



**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM**

**Faculté des Sciences Exactes & Informatique
Département d'Informatique**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique
Option : Ingénierie des Systèmes d'Information**

Intitulé du sujet

**MODELISATION DES PROCESSUS DE DIFFUSIONS PAR
RESEAU COMPLEXE**

Présenté par :

Noms et prénoms des étudiants :

- ❖ *M^{elle}* BEKADDOUR BENATIA Khadidja
- ❖ *M^{elle}* TEDLAOUTI Noria

Encadré par:

Nom et prénom de l'encadreur :

- ❖ *M^{elle}* YOUNSI Fatima

Année Universitaire 2011/ 2012

Remerciement

Nous remercions Dieu pour la science et la patience qu'ils nous donnent pour terminer ce travail,

En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Tout d'abord, nous tenons à remercier sincèrement à notre encadreur madame Younsi .

Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience

Enfin, Nos remerciements vont également à tous qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

Résumé

La théorie des réseaux s'intéresse aux graphes présents dans le monde réel, plus précisément les systèmes réels qui peuvent être représentés sous forme de graphes. La propagation des épidémies, des rumeurs, des virus informatiques, ou la diffusion d'une information (que ce soit sur un réseau informatique ou un réseau social) sont des exemples types de phénomènes de diffusion. De par leur importance, ces phénomènes sont au cœur d'une intense activité de recherche.

La théorie des graphes paraît insuffisante pour modéliser toutes les interactions complexes qui ont lieu dans un réseau social, dans notre travail, nous proposons l'utilisation d'une théorie plus générale, la théorie de la prétopologie.

Dans ce mémoire, nous utilisons les réseaux complexes pour tenir compte des interactions permettant la transmission de maladies infectieuses entre les individus, de tels réseaux permettent de prédire l'issue d'une épidémie et donc d'aider à tester et à améliorer les politiques de santé publique. Pour valider le modèle de diffusion dans le réseau complexe, nous avons développé un prototype et nous l'avons appliqué à un problème de propagation des épidémies. Les résultats obtenus sont satisfaisants.

Table des matières

	Pages
Introduction Général.....	09

CHAPITRE I: DIFFUSION SUR RESEAU COMPLEXE

1. Introduction.....	12
2. Les réseaux complexes.....	12
2.1. Définition d'un réseau complexe.....	12
2.2. Les différentes catégories des réseaux complexes.....	12
2.2.1. Les réseaux sociaux.....	12
2.2.2. Réseau d'informations.....	13
2.2.3. Réseau technologique.....	14
2.2.4. Réseau biologique.....	14
3. Modélisation de la dynamique des réseaux complexes.....	15
3.1. Modèles de diffusion dans les réseaux complexes.....	18
3.2. Modèles de diffusion dans les réseaux sociaux.....	18
4. Conclusion.....	20

CHAPITRE II : LA THÉORIE DES GRAPHS ET LA PRÉTOPOLOGIE

Introduction	22
PARTIE I: LA THÉORIE DES GRAPHS	22
I.1. Quelques définitions.....	22
I.2. Les concepts non orientés.....	24
I.3. Les concepts orientés.....	24
I.4. La topologie.....	24
I.5. La relation entre un réseau complexe et la théorie des graphes.....	25
PARTIE II : LA PRÉTOPOLOGI..	26
II.1. Définition.....	26
II.2. Concepts prétopologique.....	27

II.2.1. Espace prétopologique.....	27
II.2.1.1. Adhérence.....	27
II.2.1.2. Intérieur.....	28
II.2.2. Fermés et Ouverts, fermeture et ouverture.....	29
II.2.3. Fermés élémentaires et fermés minimaux.....	29
II.2.4. Un espace prétopologique de type V	30
II.2.5. Un espace prétopologique de type V_d	30
II.2.6. Un espace prétopologique de type V_s	30
II.1.7. Le préfiltre et la base de voisinage.....	30
II.3. Définition d'un réseau en prétopologie.....	31
Conclusion.....	32

CHAPITRE III : COMCEPTION ET IMPLEMENTATION

1. Introduction.....	34
2. Environnement de développement.....	34
2.1. Configuration logicielle.....	34
2.2. Le choix du langage.....	34
2.2.1. Les principales raisons du succès de Java.....	35
2.2.2. Les avantages de JAVA.....	35
3. Etude de cas	36
3.1. Domaine d'application.....	36
3.2. Le principe de la propagation d'une épidémie.....	37
3.3. La description du modèle proposé.....	37
3.4. Les Hypothèses.....	38
3.5. Description de la base de données.....	39
3.6. Organigramme de l'application	42
3.7. Traitements et Résultats.....	43
4. Conclusion	51

Conclusion Générale.....	53
Bibliographie	

Liste des figures

Fig.01 : Exemple d'un réseau social.....	13
Fig.02 : Exemple d'un réseau d'informations.....	14
Fig.03 : Exemple d'un réseau biologie (Graphe non orienté, Nœud = protéine, Arête = interaction physique).....	15
Fig.04 : Modèle Erdős et Rényi des graphes aléatoires.....	16
Fig.05 : Modèle Watts et Strogatz des graphes petit-monde.....	17
Fig.06 : Modèle de Barabási et Albert de graphes à invariant d'échelle.....	17
Fig.07 : Exemple d' hypergraphes.....	18
Fig.08 : Modèle SIR (Sain/Infected/Removed).....	20
Fig.09 : Exemple d'un graphe.....	23
Fig.10 : Exemple d'un chemin.....	24
Fig.11 : Exemple d'un petit réseau social avec une relation d'amitié.....	27
Fig.12 : Adhérence de A.....	28
Fig.13 : Intérieur de B.....	28
Fig.14 : Illustration d'adhérences successives menant au fermé.....	29
Fig.15 : Opérations représentant la dynamique d'un réseau.....	31
Fig.16 : Présentation de la fenêtre JBuilder.....	34
Fig.17 : Représentation du modèle SIR proposé.....	38
Fig.18 : Représentation de l'organigramme de l'application.....	42
Fig.19 : Interface principale.....	43
Fig.20a : Affichage la liste des individus.....	44
Fig.20b : Affichage la liste des voisinages.....	44
Fig.21 : Matrice d'adjacence.....	45
Fig.22 : Affichage du réseau.....	46
Fig.23 : Liste des individus infectés entré.....	46
Fig.24 : Propagation d'épidémie.....	47
Fig.25 : Journal d'événement.....	47
Fig.26 : Rapport de guérison.....	48
Fig.27 : les individus guéris.....	49
Fig.28 : Listes des statistiques.....	49
Fig.29 : Représentation des histogrammes.....	50

Liste des tableaux

Table 1: Tableau de voisinages.....	41
--	----

Introduction générale

La « science des réseaux » est une discipline scientifique émergente qui se développe parallèlement à partir de disciplines scientifiques très diverses. Pour représenter les réseaux, la théorie des graphes paraît l'outil adéquat. C'est principalement cet outil qui a été utilisé dans les différentes études qui ont porté sur la modélisation de réseaux complexes.

La théorie des réseaux s'intéresse aux graphes présents dans le monde réel, c'est-à-dire aux systèmes réels qui peuvent être représentés sous forme de grands graphes. En raison de sa simplicité et de sa traduction graphique intuitive, la représentation sous forme de graphe est devenue extrêmement utilisée dans des domaines d'application très variés. Les réseaux sont des structures mathématiques abstraites qui sont utilisées pour modéliser une grande variété de systèmes complexes.

Cependant, les graphes constituent une méthode de pensée qui permet de modéliser une grande variété de problèmes en se ramenant à l'étude de sommets et d'arcs, c'est-à-dire des nœuds reliés par des liens. En fonction des domaines modélisés, les nœuds et les liens peuvent représenter des individus et des relations sociales, des ordinateurs et des câbles, des molécules et des réactions chimiques, des pages Web et des hyperliens, etc. En plus de son existence purement mathématique, le graphe est aussi une structure de données puissante pour l'informatique.

Entre les graphes aléatoires et réguliers, où les nœuds sont équipés de propriétés spécifiques ou non, il existe une panoplie de réseaux de structure intermédiaire: les réseaux dits **complexes**. Ces derniers peuvent être définis comme des graphes de terrain où de nombreux individus sont en interaction. Les réseaux sont des structures évolutives et des systèmes dynamiques, les travaux actuels restent limités pour représenter toutes les propriétés d'un tel système, dit complexe, dans lequel la dynamique joue un rôle prépondérant [LEV 10].

Les réseaux complexes permettent de mieux comprendre des phénomènes de propagation sur des réseaux hétérogènes. Plusieurs domaines (forestiers, reconnaissance des formes, contrôle aérien, etc) font l'objet des projets de recherche. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéressons à la problématique de la diffusion d'une épidémie dans un réseau complexe.

L'étude des conditions de percolation des réseaux complexes représentant des réseaux de contacts réels permet de connaître les risques qu'une épidémie survienne. Ceci ouvre la porte à la possibilité de tester diverses stratégies de prévention ou d'intervention avant

même qu'une quelconque épidémie ne soit déclarée et ainsi de permettre aux populations et aux intervenants de la santé de se préparer en conséquence.

Ce mémoire est structuré de la manière suivante :

Chapitre 1: Réseau complexe : nous présentons dans cette partie quelques concepts de base sur les réseaux complexes et ses différentes catégories puis nous présentons un panorama sur la modélisation de la dynamique des réseaux complexes.

Chapitre 2: Théorie des graphes et la prétopologie : dans ce chapitre, on énonce des rappels sur la théorie des graphes suivi par une présentation du concept prétopologique et description de ses notions mathématiques qui nous intéressent dans le cadre de ce mémoire.

Chapitre 3: Conception et implémentation : nous développons dans ce chapitre un modèle réaliste pour la diffusion d'une maladie dans un réseau social complexe.

Et nous terminerons ce mémoire par une conclusion et quelques perspectives.

CHAPITRE I :

DIFFUSION SUR RESEAU COMPLEXE

1. Introduction

Les réseaux sont des structures mathématiques abstraites qui sont utilisées pour modéliser une grande variété de systèmes complexes. L'étude des réseaux complexes est aujourd'hui un sujet de tout premier ordre dans de nombreuses disciplines.

Dans ce chapitre nous explorons les différentes définitions associées aux réseaux complexes, nous montrons à travers des exemples l'aspect pluridisciplinaire de ce concept et nous présentons les principales propriétés de ces réseaux et leurs modélisations.

2. Les réseaux complexes

2.1. Définition d'un réseau complexe

Un **réseau complexe** est un grand graphe ayant une structure irrégulière, complexe et évoluant de façon dynamique dans le temps.

Dans [LEV 08a], Levorato a défini le réseau complexe comme : « *C'est un réseau d'interactions entre entités dont le comportement global n'est pas déductible des comportements individuels desdites entités, d'où l'émergence de nouvelles propriétés* »

Les réseaux complexes sont présents dans de nombreux domaines aussi divers les uns que les autres : biologie, sociologie, psychologie, informatique, Ils recouvrent ainsi des réseaux aussi divers que le réseau Internet, les réseaux d'humains, ou encore les réseaux de protéines. Aussi, nombreuses ont été les études les concernant. Ces réseaux peuvent être regroupés en quatre catégories [NEW 03] : Les réseaux sociaux, Les réseaux d'informations, Les réseaux technologiques, Les réseaux biologiques.

Dans ce qui suit, nous définissons ces différentes catégories :

2.2. Les différentes catégories des réseaux complexes

2.2.1. Les réseaux sociaux

Plusieurs définitions existent dans la littérature, nous présentons quelques unes :

Définition1: « *Un réseau social est un ensemble de personnes ou de groupes de personnes possédant des schémas de contacts ou d'interactions entre eux* » [ALA 94].

C'est à partir de ce type de réseaux que la modélisation du monde réel a été introduite de façon empirique grâce à l'expérience de Milgram. La plupart des études concernant ces

réseaux souffrent de problèmes d'imprécisions, de subjectivité, et d'échantillons de petite taille [NEW 06].

Définition2: « Un réseau social est généralement défini comme un ensemble de relations d'un type spécifique (par exemple : de collaboration, de soutien, de conseil, de contrôle ou d'influence) entre un ensemble d'acteurs » [CHA 11].

Les acteurs peuvent être des individus ou des entités sociales comme des associations, des entreprises, des gouvernements, etc. Les acteurs représentent ainsi les nœuds du réseau et les relations sont représentées par des liens. On peut citer à titre d'exemple, les réseaux de connaissance où deux individus sont reliés s'ils se connaissent, les réseaux de contact physique permettent de relier deux individus s'ils ont été physiquement en contact, les réseaux de collaboration qui permettent de relier des individus qui ont travaillé ensemble [CHA 11].

Parmi les réseaux sociaux les plus populaires actuellement : Facebook, Twitter et LinkedIn. La figure (Fig.1) schématise un exemple de réseau social.

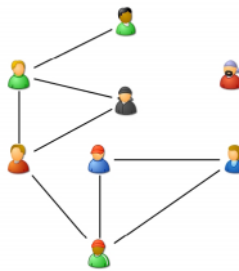


Fig.01: Exemple d'un réseau social

2.2.2. Réseau d'informations

Aussi appelés réseaux de connaissances, forment une seconde catégorie de réseaux complexes. Cette catégorie de réseaux permet de représenter des liens abstraits de référencement entre des supports d'information.

Parmi eux, un exemple classique est celui de citation d'articles scientifiques. C'est un réseau orienté dans lequel les nœuds du réseau sont les articles.

On crée un lien de l'article qui cite vers l'article cité. Les réseaux de citation constituent un bon sujet d'étude en raison de la précision et de l'abondance des données.

Un exemple tout aussi important de réseau d'information est le **World Wide Web**. Les sommets sont les pages Web et les liens représentent des liens hypertextes. On établit un

lien entre la page d'origine et la page référencée. La figure (Fig.2) représente un exemple du réseau d'information.

