealand. *Marketing Bulletin*, 8(2), 15-29.
- Wu, C.-H., & Chen, T.-C. (2012). Understanding e-learning system usage behavior: an evolutionary psychology perspective. *Procedia - social and behavioral sciences*, 64, 362 – 371.
- Wu, J., Hu, B., & Zhang, Y. (2013). Maximizing the performance of advertisements diffusion: a simulation study of the dynamics of viral advertising in social networks. *Simulation*, 89(8), 921-934.
- Xia, L.-L., Jiang, G.-P., Song, B., & Song, Y.-R. (2015). Rumor spreading model considering hesitating mechanism in complex social networks. *Physica A*, 437 (1), 295-303.
- Yavaş, M., & Yücel, G. (2014). Impact of homophily on diffusion dynamics over social networks . *Social Science Computer Review*, 32(3), 354 - 372.
- Young, H. P. (1999). *Diffusion in social networks*. In: *Working Paper (2)*. Department of Economics, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218: Brookings Institution.
- Young, H. P. (2002). The Diffusion of Innovations in Social Networks. *SFI Working Paper*.
- Young, H. P. (2005). The spread of innovations through social learning. *CSED Working Paper*(43).
- Young, H. P. (2006 (a)). Innovation Diffusion in Heterogeneous Populations. *CSED Working Paper*(45).
- Young, H. P. (2006 (b)). The Diffusion of Innovations in Social Networks. Dans L. E. Blume, & S. N. Durlauf, *The Economy as an Evolving Complex System, III: Current Perspectives and Future Directions* (éd. Santa Fe Institute studies in the sciences of complexity, Vol. Economy as an evolving complex system / Santa Fe Institute, 3., pp. 267-282). New York, NY: Oxford University Press.
- Zhang, X., Yu, P., Yan, J., & Spil, T. A. (2015). Using diffusion of innovation theory to understand the factors impacting patient acceptance and use of consumer e-health innovations: a case study in a primary care clinic. *BMC Health Services Researc*, 15, 71.

Résumé

L'étude de la diffusion de l'innovation offre un aperçu rigoureux pour prédire son adoption par une communauté particulière. Pour modéliser et analyser ce phénomène social, la théorie de la diffusion de l'innovation a été utilisée comme un cadre général. Malgré le fait que plusieurs études ont été menées sur ce phénomène social et la richesse de la littérature, très peu d'attention a été accordée à la modélisation de la nature de l'innovation et aux caractéristiques des individus qui génèrent des différents comportements à l'égard de cette innovation. Les algorithmes évolutifs ont été choisis pour simuler l'évolution de la décision d'adoption, en tant que processus d'acceptation graduelle affecté par l'exposition aux voisins qui sont déjà adoptants ou l'innovation elle-même. Cette thèse propose deux modèles originaux qui reposent sur la théorie de la diffusion de l'innovation. Dans ce sens, nous faisons appel à deux types d'expérimentation. Une simulation à trois formes de structure sociale : réseau en torus, anneau et aléatoire, dans un premiers temps, suivi par l'utilisation des données de la plateforme Facebook comme un deuxième type. En effet, le travail se concentre sur la relation entre le comportement au micro-niveau et les modèles de diffusion à macro-niveau. À savoir, différents scénarios de simulation ont été réalisés à l'aide d'une base probabiliste qui a démontré l'influence de chaque notion représentée. Les résultats, par conséquent, prouvent un modèle de diffusion explicite et la capacité de déterminer les premiers adoptants sans avoir besoin de données historiques.

ملخص

إنَّ ما تقدَّمه دراسة انتشار الابتكارات يُعدُّ نظرة استشرافية رائدة لمسألة تقبُّل الإبداعات في مجتمع معيَّن، ذلك أنَّ نظرية نشر الابتكار، بوصفها الإطار العام، تعدَّت توضيحَ هذه الظاهرة الاجتماعية وتحليلها، فعلى الرِّغم من أنَّ العديد من الدراسات أجريت حول نشر الابتكار وثوراء الأدب، غير أنَّها لم تُولِ الكثير من الاهتمام لِمَذجة طبيعة الابتكار وخصائص الأفراد، التي من شأنها توليد سلوكيات مختلفة تُجاه هذا الابتكار. ولاستدراك هذا النقص، تقترح الأطروحة الحالية نموذجين أصليين، اعتماداً على نظرية نشر الابتكار، إذ اختيرت الخوارزمية التطورية، حيث تُعالج هذه الخوارزمية تطوُّر قرار التَّبني، بوصفه عملية تغيُّر السلوك تدريجياً، متأثرة بالتعرُّض لقرار الأشخاص المحيطين أو للابتكار نفسه، وقد عرضنا نوعين من التجارب: المحاكاة، وذلك باللجوء إلى ثلاثة أنواع من البنية الاجتماعية: شعريَّة، حلقة، وشبكة عشوائية، كنوعٍ أوَّل. وأمَّا النوع الثاني، فهو استخدام البيانات من منصَّة "الفيسبوك". هذا، وإنَّ العمل، ههنا، يركِّز على العلاقة ما بين السلوك على المستوى الجزئي، وأنماط الانتشار على المستوى الكلي، وعليه، فقد أجريت سيناريوهات محاكاة مختلفة باستخدام أساس احتمالي، ممَّا يدلُّ على تأثير كلِّ فكرة مُمثَّلة؛ وبالتالي، فإنَّ النموذج يثبت نمط انتشار واضح وقدرةً على تحديد الأوائل دون الحاجة إلى البيانات التاريخية.

Abstract

The study of the innovation diffusion offers an insight to predict its adoption by a particular community. The diffusion of innovation theory was introduced as a general framework to expound and analyze this social phenomenon. Despite the fact that several studies have been conducted about the innovation diffusion and the richness of literature, little attention has been given to modeling innovation nature and individuals' characteristics that generate different behaviors toward this innovation. The evolutionary algorithm was chosen to deepen the evolution of the adoption decision, as a gradual process affected by exposure to the adoption of neighbors or to innovation itself. The current thesis proposes two original models to account this limitation, which are sustained with the theory of innovation diffusion; two types of experimentations were carried out. To better describe the impact of information exchange, a simulation with three forms of social structure lattice, ring and random network, as a first type was performed. The use of data from Facebook platform was the second type. Indeed, the research focused on the relationship between the micro-level behavior and the macro-level diffusion patterns. Namely, different simulation scenarios were conducted using a probabilistic foundation, which demonstrated the influence of every represented notion. The model, therefore, proves an explicit diffusion pattern and the ability to determine the early adopters without the need of historical data.