UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Conception et développement d'un systèmeautomatisé de gestion d'un circuit de distribution desproduits agro-pastoraux au Burundi : « Cas de laCoopérative de Traitement de Miel« COTRA-Miel » »

NTAYAGABIRI, Jean Pierre

2020-04
UB

https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/207

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

République du Burundi
Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université du Burundi
Faculté des Sciences de l'Ingénieur



Master en Génie
Informatique

Année Académique
2018-2019

MÉMOIRE

Présenté à la

Faculté des Sciences de l'Ingénieur (FSI)

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

en

Génie Informatique

par

NTAYAGABIRI Jean Pierre

Conception et développement d'un système automatisé de gestion d'un circuit de distribution des produits agro-pastoraux au Burundi :« Cas de la Coopérative de Traitement de Miel « COTRA-Miel » »

Soutenu le 23 /04 /2020, devant le jury composé de :

Pr. NAHAYO Fulgence	:Président
Dr. NIYONGERE Abraham	:Vice-Président
Dr. MANIRABONA Audace	:Secrétaire
Pr. NDIKUMAGENGE Jérémie	:Directeur
Dr. NKUNZIMANA Hilaire	:Co-directeur
Dr. MUKESHIMANA Michèle	:Membre

Dédicaces

A Dieu Tout Puissant,

A mes Chers Parents,

A mes Chers frères et sœurs,

A mes collègues étudiants.

Remerciements

Ma reconnaissance la plus profonde et ma gratitude la plus sincère à mon DIEU, Etérnel Tout Puissant pour SA GLOIRE.

Je tiens aussi à présenter mes plus vifs remerciements à mon directeur de mémoire Professeur Jérémie NDIKUMAGENGE et mon co-directeur Docteur Hilaire NKUNZIMANA , tous enseignant à l'université du Burundi pour m'avoir encadré tout au long de la réalisation de ce mémoire et pour leurs directives, leurs recommandations, leurs conseils et leur disponibilité. Leurs qualités scientifiques et humains ont été une source d'enrichissement et ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi à ceux qui m'ont fait l'honneur de faire partie du jury de mon mémoire. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

J'adresse ma gratitude aux enseignants qui ont contribués à ma formation, ainsi qu'à mes collègues et aux personnels de la COTRA-Miel.

Table des figures

2.1 Classification des approches de modélisation dynamique 15
2.2 Modèle 4+1 vues 19
2.3 Diagramme des cas d'utilisations 21
2.4 Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Authentification" 25
2.5 Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Rechercher" 26
2.6 Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Ajouter" 27
2.7 Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Supprimer" 28
2.8 Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Modifier" 29
2.9 Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Authentification" 30
2.10 Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Rechercher" 31
2.11 Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Ajouter" 32
2.12 Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Supprimer" 33
2.13 Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Modifier" 34
2.14 Diagramme de Classe 35

3.1 Exemple des classes d'équivalence 39
3.2 Modèle ergodique 41
3.3 Modèle gauche-droite parallèle 41
3.4 Modèle gauche-droite séquentiel 41
3.5 Processus de naissance et de mort : diagramme de transitions 44
3.6 Diagramme de transition d'état 52

4.1 Modèle du cycle de vie du logiciel en cascade 55
4.2 Modèle de cycle de vie en V 56
4.3 Modèle incrémental 57
4.4 Modèle de prototypage 58
4.5 Modèle en spirale 59
4.6 Formulaire d'authentification 61
4.7 Formulaire de création des utilisateurs 62
4.8 Formulaire de gestion des Fournisseurs 63
4.9 Formulaire de gestion des produits 63
4.10 Formulaire de gestion des factures 64
4.11 Création de la facture 65
4.12 Outil d'aide à la prise de décision 66

Liste des tableaux

2.1 Objectifs finaux de la simulation 16
2.2 Comparaison des approches analytique et de simulation 17
2.3 Identification des acteurs et cas d'utilisation 20
2.4 Description du cas d'utilisation " Authentification " 22
2.5 Description du cas d'utilisation " Gérer les clients " 22
2.6 Description du cas d'utilisation " Gérer le stock " 23
2.7 Description du cas d'utilisation " Rechercher " 23
2.8 Description du cas d'utilisation " Créer la facture " 24
2.9 Description du cas d'utilisation " Gestion des fournisseurs " 24

4.1 Avantages et Inconvenients du Modèle en cascade 55
4.2 Avantages et Inconvénients du modèle en V 56
4.3 Avantages et Inconvénients du modèle incrémental 57
4.4 Avantages et Inconvénients du modèle de prototypage 58
4.5 Avantages et Inconvénients du modèle en spirale 60

Liste des symboles

API Application Programming Interface

CRM Customer Relationship Management

EDI Environnement de Développement Intégré

ICT Information and Communication Technologies

IHM Interface Homme-Machine

JDK Java Development Kit

KPI Key Perfomance Indicator

LTL Less-Than-TruckLoad

MySQL My Structured Query Language

NTIC Nouvelles Technologies de l' Information et de la Communication

OMT Object Modelling Technique

OOSE Object Oriented Software Engineering

ROI Return On Investiment

SGBD Système de Gestion de Base de Données

TL TruckLoad

UML Unified Modeling Language

Résumé

Ce mémoire vise la mise en place d'une application informatique de gestion des circuits de distribution des produits au sein de la coopérative COTRA-Miel. Pour ce faire, nous avons procédé d'abord à une étude du fonctionnement et des activités de la coopérative COTRA-Miel à l'issue de laquelle une compréhension détaillée du domaine a été établie. Ensuite, nous nous sommes attelés à la modélisation du nouveau système en mettant l'accent sur les processus liés à la gestion de stocks et donc de la distribution des produits. C'est en l'occurrence les concepts du langage de modélisation UML - diagrammes qui ont été utilisés. Ces derniers permettent de comprendre sous différents angles la globalité du cas étudié en présentant une vue statique et dynamique de celui-ci. Chaque diagramme exprime une partie de la structure totale, tout en étant un aspect particulier du modèle. Enfin, nous avons passé à l'étude et l'analyse du comportement du système de gestion des stocks de la coopérative COTRA-Miel dans le temps en utilisant notamment les chaînes de Markov à temps discret. La combinaison de ces deux dernières approches nous a permis de développer, implémenter ou réaliser cette application à l'aide du langage de programmation Java en utilisant l'environnement de développement NetBeans.

Mots clés : circuits de distribution, modèle, UML, Java, chaînes de Markov, processus stochastique

Abstract

The aim of this dissertation is to set up a computer application for circuit management of product distribution within the COTRA-Miel cooperative. To do so, we first carried out a study of the operation and activities of the COTRA-Miel cooperative, at the end of which a detailed understanding of the field was established. We then set about modelling the new system, focusing on the process related to inventory management and therefore product distribution. Here, the concepts of the UML modeling language - diagrams- were used. These allow to understand the whole case from different angles by presenting a static and dynamic view of the case. Each diagram expresses a part of the total structure, while being a particular aspect of the model. Finally, we proceeded to the study and analysis of the behaviour of the inventory management system of the COTRA-Miel cooperative over time, using discrete-time Markov chains in particular. The combination of these last two approaches allowed us to develop, implement or realize this application using the Java programming language using the NetBeans development environment.

Keywords : distribution channels, model, UML, Java, Markov chains, stochastic process

Table des matières

Dédicaces **i**

Remerciements **ii**

Table des figures **iii**

Liste des tableaux **iv**

Liste des symboles **v**

Résumé **vi**

Abstract **vi**

Table des matières **vii**

Introduction générale **1**

1 Généralités et cadre du projet **3**
1.1 État de l'art . . . 3
1.1.1 État de l'art du circuit de distribution . . . 3
1.1.2 État de l'art de la commercialisation de biens et services . . . 4
1.1.3 État de l'art du transport des voyageurs et de marchandises . . . 5
1.1.4 Utilisation des TICs dans le commerce . . . 6
1.1.5 TIC et performance commerciale des coopératives . . . 7
1.2 Contexte du projet . . . 8
1.2.1 Présentation de la Coopérative de Traitement de Miel . . . 8
1.2.2 Problématique . . . 8
1.2.3 Critique de l'existant . . . 8
1.2.4 Solutions proposées . . . 9
1.2.5 Objectif du projet . . . 9
1.2.6 Intérêt du sujet . . . 9
1.2.7 Délimitation du sujet . . . 9
1.2.8 Apports scientifiques et technologiques . . . 10
1.2.9 Domaines d'application . . . 10
1.2.10 Méthodologie utilisée . . . 10
1.2.11 Outils mathématiques utilisés . . . 10
Conclusion . . . 10

2 Modélisation d'un circuit de distribution des produits dans la coopérative COTRA-Miel 11
2.1 Processus métiers liés à la gestion de stock et de transport dans un circuit de distribution des produits . . . 11
2.1.1 Gestion de stock dans un circuit de distribution . . . 11
2.1.2 Gestion de transport dans le circuit de distribution . . . 12
2.2 Généralités sur les processus de modélisation orienté objet . . . 13
2.2.1 Principes de modélisation . . . 13
2.2.2 Avantages de la modélisation en orienté objet . . . 14
2.3 Approches de modélisation d'un circuit de distribution . . . 15
2.3.1 Approche analytique . . . 15
2.3.2 Approche de simulation . . . 16
2.3.3 Comparaison des approches de la modélisation dynamique dans un circuit de distribution multi-niveaux . . . 17
2.4 Choix du langage de modélisation d'un circuit de distribution . . . 18
2.4.1 Démarche itérative et incrémentale . . . 18
2.4.2 Démarche pilotée par les besoins des utilisateurs . . . 18
2.4.3 Démarche centrée sur l'architecture logicielle . . . 19
2.5 Conception et modélisation du nouveau système de gestion du circuit de distribution à l'aide du langage de modélisation UML . . . 19
2.5.1 Diagramme des cas d'utilisation . . . 20
2.5.2 Scénarios nominaux . . . 22
2.5.3 Diagramme de séquence . . . 25
2.5.4 Diagramme d'activités . . . 30
Conclusion . . . 35

3 Optimisation des processus de distribution des produits dans la coopérative COTRA-Miel 36
3.1 Chaînes de Markov à temps discret . . . 36
3.1.1 Equation de Chapman-Kolmogorov . . . 37
3.1.2 Probabilités et matrice de transitions . . . 37
3.1.3 Graphe associé à une matrice de transition . . . 38
3.1.4 Classification des états . . . 38
3.1.5 Probabilités à équilibre de la chaîne de Markov . . . 40
3.1.6 Modèles markoviens particuliers . . . 40
3.2 Chaines de Markov à temps continu . . . 42
3.2.1 Générateur infinitésimal . . . 42
3.2.2 Chaîne de Markov induite . . . 43
3.2.3 Processus de naissance et de mort . . . 43
3.3 Optimisation au moyen des chaînes de Markov en temps discret des circuits de distribution . . . 45
3.3.1 Optimisation du stock dans un circuit de distribution . . . 45
3.3.2 Modélisation markovienne . . . 46
3.4 Optimisation du nouveau système de gestion d'un circuit de distribution des produits dans la coopérative COTRA-Miel à l'aide des chaînes de Markov en temps discret . . . 47
Conclusion . . . 53

4 Développement et réalisation d'une application de gestion de circuits de distribution des produits dans la coopérative COTRA-Miel 54
4.1 Modèles de cycles de vie d'un logiciel 54
4.1.1 Modèle de cycle de vie en cascade 54
4.1.2 Modèle de cycle de vie en V 56
4.1.3 Modèle incrémental 57
4.1.4 Modèle de prototypage 57
4.1.5 Modèle de cycle de vie en spirale 59
4.2 Outils de développement utilisés 60
4.2.1 Système de Gestion de Base de Données « MySQL » 60
4.2.2 Langage de programmation « Java » 60
4.2.3 Environnement de développement « NetBeans » 61
4.3 Présentation de quelques fonctionnalités de l'application développée 61
4.3.1 Authentification 61
4.3.2 Fenêtre pour la gestion les utilisateurs 62
4.3.3 Fenêtre pour la gestion des fournisseurs 63
4.3.4 Fenêtre pour la gestion des produits 63
4.3.5 Fenêtre pour la gestion des factures 64
4.3.6 Fenêtre pour l'impréssion de la facture 65
4.3.7 Fenêtre pour le calcul des probabilités de transition 65
Conclusion 66

Conclusion générale et perspectives 67

Recommandations 68

Bibliographie 69

Introduction générale

L'évolution technologique qui imprègne toutes les couches et composantes de l'humanité ne cesse pas de s'accélerer et de se consolider. Depuis plus de quatre milliards d'années d'existence de notre planète, toutes les espèces connues datent de moins de cent millions d'années. Il y a tous justes 500 ans, l'invention de l'imprimerie accélérait la diffusion du savoir. Aujourd'hui, plus de 200 millions d'ordinateurs installés démontrent qu'il serait inconcevable de s'en passer dans la civilisation industrielle contemporaine. La manière dont l'informatique a révolutionné l'actvité intellectuelle et économique n'a pas d'équivalent dans d'autres domaines. Sans être explicite, les spécialistes de la civilisation estime sans détour que l'humanité est entrain de vivre sa quatrième révolution industrielle : l'ère numérique.

L'environnement économique est en perpétuelle mutation induisant ainsi une instabilité et une concurrence mondiale auxquelles les entreprises doivent faire face. Cette mutation est principalement due au renversement du rapport entre l'offre et la demande, à la globalisation des marchés économiques mais aussi aux mutations techniques et technologiques. Ainsi, la survie des entreprises dépend de leur réactivité et de leur capacité d'adaptations aux changements. Dans cette optique, les entreprises créent de plus en plus d'alliances pour pallier aux limites et aux faiblesses individuelles face aux pressions de l'environnement mondial. Ces alliances ont donné naissance à de nouvelles formes organisationnelles et relationnelles dans lesquelles s'inscrivent les circuits de distributions de leurs produits.

Depuis des décenies, les matières premières ou les produits finis traversent de petites et de longues distances voir des continents pour arriver aux destinataires. Cependant, le développement et le progrès important dans le domaine des technologies et plus précisement celles de l'information et de la communication ont intensifié le besoin de formaliser les interactions entre les différents acteurs et d'intégrer des nouvelles pratiques de management.

La gestion des circuits de distribution des produits d'entreprises a connu une énorme évolution lors de ces dernières décenies car la plupart des compagnies industrielles s'y sont interessées, vue le rôle capital que cela pouvant jouer sur l'optimisation de leurs gains au niveau matériel qu'au niveau humain et surtout en termes de coûts. La complexité de ces circuits réside dans le fait qu'ils peuvent être constitués de plus qu'un niveau. Chaque niveau contient plusieurs sites de stockage dont des distributeurs, détaillants, fournisseurs et clients.

Aujourd'hui, avec l'évolution du marketing et la multiplicité des produits agricoles et pastoraux, les entreprises productrices doivent non seulement produire, mais aussi écouler leurs produits de la meilleure façon possible. Pour réussir à satisfaire le consommateur, l'entreprise doit présenter son produit au bon moment et au bon endroit. Et dans ce cas, l'entreprise doit choisir le circuit de distribution adéquat à ses produits en tenant compte d'une série de paramètres dont certains sont intrinséquement liés à la nature du produit.

Vu l'intérêt croissant en matière de gain de temps, la valeur de la disposition de l'information en temps réel, de conservation des données , de limitation de nombre d'employés et pour d'autres raisons, ont poussé petites, moyennes et grandes entreprises à chercher des solutions informatiques capables de répondre à ces besoins managériaux et opérationnels.

Au Burundi, le degré d'intégration et utilisation des Nouvelles Technologies de l' Information et de la Communication reste très faible. Cela est attesté par le faible taux de NTIC dans les organisations étatiques et privées. Le secteur commercial n'échappe pas à cette tendance et affecte négativement le secteur agricole dont dépend la survie de plus de 80% de la population burundaise.

L'objectif de ce projet est la conception et la réalisation d'un système automatisé de gestion d'un circuit de distribution des produits agro-pastoraux dans la Coopérative de Traitement de Miel (COTRA-Miel). Cette dernière constitue une entité pilote d'étude et d'expérimentation afin d'en dégager des solutions durables et viables pour tout le secteur agricole / pastoral au Burundi. C'est un système qui permettra aux gestionnaires de la COTRA-Miel de contrôler et de gérer le secteur commercial sans difficultés.

Ce mémoire comporte quatre chapitres :

Dans le chapitre premier, nous essayons d'analyser un peu le degré d'utilisation des TIC dans les coopératives agricoles et/ou pastorales et présenter les grandes lignes de ce projet de mémoire.

Le second chapitre consiste à la modélisation du système étudié à l'aide d'un langage de modélisation. Dans ce chapitre, nous allons aussi montrer l' interêt de modéliser un système avant de présenter le langage de modélisation UML.

Le troisième chapitre nous aide à étudier et analyser le fonctionnement du nouveau système à l'aide des modèles mathématiques appropriés. Grâce à la modélisation basée sur les chaines de Markov, nous allons pouvoir modéliser le concept de stock et étudier les voies et moyens d'optimiser les commandes dans cette coopérative tout en augmentant les recettes.

Le quatrième chapitre qui est aussi le dernier consiste à la réalisation et présentation de notre nouveau système de gestion.

Enfin, une conclusion générale et recommandations récapituleront les principaux résultats obtenus et présenteront les perspectives d'avenir pour ce projet.

Chapitre 1

Généralités et cadre du projet

1.1 État de l'art

Nous allons décomposer l'étude de la littérature en cinq parties. Nous allons commencer par l'état de l'art sur les circuits de distribution, puis l'état de l'art sur la commercialisation de biens et services, ensuite l'état de l'art sur le transport des voyageurs et de marchandises, puis l'utilisation des TICs dans le commerce et enfin les TICs et performance commerciale des coopératives.

1.1.1 État de l'art du circuit de distribution

Pour Viau (1969), une grande distance sépare le produit alimentaire tel qu'il sort des mains du cultivateur et tel qu'il parvient à la ménagère. Cette distance n'est pas seulement géograpphique, mais aussi qualitative.
De la ferme, partent des denrées brutes, sales, mésurées en quintaux ou en hectolitres, la ménagère les achète propres, triées, emballées, fractionnées en faibles quantités. Ces opérations nécessaires pour rapprocher un produit au consommateur et pour l'adapter à ses besoins sont complexes, délicates, onéreuses, irremplaçables. Leur ensemble constitue ce qu'on appelle un circuit de distribution.[1]

Le circuit de distribution est caractérisé par sa longueur, c'est-à-dire le nombre de niveaux qu'il comporte correspondant au nombre d'intermédiaires qui se placent entre le producteur et le client final.
La longueur d'un circuit de distribution dépend en grande partie du degré d'intégration de la fonction de gros qui se trouve en amont des points de vente de détail. Celle-ci peut être assurée par un seul ou par plusieurs grossistes intervenants successivement dans le circuit. Parfois même les détaillants assument eux-mêmes la fonction de distribution.