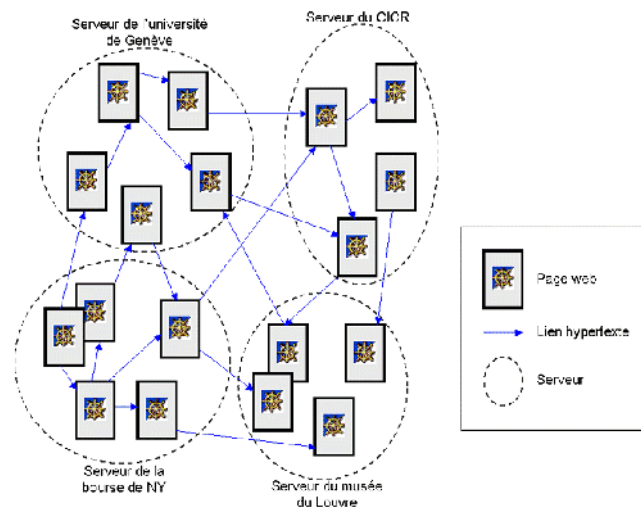


Fig. 02: Exemple d'un réseau d'informations

2.2.3. Réseau technologique

Les réseaux technologiques ou réseaux d'infrastructure, qui sont des réseaux créés par L' homme, représentent des connexions matérielles entre objets distribués dans un espace géographique. Ils désignent typiquement la distribution de ressources. Dans cette catégorie, citons les réseaux de distribution électrique où les liens représentent les câbles entre les lieux de production et de consommation, les réseaux de transport avec les liaisons aériennes ou les voies terrestres. Internet est dans cette catégorie l' un des réseaux les plus étudiés principalement pour sa dynamique.

Dans ce réseau, les nœuds représentent des routeurs et les liens des liaisons physiques entre routeurs. Une analyse de ce type de réseau peut par exemple aider à identifier les points de rupture. Ceci permet de mettre en place une stratégie de protection en proposant des chemins alternatifs pour véhiculer les ressources en cas de défaillance d' un nœud.

2.2.4. Réseau biologique

Les réseaux biologiques permettent de représenter les nombreuses relations intervenant dans le monde du vivant. Ainsi le métabolisme d' une cellule est un système complexe qui met en jeu un ensemble de réactions métaboliques.

Ces réactions, qui sont généralement catalysées par des enzymes et transforment des métabolites substrats en métabolites produits, sont représentées par un réseau. Les nœuds du réseau sont les substrats et les produits. Un lien orienté du substrat vers le

produit est créé s'il existe une réaction métabolique qui agit sur un substrat pour donner un produit. Cette modélisation permet de réaliser des requêtes complexes comme, par exemple, le calcul (et la prédiction) de tous les métabolites pouvant être générés à partir d'un ensemble de composés sources [CHA 11]. Ces approches permettent également d'identifier des réactions pouvant être considérées comme des cibles thérapeutiques potentielles. Par ailleurs elles sont susceptibles d'apporter des éléments de réponse quant à la perturbation des systèmes biologiques (cellule, tissu, organisme) par des faibles doses et/ou des mélanges de contaminants alimentaires. On peut aussi citer les réseaux de protéines, les réseaux de gènes ainsi que les réseaux de la chaîne alimentaire avec les relations proie-prédateurs entre espèces d'un écosystème, qui sont également très étudiés.

Un exemple de réseau biologique peut être un réseau d'interactions entre protéines comme le montre la figure (Fig.03)

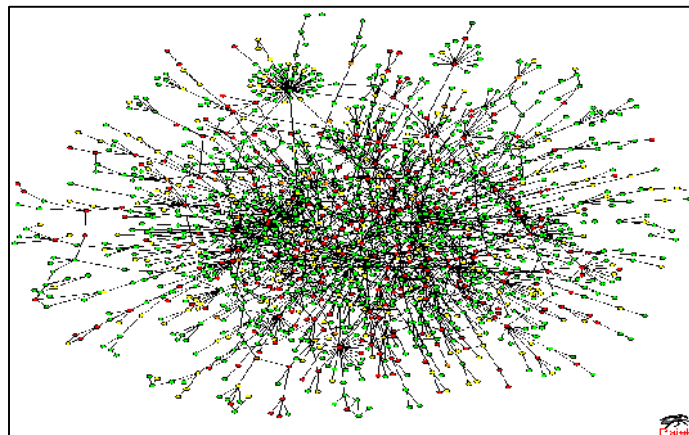


Fig. 03: Exemple d'un réseau biologique (Graphe non orienté, Nœud = protéine, Arête = interaction physique)

3. Modélisation de la dynamique des réseaux complexes

L'étude de la dynamique des réseaux complexes est un sujet souvent étudié, et particulièrement dans le domaine des sciences sociales. De nos jours, de grandes quantités de données peuvent être récupérées de communautés (blog, Messenger, etc.) pour être analysées, alors que la plupart des sociologues utilisent de petits échantillons de données [LÀS 06]. De plus, seule la théorie des graphes est employée pour l'analyse et la visualisation des réseaux complexes, ce qui, la plupart du temps, ne permet pas une étude fine des propriétés intrinsèques du réseau et de sa dynamique.

Les modèles peuvent être classés en trois classes classiques, plus une quatrième un peu différente des autres selon [LEV 08b]:

a. Les graphes aléatoires

Les premières modélisations de réseaux se basent sur les graphes aléatoires. En 1959, Erdős et Rényi publient un article dans lequel ils introduisent ce concept : les nœuds d'un tel graphe sont connectés de manière probabiliste uniforme. La figure (fig.04) illustre un exemple du modèle étudié. L'inconvénient majeur étant la distribution homogène du degré de ses nœuds qui n'est pas la distribution hétérogène observée dans les réseaux du réel.

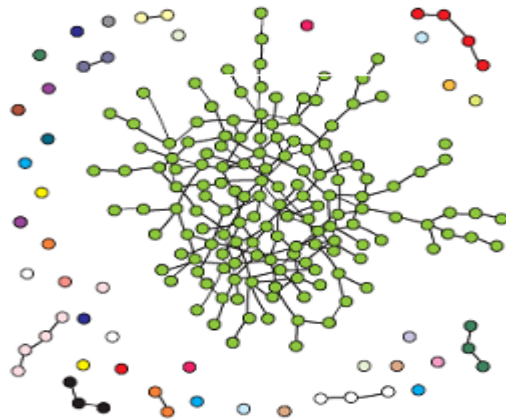


Fig. 04: Modèle Erdős et Rényi des graphes aléatoires

b. Les graphes petit-monde

Dans un graphe, l'effet petit monde de Watts et Strogatz [WAT 98], signifie que la plupart des nœuds sont connectés par un plus court chemin à travers le réseau, et qu'il y a un effet de grappe (clustering) signifiant qu'il y a une grande probabilité pour que deux nœuds soient connectés directement à un autre s'ils ont un nœud voisin en commun.

Jon Kleinberg propose un autre type de petit monde [KLE 01] où les nœuds sont connectés selon une topologie en grille, et un faible nombre de raccourcis longues distances sont ajoutés de manière aléatoire entre certains nœuds (fig.05). Ces deux modélisations, intéressantes dans le cas des réseaux informatiques, le deviennent moins dans le cas des autres réseaux du réel.

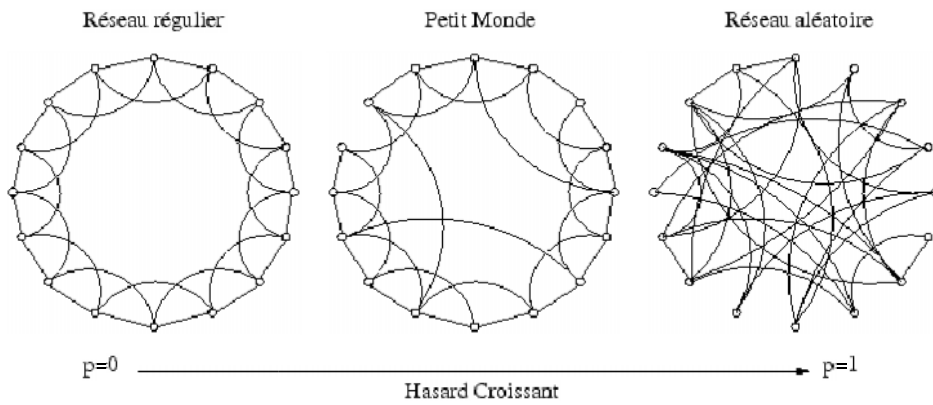


Fig. 05: Modèle Watts et Strogatz des graphes petit-monde

c. Les graphes à invariant d'échelle

Barabási et Albert ont introduit ce terme en 1999. Barabási a offert un mécanisme de génération simple appelé attachement préférentiel qui crée un réseau où un nouveau nœud aura une probabilité plus grande de se connecter à un nœud existant possédant un fort degré qu'un nœud ayant un faible degré. L'idée est intéressante mais le graphe en résultant est un arbre, une structure hélas non réaliste pour les réseaux du réel. La figure (fig.06) présente le modèle de Barabási et Albert.

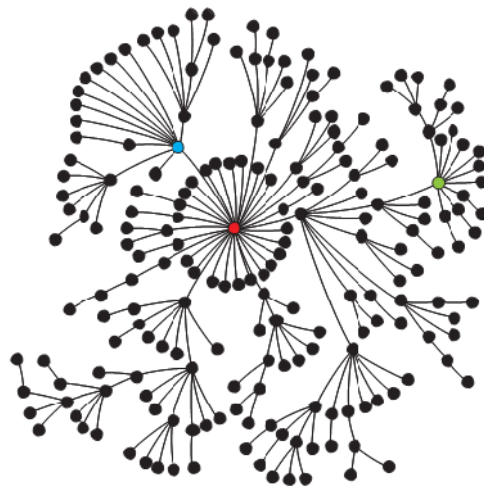


Fig. 06: Modèle de Barabási et Albert de graphes à invariant d'échelle

d. Les hypergraphes

Les hypergraphes sont un meilleur outil que la théorie des graphes classique pour modéliser les réseaux complexes. Cependant, ils sont un cas particulier de la prétopologie défini par un certain espace privilégié [BEL 93]. Un exemple du modèle est présenté par la figure (fig.07)

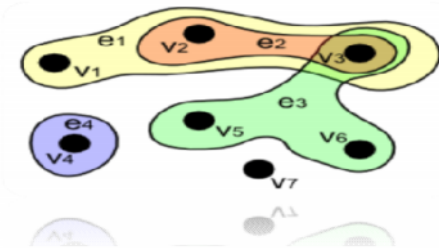


Fig. 07: Exemple d'hypergraphes

3.1. Modèles de diffusion dans les réseaux complexes

Pour simuler le processus de diffusion dans les réseaux complexes, les modèles de Cascades Indépendantes (IC) à Seuil Linéaire (LT) (Independent Cascades Linear Threshold) [NEW 03] sont généralement utilisés. Ces modèles se basent sur des graphes orientés et requièrent plus ou moins de paramètres.

Dans le cas d'IC, les probabilités de diffusion doivent être déterminées pour chaque arc tandis que LT requiert la définition d'un degré d'influence pour chaque arc et un seuil d'influence pour chaque nœud. Avec IC, un utilisateur transmet une information à un voisin avec la probabilité définie sur cet arc alors qu'avec LT, un utilisateur reçoit une information si la somme des influences de ses voisins informés est supérieure à son seuil. L'inconvénient de ces modèles est qu'ils ont la particularité de se concentrer sur les aspects topologiques et de survoler l'aspect temporel. Plus précisément, ils utilisent un axe temporel discret et entraînent des changements d'état synchrones dans le réseau. Pour cette raison, Saito et al. [SAI 10] ont proposé des extensions asynchrones des modèles IC et LT, respectivement AsIC et AsLT, qui requièrent la définition d'un paramètre temporel sur chaque arc du graphe.

3.2. Modèles de diffusion dans les réseaux sociaux

Les études sur la diffusion sont assez nombreuses, car les phénomènes de diffusion sont abordés dans plusieurs disciplines : en informatique (virus informatique, diffusion d'information dans un réseau social), en biologie (épidémie), en physique, etc.

Dans ce qui suit, nous présentons quelques modèles de diffusion dans les réseaux sociaux :

a. Diffusion de l'information dans un réseau social

L'utilisation importante des réseaux sociaux dans notre société est un fait avéré.

La communication entre personnes existait bien avant Internet et la création d'outils a permis une plus grande facilité à communiquer et surtout un champ d'action plus large. On peut échanger assez facilement avec une autre personne dans le monde malgré la distance ou les frontières. Nous nous intéresserons ici à la manière dont se diffuse l'information au sein de ces réseaux et plus particulièrement à la façon dont les utilisateurs agissent pour diffuser cette information. Ce domaine de recherche étant très proche de la diffusion d'innovations dans le marketing et de la diffusion de virus au sein d'une population, L'étude des réseaux sociaux commence par l'étude de leurs caractéristiques. Le nombre d'utilisateurs, la densité moyenne du réseau, la centralité d'un utilisateur, etc constituent un premier jeu d'indicateurs permettant de comprendre les interactions entre personnes [MAZ 06]. On peut essayer de catégoriser les comportements de chacun afin de mieux comprendre les actions des utilisateurs [GOL 04]. Une autre caractéristique capitale, qui joue un rôle primordial dans la diffusion de l'information, est bien sûr la topologie du réseau. Les utilisateurs étant liés entre eux, la densité plus ou moins grande de ces liens rend certains utilisateurs plus influents que d'autres.

b. Diffusion de l'épidémie dans un réseau social

La propagation de virus a été étudiée pendant des siècles et la diffusion de l'innovation est l'un des motifs originaux pour l'étude des réseaux. Par conséquent, il y a beaucoup de littérature sur ces deux domaines, et ce travail constitue une base importante.

Plusieurs travaux sur la propagation du virus sont intéressés à la dynamique du processus et se concentrent sur la répartition de la population de nœuds en plusieurs classes. Les deux modèles les plus courants sont SIR (Susceptible/Infecté/Récupéré) et SIS (Susceptible/Infecté), où les nœuds dans la classe S sont "susceptible" d'attraper la maladie avec une probabilité β . «Infecté» les nœuds sont dans la classe I et ont une probabilité γ pour récupérer, la figure (Fig.08) montre le modèle SIR.

Dans le cas du SIS, les nœuds qui deviennent sensibles récupérer à nouveau tandis que dans le cas de la SIR, les nœuds rester en classe R, c'est à dire "récupéré". Le pourcentage de nœuds dans chaque classe est donné par de simples équations différentielles. Les deux modèles sont entièrement mixtes, ce qui signifie que chaque nœud a la même probabilité d'être connecté à un autre et donc les connexions à l'intérieur de la population sont fait au

hasard. Mais la topologie des relations entre les nœuds est très importante dans les réseaux sociaux et donc les hypothèses formulées par ces modèles ne sont pas réalistes. [GUI 12]



Fig. 08: Modèle SIR (Sain/Infected/Removed)

4. Conclusion

Nous avons essayé dans ce premier chapitre de donner une présentation générale du réseau complexe, ses principales catégories ainsi que les modèles les plus utilisées.

Dans le chapitre suivant, nous avons présenté avec plus de détails les méthodes à base de théorie des graphes et la prétopologie qui sont des méthodes mathématiques utilisées lors du processus de diffusion.

CHAPITRE II :

LA THEORIE DES GRAPHS ET LA PRETOPOLOGIE

Introduction

Actuellement, la modélisation des réseaux complexes est utilisée dans de nombreux domaines scientifiques, et se base principalement sur la théorie des graphes.

De notre point de vue, la théorie des graphes paraît insuffisante pour modéliser toutes les interactions complexes qui ont lieu dans un réseau social : nous proposons l'utilisation d'une théorie plus générale, la théorie de la prétopologie [BEL 93].

La prétopologie est à la pointe de solutions cohérentes pour résoudre de multiples problèmes : modélisation de phénomènes complexes (diffusion de pollution aérienne urbaine, phénomènes de congestion, dynamique de propagation); classification de données, analyse d'images (images binaires et images de niveaux de gris); reconnaissance des formes; étude des connexités en théorie des espaces préférentiels (généralisation de la théorie des graphes); analyse des relations intersectorielles en économie; formation des coalitions et théorie des jeux .

Dans ce chapitre, nous étudions les deux théories : la théorie des graphes et la prétopologie.

PARTIE I : LA THÉORIE DES GRAPHS

La théorie des graphes est née en 1736 quand Euler démontra qu'il était impossible de traverser chacun des sept ponts de la ville russe de Königsberg (aujourd'hui Kaliningrad) une fois exactement et de revenir au point de départ. Les ponts enjambent les bras de la Pregel qui coulent de part et d'autre de l'île de Kneiphof.

La théorie des graphes s'est développée dans diverses disciplines telles que la chimie, la biologie, les sciences sociales. Depuis le début du XXe siècle, elle constitue une branche à part entière des mathématiques, grâce aux travaux de König, Menger, Cayley puis de Berge et d'Erdős.

Nous présentons dans ce qui suit, quelques définitions sur ce concept :

I.1. Quelques définitions

a. Graphe : Un graphe est un ensemble de points, dont certaines paires sont directement reliées par un (ou plusieurs) lien(s). Ces liens peuvent être orientés, c'est-à-dire

qu'un lien entre deux points u et v relie soit u vers v , soit v vers u : dans ce cas, le graphe est dit orienté. Sinon, les liens sont symétriques, et le graphe est non-orienté.

Un graphe $G = (X, U)$ est déterminé par :

- Un ensemble $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ dont les éléments sont appelés sommets ou nœuds (ce dernier terme est plutôt utilisé dans le contexte des réseaux).
- Un ensemble $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ du produit cartésien $X \times X$ dont les éléments sont appelés arcs.

b. Un Arc : un arc u est un lien entre deux sommets. L'arc (x_i, x_j) est caractérisé par un sommet initial x_i et un sommet terminal x_j (ou bien origine et destination). Il est une représentation abstraite d'infrastructures de support des déplacements entre deux nœuds, un arc possède une direction souvent symbolisée par une flèche. L'arc u part de x_i et arrive x_j . Un arc (x_i, x_i) est appelé une **boucle**.

Par exemple, la figure (fig.01) représente un graphe $G=(X, U)$ défini de façon suivante :

$X= \{1, 2, 3, 4,5\}$

$U= \{(1,2), (1,3), (2,5), (4,2), (4,3), (4,5)\}$

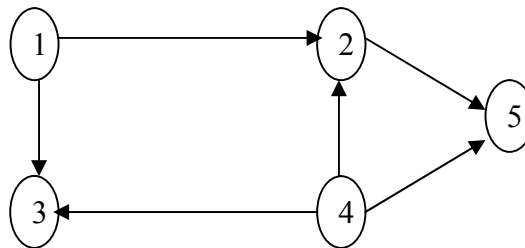


Fig.09: Exemple d'un graphe

c. Chemin : Séquence d'arcs tous parcourus dans le même sens. Pour qu'un chemin relie deux sommets, un déplacement continu suivant une séquence d'arcs doit être possible. L'établissement de chemins est une étape fondamentale dans la mesure d'accessibilité et de flux de trafic au sein d'un réseau.

Dans l'exemple de la figure (fig.10), sur le graphe A, il y a un chemin entre 1 et 3, tandis que sur le graphe B aucun chemin ne relie 1 et 3.

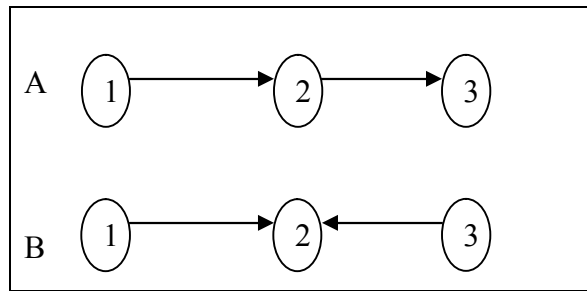


Fig.10: Exemple d'un chemin

d. Un P-graphe : est un graphe dans lequel il n'existe jamais plus de p arcs de la forme (x, y) entre deux sommets quelconques. On appellera communément « graphe » un 1 – graphe.

e. La densité : la densité d'un graphe est donnée par le quotient m/n^2 , rapport du nombre effectif d'arcs sur le nombre maximal théorique.

I.2. Les concepts non orientés

Lors de l'étude de certaines propriétés, il arrive que l'orientation des arcs ne joue aucun rôle. On s'intéresse simplement à l'existence d'arc(s) entre deux sommets (sans en préciser l'ordre). Un arc sans orientation est appelé arête. U est constitué non pas de couples, mais de paires de sommets non ordonnés. Pour une arête (x_i, x_j) , on dit que u est incidente aux sommets x_i et x_j .

I.3. Les concepts orientés

Dans beaucoup d'applications, les relations entre éléments d'un ensemble sont orientées, c.-à-d. un élément (x) peut être en relation avec un autre (y) sans que (y) soit nécessairement en relation avec (x) . On parle alors de graphe orienté (en Anglais *directed graph* ou plus simplement *digraph*) [LEV 08a].

I.4. La topologie

Une topologie T , sur un ensemble X , est une famille de parties de X , qui contient $\{\emptyset\}$ et $\{X\}$, et qui est stable par réunions quelconques, et par intersections finies. Les éléments de T sont appelés des ouverts de X . Le complémentaire d'un ouvert de X est appelé un fermé. On dit que X , muni de T , est un espace topologique. On le notera (X, T) .

La topologie d'un graphe : La topologie T d'un graphe G est la famille de ces voisinages de base $(T_v)_{v \in V}$

I.5. La relation entre un réseau complexe et la théorie des graphes

Un graphe étant la représentation symbolique d'un réseau d'acteur, un réseau est constitué d'unité appelée nœud ou sommet et des liens ou relation qui l'unissent.

Dans les réseaux complexes, les nœuds sont des agents (individu, entreprise, communauté, alliance) caractérisé par un ensemble attributs (sexe, âges, ancienneté) et de comportements.

Les liens sont les interactions observables entre agents (nombre de liens qu'un nœud reçoit/émet, nombre de fois où il est intermédiaire entre deux nœud, similitude structurelle avec d'autre nœud, etc). Ils sont qualifiés par leur contenu (amitié, connaissance, affaire, etc), leur intensité, leur fréquence, et la durée des échanges. Tout le formalisme de l'ingénierie des réseaux et des outils de la théorie des graphes peuvent être mobilisés à condition que le résultat puisse donner lieu à une interprétation sociale [SAG 06].

La théorie des graphes a été utilisée par l'analyse des réseaux sociaux pour plusieurs raisons [WAS 94]:

- ❖ elle fournit un vocabulaire qui peut être employé pour étiqueté et désigner beaucoup de propriété structurelle des relations sociales
- ❖ elle offre des formulations mathématiques et des idées avec lesquelles beaucoup de propriété relationnelles peuvent être quantitativement évaluée et mesurée
- ❖ elle permette de présenter les réseaux sociaux comme des modèle de jeux d'acteurs et de relation

Les limites de la théorie des graphes :

Il y a plusieurs raisons pour utiliser la théorie de la prétopologie dans la modélisation des réseaux : les modèles utilisant la théorie des graphes ont certaines limites.

Premièrement, on ne peut pas dissocier les liens : orientés ou non, ils sont tous de nature identique. Si l'on veut utiliser n différentes relations entre les nœuds, il faut construire n graphes différents ce qui semble peu pratique [LEB 05].

Deuxièmement, tous les modèles utilisant la théorie des graphes présentés dans les études récentes ont au moins une propriété qui ne correspond pas aux réseaux du réel [LEV 08a]

Et troisièmement, les relations se font par paires de nœuds, on ne peut donc pas avoir de relations entre un groupe de nœuds et un nœud par exemple. Les hypergraphes répondent à ce problème, mais sont un cas particulier d'espace prétopologique.

Ou les autres modèles ont échoué, la théorie de la prétopologie peut apporter une réponse.

PARTIE II : LA PRÉTOPOLOGIE

La prétopologie a été définie dès la fin des années 20 puis elle a connu un nouvel essor dans les années 60 à la suite de questionnements en provenance des sciences humaines et sociales.

II.1. Définition

Selon Levorato [LEV 10], la prétopologie se définit comme : « *Un outil mathématique définissant la proximité entre les éléments d'un espace discret. Cette théorie généralise la topologie, permettant d'analyser un système complexe pas à pas, grâce à des processus d'adhérence, d'intérieur* » que nous définissons ci-après

Avant d'entrer dans la définition des concepts prétopologiques, nous allons étayer notre propos par un exemple simple d'interactions dans un petit réseau social composé de quatre individus : John, Tim, Ben et Ed (voir Fig. 11). Si on considère qu'une arête représente une relation d'amitié, il est aisé de savoir qui est l'ami de qui. On peut facilement trouver les amis de John par exemple qui sont Tim, Ben et Ed. En revanche, peut-on trouver facilement les amis du groupe {John, Edg} Cela pose un problème car Tim est ami avec John mais pas avec Ed. Pour résoudre ce problème, nous devons nous référer à une certaine proximité entre les éléments, ce qui revient à définir la notion de voisinage du modèle. On peut définir par exemple que les amis d'un groupe de personnes sont ceux qui ont au moins une relation d'amitié avec un des individus du groupe. Mais on peut également définir qu'un ami d'un groupe de personnes doit être en relation avec tous les membres du groupe.

On se rend bien compte de la complexité des interactions qui peuvent intervenir dans un tel modèle, d'où l'intérêt d'utiliser une théorie permettant de modéliser ces phénomènes : la théorie de la prétopologie.

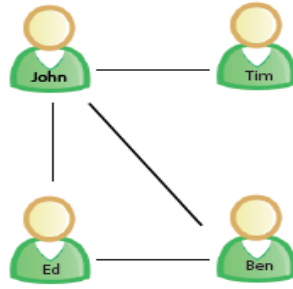


Fig.11: Exemple d'un petit réseau social avec une relation d'amitié

II.2. Concepts prétopologique

On se limitera ici à la présentation des principaux éléments de prétopologie. On trouvera un exposé complet de la théorie dans [BEL 93]

Soit E un ensemble non vide, et soit $P(E)$ l'ensemble des parties de E .

II.2.1. Espace prétopologique

On appelle espace prétopologique le triplet (E, i, a) où : i et a sont appelées respectivement intérieur et adhérence.

II.2.1.1. Adhérence

Soit une application $a : P(E) \rightarrow P(E)$ appelée adhérence et définie comme suit [BEL 93]:

$\forall A, A \subseteq E$ l'adhérence de A , $a(A) \subseteq E$ est telle que :

- $a(\emptyset) = \emptyset$
- $A \subseteq a(A)$

L'adhérence est associée au processus de dilatation. De plus, $a(\cdot)$ peut être appliquée à A selon une séquence : $A \subseteq a(A) \subseteq a^2(A) \subseteq \dots$. Cela signifie que l'on peut suivre le processus pas à pas, ce qui n'est pas possible avec la topologie, qui conserve la propriété d'idempotence ($a(A) = a^2(A)$) [BOU 71]. Grâce à l'adhérence, on peut directement modéliser la notion de proximité. La figure (Fig.12) représente l'adhérence de A .