La longueur d'un circuit de distribution est une décision stratégique de l'entreprise et elle est conditionnée par ses objectifs, ses moyens, sa clientèle et la nature du produit ; et se mesure en nombres d'intermédiaires. Lorsque le nombre d'intermédiaires est faible, on parle de **circuit court** ou de **réseau de distribution direct**. A l'opposé, lorsque le réseau est constitué d'un grand nombre d'intermédiaires, on parle de **circuit long ou indirect**. La majorité des entreprises essaient d'avoir des réseaux de distribution les plus directs possibles afin d'accroître leur efficacité.[1]

1.1.2 État de l'art de la commercialisation de biens et services

L'histoire du commerce est l'une des composantes principales de l'histoire générale des civilisations. Nulle ne serait plus curieuse à suivre dans le détail la nature et le mécanisme des échanges à l'intérieur de chaque nation. La condition de la classe commerciale fournirait des sujets d'étude et de comparaison intéressants. Nous devons nous borner ici à esquisser une histoire du commerce international, en donnant à l'occasion quelques renseignements sur les procédés commerciaux et l'état de la classe commerciale dans quelques x sociétés à certaines époques de leur évolution. Il s'agit de mettre en exergue l'indication des marchandises échangées, des routes commerciales, des grands marchés et entrepôts du commerce international. Nous suivrons autant que possible l'ordre historique, mais sans morceler les faits relatifs à un même groupe géographique tout en sauvegardant la division usuelle.- Antiquité, Moyen Age, Temps Modernes. Elle est très factice, mais facilite au moins l'exposé quand on l'applique à l'histoire du bassin méditerranéen.[2]

À titre d'exemple, les trois grandes civilisations, - méditerranéenne , indienne et chinoise n'ont eu que peu de relations, même commerciales, dans deux premières périodes [2]. Ainsi, allons nous insister sur l'histoire du commerce des peuples méditerranéens. Dès l'antiquité, le commerce maritime paraît le plus important, en raison du moindre coût de transport. Au Moyen âge la situation générale est la même : le groupe méditerranéen s'étend, l'Europe occidentale s'organise politiquement et le commerce de la région atlantique devient considérable. Dans la troisième période, après la découverte de l'Amérique, ce dernier est prépondérant ; les relations avec l'Inde se développent ; la navigation s'améliore, l'exploitation des colonies par l'Europe s'intensifie. On peut admettre que le développement des rapports avec l'Inde et l'extrême Orient, la navigation dans l'océan Pacifique, le commerce mondial, la machine à vapeur et les chemins de fer ont révolutionné toutes les conditions de transport, inaugurant au 19ème siècle une quatrième période de cette ère.

L'antique Égypte entretenait des relations commerciales avec l'Éthiopie, l'Arabie et l'Inde, et les principaux objets échangés étaient l'or, l'ébène, les parfums, les étoffes, les pierres précieuses. Après la chute de l'Empire romain d'Occident, le commerce reste florissant dans l'Empire d'Orient. Par la mer Noire et la Caspienne, il tirait de l'Asie centrale les épices, les aromates, les pierres précieuses. Vers le Nord, des routes commerciales conduisaient jusque chez les Scandinaves et les Russes.

A la fin du 15ème siècle, l'application de la boussole et de l'astrolabe à la navigation, la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb, celle de la route des Indes en doublant le cap de Bonne-Espérance, enfin l'heureuse création des assurances maritimes, amenèrent une révolution complète dans le système commercial. Pendant les siècles qui se sont écoulés depuis la découverte du Nouveau -Monde jusqu'à l'aube de la première Guerre mondiale, une série de circonstances se sont réunies pour donner une prodigieuse extension au commerce mondial. Nous signalerons principalement l'amélioration et la multiplication des routes et des canaux dans les divers endroits du globe, l'application de la vapeur à la navigation, l'établissement des chemins de fer, l'abaissement progressif des barrières qui s'élévaient jadis entre les peuples et même entre les provinces d'un même pays, les progrès de l'industrie manufacturière à qui les débouchés extérieurs sont devenus indispensables, l'ouverture de marchés dans des pays jusque-là inexplorés, le développement des connaissances géographiques, l'augmentation très sensible du nombre des objets qui sont entrés dans la consommation constituent le gros des échanges de cette époque .[2]

1.1.3 État de l'art du transport des voyageurs et de marchandises

Le transport fait partie du quotidien de tous et chacun a donc une expérience plus ou moins riche, de son utilisation. Pourtant, le transport est aussi un secteur technique et économique complexe, avec des métiers et des compétences très diverses qui se coordonnent dans les "chaînes de transport".

Le transport de marchandises, encore appelé transport de fret ou même fret tout court, est en général une activité professionnelle en soi. Le chargeur possède une marchandise qu'il confie à un transporteur qui doit la livrer à un client. Si le transporteur est un service interne à l'entreprise du chargeur, on parlera de compte propre ; si c'est une entreprise en soi, qui vend ses services de transport, il s'agira de compte d'autrui. Le transport peut se prolonger par ou se déduire de la logistique, qui est un autre métier. La logistique concerne la gestion soit en amont de l'approvisionnement des produits bruts pour fabriquer des biens plus ou mois finis, soit en aval de la distribution des produits finis vers des centres de commercialisation ou directement chez le client final. Le transport de marchandise est donc une activité d'entreprises, qui utilisent généralemnent des circuits et des véhicules qui leur sont spécifiques. Il existe cependant deux exceptions notoires : le fret aérien, dont plus de la moitié voyage sous les pieds des passagers dans les avions de ligne, et les marchandises en ville, dont la moitié des déplacements s'effectue dans les coffres des voitures des consommateurs.[3]

C'est bien connu, l'homme est prêt à tout pour se faciliter la vie et pour avoir le moins d'efforts à faire. C'est ainsi que les plus belles inventions ont été créées et que notre société humaine est aussi avancée en terme de technologie. C'est également la raison pour laquelle les moyens de transport existent depuis la nuit des temps.
On commence notre étude dès la préhistoire où l'homme construit des embarcations fluviales tels que les pirogues creusées dans un tronc d'arbre, canöes en peau ou encore radeaux de roseaux. Ces bateaux sont très rudimentaires mais suffisamment fonctionnels pour permettre à l'homme de se déplacer et de transporter des petites charges. Par contre il ne fallait pas être pressé puisque le seul moyen d'avancer était à la force des bras à l'aide des rames. Par la suite, nos ancêtres ont eu l'idée très ingénieuse d'inventer la voile il y a près 5000 ans, une invention majeure qui engendrera les plus grandes explorations et les plus grands échanges commerciaux connus d'alors. La voile a vraiment permis l'essor du transport de marchandise et de l'exploration.

Au 19ème siècle, une nouvelle invention majeure fait son apparition : la machine à vapeur qui va permettre de développer massivement les transports de marchandise. Les bateaux à vapeur vont ainsi remplacer les bateaux à voile et les locomotives à vapeur vont remplacer les fidèles chevaux. La machine à vapeur va donc permettre à l'homme de se déplacer plus vite, plus loin et de transporter plus de marchandises qu'avant grâce à la construction et usage des chemins de fer. Par la suite, la machine à vapeur laissera sa place à l'électrification du réseau et à l'ère de la grande vitesse à la fin des années 60. Le point culminant de cet essor a été atteint avec l'électrification qui a inaugurée l'ère de la grande vitesse.

En 1860, la première ébauche d'un moteur à explosion fait son apparition et marque le début de l'ère automobile. Alimenté dans un premier temps par du gaz d'éclairage, le pétrole devient rapidement le carburant principal du moteur. Le concept de ce dernier sera repris par plusieurs ingénieurs qui chercheront à vendre leur brevet en France à la fin du 19ème siècle et sera finalisé en 1889 sur une voiture à quatre places. C'est à partir de ce moment que le

domaine de l'automobile va connaître la croissance explosive qu'on lui connait pour finalement devenir un standard du transport des gens et de marchandise.

Et enfin pour finir, un des plus vieux rêves de l'homme était celui de pouvoir voler. Un fantasme qui n'a jamais quitté son esprit quelle que soit l'époque ou la civilisation. Dès l'Antiquité, l'homme a cherché à réaliser son rêve, et on voit d'ailleurs apparaître les premièrs ébauches de cerf volants en Asie à cette époque. Mais il faudra attendre le 13ème siècle pour qu'un savant se penche en détail sur le sujet et émette les premières hypothèses concernant une machine qui pourrait voler. Par la suite, Léonard de Vinci sera à l'origine de l'hélice et du parachutes, précurseurs de l'hélicoptère. C'est ainsi qu'au début du 20ème siècle, l'humanité a assisté au premier vol d'un avion.[3]

1.1.4 Utilisation des TICs dans le commerce

Le Recours aux technologies d'information et de communication relève du quotidien dans les sociétés modernes dont le développement socio-économique est conditionné par l'usage du numérique.

D'une part, les marchés sont de plus en plus concurrentiels, le comportement des clients change et le consommateur, d'autre part, est devenu exigeant, il se renseigne sur les performances des produits. Ce dernier compare les services et négocie systématiquement les prix pour ne citer que cela.

Selon l'organisation de coopération et de développement économique, le secteur des technologies de l'information et de la communication est l'ensemble des trois secteurs.-Le secteur informatique, le secteur électronique et le secteur des télécommunications :

Dans le secteur informatique, nous distinguons les grands ordinateurs, machines de bureau, ordinateurs personnels, serveurs, matériels de réseaux, périphériques, ...

Le secteur électronique contient les composants électroniques, sémiconducteurs, équipements de l'électronique grands publics (téléviseurs, lecteurs de disques, récepteurs radio,...), circuits imprimés, appareils de mesure et de navigation ,...

Quant au secteur des télécommunications, nous avons les équipements professionnels de transmission, commutateurs, terminaux destinés aux usagers, relais, câbles, fibres optiques,...

L'utilisation de ces TIC permettent d'avoir accès à un volume important d'informations et à travers les échanges, des données informatisées potentiellement efficace pour une prise de décision.

Dans cet univers, les TIC renforcent et améliorent le type de management des dirigeants de petites et moyennes organisations. Dès lors, elles représentent des vecteurs privilégiés de la donne économique et concurrentielle. Cependant, l'intégration des TIC dans le tissu agricole, pastoral et économique reste confrontée à diverses contraintes d'ordres endogènes et exogènes. Elles ouvrent des problématiques résultants de l'intégration de ces techniques au sein des systèmes institutionnels. Elles couvrent notamment les produits, les pratiques et les procédés relativement générés par cette intégration. [4]

1.1.5 TIC et performance commerciale des coopératives

Notion de la performance commerciale

Evoluée moins vite que les autres fonctions, la performance commerciale peut être définie comme étant la capacité de l'organisation à satisfaire ses clients en offrant des produits et/ ou des services de qualité qui répondent aux exigences des consommateurs. Il s'agit en effet d'organiser la prospection, maitriser la vente ainsi que la négociation, bâtir la relation client pour fidéliser "CRM" à travers des outils bien précis mésurant l'efficacité des équipes commerciales qui mènent par la suite à la création du tableau de bord de l'activité de l'entreprise , piloter l'action commerciale, manager la force de vente et plusieurs autres fonctions.
Les sociétés visant la performance commerciale doivent se soucier des besoins de leurs clients, prendre en compte les stratégies de leurs concurrents afin de conserver, voire de dévélopper leurs parts de marché.

Généralement, les indicateurs de la performance commerciale ou les key performance indicator en anglais sont conçu pour répondre aux besoins du domaine commercial. Il existe en général quatre règles pour les KPI commerciaux mesurables ou non mesurables :- Les taux, les quantités, les données monétaires, le ROI (Return On Investiment). Ceux-ci sont quasi absent pour les petites organisations comme le cas des coopératives et surtout le modèle coopérative pastorale.[4]

TIC et performance commerciale

L'utilisation d' internet permet aux petites organisations comme les coopératives, d'entretenir des relations courantes commodes, rapides et peu coûteuses avec leurs fournisseurs, clients locaux et/ou étrangers et prestataires.
Cependant, le capital humain reste l'un des catalyseurs qui agissent sur la sensibilisation des promoteurs des coopératives et coopératives agricoles et/ou pastorales de l'importance de l'usage des technologies de l'information et de la communication, dans la mesure où celles-ci favorisent la gestion de l'information et de l'incertitude dans le contexte des marchés concurrentiels. Par conséquent, il apparait dans une volumineuse littérature de gestion que " internet est une composante stratégique pour l'entreprise tant dans sa recherche d'efficacité organisationnelle que compétitivité sur les marchés".

La question qui se pose est dans quelle mesure peut-on considérer les TIC comme une source de levier de performance commerciale des coopératives ?

A travers les TIC, le dirigeant de l'entreprise maitrise l'information, ce qui lui permet, à l'entreprise de contrôler ses systèmes de productions, de gestion commerciale, financière, humaine et informationnelle. En particulier, l'utilisation rationnelle d' internet constitue un atout significatif dans la création et la gestion des coopératives .
Malheureusement, les contre-performances engendrées dans les secteurs de l'énergie et des télécommunications empêchent aux coopératives agricoles et/ou pastorales de mieux valoriser l'application des TIC et d'être compétitives.

1.2 Contexte du projet

1.2.1 Présentation de la Coopérative de Traitement de Miel

Dans le cadre de la préparation du mémoire de fin du cycle de Master, le thème de notre projet est la conception et développement d'un système automatisé de gestion d'un circuit de distribution des produits agro-pastoraux au Burundi : Cas de la coopérative COTRA-Miel (Coopérative de Traitement du Miel). La COTRA-Miel est une coopérative d'élévage des abeilles œuvrant dans la ville de Bujumbura, possédant plus de 3000 ruches à l'intérieur du pays. Elle a été créée en 2017 et a pour mission d'élever les abeilles et de traiter le miel qu'ils produisent mais aussi d'acheter le miel produit par d'autres éléveurs que ce soient les coopératives ou les particuliers. Au commencement, la coopérative avait un seul point de vente mais pour le moment elle a plus de six points de vente éparpillés dans les différentes zones de la ville de Bujumbura.

1.2.2 Problématique

La COTRA-Miel comme tant d'autres coopératives locales se heurte à un problème d'insuffisance d'équipements informatiques. La sauvegarde des informations se fait sur des registres physiques classés dans des armoires. Cela engendre une série de problèmes dont :

- Ménace de déterioration des registres et pertes des données ;
- Incohérence des données ;
- Difficulté de suivi régulier des activités de la coopérative ;
- Méconnaissance de l'état financier de la coopérative et donc du chiffre d'affaires ;
- Élaboration difficile des rapports d'activité ;
- Gestion fastidieuse du personnel, des clients et des fournisseurs

Ainsi s'avère nécessaire la conception et le développement d'un système automatisé de gestion des circuits de distribution pour cette coopérative afin de pallier ces problèmes et dysfonctionnement qui entrainent le ralentissement de son essor économique et financier.

1.2.3 Critique de l'existant

L'objectif de cette étape consiste à faire ressortir toutes les anomalies réelles et potentielles ; étudier leurs causes profondes et y remédier adéquatement. Les anomalies et dysfonctionnements relevés sont entre autres :

- Travail manuel ;
- Insuffisance d'équipements informatiques ;
- Duplication d'informations et de documents ;
- Incohérence des données sauvegardées ;
- Difficulté de gestion des factures ;
- Difficulté de suivi et gestion de stocks ;
- Difficulté dans l'échange d'informations et des données au sein de la coopérative ;
- Manque d'outils d'aide à la prise de décision.

1.2.4 Solutions proposées

— Étudier les causes profondes des anomalies de gestion du système et en formaliser les pistes de solutions à ces dernières ;
— Créer une base de données pour la sauvegarde numérique d'informations et de données ;
— Mettre en place une application informatique pour la gestion des activités de la coopérative facilitant :-l'échange et la recherche parametrées d'information ;
— Protéger l'accéssibilité au système par des outils informatiques ;
— Former les utilisateurs du nouveau système ;

1.2.5 Objectif du projet

Objectif global du projet

L'objectif global de ce projet est la mise en place d'une application informatique de gestion qui permettra à la coopérative COTRA-Miel de suivre le mouvement des produits vers et en provenance des clients ou fournisseurs et d'en automatiser l'élaboration des rapports d'activité afin d'augmenter le rendement de la coopérative.

Objectifs spécifiques du projet

Les objectifs spécifiques du projet sont entre autres :
— Mettre en place un module d'échange d'informations et de données entre les agents de la coopérative ;
— Suivre en temps réels les états du stock ;
— Créer un module d'élaboration, de génération et d'impréssion des factures ;
— Pouvoir prendre de meilleures décisions à long terme à base de l'étude du comportement du système dans le temps.

1.2.6 Intérêt du sujet

Le travail réalisé présente un intérêt personnel, pour la coopérative et pour la communauté estudiantine et scientifique.

Pour moi, ce travail va me permettre d'améliorer mes connaissances et péser la solidité de mes compétences en la confrontant à un problème socio-économique réel et d'actualité. Il va en outre me permettre d'acquérir de l'expérience dans le domaine de la conception des systèmes automatisés de gestion et donc des applications informatiques de gestion.

Pour la COTRA-Miel, elle disposera d'un système automatisé de gestion de ses activités ce qui lui permettra d'améliorer le rendement grâce au module automatisant l'exécution d'une grande gamme d'activités réalisées manuellement auparavant.

Quant à la communauté estudiantine et scientifique, le présent projet va enrichir la base de thématiques pour l'étude et la recherche scientifique appliquée.

1.2.7 Délimitation du sujet

Dans le domaine, notre travail s'est limité à la réalisation d'un système de gestion des stocks et des points de vente dans le circuits de distribution.

Dans le temps, notre travail explore les activités de la coopérative de Janvier 2018 à Décembre 2019.

Dans l'espace, le présent travail se limite sur les activités de la coopérative COTRA-Miel et ses interactions avec ses partenaires locaux et sous-régionaux.

1.2.8 Apports scientifiques et technologiques

Notre projet, après sa réalisation va servir de référence et objet d'étude pour les étudiants et les chercheurs dans le domaine de la recherche opérationnelle, optimisation des circuits de distribution et des chaînes de valeurs. Il fournit un module de base dans la mutualisation des pratiques agro-pastorales locales et sous régionales.