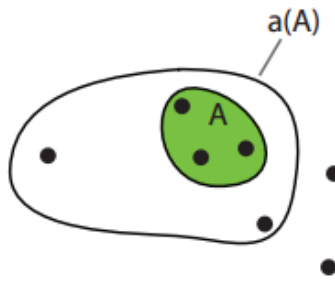


Fig.12 : Adhérence de A

II.2.1.2. Intérieur

Soit une application $i : P(E) \rightarrow P(E)$ appelée intérieur et définie comme suit [BEL 93]:

$\forall B, B \subseteq E$ l'intérieur de B, $i(B) \subseteq E$ est telle que :

➤ $i(B) = [a(B^c)]^c$ (P1)

➤ $i(B) \subseteq B$. (P2)

Avec B^c le complémentaire de B soit $E - B$.

L'intérieur est quant à lui associé au processus d'érosion. Notons que la propriété (P1) de l'intérieur amenant la dualité n'est pas toujours vraie. Il est possible de définir une application intérieur indépendamment de l'adhérence.

On appelle espace prétopologique le triplet $(E; i; a)$ dont les applications i et a sont définies précédemment.

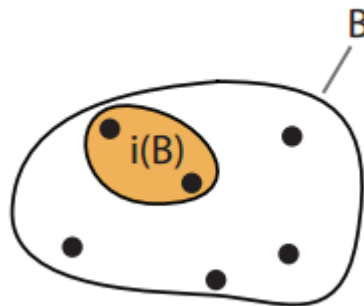


Fig. 13: Intérieur de B

L'intérêt des précédentes définitions pour la modélisation des réseaux sociaux peut être expliqué ainsi : on peut dire que les éléments de $a(A)$ sont proches de A (voisins "directs"), et pour chaque adhérence, on absorbe de nouveaux éléments. On est capable de modéliser des dynamiques complexes comme la diffusion d'une information dans un réseau par exemple.

Nous avons également l'application intérieure: celle-ci permet d'exclure des éléments en périphérie d'un groupe social. Pour reprendre l'exemple précédent, on pourrait retrouver grâce à une série d'intérieurs, l'origine de la diffusion de l'information.

II.2.2. Fermés et Ouverts, fermeture et ouverture

Le processus de dilatation généré par l'adhérence s'arrête à un instant donné et n'évolue plus. Dans ce cas, on a $a^{k+1}(A) = a^k(A)$. On nomme A comme étant un sous ensemble fermé. De la même manière, l'évolution de l'intérieur va cesser, ce qui nous donne $i^{k+1}(A) = i^k(A)$. Cette fois, on nomme A comme étant un sous ensemble ouvert. Respectivement, on utilise les notations $F(A)$ pour la fermeture de A et $O(A)$ pour l'ouverture de A . la figure (Fig.12) représente les adhérences successives menant au fermé

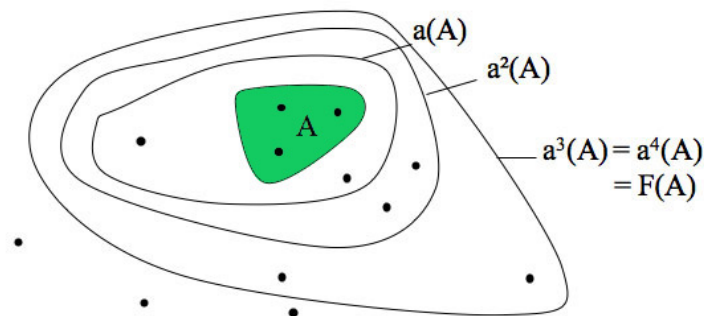


Fig.14: Illustration d'adhérences successives menant au fermé

II.2.3. Fermés élémentaires et fermés minimaux

On appellera fermé élémentaire et on notera F_x , la fermeture d'un singleton $\{x\}$ de E . On note $F_e(E, a)$ ou F_e , l'ensemble des fermés élémentaires de E :

$$F_e(E, a) = \{F_x, x \in E\}$$

On appelle fermé minimal de E , tout élément de $F(E, a)$, minimal au sens de l'inclusion. L'ensemble des fermés minimaux est noté : $F_m(E, a)$ ou F_m .

Un résultat important est que tout fermé minimal est obligatoirement élément de F_e , c'est-à-dire un fermé élémentaire. Déterminer les fermés minimaux revient donc à explorer les éléments de F_e et en extraire les éléments minimaux par la relation d'inclusion.

II.2.4. Un espace prétopologique de type V

Un espace prétopologique général comme défini ultérieurement ne présente que peu d'intérêt en état, car il est difficile d'en faire une analyse. Il faut donc amener une nouvelle propriété pour rendre cet espace prétopologique plus "intéressant", d'où la définition d'un nouvel espace prétopologique : le type V.

Un espace prétopologique de type V (E, a) est défini comme suit :

$\forall A, B ; A \subseteq E, B \subseteq E$ et $A \subset B$ alors $a(A) \subset a(B)$ (et de façon équivalente $i(A) \subset i(B)$)

II.2.5. Un espace prétopologique de type V_d

Un espace prétopologique de type $V_d (E, i, a)$ est défini comme suit:

$\forall A, B, A \subseteq E, B \subseteq E$ et $A \subset B$ avec $a(A \cup B) = a(A) \cup a(B)$

$\forall A, B, A \subseteq E, B \subseteq E$ et $A \subset B$ avec $i(A \cap B) = i(A) \cap i(B)$

Tout espace de type V_d est de type V.

II.2.6. Un espace prétopologique de type V_s

Un espace prétopologique de type $V_s (E, i, a)$ est défini comme suit:

$\forall A, A \subseteq E$; avec $a(A) = \bigcup_{x \in A} a(\{x\})$

Un espace de type V_s est clairement de type V_d . Les applications a et i ne sont pas forcément idempotentes. On ne doit pas confondre une prétopologie de type V_s et une topologie.

II.1.7. Le préfiltre et la base de voisinage

Comme écrit plus haut, le concept de proximité en prétopologie est fondamental, c'est pour cela qu'il nous faut définir ce que l'on appelle «être proche »d'un élément, autrement dit être dans le voisinage de cet élément. Pour cela il faut définir ce voisinage par un préfiltre et une base de voisinage.

a. Préfiltre

Une notion essentielle de la topologie est la notion de filtres, qui conduit à celle de voisinage. En prétopologie, non seulement nous conservons cette notion, mais nous définissons en outre celle de préfiltre.

Une partie F de $P(E)$ est un préfiltre sur E si elle vérifie la propriété de stabilité par passage à tout sur-ensemble :

$$\forall f \in F, \forall H \in P(E), f \subset H \Rightarrow H \in F$$

Soit (E, i, a) un espace prétopologique de type V . Pour tout x de E , on définit le préfiltre $V(x)$ de parties de E par :

$$V(x) = \{V \subseteq E / x \in i(V)\}$$

b. Base de voisinage

Soit $B(x)$ la base de $V(x)$ définie comme suit :

$$\forall V, V \in V(x), \exists B, B \in B(x), B \subseteq V$$

Il existe plusieurs manières de définir la base de voisinage selon la problématique étudiée.

II.3. Définition d'un réseau en prétopologie

Maintenant les concepts prétopologiques présentés, nous sommes en mesure de définir un réseau (social) de manière prétopologique. Un réseau social peut être défini comme une famille de relations binaires ou values définies sur une population donnée. La dynamique d'un réseau est basée sur des opérations telles que l'arrivée de nouveaux éléments, l'éviction d'éléments existants, la formation de groupe ou la séparation en sous-groupes. Ces phénomènes sont souvent observables dans les réseaux sociaux sous forme de communautés mais également dans le cas des réseaux de manière plus générale. La figure (Fig.15) illustre les différentes opérations représentant la dynamique d'un réseau dans un temps t .

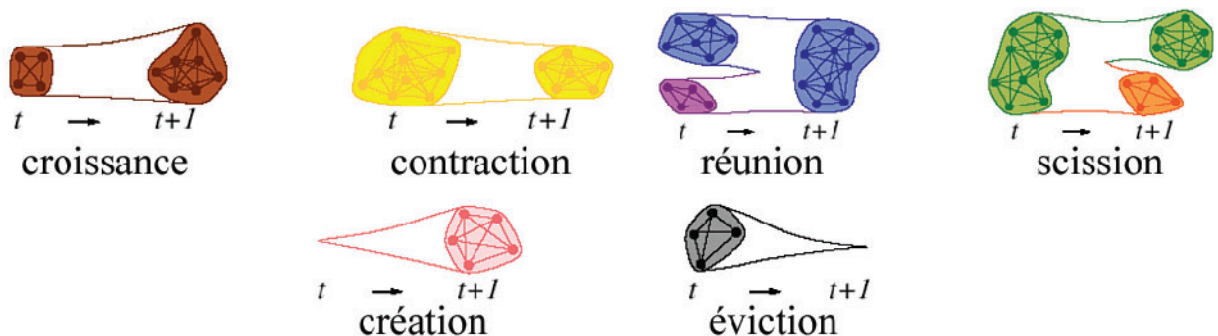


Fig.15: Opérations représentant la dynamique d'un réseau (t : temps)

Dans le cadre de la prétopologie, un réseau est une famille de prétopologies sur un ensemble donné, d'où la définition suivante :

- **Définition** : Soit X un ensemble :

Soit I une famille dénombrable d'indices ;

Soit $\{a_i, i \in I\}$ une famille de prétopologies sur X_i ;

La famille d'espaces prétopologiques $\{(X, a_i); i \in I\}$ constitue un réseau sur X .

On peut représenter ainsi des relations de natures différentes : par exemple, on pourra modéliser un réseau social où les individus sont reliés entre eux par une relation d'amitié (relation binaire) et où leur emplacement géographique est nécessaire (métrique). Le voisinage d'un individu pourra être défini selon les besoins de la problématique : sont voisins ceux qui sont amis et qui habitent dans un rayon de x km. La définition de l'adhérence et/ou de l'intérieur dépend donc de la nature de la problématique : un certain nombre de travaux dans ce domaine ont déjà montré d'intéressants résultats [LEV 09].

Conclusion

Ce chapitre expose comment la modélisation des réseaux peut être différente de celle que l'on rencontre habituellement. La théorie de la prétopologie permet de travailler avec des outils mathématiques plus généraux, et ainsi de pouvoir créer des simulations plus réalistes, sinon plus fines. Jusqu'à présent, le plus gros inconvénient de ce type de modélisation était sa mise en œuvre.

Dans le chapitre suivant, nous présentons la conception de notre application dans lequel nous implémentons un algorithme de prétopologie.

CHAPITE III :

CONCEPTION ET IMPLEMENTATION

1. Introduction

Ce chapitre est essentiellement consacré aux grandes lignes qui visent à réaliser l'objectif de ce thème, et les outils exploités pour le développement du logiciel tel que le choix du langage et l'environnement de programmation. Nous exploitons dans cette partie la notion d'espace prétopologique, autorisant ainsi une dynamique des voisinages dans une structure aléatoire.

2. Environnement de développement

2.1. Configuration logicielle

L'environnement choisi pour réaliser cette application est le Système d'Exploitation Windows XP.

Le langage de programmation choisi un langage de conception très performant qui a été adopté par la majorité des fournisseurs. Ses caractéristiques intégrées de sécurité offrent un sentiment de confiance aux programmeurs comme aux utilisateurs des applications, c'est le langage : JBuilder v9. La figure (Fig.16) représente la fenêtre principale de JBuilder.



Fig.16: Présentation de la fenêtre JBuilder

2.2. Le choix du langage

Pour pouvoir programmer en Programmation Orientée Objet et cela dans un environnement Windows, notre langage doit être capable de supporter les exigences de cette dernière, pour cela nous avons choisi comme langage de programmation le langage JAVA. Java est un langage de programmation récent développé par Sun Microsystems. Il est fortement inspiré des langages C et C++. Vers la fin de 1995, Java surgit sur la grande scène d'Internet et obtient immédiatement un énorme succès. La prétention de Java est de constituer la colle universelle capable de connecter les utilisateurs aux informations.

Java est un langage de conception très performant qui a été adopté par la majorité des fournisseurs. Ses caractéristiques intégrées de sécurité offrent un sentiment de confiance aux programmeurs comme aux utilisateurs des applications. De plus, Java incorpore des fonctionnalités qui facilitent grandement certaines tâches de programmation avancées comme la gestion des réseaux, la connectivité des bases de données ou le développement d'applications multitâches.

Il existe deux types de programmes en Java : les applets et les applications.

✓ Une application autonome est une application qui s'exécute sous le contrôle direct du système d'exploitation.

✓ Une applet est une application qui est chargée par un navigateur et qui est exécutée sous le contrôle d'un plug in de ce dernier.

2.2.1. Les principales raisons du succès de Java

Java a rapidement intéressé les développeurs pour trois raisons principales :

✓ Il est doté, de bibliothèques de classes très riches comprenant la gestion des interfaces graphiques (fenêtres, boîtes de dialogue, contrôles, menus, graphisme), la programmation multitâches, la gestion des exceptions, les accès aux fichiers et au réseau ... L'utilisation de ces bibliothèques facilitent grandement la tâche du programmeur lors de la construction d'applications complexes ;

✓ Il est doté, d'un mécanisme de gestion des erreurs (les exceptions) très utile et très performant.

✓ Il est multi plates-formes : les programmes tournent sans modification sur tous les environnements où Java existe (Windows, Unix et Mac).

2.2.2. Les avantages de JAVA

Java est simple : cette notion est relative mais par rapport au C++, JAVA est plus simple à utiliser. En particulier, il n'existe pas de pointeurs explicites et la gestion de la mémoire est transparente pour le programmeur.

Java est orienté objet : comme la plupart des langages récents, java est orienté objet. Chaque fichier source contient la définition d'une ou plusieurs classes qui sont utilisées les unes avec les autres pour former une application.

Java est robuste et sûr : le typage des données est extrêmement strict. Aucune conversion de type implicite pouvant provoquer une perte de précision n'est possible. Comme les pointeurs ne sont pas accessibles les erreurs de gestion mémoire sont impossibles.

Indépendant des architectures matérielles : le compilateur génère un code universel le « byte-code ». Il n'y a pas de compilation spécifique pour chaque plate forme. Le code reste indépendant de la machine sur laquelle il s'exécute. Il est possible d'exécuter des programmes Java sur tous les environnements qui possèdent une Java Virtual Machine (JVM).

Java est multitâche : JAVA permet l'exécution en apparence simultanée de plusieurs processus.

Java est un langage à haute sécurité : contrairement à C++, Java a été développé dans un souci de sécurité maximale. L'idée maîtresse est qu'un programme comportant des erreurs ne doit pas pouvoir être compilé. Ainsi, les erreurs ne risquent pas d'échapper au programmeur et de survivre aux procédures de tests. De la même façon, en détectant les erreurs à la source, on évite qu'elles se propagent en s'amplifiant.

Java assure la gestion de la mémoire : les concepteurs de java ont supprimé l'allocation et la libération de mémoire manuellement. La mémoire dans java est allouée et libérée automatiquement. L'utilisateur n'aura jamais à se préoccuper des pertes de mémoire.

Java est distribuée : Java possède une importante bibliothèque de routines permettant de gérer les protocoles TCP/IP tels que HTTP et FTP. Les applications Java peuvent charger et accéder à des fichiers sur Internet via des URL avec la même facilité qu'elles accèdent à un fichier local sur le système.

3. Etude de cas

3.1. Domaine d'application

L'épidémiologie : est une science qui s'intéresse aux facteurs influençant la santé des populations. Ceci inclut notamment l'étude de la propagation des maladies infectieuses, telles la grippe, les I.T.S. (infections transmises sexuellement), la gastroentérite et des moyens qui peuvent être utilisés pour la contrer comme la vaccination ou la quarantaine pour éviter qu'une population soit frappée par une épidémie. Toutefois, bien que beaucoup d'études aient porté sur les moyens d'intervention au niveau de l'individu via le développement de nouveaux médicaments, la façon dont ceux-ci devraient être déployés afin de réduire les risques d'épidémies n'est toujours pas claire.

Les maladies infectieuses sont des maladies causées par un agent pathogène, un virus, une bactérie ou un parasite quelconque qui se transmet d'une personne infectée à une personne saine lorsque celles-ci ont un contact spécifique permettant une transmission.

À l'aide d'un réseau complexe où les nœuds représentent les individus et les liens représentent les contacts permettant la transmission de la maladie, il est possible de simuler la propagation de maladies infectieuses sur des réseaux de contacts.

3.2. Le principe de la propagation d'une épidémie

Lors des simulations, un premier individu (donc un nœud) est infecté par un agent pathogène. Celui-ci infecte ensuite ses voisins (nœuds avec qu'il a un lien) avec une probabilité que l'on nomme la transmissibilité. Ces nouveaux infectés peuvent à leur tour transmettre la maladie à leurs voisins avec cette même probabilité. Répéter cette opération jusqu'à ce qu'il n'y ait aucun nouvel infecté permet de recueillir une foule d'informations sur les risques d'épidémie et sur les dommages associés (par exemple, le nombre des gens qui seront infectés).

La théorie des épidémies fournit de nombreux systèmes d'équations différentielles ou aux dérivées partielles. On a d'autre part une idée intuitive du comportement de ces phénomènes, de la propagation de ces maladies. Y interviennent des phénomènes de contamination, de diffusion, etc. Nous allons ici prendre l'exemple de la diffusion de la grippe saisonnière d'un échantillon de population.

3.3. La description du modèle proposé

Un modèle mathématique en épidémiologie, sur une population étudiée, est constitué de compartiments ou groupes et de contraintes provenant de l'observation de cette épidémie. Il existe deux grands types de modèles mathématiques pour l'étude de la dynamique épidémique : les modèles déterministes et les modèles stochastiques.

- **Les modèles déterministes** : les modèles déterministes sont les modèles dans lesquels la fraction des individus de la population hôte dans chaque état épidémiologique joue le rôle de variable du système. Ils présentent cependant le grand inconvénient de ne pas prendre en compte des événements aléatoires inéluctables lors des démarrages épidémiques.
- **Les modèles stochastiques** : sont beaucoup plus conformes, sur le principe, à la réalité biologique car ils ne raisonnent plus sur des paramètres moyens et des valeurs numériques, qui ne sont que des estimations, mais sur des probabilités de réalisation d'événements, tel le changement de classe d'un individu, connaissant la situation aux pas de temps précédents.

Plusieurs modèles mathématiques existent, le plus utilisé est le modèle SIR (Susceptibles, Infectives, Removed) qui a été inventé en 1927 par les 2 chercheurs : W.O. Kermack & A.G.

McKendrick, leurs méthode est toujours considérée comme valide, ce modèle repose sur des systèmes d'équations différentielles non linéaires et base principalement sur 3 cas d'individus : susceptibles, infectés et immunisés. De notre point de vue, ce modèle est limité car il ne traite pas tous les cas. Par exemple, le cas des individus en cours d'infection ou à la fin d'infection, etc. Cela nous amène à proposer un nouveau modèle qui base toujours sur le modèle mathématique SIR et qui intègre d'autres cas.

Le diagramme suivant montre schématiquement les rapports entre les trois types d'individus:

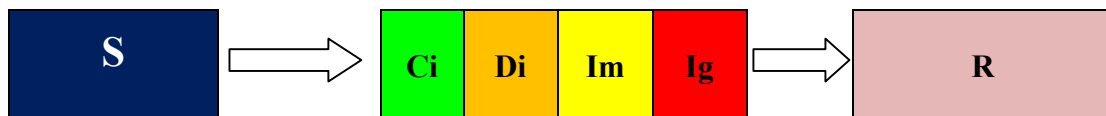


Fig.17: Représentation du modèle SIR proposé

S : Individu sains

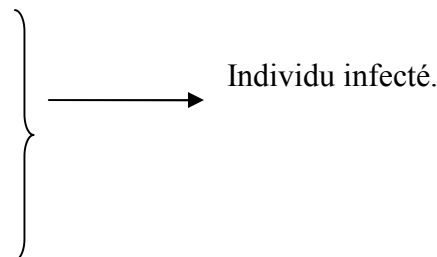
Ci : Individu en cours d'infection.

Di : Individu au début d'infection.

Im : Individu a une infection moyenne.

Ig : Individu a une infection générale.

R : Guérison.



3.4. Les Hypothèses

Les hypothèses sous-jacentes d'un modèle SIR proposé sont les suivantes :

H1 : Dans $T=0$, tous les individus de la population sont supposés susceptibles à l'infection à l'exception du premier individu infecté (i.e. $S(0)=N-1$) d'où N : taille de la population

H2 : L'évolution temporelle de la dynamique de la maladie est supposée plus rapide par rapport à l'évolution temporelle des caractéristiques démographiques de la population (naissance et décès naturels). De ce fait, les effets démographiques seront ignorés et la taille de la population N est constante au cours du temps

H3 : Le modèle est supposé homogène. D'un part, la structure de la population est supposée homogène en termes des types d'individus susceptibles et infectieux. Ainsi, un seul paramètre P détermine la relation binaire entre un susceptible et un infectieux. D'autre part, les contacts sociaux entre les individus sont également fixes.

3.5. Description de la base de données:

Notre base de donnée est constitué de **50** individus ,chaque individu est caractérisé par cinq ensemble de modalité (**E1**: Age, **E2**: Type de transport ,**E3**: Endroit de travail, **E4**: Quartier, **E5**: Centre de loisir)

- L'âge des individus entre 10 et 91.
- Type de transport désigné par : **P** : privé et **C** : transport commun.
- Quartier : on a cinq quartiers (**1**:Centre-ville ,**2**: Salamandre, **3**:Tigditt, **4**:Kharouba, **5**: Mazagran)
- Endroit de travail qui regroupe l'occupation des individu avec leur endroit (**P**: Pharmacie, **B**: Banque, **E**: Ecole, **L**: Lycée, **S**: Sonalgaz, **C**: Cnep, **R**: Retraité, **F**: Fac, **A**: Avocat)
- Centre de loisir (**A**: centre de loisir sportif, **B**:parc de loisir, **C** piscine chauffée)

Ensemble de Modalités: Quatre ensembles de modalité: E2, E3, E4, E5

$$E2 = \{P, C\}$$

$$E3 = \{P2, B2, B1, E2, L3, C1, C3, P1, E5, L5, R1, S4, S5, R3, F4, B5, C4, R5, A3, C2, E3, B4, S3, R2, A4, E4, P3, R3, A1\}$$

$$E4 = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$E5 = \{A, B, C\}$$

Nous ont déduisons :

$$\text{Transport}(P) = \{1, 2, 3, 8, 9, 10, 14, 16, 18, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 38, 39, 44, 45, 47, 48\}$$

$$\text{Transport}(C) = \{4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 15, 17, 19, 22, 23, 28, 32, 33, 35, 37, 40, 41, 42, 43, 46, 49, 50\}$$

$$\text{Travail}(P1) = \{10, 19, 35\}$$

$$\text{Travail}(P2) = \{1, 3\}$$

$$\text{Travail}(P3) = \{47\}$$

$$\text{Travail}(B1) = \{4, 31\}$$

$$\text{Travail}(B2) = \{2, 7\}$$

$$\text{Travail}(B4) = \{36\}$$

$$\text{Travail}(B5) = \{24, 42, 43\}$$

$$\text{Travail}(E2) = \{5\}$$

$$\text{Travail}(E3) = \{33\}$$

$$\text{Travail}(E5) = \{11, 13, 22\}$$

$$\text{Travail}(E4) = \{46\}$$

$$\text{Travail (L3)} = \{6\}$$

$$\text{Travail (L5)} = \{12\}$$

$$\text{Travail (C1)} = \{8, 17, 26, 45\}$$

$$\text{Travail (C2)} = \{32\}$$

$$\text{Travail (C3)} = \{9, 18, 25\}$$

$$\text{Travail (C4)} = \{28\}$$

$$\text{Travail (R1)} = \{14, 34\}$$

$$\text{Travail (R2)} = \{40, 41\}$$

$$\text{Travail (R3)} = \{21, 39, 48\}$$

$$\text{Travail (R5)} = \{29\}$$

$$\text{Travail (S4)} = \{15, 16\}$$

$$\text{Travail (S3)} = \{38\}$$

$$\text{Travail (S5)} = \{20\}$$

$$\text{Travail (F4)} = \{23, 27, 3\}$$

$$\text{Travail (A1)} = \{49\}$$

$$\text{Travail (A3)} = \{30, 50\}$$

$$\text{Travail (A4)} = \{44\}$$

$$\text{Quartier (1)} = \{1, 2, 14, 20, 32, 34, 35, 37, 38, 47\}$$

$$\text{Quartier (2)} = \{4, 5, 10, 17, 18, 33, 40, 42, 45\}$$

$$\text{Quartier (3)} = \{3, 6, 7, 15, 16, 19, 21, 23, 28, 48, 50\}$$

$$\text{Quartier (4)} = \{24, 25, 26, 27, 39, 44, 46\}$$

$$\text{Quartier (5)} = \{8, 9, 11, 12, 13, 22, 29, 30, 31, 36, 41, 43, 49\}$$

$$\text{Centre L (A)} = \{1, 3, 4, 7, 8, 9, 16, 18, 19, 20, 22, 25, 31, 32, 34, 35, 36, 42, 43, 48,\}$$

$$\text{Centre L (B)} = \{2, 6, 10, 11, 15, 21, 24, 28, 29, 30, 38, 39, 45, 46, 49\}$$

$$\text{Centre L (C)} = \{5, 12, 13, 14, 17, 23, 26, 27, 33, 37, 40, 41, 44, 47, 50\}$$

Pour chaque individu (i) nous construisons la base de voisinage B (i, q).