1.2.9 Domaines d'application

Les domaines d'application des résultats de ce projet sont entre autre les entreprises de transformation et de commercialisation des produits agro-pastoraux, les coopératives de vente des produits agro-pastoraux et toute autre entreprise ou collectivités analogues.

1.2.10 Méthodologie utilisée

Lors de la récolte des informations nécessaires pour la conception et le développement du système, nous avons utilisé les techniques d'interview, les techniques d'entretien directif et non directif ainsi que des recherches documentaires sur le sujet.

1.2.11 Outils mathématiques utilisés

Pour réaliser notre projet, nous avons fait recours aux procédés de modélisation au moyen de l'outil mathématique appelé chaînes de Markov. Cet outil permet entre autre de déterminer les probabilités de transitions des produits d'une période à l'autre, de construire des matrices de transitions à n étapes ainsi que les probabilités stationnaires qui permettent d'avoir l'état de la coopérative par rapport à ses stocks après une période déterminée.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donner une brève aperçu historique sur le commerce et le transport en mettant l'accent sur les évolutions que ce domaine a subi avant d'évoquer l'apport de la révolution numérique et de terminer par la contéxtualisation du présent projet à l'aide d'une description systématique de ses aspects saillants.

Chapitre 2

Modélisation d'un circuit de distribution des produits dans la coopérative COTRA-Miel

La gestion des circuits de distributions a connu une énorme évolution lors de ces dernières decénies, car la plupart des compagnies industrielles s'y sont interessées, vue le rôle capital que cela peut jouer sur l'optimisation de leurs gains au niveau matériel comme au niveau humain et surtout en terme de coûts. La complexité des circuits de distributions réside dans le fait qu'ils sont constitués souvent de plus qu'un niveau. Chaque niveau contient plusieurs sites de stockage notamment des distributeurs, détaillants, transporteurs, fournisseurs et clients.
Ainsi, pour gérer, optimiser et pouvoir améliorer un système aussi compliqué, il est nécessaire de passer par une étape de modélisation qui reste l'outil le plus adéquat. Dans la littérature concernant la modélisation de tels systèmes, nous distinguons deux grandes catégories : les modèles analytiques et les modèles de simulations.

2.1 Processus métiers liés à la gestion de stock et de transport dans un circuit de distribution des produits

2.1.1 Gestion de stock dans un circuit de distribution

Le circuit de distribution est composé d'un ensemble de processus et maillons et de relations entre-eux visant à optimiser le déplacement des produits, dans l'espace et dans le temps, en vue de répondre plus efficacement aux exigences des clients et cela, au coût le plus bas. Une gestion saine d'un circuit de distribution consiste à planifier stratégiquement ses opérations, à s'approvisionner en élaborant de bonnes approches de collaboration entre les partenaires(maillons), à produire efficacement et à distribuer en respectant les niveaux de services, grâce à des réseaux d'approvisionnements optimisés.
La gestion des stocks dans un circuit de distribution implique tous les partenaires en incluant le fournisseur du fournisseur en partant du client final. La gestion de ces relations d'affaires est cruciale au succès du circuit. L'accent devrait être mis à développer des relations durables et profitables entre tous ces maillons. [5]
En plus, toutes les informations échangées à l'intérieur de chaque maillon doivent être partagées avec les autres partenaires afin de maximiser l'efficacité de l'ensemble. Cela permettra aux partenaires du circuit de pouvoir réagir à temps aux problèmes qui surviennent et de prendre des décisions possibles.

Une des caractéristiques fondamentales de gestion de stock dans le circuit de distribution est que chacun des partenaires a, positivement ou négativement, un impact sur le reste du circuit. Ainsi, toute rupture de marchandises chez un des fournisseurs se repércutera jusqu'au client final et tout changement de la demande chez le client final se repércutera jusqu'au fournisseur de la matière première. [5]
Dans la littérature, on a pu extraire cinq méthodes de gestion de stock :

1. Gestion de stock au point de commande : L'approvisionnement du stock est déclenché lorsque le stock descend au-dessous d'un niveau fixé appelé point de commande ;
2. Gestion calendaire : L'approvisionnement du stock est déclenché à des intervalles de temps réguliers ;
3. Gestion calendaire conditionnelle : L'approvisionnement du stock est déclenché à des intervalles réguliers, mais uniquement lorsque le stock descend en dessous d'un certain seuil de point de commande ;
4. Approvisionnement par quantité fixe : Chaque commande porte sur même quantité fixe. C'est le cas notamment lorsqu'il y a des contraintes de conditionnement ou de transport qui impliquent un achat minimum. Ceci suppose bien évidemment une fréquence d'approvisionnement variable ;
5. Approvisionnement par quantité variable : Lors de chaque commande, le stock théorique est mésuré pour commander une quantité qui permet de recompléter ce stock.

2.1.2 Gestion de transport dans le circuit de distribution

La planification du transport de marchandises est parmi les principales décisions logistiques d'une entreprise et qui se rattache aux trois niveaux suivants [6] :

Niveau stratégique : Ce niveau concerne les décisions planifiées à long terme et qui se rapportent à la conception du système de transport telles que la configuration et la conception du réseau de distribution en terme de l'espace couvert, de la détermination du nombre de sites logistiques (terminaux, dépôts, etc) à utiliser et de leur localisation , le type de service offert au client en terme de chargement(chargement partiel ou complet), du mode de transport(route, air ou voie d'eau), du type de gestion (compte propre ou compte d'autrui), du type de livraisons (directe ou inter-modale) etc. Les décisions stratégiques ont un impact sur les décisions tactiques ou opérationnelles ;

Niveau tactique : A ce niveau, les décisions sont à moyen terme et elles concernent le plan de chargement, les itinéraires à choisir, les équipements à acheter, la taille des envoies, etc. Ce niveau influe sur les décisions prises au niveau opérationnel ;

Niveau opérationnel : Il s'agit à ce niveau des décisions à prendre à court terme et qui concerne la planification des opérations courantes du transport telles que l'affectation des véhicules aux axes du réseau suite à une variation de la demande, la répartition des véhicules en temps réel, le contrôle des transporteurs, etc.

Pour ce qui est de l'organisation du transport routier, qui réside dans le choix du type de chargement, on a pu trouver deux types qui sont utilisés fréquemment :

— Le chargement complet ou le transport à charge entière : Connu en terminologie anglaise par TruckLoad (TL), il est effectué par un véhicule allant d'un point à un autre avec un seul envoi. On parle aussi de transport de lot et il représente environ deux tiers du volume du transport routier de marchandises. Son objectif consiste à la recherche d'un meilleur remplissage des véhicules.

— Le chargement partiel ou le chargement de lots brisés ou Less-than-TruckLoad(LTL) : Il est effectué par un véhicule qui prend plusieurs envois depuis et /ou à la destination des lieux différents.

D'après [7], il existe trois types de transport :

Transport périodique : A chaque fois qu'une entreprise a besoin de se réapprovisionner, elle lance une commande. L'entreprise en amont déclenche alors le processus de livraison et transfère la quantité demandée au niveau du quai de chargement. A chaque période du transport, le transporteur scrute son quai de chargement. Si de la marchandise y est présente, cela correspond donc à une commande et le transporteur lance alors son processus de transport. Après un délai de transport, la marchandise arrive au processus de réception de l'entreprise qui a lancé la commande ;

Transport sous conditions : Si la production à livrer atteint une certaine quantité définie par l'utilisateur, le processus de transport se déclenche automatiquement.

Transport au besoin : A chaque fois que le client lance une commande et que la quantité chez le fournisseur y est disponible, le processus de transport peut démarrer à condition que les ressources de transport soient disponibles.

2.2 Généralités sur les processus de modélisation orienté objet

2.2.1 Principes de modélisation

Le processus de modélisation vise à obtenir une solution acceptable du système informatique. La solution finalement retenue n'est pas obtenue en une seule itération. Plusieurs étapes sont nécessaires ; ces étapes successives permettent de raffiner le niveau de détails du système à réaliser. Les premières étapes donnent une vision à très gros grains et permettent d'avancer dans la compréhension du problème.
Par analogie avec un architecte qui dessine plusieurs plans pour concevoir une maison, la conception d'un système informatique est organisée dans une architecture de modélisation qui prévoit plusieurs visions du même problème pour aider à trouver une solution acceptable. La cohérence entre les différentes vues du système est importante, chaque vue ciblant des catégories différentes d'intervenants ayant des besoins différents.[8]

Lorsqu'une équipe collabore au développement d'un système informatique,trop de détails empêchent d'avoir une vue synthétique compréhensible par tous les participants au projet informatique, et trop peu d'informations conduit à des interprétations différentes et contradictoires. A partir d'une certaine taille et complexité, l'informatisation d'un système nécessite un processus de modélisation. Quelle que soit la taille du problème, une phase de modélisation est une aide au développement d'un système informatique.
Cependant, souvent, le nombre de personnes qui participent à la résolution du problème (clients, équipes de développement, équipe de maintenance) est un des éléments jouant fortement dans la décision de passer par une phase de modélisation. Plus le nombre de personnes est important, plus les échanges de documents sont importantes. Le processus de modélisation est nécessaire pendant toute la durée de vie du projet : discussion avec les clients, analyse du système à réaliser, documentation commune entre les développeurs, etc. La pérénnité de l'informatisation réalisée est un autre élement justifiant la décision de modéliser le système. En effet, le développement mais aussi la maintenance corrective et la maintenance évolutive bénéficient de l'existence du modèle en tant que documentation de référence.

La modélisation permet donc de spécifier le système à réaliser , de valider le modèle vis-à-vis des clients, de fournir un guide pour la construction du système pour organiser les structures de données et le comportement du système, et de documenter le système et les décisions prises.[8]

2.2.2 Avantages de la modélisation en orienté objet

Modéliser un système avant sa réalisation permet de mieux comprendre le fonctionnement du système. C'est également un bon moyen de maîtriser sa complexité et d'assurer sa cohérence. Un modèle est un langage commun, précis, qui est connu par tous les membres de l'équipe et il est donc, à ce titre, un vecteur privilégié pour communiquer. Cette communication est essentielle pour aboutir à une compréhension commune aux différentes parties prenantes (notamment entre la maitrise d'ouvrage et la maitrise d'œuvre informatique) et précise d'un problème donné.[9]

Dans le domaine de l'ingénierie du logiciel, le modèle permet de mieux répartir les tâches et d'automatiser certaines d'entre-elles. C'est également un facteur de réduction des coûts et des délais. Le modèle est enfin indispensable pour assurer un bon niveau de qualité et une maintenance efficace. En effet, une fois mise en production, l'application va devoir être maintenue, probablement par une autre équipe et, qui plus est, pas nécessairement de la même société que celle ayant créée l'application.

L'approche orientée objet est une façon d'aborder un problème et de le découper en petits sous problèmes. On commence par rechercher les objets du système puis leurs interactions. L' approche objet est la dernière évolution dans l'analyse et la conception des SI. Elle permet d'améliorer la productivité des concepteurs et des développeurs. L'approche objet simplifie le passage conceptuel/physique et facilite le prototypage par la réutilisation (modules dans les bibliothèques) et non par le développement.[10]

2.3 Approches de modélisation d'un circuit de distribution

La modélisation correspond à une représentation abstraite des concepts en utilisant une approche et un langage de modélisation qui traduit la structure et la dynamique des concepts du système. Dans la construction des modèles, il y a deux phases essentielles :

1. La première phase, appelée la modélisation statique, consiste à définir un modèle statique qui est la représentation de la structure d'un système de référence sans allusion à son évolution dans le temps.

2. La deuxième phase est la modélisation dynamique. Elle définit le dynamisme du modèle statique en incluant dans la représentation, des hypothèses ou des règles concernant l'évolution dans le temps du système de référence.

Pour la modélisation des circuits de distribution, plusieurs outils et approches sont utilisés. Dans le cas des systèmes multi-échelons, nous distinguons principalement deux grandes catégories de modèles :
La première concerne les méthodes de simulation tandis que la deuxième concerne les méthodes analytiques. La figure suivante définit une taxinomie des approches utilisées pour la modélisation dynamique des circuits de distributions dans le cas multi-niveaux, ceci en reliant les différentes classifications adoptées par la communauté scientifique.[11]

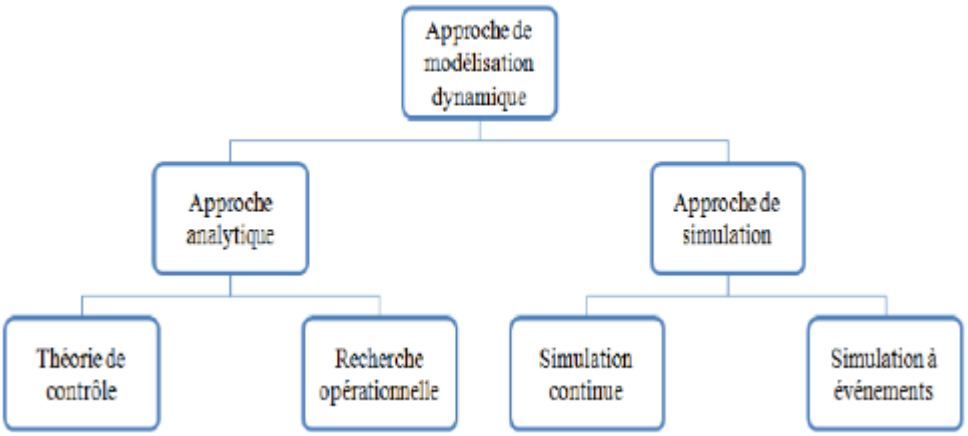


FIGURE 2.1 – Classification des approches de modélisation dynamique

2.3.1 Approche analytique

Les modèles analytiques sont des modèles mathématiques fondés sur des équations mathématiques afin de résoudre les problèmes d'une manière quantitative. En effet, l'approche analytique décrit les entités du système et leurs relations à l'aide d'une fonction d'analyse mathématique. L'éxecution d'un tel modèle est considérée comme une évaluation des entités et des relations. Ces modèles analytiques sont subdibvisés en deux catégories : Les modèles déterministes où tous les paramètres sont connus et les modèles probabilistes où les paramètres sont aléatoires.[12]

Dans la modélisation dynamique du circuit de distribution, la théorie du contrôle et la recherche opérationnelle sont deux méthodes analytiques très connues dans la communauté scientifique [13]. D'un côté, la théorie du contrôle modélise la chaîne logistique à partir d'équations différentielles et utilise l'analyse de transformation afin d'explorer son comportement. Cette méthode est dynamique mais s'appuie sur des hypothèses de linéarisation du comportement, d'où les modèles qui en résultent nécessitent une adaptation des conditions du modèle réel et ne permettent pas de représenter l'ensemble des circuits de distributions dans toute leur complexité. D'un autre côté, la recherche opérationnelle repose sur les théories d'optimisations, les statistiques et l'algorithmique. Cette méthode ne tient pas compte du temps ce qui rend la modélisation du comportement dynamique des entités difficiles à exprimer .[12]

2.3.2 Approche de simulation

La simulation repose sur l'exploitation d'un ensemble de modèles et méthodes permettant d'approcher, d'imiter, de simuler le comportement d'un système physique réel.
D'après [14] et [15], on considère que la simulation est, à un modèle dynamique, ce que l' expérimentation est à un système réel. Dans cette perspective où le modèle représente une certaine forme de compréhension d'un système de référence, la simulation est un ensemble de tests grâce auxquels il est possible pour un scientifique de raffiner cette compréhension et d'en tirer des connaissances nouvelles.

D'un point de vue informatique, on définit la simulation comme l'activité au cours de laquelle, selon un protocole et avec un objectif précis, on utilise un simulateur pour faire évoluer les entrées d'un modèle dynamique, l'éxecuter et en recueillir les sorties. Tout modèle écrit en respectant le métamodèle associé au simulateur et comportant au moins un paramètre d'entrée peut se prêter à ce processus de simulation .[16]

Dans le tableau suivant, Treuil et al., présentent une classification des objectifs de la simulation.

Table 2.1 – Objectifs finaux de la simulation

La simulation peut être utilisée à des fins de ...	
Validation, Évaluation, Vérification	La simulation a comme objectif de tester une hypothèse du modèle du système de référence, de le vérifier ou d'accréditer la théorie qui a servie à le construire
Communication, Formation, Visualisation	La simulation a comme objectif de montrer et de partager le modèle de la dynamique du système de référence
Compréhension, Exploration, Explicitation	La simulation sert à comprendre le fonctionnement du système de référence en considérant le modèle comme une réplique miniature qui pourra être étudiée plus facilement
Contrôle, Action, Pilotage	La simulation a comme objectif de servir de support à une prise de décision ou à un contrôle qui influera sur l'état réel du système de référence
Prévision, Prédiction, Anticipation	La simulation sert à prévoir les évolutions possibles du système de référence en fonctions d'évolutions ou de perturbations spécifiques

Afin d'atteindre ces objectifs, la technique de simulation du modèle se fait en adoptant soit une approche continue, soit une approche à événements discrets.
La simulation continue est fondée sur un modèle de systèmes d'équations différentielles ou de différences qui ne fait qu'évoluer un système et que nous pouvons homologuer à la théorie de contrôle. De ce fait, elle présente les mêmes limites que cette dernière. De son côté, la simulation à événemnts discrets vise d'une part à émuler le comportement du système et d'une autre part à faire émerger une organisation visant à améliorer le fonctionnement du système. [12]

2.3.3 Comparaison des approches de la modélisation dynamique dans un circuit de distribution multi-niveaux

Le tableau suivant résume d'une façon synthétique les différences et les ressemblances entre l'approche analytique et l'approche de simulation. Il se présente comme suit :

TABLE 2.2 – Comparaison des approches analytique et de simulation

	Modèle analytique	Modèle de simulation
Extensibilité	Minimum de temps et d'effort pour adapter un modèle analytique déjà existant pour un système multi-niveaux	Généralement développé cas par cas, et difficile de l'adapter à deux systèmes différents
Complexité	Approprié au problèmes déterministes, et devient très complexes dans des contextes stochastiques et dynamique	Approprié aux systèmes complexes ayant plusieurs paramètres stochastiques
Résolution	La résolution des systèmes multi-échelon se base sur diverses hypothèses restrictives, ce qui le rende le moins précis	Permet d'analyser le système multi-niveau d'une façon proche de la réalité
Optimisation	Se fait d'une manière systématique après simulation du modèle	Nécessite l'intégration des algorithmes d'optimisation
Coût	Coût limité, ne demande pas beaucoup de moyen	Demande un coût élévé

2.4 Choix du langage de modélisation d'un circuit de distribution

Pour le choix d'un langage de modélisation, on s'est interessé aux modèles de simulation qui se basent sur le langage UML, puisqu'ils ont la particularité de décrire les aspects statiques et dynamiques du système.
Unified Modeling Language (UML) est né de la fusion des trois méthodes qui ont plus infuencé la modélisation objet au milieu des années 1990 : OMT, BOOCH et OOSE. Cependant, avec l'évolution du concept objet, beaucoup de travaux utilisent ce standard pour structurer leurs modèles de référence. UML est avant tout un support de communication performant qui facilite la représentation et la compréhension d'un système complexe .[17]

Le langage UML est constitué de diagrammes intégrés utilisés par les développeurs informatiques pour la représentation visuelle des objets, des états et des processus dans un logiciel ou un système. Le langage de modélisation peut servir de modèle pour un projet et garantir une architecture d'information structuré ; il peut également aider les développeurs à présenter leur description d'un système d'une manière compréhensible pour les spécialistes externes. UML est principalement utilisé dans le développement de logiciels orientés objets. Les améliorations apportées à la norme dans la version 2.0 la rendent également adaptée à la représentation des procéssus de gestion.

UML est un langage qui permet de représenter des modèles, mais il ne définit pas le processus d'élaboration des modèles : UML n'est donc pas une méthode de modélisation [18]. Cependant, dans le cadre de la modélisation d'une application informatique, les auteurs d'UML préconisent d'utiliser une démarche :

— itérative et incrémentale ;
— guidée par les besoins des utilisateurs du système ;
— centrée sur l'architecture logicielle.

D'après les auteurs d'UML, un processus de développement qui possède ces qualités devrait favoriser la réussite d'un projet.

2.4.1 Démarche itérative et incrémentale

Pour modéliser un système complexe, il vaut mieux s'y prendre en plusieurs fois en affinant son analyse étapes par étapes. Cette démarche doit aussi s'appliquer au cycle de développement dans son ensemble, en favorisant le prototypage. Le but est de mieux maitriser la part d'inconnus et d'incertitudes qui caractérisent les systèmes complexes.

2.4.2 Démarche pilotée par les besoins des utilisateurs

Avec UML, ce sont les utilisateurs qui guident la définition des modèles. Le perimètre du système à modéliser est défini par les besoins des utilisateurs (les utilisateurs définissent ce que doit être le système). Le but du système à modéliser est de répondre aux besoins de ses utilisateurs (les utilisateurs sont les clients du système). Les besoins des utilisateurs servent aussi de fil rouge tout au long du cycle de développement (itératif et incrémental) :

— A chaque itération de la phase d'analyse, on clarifie, affine et valide les besoins des utilisateurs ;

— A chaque itération de la phase de conception et de réalisation, on veille à la prise en compte des besoins des utilisateurs ;
— A chaque itération de la phase de test, on vérifie que les besoins des utilisateurs sont satisfaits.

2.4.3 Démarche centrée sur l'architecture logicielle

Une architecture adaptée est la clé de voûte du succès d'un développement. Elle décrit des choix stratégiques qui déterminent en grande partie les qualités du logiciel (adaptabilité, performances, fiabilité, ...).
Ph.Kruchten propose différentes perspectives indépendantes et complémentaires, qui permettent de définir un modèle d'architecture. Ph.Kruchten défend l'idée que l'architecture logicielle doit être une discipline à part entière. Il propose que plusieurs perspectives concourent à l'expression de l'architecture d'un système et il explique qu'il est nécessaire de garantir la séparation et l'indépendance de ces différentes perspectives. L'évolution de l'une des perspectives ne doit pas avoir d'impact sur les autres. La relation entre les différentes perspectives a été représentée par Ph.Kruchten dans le schéma suivant dit "schéma 4+1 vues"[18] :

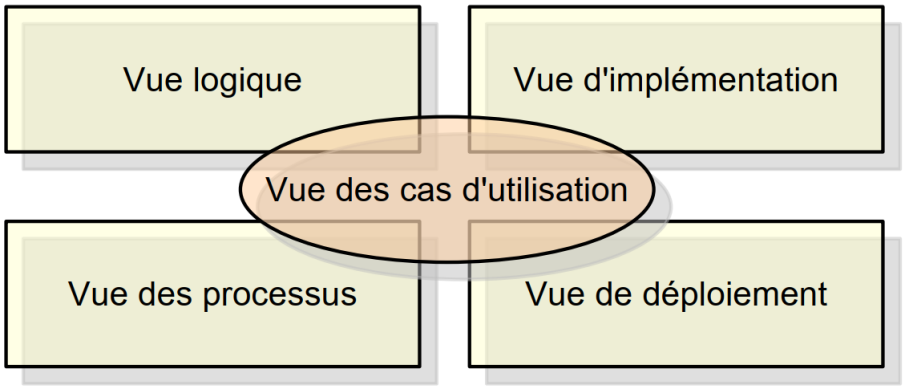


FIGURE 2.2 – Modèle 4+1 vues

2.5 Conception et modélisation du nouveau système de gestion du circuit de distribution à l'aide du langage de modélisation UML

UML permet de définir et de visualiser un modèle à l'aide de diagrammes. Un diagramme UML est une représentation graphique, qui s'intéresse à un aspect précis du modèle. C'est une perspective du modèle, pas le modèle. Chaque type de diagramme UML possède une structure (les types des éléments de modélisation qui le composent sont prédéfinis).Un type de diagramme UML véhicule une sémantique précise (un type de diagramme offre toujours la même vue d'un système).
Combinés, les différents types de diagrammes UML offrent une vue complète des aspects statiques et dynamiques du système. Les diagrammes UML supportent l'abstraction. Leur niveau de détail caractérise le niveau d'abstraction du modèle.

2.5.1 Diagramme des cas d'utilisation

Le diagramme des cas d'utilisation est un diagramme UML utilisé pour donner une vision globale du comportement fonctionnel d'un système logiciel.Les cas d'utilisations permettent de structurer les besoins des utilisateurs et les objectifs correspondants d'un système. Ils centrent l'expression des exigences du système sur ses utilisateurs : ils partent du principe que les objectifs du système sont tous motivés. La détermination et la compréhension des besoins sont souvent difficiles car les intervenants noyés sous trop grandes quantités d'informations : il faut clarifier et organiser les besoins des clients (les modéliser). Pour cela, les cas d'utilisations identifient les utilisateurs du système (les acteurs) et leurs interactions avec le système. Ils permettent de classer les acteurs et structurer les objectifs du système.
Une fois identifiés et structurés, ces besoins :

— définissent le contour du système à modéliser (ils précisent le but à atteindre) ;
— permettent d'identifier les fonctionnalités principales du système.

L'identification des acteurs et des cas d'utilisations nous permet d'avoir une première vue des acteurs dans la coopérative.

Voici ci-dessous un tableau illustrant l'identification des cas d'utilisation :

TABLE 2.3 – Identification des acteurs et cas d'utilisation

Acteurs	cas d'utilisation
Tous les acteurs	- Authentification
Agent commercial	- Gérer les produits en vente - Gérer les informations des clients - Gérer la facturation - Calcul du devis
Magasinier	- Gérer les fournisseurs - Gérer le stock central - Consulter les produits des différents points de vente
Tous les acteurs	- Rechercher
Responsable livraison	- Gérer les livreurs - Consulter les produits en stock central - Consulter la liste des fournisseurs - Consulter les produits en vente
Administrateur général	- Gérer les utilisateurs - Suivre les activités de tous les utilisateurs

Après avoir identifié les cas d'utilisation et ses acteurs, on peut alors produire le diagramme des cas d'utilisation du nouveau système de gestion du circuit de distribution des produits dans la coopérative. Voici ci-dessous le diagramme des cas d'utilisation du nouveau système de gestion :

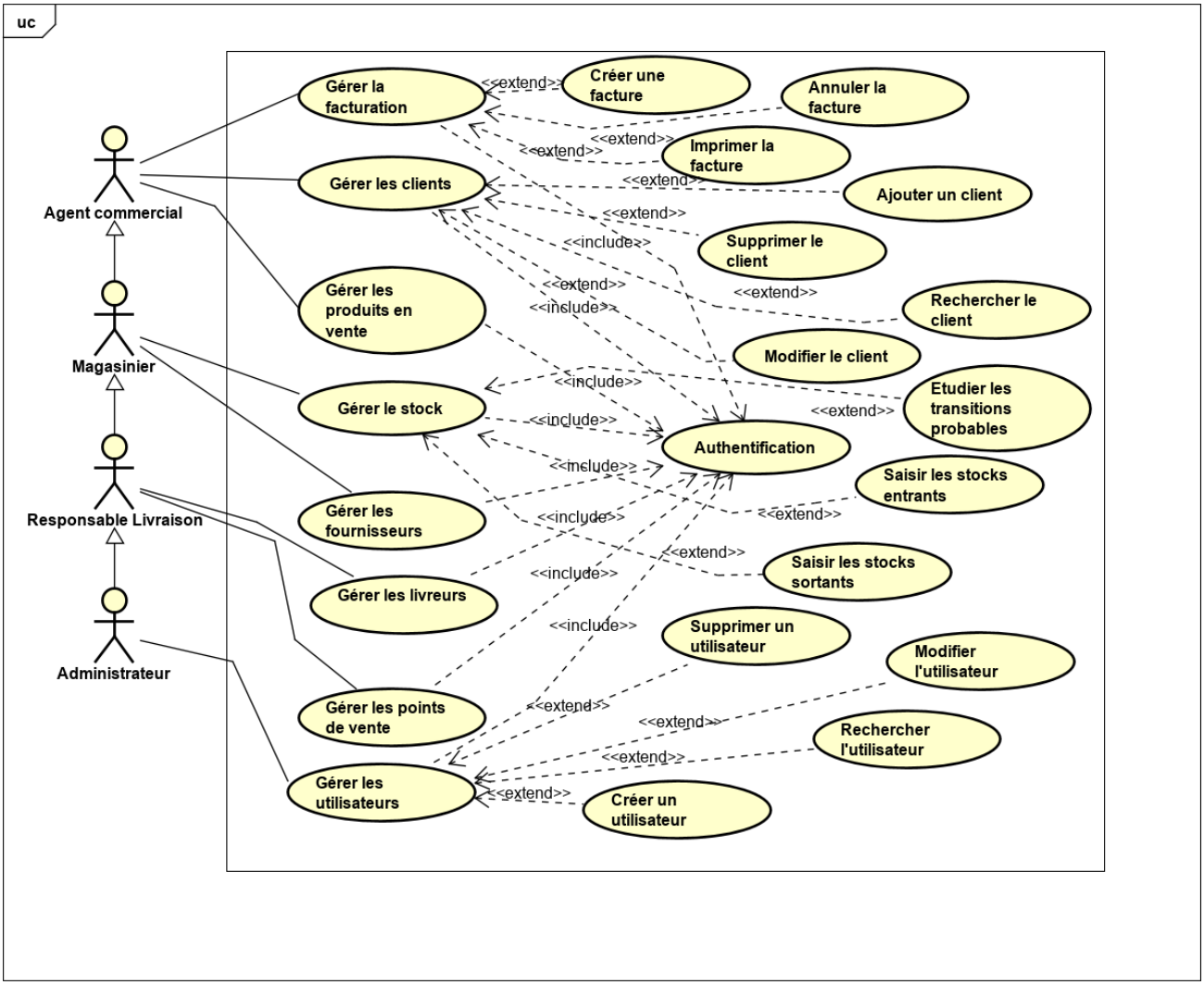


FIGURE 2.3 – Diagramme des cas d'utilisations

2.5.2 Scénarios nominaux

C'est la description de chaque cas d'utilisation en précisant un résumé du cas d'utilisation et les acteurs intervenants, ainsi que les scénarios nominaux.

TABLE 2.4 – Description du cas d'utilisation " Authentification "

Sommaire	
Cas d'utilisation numéro 1	Authentification
Résumé	Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur d'accéder à sa session
Acteurs	Tous les acteurs du système
Scénario nominal	L'utilisateur demande l'accès à l'application, il saisit son username et son mot de passe, le système fait la vérification puis il renvoie un message d'erreur en cas d'erreur de saisie ou bien d'un champ incomplet ou bien le système envoie un message de confirmation pour valider, le système envoie une requête de vérification à la base de données, la base de données fait une vérification, le système affiche un message d'erreur en cas d'erreur d'inexistence d'un utilisateur ou de mot de passe incorrect ou bien le système lui donne l'accès à la session.

TABLE 2.5 – Description du cas d'utilisation " Gérer les clients "

Sommaire	
Cas d'utilisation numéro 2	Gérer les clients
Résumé	Ce cas d'utilisation permet de créer , modifier et supprimer les clients
Acteurs	Agent commercial
Scénario nominal	L'utilisateur demande la page de gestion des clients. Le système affiche la page, l'utilisateur remplit les champs du formulaire, Vérification des nouvelles données saisies, mise à jour de la base de données, un message de confirmation sera affiché.

TABLE 2.6 – Description du cas d'utilisation " Gérer le stock "

Sommaire	
Cas d'utilisation numéro 3	Gérer le stock
Résumé	Ce cas permet de saisir les stocks entrants et les stocks sortants donc livrés vers les différents points de vente
Acteurs	Magasinier
Scénario nominal	Le magasinier saisit les stocks entrants, il vérifie la quantité des produits entrants dans le stock , il saisit également les stocks sortant destinés à la vente .

TABLE 2.7 – Description du cas d'utilisation " Rechercher "

Sommaire	
Cas d'utilisation numéro 4	Rechercher
Résumé	Ce cas permet d'effectuer une recherche dans le système
Acteurs	Tous les acteurs
Scénario nominal	Demande d'une formulaire de recherche, introduction du mot clé à rechercher, le système envoie une requête de recherche à la base de données, le système affiche les informations trouvées si non c'est un message d'erreur qui sera renvoyé .

TABLE 2.8 – Description du cas d'utilisation " Créer la facture "

Sommaire	
Cas d'utilisation numéro 5	créer la facture
Résumé	Ce cas permet à l'agent commercial de créer la facture des produits achetés par son client
Acteurs	Agent commercial
Scénario nominal	L'utilisateur demande le formulaire de gestion des factures, le système affiche le formulaire, l'utilisateur saisit les informations nécessaires, un message de confirmation sera affiché, impression de la facture .

TABLE 2.9 – Description du cas d'utilisation " Gestion des fournisseurs "

Sommaire	
Cas d'utilisation numéro 6	Gestion des fournisseurs
Résumé	Ce cas permet à l'utilisateur de gérer les fournisseurs
Acteurs	Magasinier
Scénario nominal	L'utilisateur demande le formulaire de gestion des fournisseurs, le système affiche le formulaire, l'utilisateur remplit le formulaire et le valide, un message de confirmation sera affiché .

2.5.3 Diagramme de séquence

Les diagrammes de séquences documentent les interactions à mettre en œuvre entre les classes pour réaliser un résultat, tel qu'un cas d'utilisation. UML étant conçu pour la programmation orientée objet, ces communications entre les classes sont reconnues comme des messages. Le diagramme de séquence énumère des objets horizontalement, et le temps verticalement. Il modélise l'exécution des différents messages en fonction du temps.

Diagramme de séquence d'authentification

Tous les acteurs du système doivent s'authentifier en accédant à l'application, le système renvoie un formulaire d'authentification, l'utilisateur saisit les données relatives au champ de ce formulaire et les valide. Le système effectue une vérification et affiche la page réservée à l'utilisateur authentifié ou le message d'erreur. Voici le diagramme de séquence d'authentification :

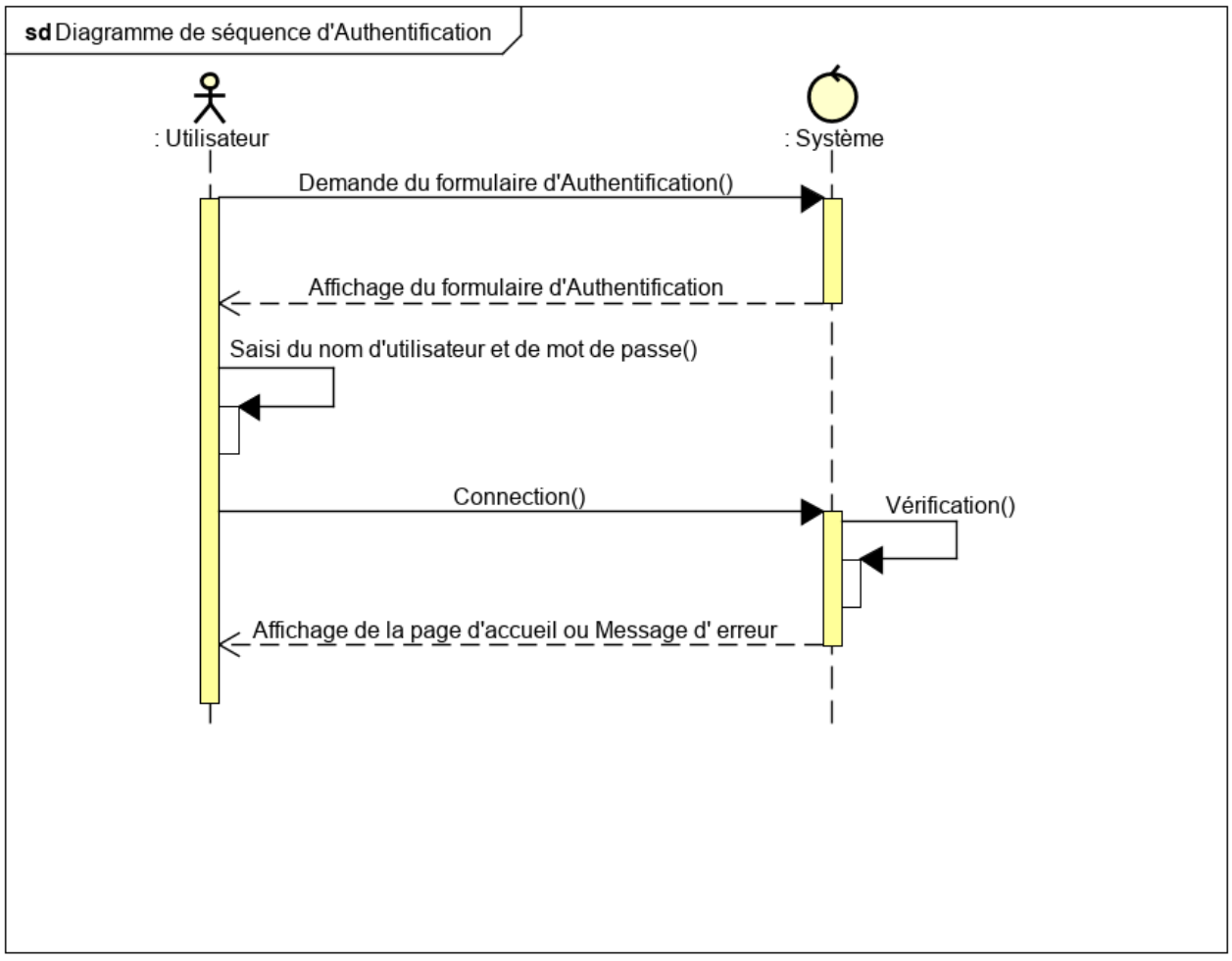


FIGURE 2.4 – Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Authentification"

Diagramme de séquence de rechercher

Après authentification, l'utilisateur demande au système un formulaire de recherche, le système lui renvoie le formulaire, l'utilisateur saisit le mot clé de sa recherche et le valide, le système effectue une recherche dans la base de données ; si la donnée n'existe pas, le système informe l'utilisateur sinon il renvoie le résultat à l'utilisateur. Voici ci-dessous le diagramme de séquence de rechercher.