Pour l'individu 1, nous choisissons q=3

$$1 = \{P, P2, 1, A\} \Rightarrow B(1, 3) = \{P \cap P2 \cap 1\} \cup \{P \cap P2 \cap A\} \cup \{P \cap 1 \cap A\} \cup \{P2 \cap 1 \cap A\}$$

$$B(1, 3) = \{1, 3, 20, 32, 34\}$$

La base de voisinage est représentée dans le tableau ci-dessous :

Ind	Modalité	B (i, 3)	Ind	Modalité	B (i, 3)
1	p, p2, 1, A	1, 3, 20, 32, 34	26	p, c1, 4, C	26, 27, 44
2	p, b2, 1, B	2, 38, 35	27	p, f4, 4, c	26, 27, 44
3	p, p2, 3, A	1, 3, 16, 48	28	c, c4, 3, B	6, 15, 28
4	c, b1, 2, A	4, 42	29	p, r5, 5, B	29, 30
5	c, e2, 2, C	5, 17, 33	30	p, A3, 5, B	29, 30
6	c, L3, 3, B	6, 15, 28	31	p, b1, 5, A	8, 9, 31, 36
7	c, b2, 3, A	7, 19, 36	32	p, c2, 1, A	1, 20, 32, 34
8	p, c1, 5, A	8, 9, 31, 36	33	c, e3, 2, C	5, 17, 33, 40
9	p, c3, 5, A	8, 9, 18, 25, 31, 36	34	p, r1, 1, A	1, 14, 20, 32, 34
10	p, p1, 2, B	10, 45	35	c, p1, 1, A	19, 35, 8
11	c, e5, 5, B	11, 13, 22, 49	36	p, b4, 5, A	8, 9, 31, 36
12	c, L5, 5, C	12, 13, 41	37	c, f4, 1, C	37, 15
13	c, e5, 5, C	11, 12, 13, 22, 41	38	p, s3, 1, B	2, 38, 24
14	p, r1, 1, C	14, 34, 47	39	p, r3, 4, B	21, 24, 39
15	c, s4, 3, B	6, 15, 28	40	c, r2, 2, C	17, 33, 40, 41
16	p, s4, 3, A	3, 16, 48	41	c, r2, 5, C	12, 13, 40, 41
17	c, c1, 2, C	5, 17, 33, 40	42	c, b5, 2, A	4, 42, 43
18	p, c3, 2, A	9, 18, 25	43	c, b5, 5, A	22, 42, 43
19	c, p1, 3, A	7, 19, 35, 48	44	p, a4, 4, C	26, 27, 44
20	p, s5, 1, A	1, 20, 32, 34	45	p, c1, 2, B	10, 45
21	p, r3, 3, B	21, 39, 48	46	c, e4, 4, B	46, 26
22	c, e5, 5, A	11, 13, 22, 43	47	p, p3, 1, C	14, 47
23	c, f4, 3, C	23, 50	48	p, r3, 3, A	3, 16, 21, 48
24	p, b5, 4, B	24, 39	49	c, a1, 5, B	11, 49
25	p, c3, 4, A	9, 18, 25	50	c, a3, 3, C	23, 50

Table 1. Tableau de voisinage

3.6. Organigramme de l'application

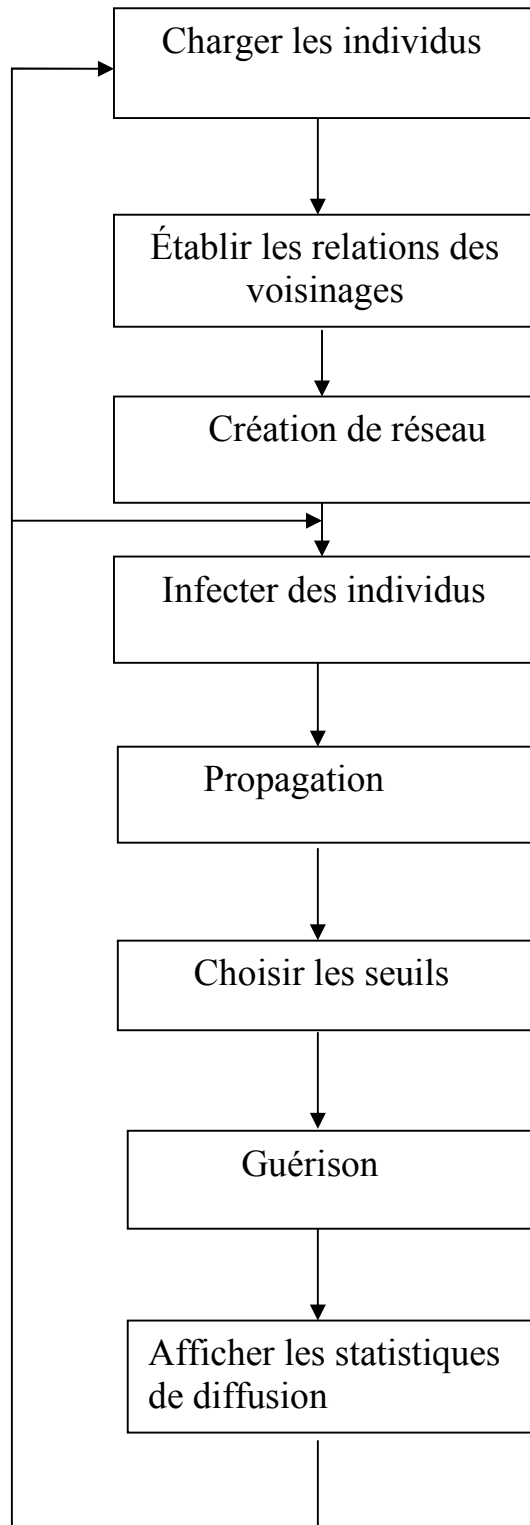


Fig.18. Représentation de l'organigramme de l'application

3.7. Traitements et Résultats

Pour construire un réseau social, nous créons sur la fenêtre jbuilder un bouton permettant d'ouvrir la table des individus de notre échantillon de population, la même opération se répète pour le bouton charger relation et pour terminer la création, nous cliquons sur le bouton création réseau.

Toujours sur la même fenêtre nous créons tableau de journal d'évènement des différents cas d'infection avec le temps par le bouton delta(t) et un éditeur permettant de visualiser les différentes valeurs de seuil pour effectuer la guérison est affiché en même temps les individus guéris sur le rapport de guérison et on terminera par les statistiques de diffusion.

a. Fenêtre principale

L'utilisateur peut effectuer les opérations ou les traitements désirés à travers cette fenêtre.

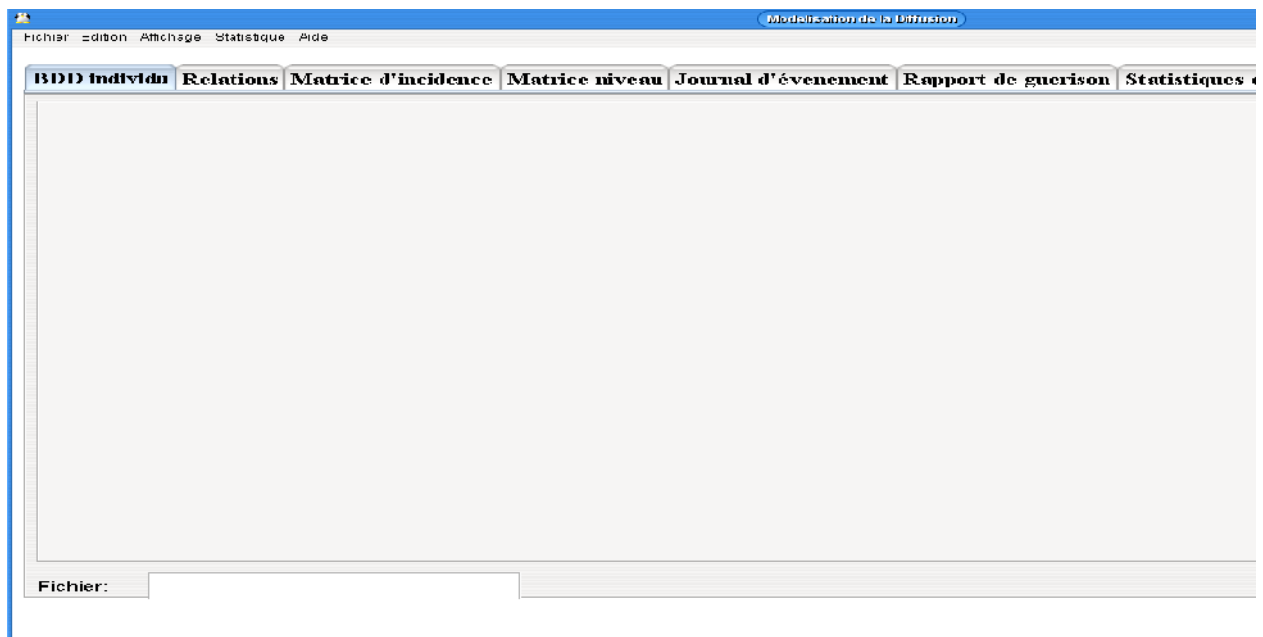


Fig. 19: Interface principale

b. Charger la liste des individus et des voisinages

A partir de la barre de menu de notre application, nous sélectionnons l'icône fichier (charger individu, charger relation) comme il est mentionné dans la figure suivante :

Modélisation de la Diffusion

Fichier Edition Affichage Statistique Aide

BDD individus Relations Matrice d'incidence Matrice niveau Journal d'événement Rapport de guérison Statistiques des individus

N°	Nom et Prénom	Age	Transport	Travail	Quartier	Centre de loisir	Vaccination
1	Ousama Abdelaziz	50	P	(ghazwan) 12	1	A	oui
2	CHERIFI Gaïd Saïd	40	P	Banque 2	1	B	non
3	FEKHOUS Miloud	55	P	(ghazwan) 2	3	A	non
4	SENHADJI Malik	25	C	Banque 1	2	A	non
5	AMIK Abdoussamad	12	C	école 2	2	C	non
6	MELARBI Chahmed	17	C	lycée 3	3	B	non
7	O Rabah Boukroum	74	C	(Banque) 2	3	A	non
8	Adissaw AMARA	44	P	(trasp) 1	5	A	non
9	Ab CUETTAT	30	P	(trasp) 3	5	A	non
10	Abdelhader MORDJANE	54	P	ghazwan) 1	2	B	non
11	STAMBOULI Othmane	12	C	école 5	5	B	oui
12	BELMESSABIH Moulacha	18	C	lycée 5	5	C	oui
13	MENRAHIM saïdek	11	C	école 5	5	C	non
14	TAYEB REY Mohamed	75	P	université 1	1	C	non
15	BENKRITLY Farouk	23	C	sozialgaz) 4	3	B	non
16	ELGHIT Malik	56	P	(Sociales) 4	3	A	oui
17	Ben Sabour Malik	60	C	(trasp) 1	2	C	non
18	BELAYACHI Youssef	40	P	(trasp) 3	2	A	non
19	TOUIL Kasim	37	C	(ghazwan) 1	3	A	oui
20	KHEBUL Abdelilah	47	P	sozialgaz) 5	1	A	oui
21	KHALID Abdelhader	70	P	université 3	3	B	non
22	CHERIAL Zoubir	10	C	école 5	5	A	oui
23	KHEBUL Kasim	21	C	lyc) 4	3	C	non
24	ZITOUNI Hich	44	P	(Banque) 5	4	B	non
25	MOUSSA Mohamed	60	P	(trasp) 3	4	A	non
26	DABO Barka	74	P	(trasp) 1	1	C	oui
77	Youssef BEN H TANE	72	P	lyc) 4	4	C	non

Fichier: C:\Users\azmine\Desktop\individus.txt Nbr. Indiv. 50

Fig. 20.a. Affichage la liste des individus

Modélisation de la Diffusion

Fichier Edition Affichage Statistique Aide

BDD individus Relations Matrice d'incidence Matrice niveau Journal d'événement Rapport de guérison Statistiques des individus

N°	Voisin	Relation
1	p2,1,A	1,3,20,32,34
2	p3,1,B	2,38,35
3	p2,1,A	1,116,48
4	p3,1,A	4,43
5	c2,2,C	5,17,33
6	c1,3,B	6,15,28
7	c2,3,A	7,19,36
8	p2,1,A	8,9,31,36
9	p2,1,A	8,9,18,23,31,36
10	p2,1,B	10,45
11	c2,5,B	11,13,22,49
12	c1,5,C	12,17,41
13	c2,5,C	11,12,13,22,41
14	p2,1,C	14,34,47
15	c2,3,B	6,15,28
16	p2,1,A	3,16,48
17	c2,2,C	5,17,33,40
18	p2,2,A	9,18,25
19	c2,1,A	7,19,30,48
20	p2,1,A	1,20,30,34
21	p2,3,B	21,37,48
22	c2,5,A	11,13,22,43
23	c2,4,C	23,50
24	p2,1,A	24,39
25	p2,4,A	9,18,25
26	p2,1,C	26,27,41
27	p2,4,C	26,27,44
28	c2,3,B	6,15,28
29	p2,5,B	29,30
30	c2,4,B	30,31

Fig. 20.b. Affichage la liste des voisinages

c. Création du réseau par matrices d'adjacence

La Figure (Fig.21) illustre la présentation de la matrice d'adjacence créée à partir des relations de voisinage.