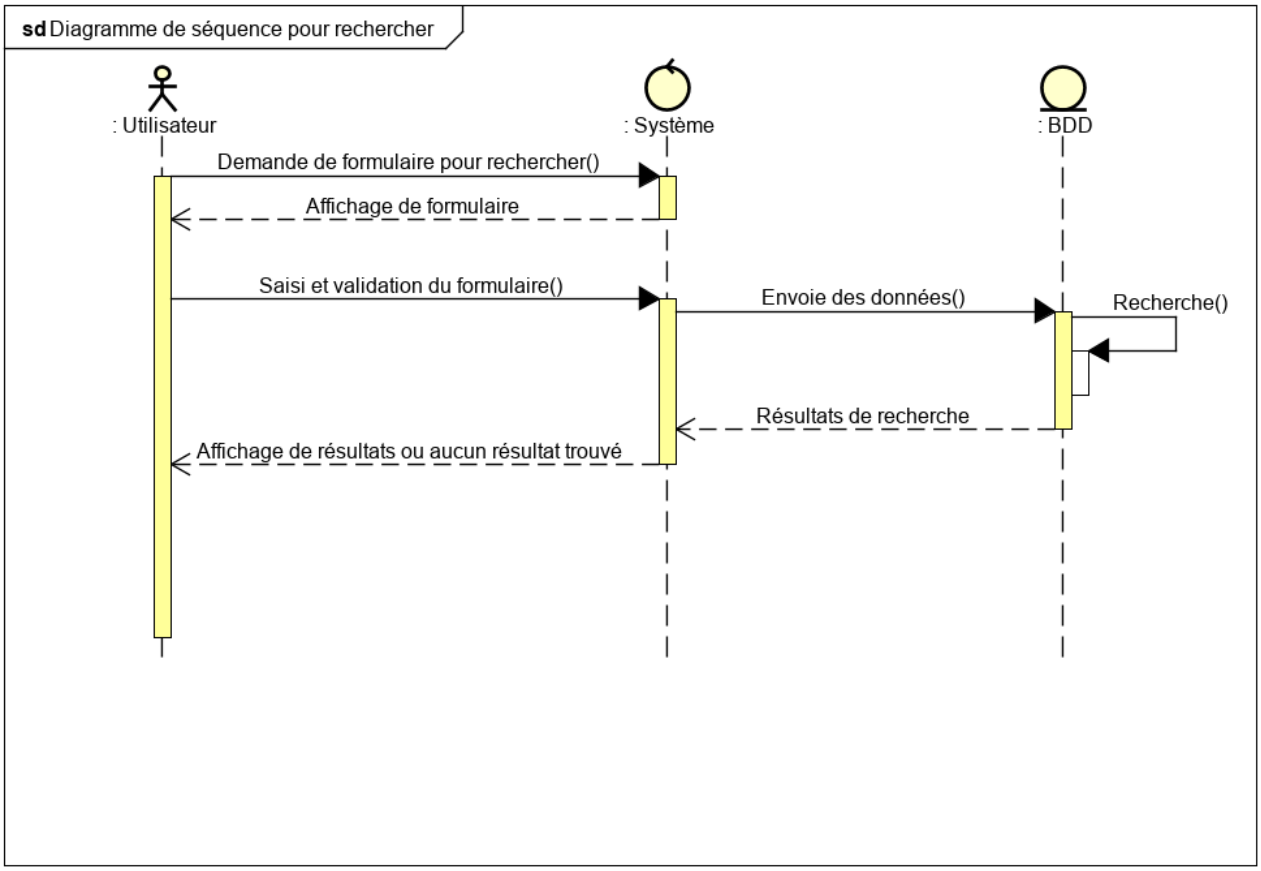


FIGURE 2.5 – Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Rechercher"

Diagramme de séquence d'ajout

L'utilisateur, après avoir s'authentifier, demande au système un formulaire d'ajout, le système lui renvoie le formulaire et il saisit et valide les données, le système envoie alors les données à la base de donnée qui, par la suite les stocke. Le système envoie enfin à l'utilisateur un message de confirmation d'enregistrement.

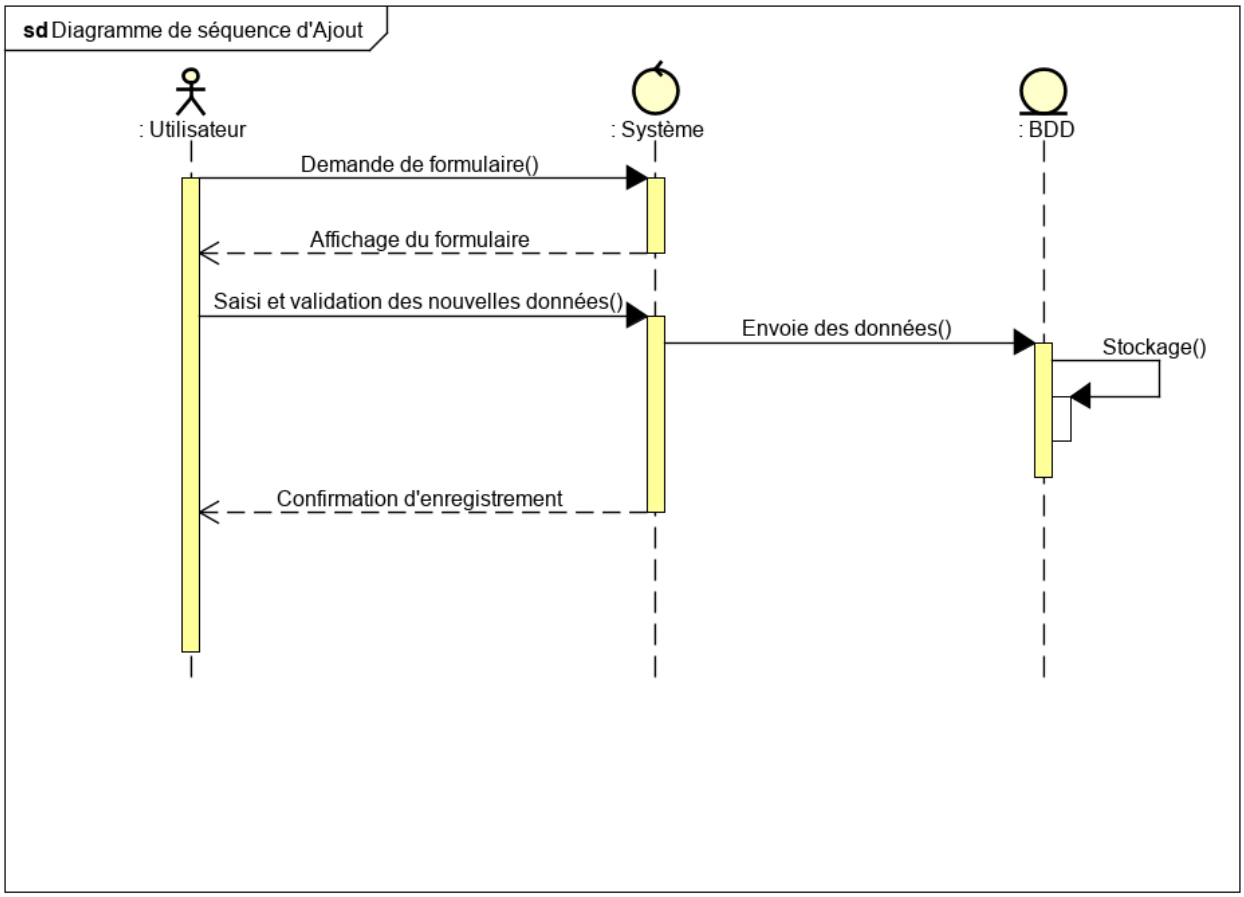


FIGURE 2.6 – Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Ajouter"

Diagramme de séquence de suppression

L'utilisateur, étant connecté, il demande au système un formulaire pour supprimer un élément. Le système renvoie le formulaire, l'utilisateur saisit l'identifiant de la donnée et valide, le système demande la recherche à la base de donnée et puis la base de donnée charge la donnée. En cas d'inexistence de la donnée, le système envoie à l'utilisateur un message d'erreur et si la donnée est trouvée, il y a affichage de la donnée. L'Utilisateur confirme la suppression. Le système soumet la requête . La base de donnée exécute la suppression de la donnée.

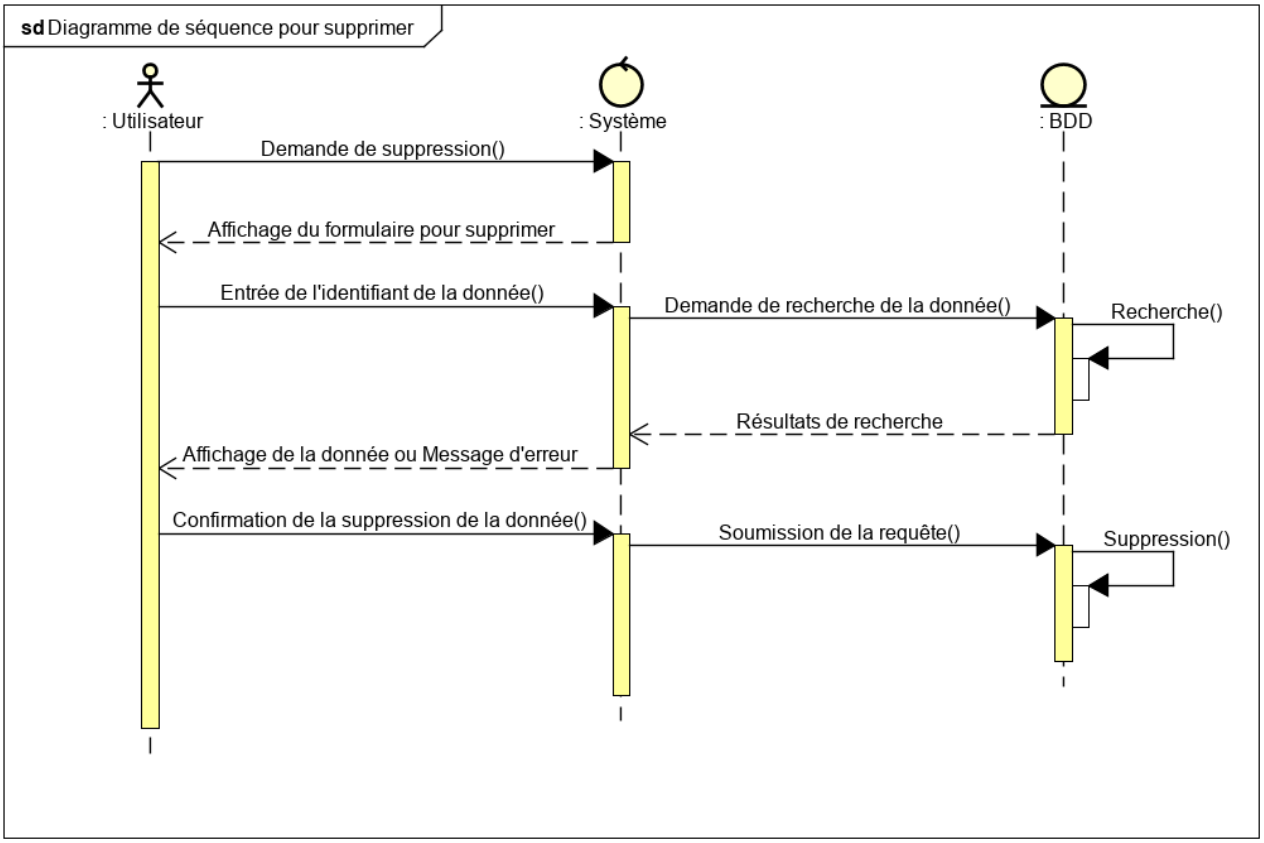


FIGURE 2.7 – Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Supprimer"

Diagramme de séquence de modification

L'utilisateur authentifié commence par rechercher la donnée à modifier, et une fois trouvée, il choisit de modifier ses informations. Le processus continue comme pour ajout mais la différence est que l'utilisateur n'a pas besoin de saisir toutes les informations concernant l'élément à modifier. Les données sont chargées avec le formulaire, l'utilisateur ne fait que changer les informations qu'il veut modifier.

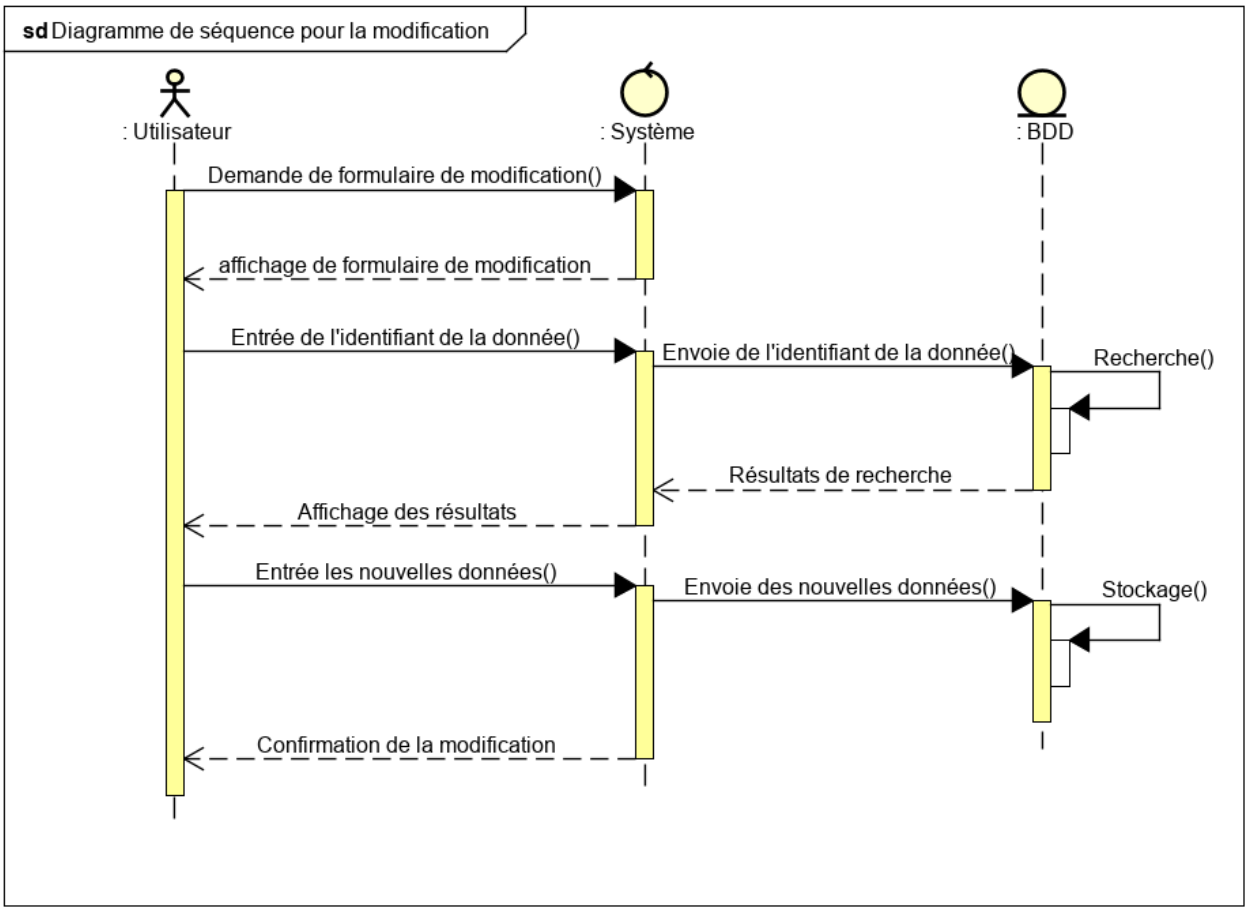


FIGURE 2.8 – Diagramme de séquence pour le cas d'utilisation "Modifier"

2.5.4 Diagramme d'activités

Le diagramme d'activité est un diagramme dynamique d'UML décrivant les activités séquentielles et parallèles d'un système. Il permet ainsi de représenter graphiquement le comportement d'une méthode ou le déroulement d'un cas d'utilisation.
Une activité définit un comportement décrit par un séquencement organisé d'actions. Le flot d'exécution est modélisé par des nœuds reliés par des transitions. Le flot de contrôle reste dans les traitements jusqu'à ce que les traitements soient terminés.

Diagramme d' activités d' Authentification

Ce diagramme montre les différentes étapes pour s'authentifier au serveur d'application. C'est un enchaînement d'activités qui font interagir l'utilisateur et le système depuis l'ouverture de la page de connexion jusqu'à l'ouverture de la session ou à l'échec. Il est représenté comme suit :

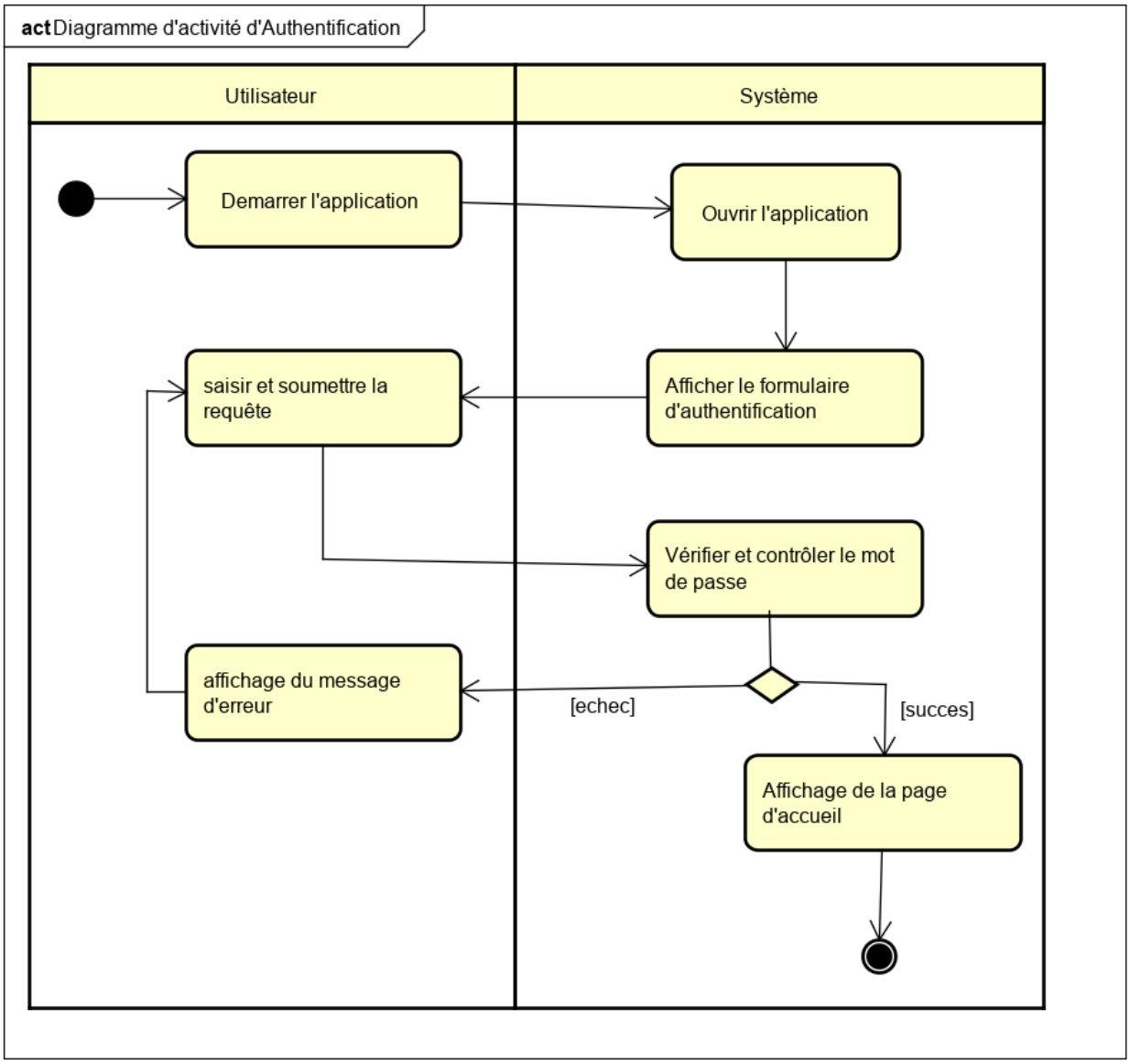


FIGURE 2.9 – Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Authentification"

Pour débuter l'actvité d' authentification, l'utilisateur démarre d'abord l'application, le système lui ouvre l'application et affiche le formulaire d'authentification, ensuite l'utilisateur saisit les informations relatives à son authentification et soumet la requête, le système vérifie la justesse du mot de passe et du nom d'utilisateur, si tous concordent, le système ouvre la page reservée à l'utilisateur, si nom le système renvoie le message d'erreur et l'utilisateur est obligé de saisir à nouveau son nom d'utilisateur et son mot de passe.

Diagramme d'activité de Rechercher

Lorsque l'utilisateur veut effectuer une recherche, il demande au système le formulaire correspondant à cela, l'utilisateur saisit le mot clé de la donnée et le soumet à la base de donnée, la base de donnée effectue cette recherche et renvoie la donnée.

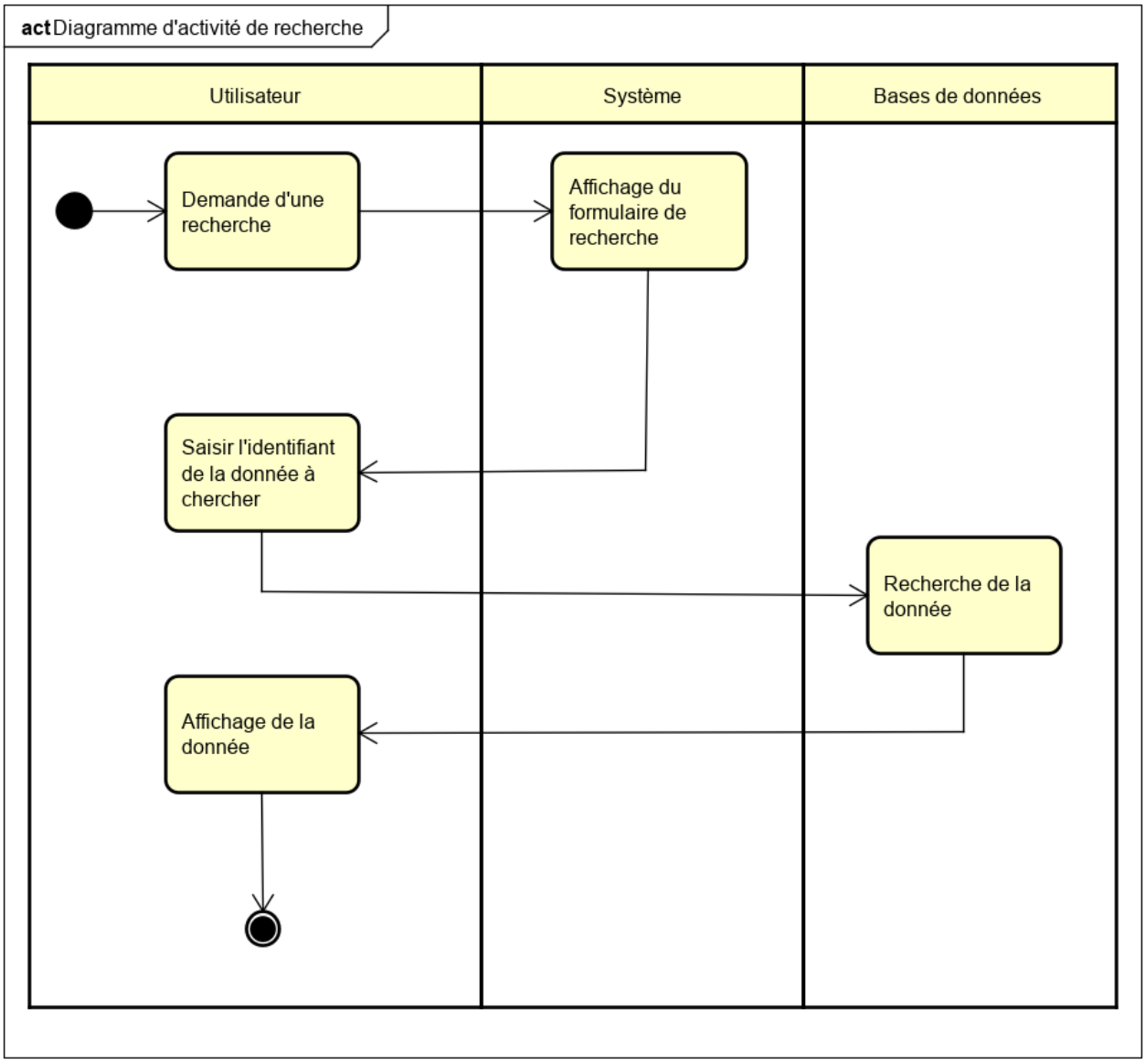


FIGURE 2.10 – Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Rechercher"

Diagramme d'activité d' Ajout

Ce diagramme représente les différentes opérations permettant à l'utilisateur d'ajouter une donnée dans la base de donnée. L'utilisateur demande d'abord le formulaire d'ajout, le système affiche, l'utilisateur saisit et soumet les nouvelles données à la base de données, la base de donnée vérifie si la donnée n'y est pas et renvoie un message d'erreur si la donnée y est déjà ou un message de confirmation et stocke les données.

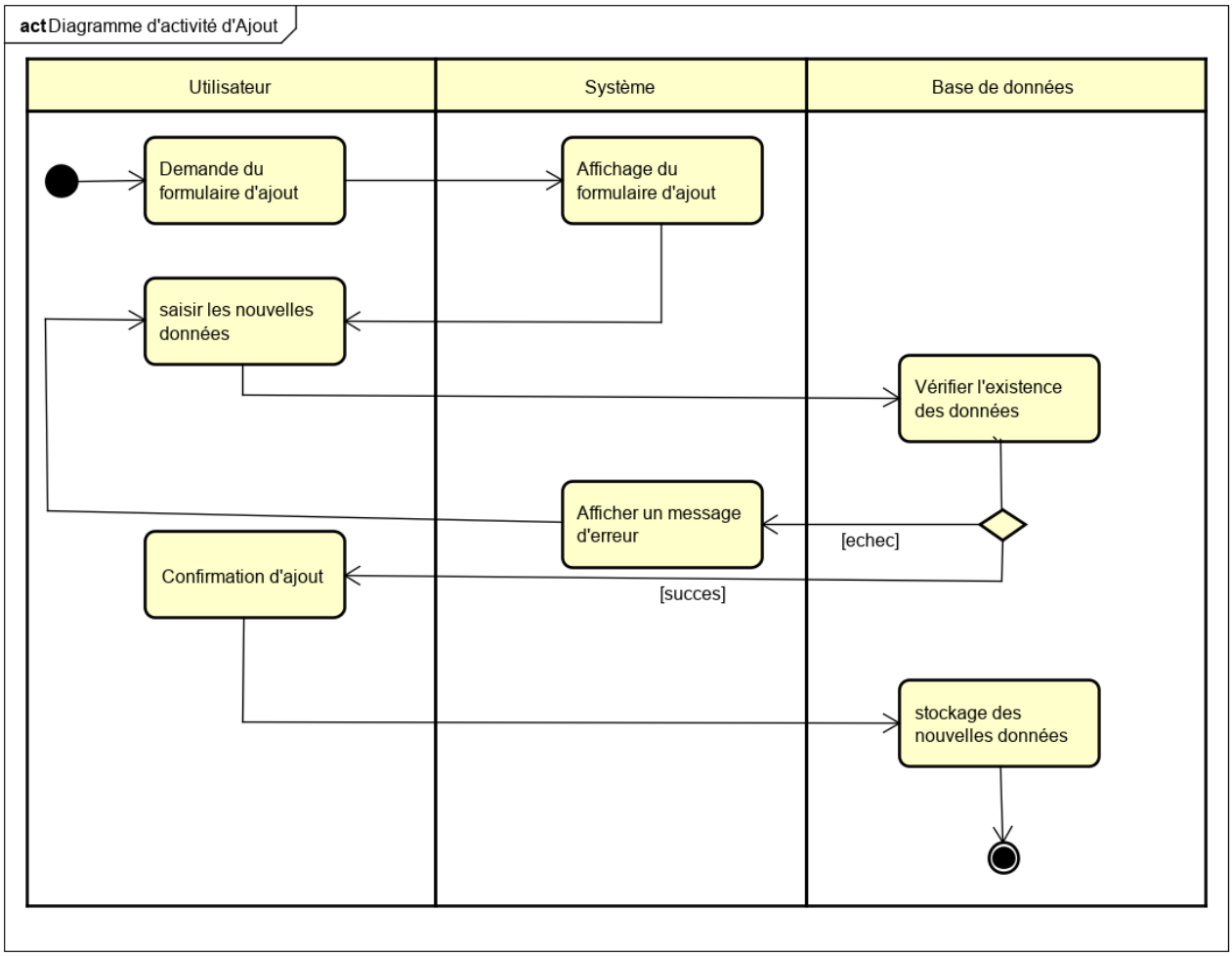


FIGURE 2.11 – Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Ajouter"

Diagramme d'activité de suppression

Ce diagramme montre les différentes opérations pour supprimer un élément dans la base de donnée. L'utilisateur demande d'abord le formulaire de suppression , le système l'affiche , l'utilisateur saisit l'identifiant de la donnée et soumet la requête à la base de donnée, celle-ci effectue la recherche et renvoie la donnée, l'utilisateur confirme la suppression et enfin la donnée est supprimée de la base de donnée.

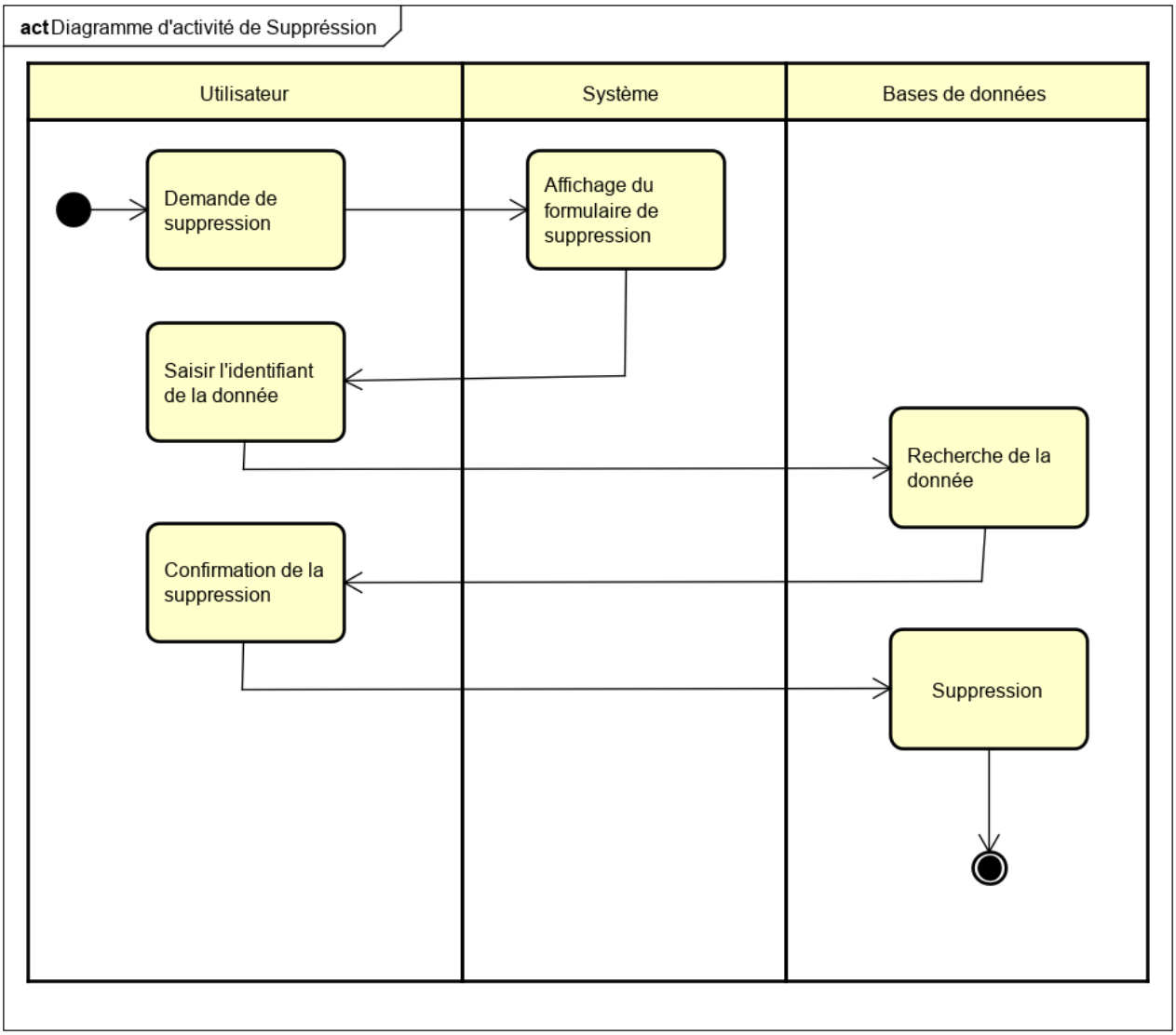


FIGURE 2.12 – Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Supprimer"

Diagramme d'activité de modification

Ce diagramme représente les différentes opérations pour modifier les informations d'un élément de la base de donnée.