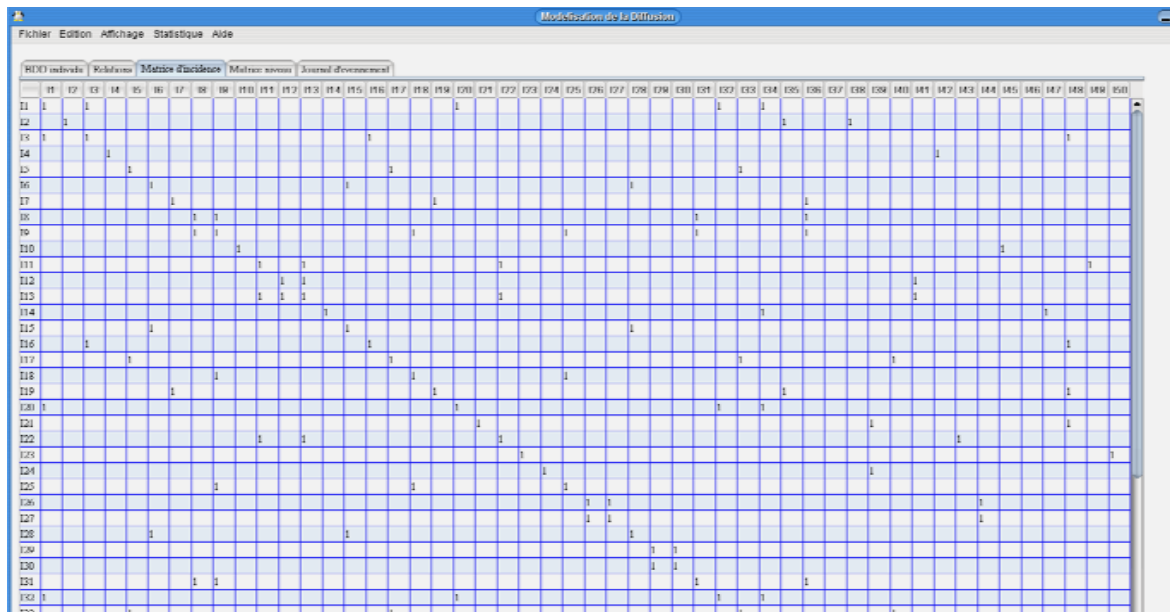


Fig21: Matrice d'adjacence

d. Affichage de réseau

La figure (Fig.22) nous permettra d'afficher notre réseau social

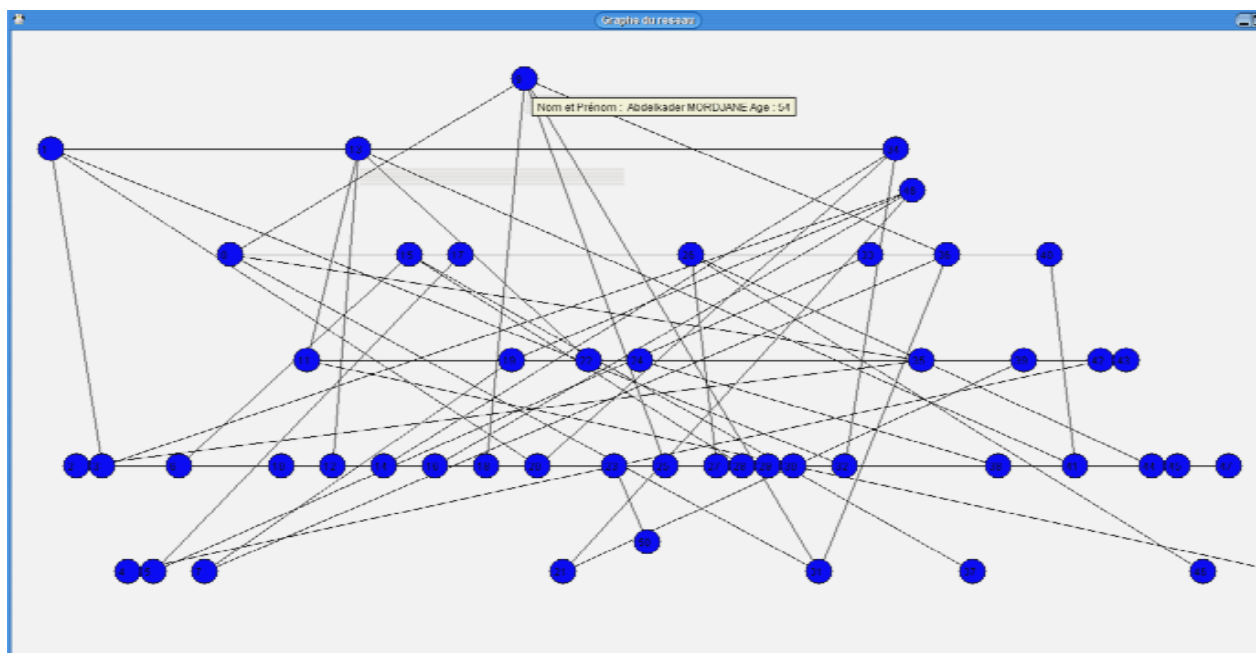


Fig.22: Affichage du réseau

Le réseau contient des nœuds qui ressemblent les individus avec les informations et les liens entre ces derniers.

e. Choisir des individus infectés

Pour choisir la liste des individus infectés, nous accédons à la barre de menu de notre logiciel, puis nous sélectionnons l'icône fichier (infection), nous sélectionnons les individus désirés d'être infecter puis on valide par le bouton de validation.

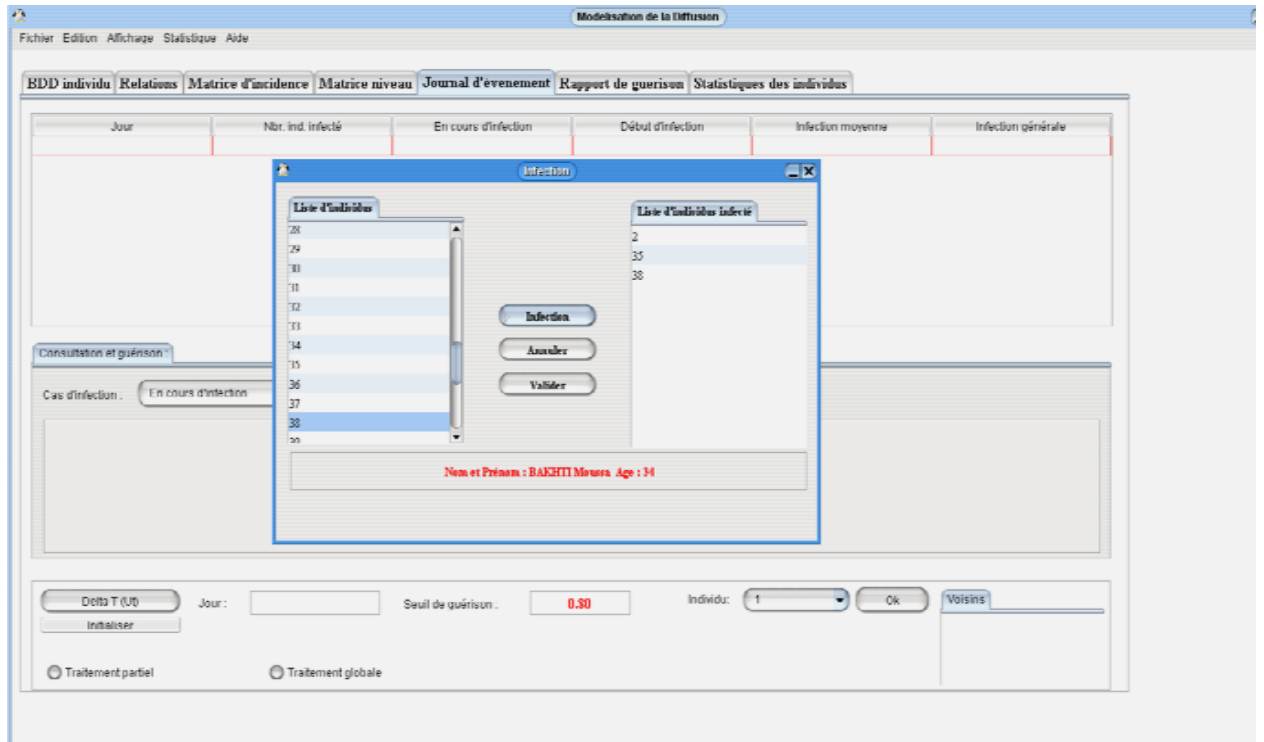


Fig.23: liste des individus infectés entré

La partie d'infection est déroulé en quatre cas :

- Nœud vert : individu en cours infection,
- Nœud orange : individu au début infection,
- Nœud jaune : infection moyenne,
- Nœud rouge : infection générale.

La figure (Fig.24) représente la propagation d'épidémie :

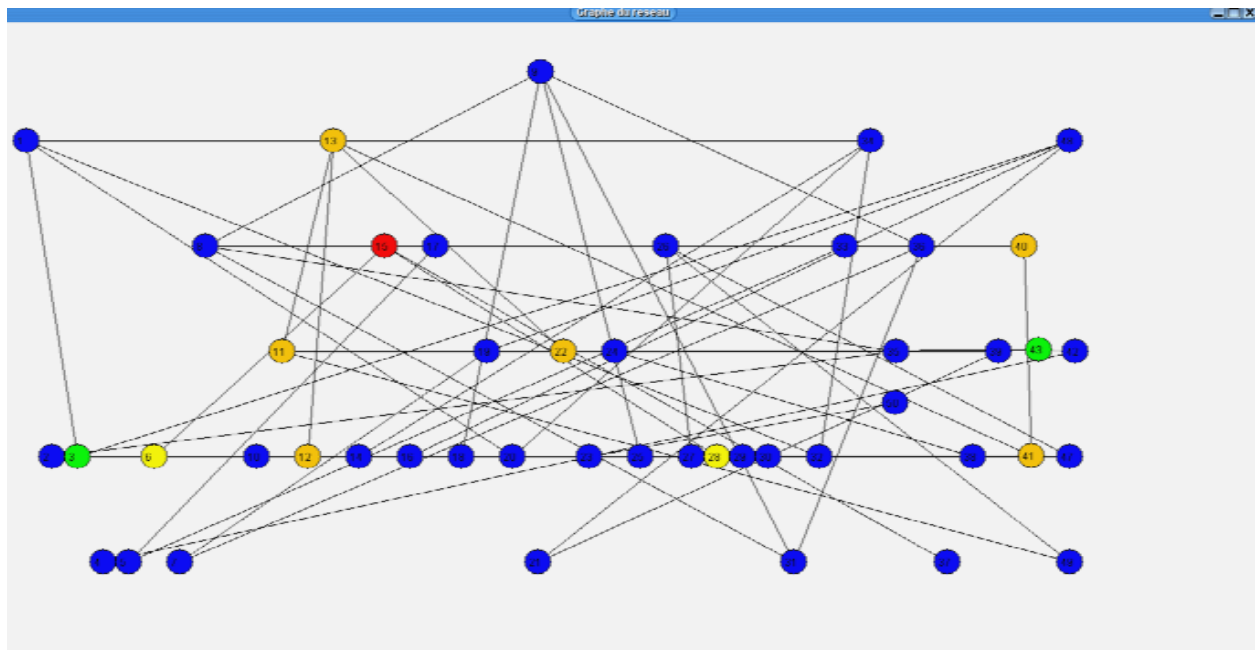


Fig.24: Propagation d'épidémie

Cette infection va être affichée sur un journal événement qui contient les informations sur les individus infectés (jours, nombre d'individus infectés, les individus en cours d'infection, les individus au début d'infection, les individus ayant une infection moyenne, les individus ayant une infection générale). Ce journal est présenté par la figure (Fig.25).

Jour	Nbr. ind. infecté	En cours d'infection	Début d'infection	Infection moyenne	Infection générale
1	3	2,35,36,			
2	9	19,8,24,	2,35,36,		

N°	Nom et Prénom	Age
0	Adnane AMAÏZA	44
19	TOUL Karim	37
24	ZITOUNI Hadi	44

Fig.25: Journal d'événement

f. Guérison des individus

La chose la plus importante dans cette phase, est le seuil qui décide si l'individu a été guéri ou non. Le seuil doit être choisi et les individus guéris sont affichés sur un rapport de guérison avec leur nom et leur âge.

Cas1 : en cours d'infection, **Cas 2** : début d'infection, **Cas3** : infection moyenne, **Cas 4** : infection générale.

Le rapport de guérison est représenté par la figure (Fig.24)

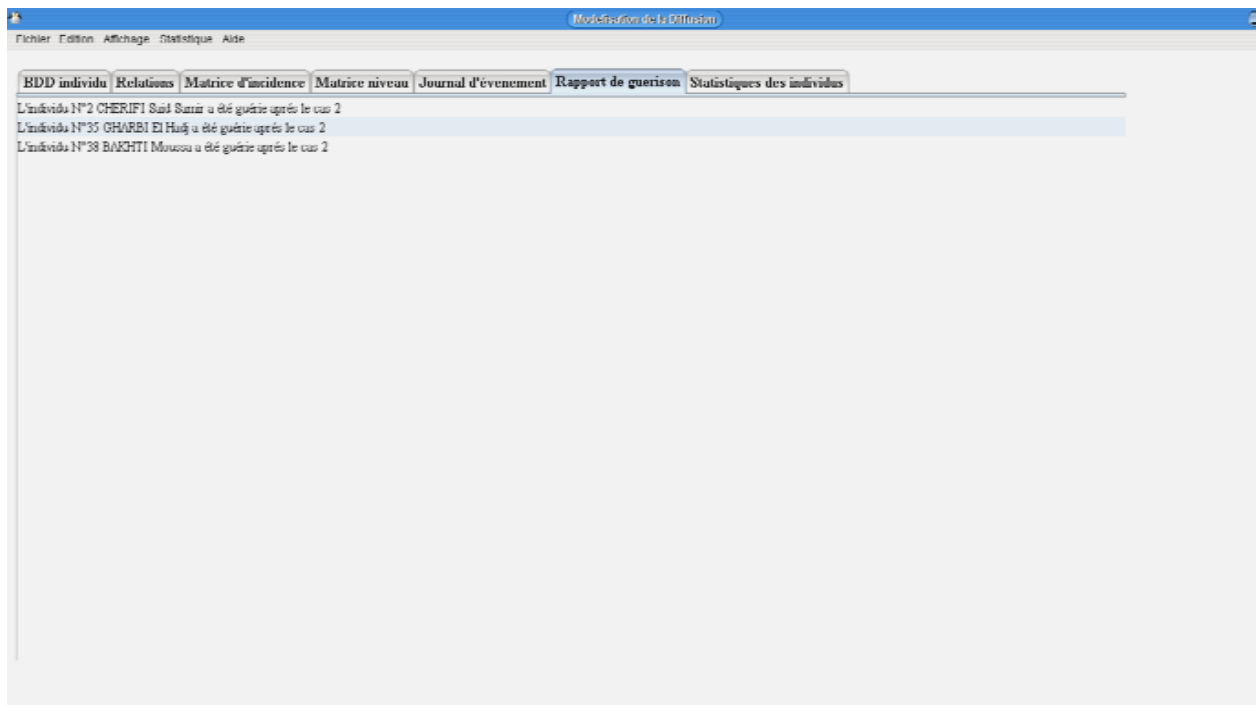


Fig.26: Rapport de guérison

Et les individus guéris sont affichés par une autre couleur dans le réseau qui est représenté par la figure (Fig.27)