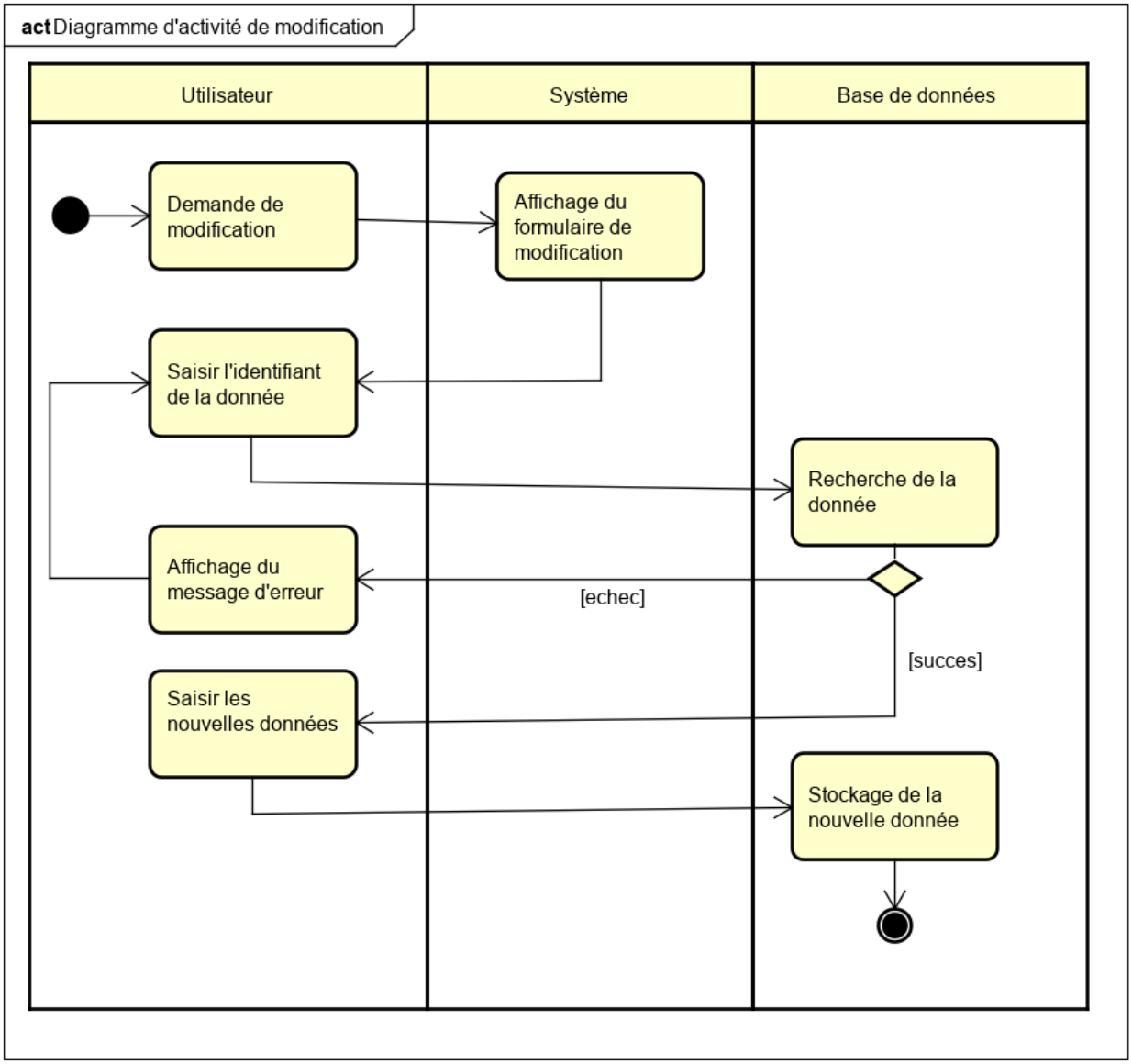


FIGURE 2.13 – Diagramme d'activité pour le cas d'utilisation "Modifier"

Diagramme de classe

Le diagramme de classe constitue le diagramme incontournable de la modélisation orientée objet. Il représente la structure interne du système à mettre en place. Il traduit une représentation abstraite de l'ensemble des objets du système qui vont interagir ensemble pour l'achévement des cas d'utilisation.
Le diagramme de classe modélise les concepts du domaine d'application ainsi que les concepts internes conçus dans le cadre de l'implémentation d'une application. Il s'agit d'une vue statique ne tenant pas compte du facteur temporel dans le comportement du système, permettant

de modéliser les classes du système et leurs relations indépendamment d'un langage de programmation particulier. Les principaux éléments de cette vue statique sont les classes et leurs relations : association, généralisation et plusieurs types de dépendances, telles que la réalisation et l'utilisation.[19]

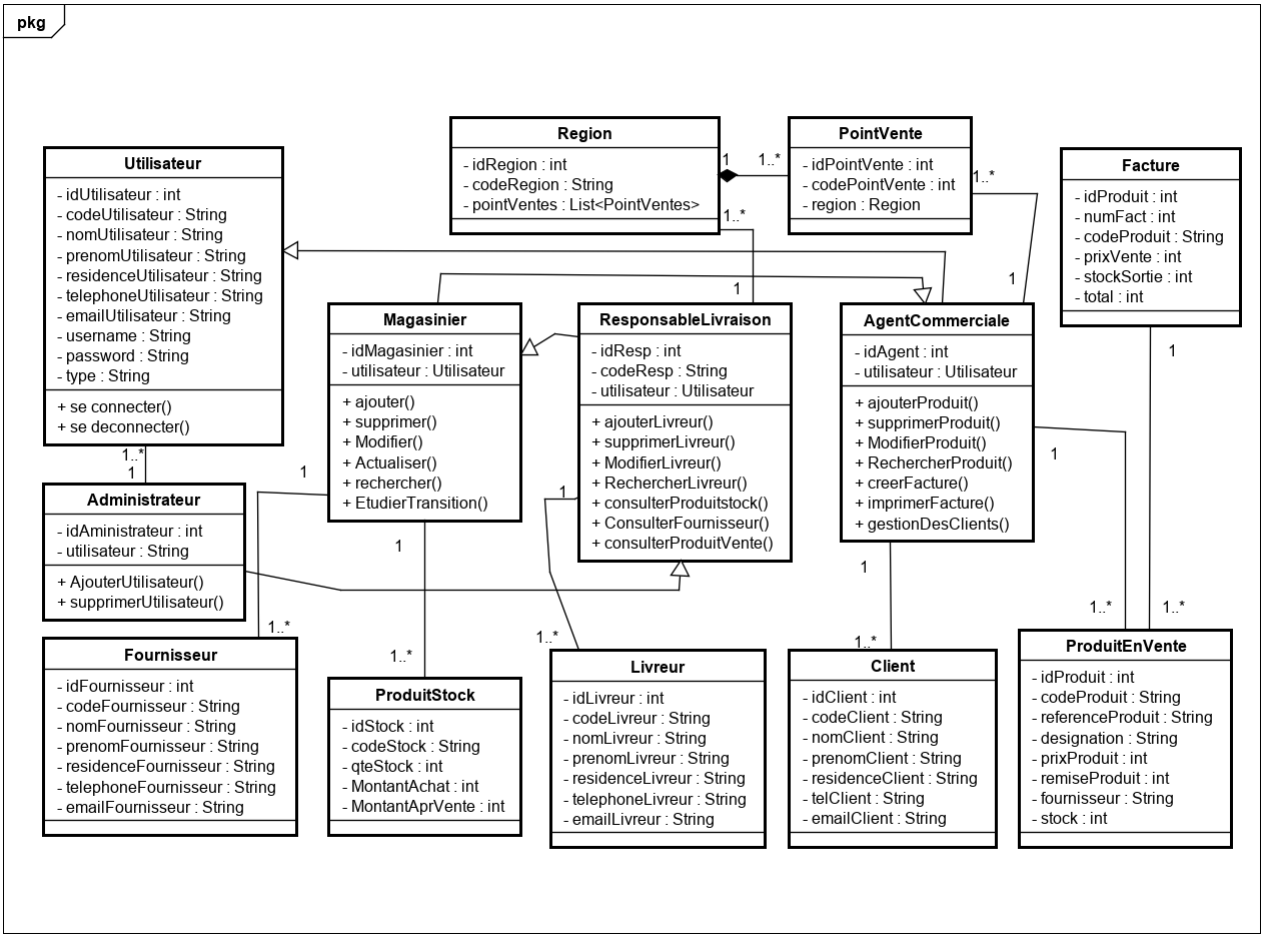


FIGURE 2.14 – Diagramme de Classe

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une étude fonctionnelle qui est une étape très importante pour la réalisation de notre projet. En premier lieu, nous avons introduit le langage de modélisation unifié UML, ensuite nous avons modélisé sous forme de diagramme de cas d'utilisation les différents acteurs et cas d'utilisation du système et enfin nous avons modélisé les interactions entre le système et les utilisateurs sous forme de diagrammes de séquence et d'activité.

Chapitre 3

Optimisation des processus de distribution des produits dans la coopérative COTRA-Miel

La planification stratégique ayant trait à la gestion de stock peut être modélisée, étudiée et formalisée à l'aide des modèles formels tels que les réseaux de pétri, chaînes de Markov, moniteur de Hoar . La plupart de processus stochastiques à temps discret se modélisent facilemnent à l' aide des chaînes de Markov. En effet, ces dernières permettent entre autre de modéliser, étudier et simuler des processus aléatoires dont les processus en temps discret et les processus en temps continu. Dans ce chapître, nous allons explorer et étudier ces derniers afin d'en déceler les caractéristiques propres à la gestion des circuits de distribution de la coopérative COTRA-Miel et ainsi motiver le choix d'un modèle de chaînes de Markov qui refléterait au mieux le processus métier retraçant le mécanisme de gestion inhérent à la coopérative avant d'en illustrer l'application sur la gestion des stocks de cette dernière.

3.1 Chaînes de Markov à temps discret

Soit $\{X_n, n \geq 0\}$ une suite de variables aléatoires à valeurs dans l'ensemble des états E supposé égale à $\mathbb{N}$. On dit que cette suite est une chaîne de Markov si $\forall n \geq 0$ et tout suite $(i_0, i_1, \ldots, i_{n-1}, i, j)$, on a :

$$\mathbb{P}\left(\overbrace{X_{n+1}=j}^{\text{Le Futur}} \,|\, \overbrace{X_n = i_n, X_{n-1} = i_{n-1}, \ldots, X_0 = i_0}^{\text{Le passé et le présent}}\right)$$

$$= \mathbb{P}\left(\underbrace{X_{n+1}=j}_{\text{Le Futur}} \,|\, \underbrace{X_n = i}_{\text{Le présent}}\right) \tag{3.1}$$

Cette chaîne est caractérisée par deux distributions de probabilité :

1. La distribution monodimensionnelle :

$$\mathbb{P}_i(n) = \mathbb{P}\left\{X_n = i\right\}, \forall n, i \in S \tag{3.2}$$

2. La distribution des probabilités conditionnelles (aussi appelée probabilités de transitions) :

$$\mathbb{P}_{i,j}(n) = \mathbb{P}\left\{X_{n+1} = j | X_n = i\right\}, \forall i, j, n \in S \tag{3.3}$$

Soit $(X_n)_{n\in\mathbb{N}}$ une chaîne de Markov à valeurs dans S.
La chaîne de Markov est dite *homogène* si pour tout $(i,j) \in S^2$ et tout $n \in \mathbb{N}$, la probabilité de passer à l'état j à l'instant $n+1$ sachant qu'on était à l'état i à l'instant n ne dépend pas de n :

$$\mathbb{P}\left(X_{n+1} = j | X_n = i\right) = \mathbb{P}(i,j) \quad \text{pour tout } n \in \mathbb{N}.$$

Les nombres $\mathbb{P}_{(i,j)}, (i,j) \in S^2$ s'appellent les probabilités de transition de la chaîne de Markov.[20]

3.1.1 Equation de Chapman-Kolmogorov

Les probabilités de transitions d'une chaîne de Markov entre les deux moments t et $(t+n)$ (incluant n transitions) vérifient la relation fondamental suivante :

$$p_{i,j}^{(n)} = \mathbb{P}(X_{t+n} = j | X_t = i), \forall i,j \in S \tag{3.4}$$

Cette relation est appelée *équation de Chapman-Kolmogorov*[21]

3.1.2 Probabilités et matrice de transitions

La probabilité que $X(n)$ soit dans l'état $i \in S$ est une des probabilités d'état $\pi_i(n) = \mathbb{P}(X(n) = i)$,dont la somme vaut évidemment l'unité :

$$\sum_{i\in S} \pi_i(n) = 1, \tag{3.5}$$

tandis que les probabilités $p_{i,j}(n) = \mathbb{P}(X(n+1) = j | X(n) = i)$ sont les probabilités de transitions à une étape de l'état i à l'état j au temps n, satisfaisant à la relation :

$$\sum_{j\in S} p_{ij}(n) = 1. \tag{3.6}$$

Ces probabilités de transitions sont généralement écrites sous forme d'une matrice dite *Matrice de transition* ou *Matrice stochastique* :

$$P = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & \cdots & p_{0i} & \cdots \\ p_{10} & p_{11} & \cdots & p_{1i} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ p_{i0} & p_{i1} & \cdots & p_{ii} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} \tag{3.7}$$

dont la somme des éléments d'une même ligne valent l'unité.

Les probabilités de transitions à deux étapes de l'état i à l'état j sont données par :

$$\begin{aligned} p_{ij}^2 &= \mathbb{P}\left(X(n+2) = j | X(n) = i\right) \\ &= \sum_{k\in S} \mathbb{P}\left(X(n+2) = j | X(n+1) = k, X(n) = i\right) \mathbb{P}\left(X(n+1) = k | X(n) = i\right) \\ &= \sum_{k\in S} \mathbb{P}\left(X(n+2) = j | X(n+1) = k\right) \mathbb{P}\left(X(n+1) = k | X(n) = i\right) \\ &= \sum_{k\in S} p_{kj} p_{ik} \end{aligned} \tag{3.8}$$

ce qui s'écrit sous forme matricielle :

$$P^{(2)} = PP = P^2 \tag{3.9}$$

On peut étendre ce résultat pour obtenir les probabilités de transition à m étapes de l'état i à l'état j par les *équations de Chapman-Kolmogorov* :

$$\begin{aligned} p_{ij}^{(m)} &= \mathbb{P}\left(X(n+m) = j | X(n) = i\right) \\ &= \sum_{k \in S} \mathbb{P}\left(X(n+m) = j | X(n+m-l) = k, X(n) = i\right) \mathbb{P}\left(X(n+m-l) = k | X(n) = i\right) \\ &= \sum_{k \in S} \mathbb{P}\left(X(n+m) = j | X(n+m-l) = k\right) \mathbb{P}\left(X(n+m-l) = k | X(n) = i\right) \\ &= \sum_{k \in S} p_{kj}^{(l)} p_{ik}^{(m-l)} \end{aligned} \tag{3.10}$$

pour tout $i \in S\,;\, j \in S\,;\, l = 1, 2, \ldots, m-1\,;\, m = l+1, l+2, \ldots$

Ces équations indiquent qu'en passant de l'état i à l'état j en m étapes, le processus sera dans un état k après exactement l(l étant plus petit que m)états. Ainsi, $p_{kj}^{(l)} p_{ik}^{(m-l)}$ n'est que la probabilité conditionnelle que, étant donné un point de départ de l'état j, le processus passe à l'état k après l étapes, puis à l'état i en $m-l$ étapes. Par conséquent, la somme de ces probabilités conditionnelles sur tous les k possibles doit produire $p_{ij}^{(m)}$. Le cas particulier de $l = 1$ conduira à l'expression suivante :

$$p_{ij}^{(m)} = \sum_{k \in S} p_{kj} p_{ik}^{(m-1)} \tag{3.11}$$

ou encore sous forme matricielle

$$P^{(m)} = P^{(m-1)} P = \cdots = P^m \tag{3.12}$$

3.1.3 Graphe associé à une matrice de transition

Pour visualiser l'évolution d'une chaîne de Markov homogène, il est souvent utile de représenter la matrice de transition P de la chaîne de Markov par un graphe orienté :
Les nœuds du graphe sont les états possibles pour la chaîne de Markov, une flèche allant de l'état i à l'état j indique qu'il y a une probabilité strictement positive que le prochain état de la chaîne soit l'état j si elle est actuellement dans l'état i. On met le poids p_{ij} à la flèche allant de l'état i à l'état j.[22]

3.1.4 Classification des états

Il est d'une très grande importance de classer les états d'une chaîne de Markov suivant qu'il est possible, ou non, de passer d'un état donné à un autre état donné :

Chaîne irréductible

Un état k est dit ***conséquent*** d'un état j (ou aussi l'état k est dit ***accessible*** à partir de l'état j)s'il existe un entier $m \in \mathbb{N}_0$ tel que $p_{jk}^{(m)} > 0$; c'est-à-dire s'il existe une suite de

transition ayant une probabilité non nulle de passer de l'état j à l'état k. Deux états j et k sont dits ***communicants*** si j est conséquent de k et k est conséquent de j.

La relation définie sur l'espace d'états d'une chaîne de Markov finie, homogène et à temps discret par $\forall j, k : j$ et k sont communicants, est une ***relation d'équivalence***, ce qui permet de réaliser une partition de S en classes disjointes(***classes d'équivalence***), telle que tous les états d'une classe communiquent entre eux et que deux états appartenant à deux classes différentes ne communiquent jamais.
Soient C_1 et C_2 deux telles classes ($C_1 \neq C_2$). Alors, s'il existe $x_j \in C_1$ et $x_k \in C_2$ tels que l'état k soit conséquent de l'état j, on écrit $C_1 \leq C_2$. On définit ainsi une relation d'ordre partiel sur l'ensemble des classes. Les élements maximaux de cette relation d'ordre sont appelés les ***classes finales***. Les autres classes sont dites ***classes transitoires***. Une chaîne de Markov qui ne comporte qu'une seule classe est dite ***irréductible***[23]. La figure 4.1 montre l'exemple des classes d'équivalences.

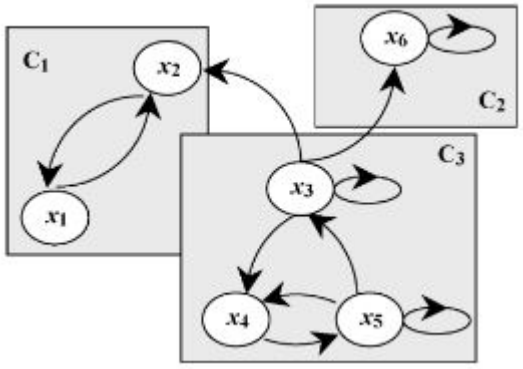


FIGURE 3.1 – Exemple des classes d'équivalence

Un état j est dit ***absorbant*** s'il est impossible de le quitter, c'est-à-dire si $p_{jj} = 1$. Un état absorbant forme donc une classe à lui tout seul. Une classe d'états est absorbante s'il est impossible de le quitter.[24]

Etats périodiques et apériodiques

Un état j a une période d s'il ne peut être visité qu'à des instants multiples de d, c'est-à-dire si $p_{jj}^{(n)} = 0$ pour chaque n qui n'est pas multiple de d, où d est le plus grand entier ayant cette propriété. Tous les états d'une classe ont la même période. En effet, supposons que i et j communiquent, et que i soit périodique de période d. Comme i communique avec j, il existe $k, m \in \mathbb{N}_0$ tels que $p_{ij}^{(k)} > 0$ et $p_{ji}^{(m)} > 0$. Pour tout $n \in \mathbb{N}$,

$$p_{ii}^{(k+n+m)} = \sum_{l \in S} \sum_{r \in S} p_{ir}^{(k)} p_{rl}^{(n)} p_{li}^{(m)} \geq p_{ij}^{(k)} p_{jj}^{(n)} p_{ji}^{(m)}. \tag{3.13}$$

Si $n = 0$, cette égalité devient $p_{ii}^{(k+m)} \geq p_{ij}^{(k)} p_{(ji)}^{(m)} > 0$, ce qui n'est possible que si $(k + m)$ est un multiple de d. Par conséquent, si n n'est pas un multiple de d, $(k + n + m)$ n'est pas un multiple de d non plus, et il s'ensuit que $p_{jj}^{(n)}$ doit être nul, puisque $p_{ij}^{(k)} p_{ji}^{(m)} > 0$. Ceci montre que j a une période multiple de d.
Si $d = 1$, l'état est dit ***apériodique***. Une chaîne irréductible dont tous les états sont apériodiques est donc elle-même apériodique.[25]

États récurrents et états transitoires

Un état $x_i \in S$ tel que, lorsque la chaîne est issue de ce point, elle y retourne en un temps fini avec une probabilité strictement positive, s'appelle un ***état récurrent***.Autrement dit, un état $x_i \in S$ est dit récurrent si la probabilité de repasser une deuxième fois en x_i après un premier passage est égal à 1. Au contraire, il est ***transitoire*** si cette probabilité est inférieur à 1 [26]. Lorsqu'un état est récurrent, chaque trajectoire issue de ce point y revient presque certainement une infinité de fois. Par contre, lorsqu'il est transitoire, chaque trajectoire issue de ce point n'y revient presque surement qu'un nombre fini de fois.