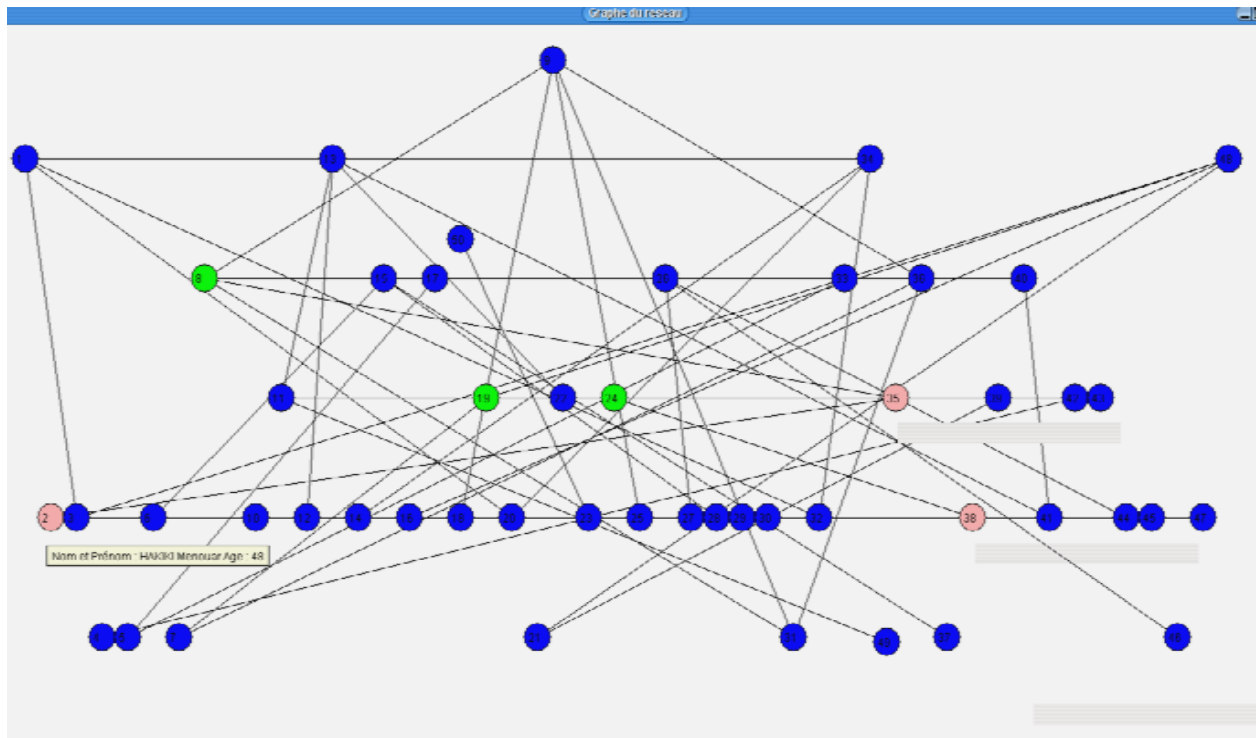


Fig.27: les individus guéris

g. **La liste des statistiques** : la figure (Fig.27) illustre la cette liste permet d'afficher le nombre des individus : sain, infecté, et guérie après chaque jour.

The screenshot shows a software window titled 'Modélisation de la Diffusion'. It contains a menu bar with 'Fichier', 'Edition', 'Affichage', 'Statistique', and 'Aide'. Below the menu is a tabbed interface with several tabs: 'RDD individu', 'Relations', 'Matrice d'incidence', 'Matrice niveau', 'Journal d'événement', 'Rapport de guérison', and 'Statistiques des individus'. The 'Statistiques des individus' tab is active, displaying a table with the following data:

Jour	Nbr. Individu Sain	Nbr. Individu Infectés	Nbr. Individu Guéris
0	60	0	0
1	47	3	0
2	44	6	0
3	44	3	3

Fig.28: Liste des statistiques

Nous pouvons également représenter les statistiques sous forme des histogrammes traitant les trois cas sains, infecté, guéris.

La figure (Fig.28) représente un exemple d'histogramme représentant les premiers jours avant l'infection.

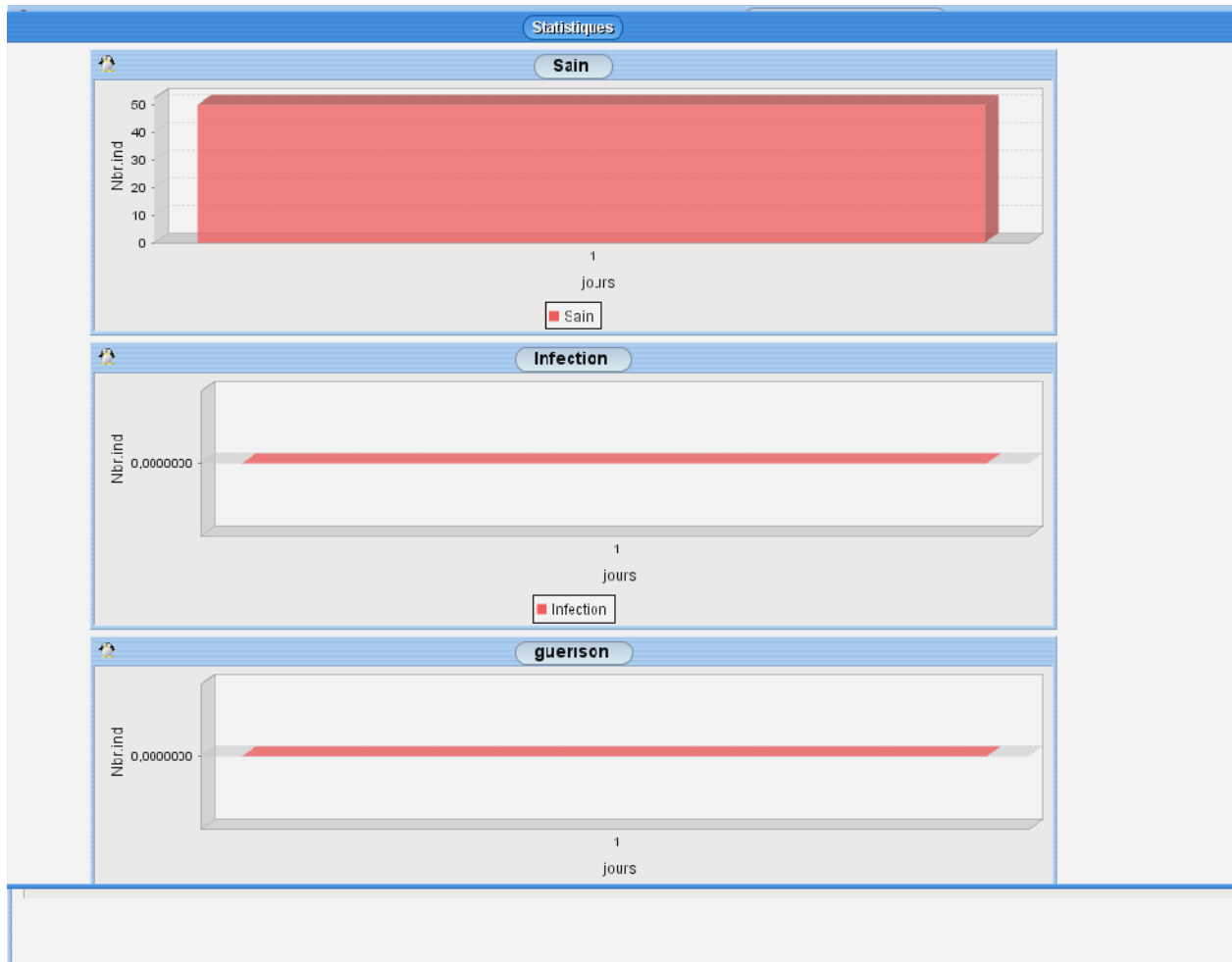


Fig29: Représentation des histogrammes

4. Conclusion

L'objectif de cette partie était de présenter un modèle épidémiologique permettant de décrire la dynamique d'une maladie infectieuse.

La dynamique d'une maladie infectieuse est décrite par un modèle épidémiologique du type SIR. Ce modèle représente les individus en trois compartiments (Susceptibles, Infectieux et Remis) schématisant leurs états au cours d'une épidémie.

Nous avons effectué diverses analyses qui, rassemblées, fournissent des éléments opportuns aux décideurs politiques tant sur la structure de la population que sur l'impact des mesures prises.

Les résultats obtenus montrent clairement la capacité du modèle à tester et évaluer les mesures pouvant être prises en cas de situation de crises sanitaires liées à une épidémie de grippe.

CONCLUSION GENERALE
ET
PERSPECTIVE

Conclusion Générale et perspectives

L'étude des réseaux complexes est une activité en plein essor. La théorie des systèmes complexes est un nouveau domaine scientifique d'où sa conception permettra de jeter un pont entre ces différents domaines. Les travaux que nous avons présentés dans ce mémoire s'articulent autour du couple " Prétopologie et diffusion dans les réseaux complexes". Ces deux disciplines peuvent paraître bien différentes, la première est une théorie mathématique abstraite et la seconde fait aujourd'hui référence à de nombreuses applications issues du domaine des sciences de l'ingénieur.

Au terme de ce mémoire, nous avons donné un aperçu des progrès réalisés récemment, en particulier, les réseaux de contacts réels qui représentent des structures très complexes dont les connexions évoluent dans le temps et sont établies selon un ensemble de règles arbitraires. Par la suite, nous avons présenté les concepts de base de la théorie des graphes ainsi que la prétopologie.

Dans ce travail, nous avons travaillé avec une nouvelle méthode de modélisation des réseaux complexes (la prétopologie citée dans le chapitre 2) qui permet de fournir un cadre mathématique plus général permettant de pallier aux limites atteintes de la modélisation basée sur les graphes. Sachant que les graphes sont utilisés en sciences sociales, afin de modéliser les interactions entre entités.

La plupart des études considèrent les individus comme des entités uniques, un groupe étant formé par plusieurs individus, les uns interagissent avec les autres. En effet, la plupart des travaux portant sur l'analyse des réseaux sociaux modélisent un groupe comme une combinaison d'individus, non comme une entité propre.

Aujourd'hui, les différents types d'analyse des réseaux sociaux sont devenus des outils très puissants pour la modélisation du processus de diffusion dans les réseaux sociaux. Dans ce travail, et dans le cadre d'étude du processus de diffusion, nous nous sommes intéressés par l'étude du modèle de propagation d'épidémie

comme mentionné dans le chapitre 3. L'objectif de cette étude était de répondre à la question suivante : comment l'épidémie se propage dans un réseau de contacts dans un temps Δt ? Nous avons développé un outil logiciel selon les méthodes de pétopologie et nous avons répondu à la question posée par le test des résultats obtenus.

En effet, notre travail trouve son origine dans les problèmes posés à une société lors d'une épidémie.

En perspective, nous s'orienterons vers une exploitation effective des données réelles pour tirer profit du potentiel du modèle de prétopologie stochastique ainsi qu'étudier et de prendre en compte la mobilité des populations humaines puisqu'il est possible d'identifier chaque individu par rapport à son lieu de résidence, celui dont il est originaire, et sa destination.

BIBLIOGRAPHIE

[**ALA 94**]: Alain Degenne and Michel Forsé. Les réseaux sociaux. Armand Colin, paris, 1994.

[**BEL 93**] : Belmandt, Z. Manuel de prétopologie et ses applications : Sciences humaines et sociales, réseaux, jeux, reconnaissance des formes, processus et modèles, classification, imagerie, mathématiques. Hermès Sciences Publications, 1993.

[**BOU 71**]: Bourbaki, N. Topologie générale. Hermann, 1971.

[**CHA 11**]: CHantal CHERIFI. Classification et Composition de services web une perspective réseaux complexes. Thèse de doctorat 2011.

[**GUI 12**]: Guille Adrien, Hakim Hacid. A predictive model for the temporal dynamics of information diffusion in online social networks, 2012.

[**GOL 04**]: Golders, A, Donathj. « Social roles in electronic communities », in association of internet researchers (AoIR) conference internet research 5.0, 2004.

[**LÀS 06**]: László Albert- Barabási Mark Newman and Duncan J. Watts. The structure and dynamics of networks. Princeton university press, 2006.

[**LEB 05**]: Lebhar Emmanuelle. Algorithmes de routage et modèles aléatoires pour les graphes petits mondes. PhD thesis, Ecole normale supérieure de Lyon, 2005.

[**LEV 08a**]: Levorato Vincent and Murat Ahat. Modélisation de la dynamique des réseaux complexes associée à la prétopologie. In proceedings of ROADEF'08, Clermont-Ferrand, France, 2008.

[**LEV 08b**]: Levorato Vincent, Contributions à la modélisation des réseaux complexes : prétopologie et applications, 5 Décembre 2008.

[LEV 09] : Levorato, V, T. V. Le, M. Lamure, et M. Bui. Classification prétopologique basée sur la complexité de kolmogorov. *Studia informatica universalis*, 2009.

[LEV 10] : Levorato Vincent. Une méthode mixte d'analyse d'un réseau social: classification prétopologique et centralité d'intermédiarité, 2010.

[MAZ 06] : Mazzonie. « Du simple tracé des interactions à l'évaluation des rôles et des fonctions des membres d'une communauté en réseau : une proposition dérivée de l'analyse des réseaux sociaux », 2006.

[NEW 03]: Newman, M. E. J. *The structure and function of complex networks*. 2003.

[NEW 06]: Newman Mark, Barabasi Albert-Laszlo, and Duncan J. Watts. *The structure and dynamics of networks*. Princeton university press, 2006.

[KLE 01]: Kleinberg .J. Small-world phenomena and the dynamics of information. In *advances in neural information proceeding systems (NIPS)*, 2001.

[SAI 10] : Saito.K, Kimura.M, Ohara.K, et Motoda.H. Selecting information diffusion models over social networks for behavioral analysis. *PKDD'10*, 2010.

[SAG 06]: Laurance Saglietto. Quelques points de repères dans l'étude des réseaux par la théorie du graphe .*Network and communication studies netcom* ,2006.

[WAT 98]: Watts D. J. et Strogatz S.H. Collective dynamics of small-world networks. *Nature*, juin 1998.

[WAS 94]: Wasserman S, Faust K .*Social network analysis: methods and application*. New york: Cambridje university press, 1994.