3.1.5 Probabilités à équilibre de la chaîne de Markov

Quand il existe une valeur m assez grande pour que les lignes de la matrice $P^{(m)}$ soient identiques, alors la probabilité que le système se trouve dans l'état j ne dépend plus de l'état initial du système (à t=0). Les probabilités à l'équilibre sont des propriétés à long terme des chaînes de Markov.
Pour toute chaîne de Markov ergodique et irréductible (ne comportant qu'une seule classe) $\lim_{m\to+\infty} p_{ij}^{(m)}$ existe et ne dépend pas de l'état i.

En outre,

$$\lim_{m\to+\infty} p_{ij}^{m} = \pi_j > 0,$$

où π_j satisfait les équations d'états stationnaires suivantes :

$$\pi_j = \sum_{i\in S} \pi_i p_{ij} \tag{3.14}$$

et

$$\sum_{j\in S} \pi_j = 1 \tag{3.15}$$

Les π_j sont appelées les probabilités d'états stationnaires ou probabilité d'équilibre de la chaîne de Markov. Le terme probabilité d'état stationnaire signifie que la probabilité de trouver le processus dans un certain état, disons j est indépendante de la distribution de probabilité de l'état initial.

Il est important de noter que la probabilité stationnaire (ou de stabilité) n'implique pas que le processus s'installe dans un seul état. Au contraire, le processus continue de faire des transitions d'état en état, et à toute étape m, la probabilité de transition de l'état i à l'état j est toujours p_{ij}.

3.1.6 Modèles markoviens particuliers

Il existe deux principaux types de modèles markoviens particuliers :
le modèle *ergodique* et le modèle *gauche-droite* :

1. Le ***modèle ergodique*** est un modèle sans contrainte où toutes les transitions d'un état vers un autre sont possibles, c'est-à dire, tous les états peuvent être atteints de n'importe où en un seul pas comme le montre la figure ci-dessous :
2. Le ***modèle gauche-droite*** est un modèle contenant des contraintes sur des transitions, c'est-à-dire où il peut y avoir interdiction de certaines transitions. Il existe deux sous-types de ce modèle qui sont le ***modèle parallèle*** et le ***modèle séquentiel*** comme le montre les figures ci-dessous :

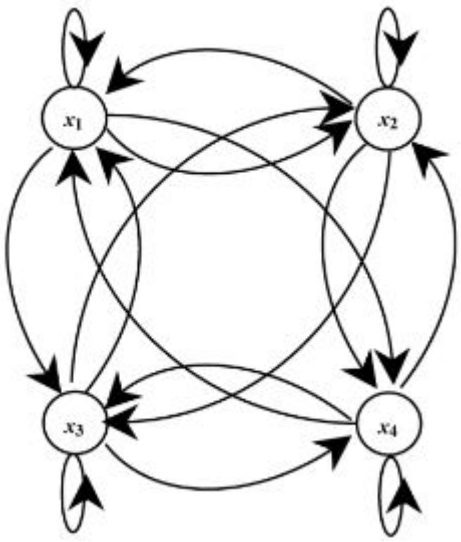


FIGURE 3.2 – Modèle ergodique

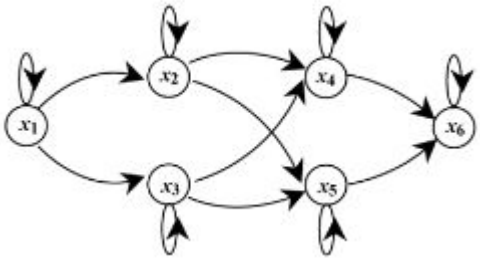


FIGURE 3.3 – Modèle gauche-droite parallèle

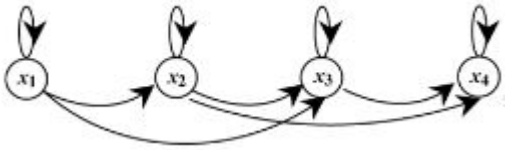


FIGURE 3.4 – Modèle gauche-droite séquentiel

3.2 Chaines de Markov à temps continu

Un processus stochastique en temps continu $\{X(t)\}$ à la propriété de Markov si :

$$\mathbb{P}\left(X(s+t)=j|X(s)=i,X(r)=l\right)=\mathbb{P}\left(X(s+t)=j|X(s)=i\right),$$
$$\forall i,j,l\in\{0,\ldots,M\}\,;\forall r\geq 0,s>r,t>0. \quad (3.16)$$

Le processus stochastique est alors une chaîne de Markov en temps continu. Les probabilités $\mathbb{P}\left(X(s+t)=j|X(s)=i\right)$ sont des probabilités de transitions similaires à celles que nous avions en temps discret.

3.2.1 Générateur infinitésimal

Une chaîne de markov à temps continu $(X_t)_{t\geq 0}$ est définie par un ensemble d'états, fini ou dénombrable S, par une matrice de taux transition, aussi appelée *générateur infinitésimal* Q, et par une distribution initiale sur l'ensemble des états .[27]
Soit S un espace dénombrable. Un ***générateur*** sur S est une matrice $Q=(q_{ij})_{i,j\in S}$ vérifiant :

1. pour tout $i\in S, 0\leq -q_{ii}<\infty$,
2. pour tout $i\neq j, qij\geq 0$,
3. pour tout $i\in S, \sum_{j\in S}q_{ij}=0$.

On notera $q_i=q(i)=-q_{ii}$ pour tout $i\in S$.
A un générateur Q, on associe la matrice de saut $\Pi=(\pi_{ij})_{i,j\in S}$ donnée par :

$$\pi_{ii}=\begin{cases}q_{ij}/q_i & \text{si } j\neq i \text{ et } q_i\neq 0\ ,\\ 0 & \text{si } j\neq i \text{ et } q_i=0\ ,\end{cases} \quad (3.17)$$

$$\pi_{ii}=\begin{cases}0 & \text{si } q_i\neq 0\ ,\\ 1 & \text{si } q_i=0.\end{cases} \quad (3.18)$$

La matrice Pi est stochastique : ces coefficients sont positifs et leur somme sur chaque ligne vaut 1. La matrice Q détermine la dynamique de la chaîne. On peut décrire de deux manières équivalentes la dynamique de $(X_t)_{t\geq 0}$.

La première description se fait par l'intermédiaire de la chaîne incluse et des temps d'attente : Le processus $(X_t)_{t\geq 0}$ est une chaîne de Markov à temps continu de générateur Q si

1. $(Y_n)_{n\geq 0}$ est une chaîne de Markov à temps discret de loi initiale λ et de matrice de transition Π,
2. conditionnellement à $Y_0=i_0,\ldots,Y_{n-1}=i_{n-1}$, les temps d'attente $S_1,\ldots,S_n$ sont des variables aléatoires exponentielles indépendantes de paramètres respectifs $q_{i_0},\ldots,q_{i_n-1}$.

Plus simplement, sachant que la chaîne X est issue de i, elle y reste un temps exponentiel de paramètre q_i puis saute à un nouvel état, en choisissant l'état j avec probabilité π_{ij}. Elle oublie ensuite ce qui s'est passé, attend un nouveau temps exponentiel de paramètre q_j (indépendant du précédent)...

La seconde description est l'analogue de la définition à temps discret. Notons $p_{ij}(t)=\mathbb{P}(X_t=j|X_0=i)$. Le processus $(X_t)_{t\geq 0}$ est une chaîne de Markov à temps continu si, pour tout $n\in\mathbb{N}$, tous $0\leq t_0\leq t_1\leq\cdots\leq t_{n+1}$ et tous états $i_0,\ldots,i_{n+1}$,

$$\mathbb{P}(X_{t_{n+1}}=i_{n+1}|X_{t_0}=i_0,\ldots,X_{t_n}=i_n)=p_{i_ni_{n+1}}(t_{n+1}-t_n). \quad (3.19)$$

3.2.2 Chaîne de Markov induite

Chaque fois que la chaîne $\{X(t), t \in \mathbb{R}^+\}$ quitte l'état i, elle doit entrer dans un des états $j \in S$, avec une probabilité que nous désignons par $\hat{q}_{ij}$, et qui vérifie donc

$$\begin{aligned} \hat{q}_{ii} &= 0 \\ \sum_{j \in S} \hat{q}_{ij} &= 1 \end{aligned}$$

pour tout $i \in S$. A partir de $\{X(t), t \in \mathbb{R}^+\}$, on construit le processus à temps discret $n \in \mathbb{N}$

$$\hat{X}(n) = X(S(n)) \tag{3.20}$$

qui est donc la séquence des différentes valeurs prises par $X(t)$. Ce processus est clairement une chaîne de Markov à temps discret dont les probabilités de transition de l'état i à l'état j sont les $\hat{q}_{ij}$ car :

$$\begin{aligned} P(\hat{X}(n) = j | \hat{X}(n-1) = i, \hat{X}(n-2) = k, \dots) &= P(X(S(n)) = j | X(S(n-1)) = i, \\ & \quad X(S(n-2)) = k, \dots) \\ &= P(X(S(n)) = j | X(S(n-1)) = i) \\ &= P(\hat{X}(n) = j | \hat{X}(n-1) = i) \\ &= \hat{q}_{ij}. \end{aligned}$$

On appelle le processus $\left\{\hat{X}(n), n \in \mathbb{N}\right\}$ la *Chaîne de Markov induite* par $\{X(t), t \in \mathbb{R}^+\}$.Ceci nous donne une nouvelle définition de la chaîne de Markov à temps continu énnoncée comme suit :

Soit le processus $X(t), t \in \mathbb{R}^+$ à valeurs discrètes dans S, et soit $S(n), n \in \mathbb{N}$ la séquence des instants de transition d'un état à l'autre. Ce processus est une chaîne de Markov à temps continu si et seulement si la séquence des temps de séjour dans un même état $T(n), n \in \mathbb{N}$, avec $T(n) = S(n+1) - S(n)$, est une suite de v.a. exponentielles indépendantes, et le processus $\hat{X}(n) = X(S(n)), n \in \mathbb{N}$ est une chaîne de Markov à temps discret homogène.[25]

3.2.3 Processus de naissance et de mort

Un processus de naissance et de mort est un processus dans lequel les transitions ne sont possibles que d'un état aux deux états voisins, comme indiqué par le diagramme de transition des états représenté par la figure ci-dessous, et dont les taux infinitésimaux sont donc donnés par :

$$q_{ij} = \begin{cases} \mu_i & \text{si } j = i-1 \\ -(\lambda_i + \mu_i) & \text{si } j = i \\ \lambda_i & \text{si } j = i+1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \tag{3.21}$$

si $i \geq 1$ et par

$$q_{ij} = \begin{cases} -\lambda_0 & \text{si } j = 0 \\ \lambda_0 & \text{si } j = 1 \\ 0 & \text{si } j \geq 2 \end{cases} \tag{3.22}$$

si $i = 0$.
Les probabilités de transition non nulles de la chaîne induite sont dès lors :

$$\hat{q}_{0,1} = 1$$

$$\hat{q}_{i,i+1} = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad \text{si } i \in \mathbb{N}_0$$

$$\hat{q}_{i,i-1} = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad \text{si } i \in \mathbb{N}_0$$

Voici ci-dessous le diagramme de transition d'un processus de naissance et de mort : Les

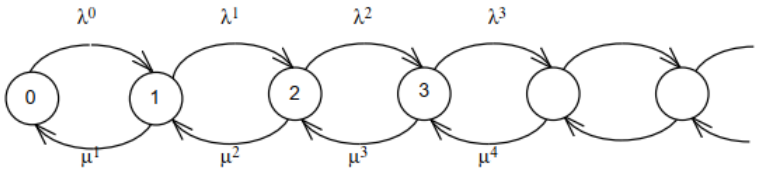


FIGURE 3.5 – Processus de naissance et de mort : diagramme de transitions

équations de balance du processus de naissance et de mort s'écrivent :

$$\lambda_0 \pi_0^* = \mu_1 \pi_1^* \tag{3.23}$$

$$(\lambda_i + \mu_i)\pi_i^* = \lambda_{i-1}\pi_{i-1}^* + \mu_{i+1}\pi_{i+1}^* \quad \text{si } i \in \mathbb{N}_0 \tag{3.24}$$

qu'on peut encore remplacer, en ajoutant chaque équation de balance à la précédente, par le système d'équations équivalentes, avec $i \in \mathbb{N}_0$,

$$\lambda_{i-1}\pi_{i-1}^* = \mu_i \pi_i^*. \tag{3.25}$$

Par récurrence sur i on en déduit

$$\pi_i^* = \frac{\lambda_{i_1} \dots \lambda_0}{\mu_i \dots \mu_1} \pi_0^* \tag{3.26}$$

où π_0^* est obtenu par la condition de normalisation $\sum_{i=0}^{\infty} \pi_i^* = 1$ et vaut

$$\pi_0^* = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\lambda_{i-1} \dots \lambda_0}{\mu_i \dots \mu_1}} \tag{3.27}$$

La condition d'existence de cette distribution stationnaire de probabilité est que

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{\lambda_{i-1} \dots \lambda_0}{\mu_i \dots \mu_1} < \infty \tag{3.28}$$

Les processus de naissance et de mort sont utilisés pour modéliser un système d'attente dans lequel, lorsqu'il y a i clients dans le système,
(i) le temps d'arrivée du prochain client suit une loi exponentielle, de moyenne $\frac{1}{\lambda_i}$,
(ii) les clients quittent le système après avoir reçus un service, dont la durée (le temps de service) suit une loi exponentielle, de moyenne $\frac{1}{\mu_i}$ (si $i \geq 1$),
(iii) les temps inter-arrivées et les temps de service sont mutuellement indépendants.

Par conséquent

$P(0 \quad \text{arrivée en } \Delta t | X(t) = i) = 1 - \lambda_i \Delta t + o(\Delta t)$

$P(1 \quad \text{arrivée en } \Delta t | X(t) = i) = \lambda_i \Delta t + o(\Delta t)$

$P(2 \quad \text{arrivées ou plus en } \Delta t | X(t) = i) = o(\Delta t)$

$P(0 \quad \text{départ en } \Delta t | X(t) = i) = 1 - \mu_i \Delta t + o(\Delta t)$

$P(1 \quad \text{départ en } \Delta t | X(t) = i) = \mu_i \Delta t + o(\Delta t)$

$P(2 \quad \text{déparats ou plus en } \Delta t | X(t) = i) = o(\Delta t)$

A partir d'un état i donné, le processus ne peut passer qu'aux états $(i-1)$, i ou $(i+1)$ en un temps infinitésimal $\Delta t \longrightarrow 0$. En combinant les probabilités de départ et d'arrivée données ci-dessus, on trouve les probabilités de transitions de ce processus de Markov, qui sont, pour $i \in \mathbb{N}_0$,

$$p_{ij}(\Delta t) = o(\Delta t) \tag{3.29}$$

si $j \notin \{i-1, i, i+1\}$ et

$$p_{i,i+1}(\Delta t) = \lambda_i \Delta t + o(\Delta t)$$
$$p_{ii}(\Delta t) = 1 - (\lambda_i + \mu_i)\Delta t + o(\Delta t)$$
$$p_{i,i-1}(\Delta t) = \mu_i \Delta t + o(\Delta t)$$

sinon.Pour $i = 0$, on trouve de manière similaire

$$p_{00}(\Delta t) = 1 - \lambda_0 \Delta t + o(\Delta t)$$
$$p_{01}(\Delta t) = \lambda_0 \Delta t + o(\Delta t).$$

De ces probabilités de transitions infinitésimales, on déduitt directement la matrice Q des taux infinitésimaux (4.22) et (4.23).

3.3 Optimisation au moyen des chaînes de Markov en temps discret des circuits de distribution

3.3.1 Optimisation du stock dans un circuit de distribution

On considère une entreprise ou une coopérative proposant à la vente un produit particulier comme le cas de la coopérative COTRA-Miel. Les commandes au fournisseur s'effectuent au mois. Les quantités demandées par les clients chaque mois sont vues comme des réalisations de variables aléatoires indépendantes et de même loi. Cette loi peut être estimée statistiquement et elle est supposée connue. Pour un mois donné, on note $p(i)$ la probabilité que i produits soient demandés, et :

$$r(i) = 1 - p(0) - \cdots - p(i-1)$$

, la probabilité que i produit au moins soient demandés. Le coût d'une commande se compose d'un coût fixe C et d'un coût unitaire c. Une commande de x unités coûte donc $C + cx$. Le prix de vente unitaire est v. Le coût unitaire de stockage est k. On suppose que ce coût est

imputable à toute unité, qu'elle soit présente en stock au début du mois ou qu'elle ait été commandée. On suppose évidemment $v > c+k$ (le prix de vente est supérieur au coût unitaire de commande et de stockage).

Supposons que x_0 unités soient présentes en stock au début du mois, et que la demande du mois soit la variable aléatoire D de loi $p = (p(i))_{i\in\mathbb{N}}$. Le gérant peut décider de ne rien commander, auquel cas son coût de stockage sera kx_0, son revenu sera $vmin\{D, x_0\}$, et son bénéfice espéré est :

$$b_{x_0}(0) = vx_0r(x_0) + v\sum_{i=0}^{x_0-1} ip(i) - kx_0. \tag{3.30}$$

Il peut aussi décider de commander x unités supplémentaires, auquel cas son bénéfice espéré est :

$$b_{x_0}(x) = v(x_0+x)r(x_0+x) + v\sum_{i=0}^{x_0+x-1} ip(i) - k(x_o+x) - C - cx. \tag{3.31}$$

Pour $x > 0$,on a :

$$b_{x_0}(x+1) - b_{x_0}(x) = vr(x_0+x+1) - (k+c) \tag{3.32}$$

Notons :

$$S = max\left\{i \in \mathbb{N} : r(i) > \frac{k+c}{v}\right\} \tag{3.33}$$

L'entier S représente le stock optimal théorique, celui qui maximiserait le bénéfice espéré si l'on ne tenait pas compte du coût forfaitaire de commande C. La stratégie du gérant consisterait alors à compléter son stock à hauteur de S, en commandant la quantité $\hat{x} = S - x_0$, si $x_0 \leq S$. Mais compte tenu du coût C, si la quantité x_0 est suffisamment élevée (tout en restant inférieur à S), il peut se faire que $b_{x_0}(0)$ soit supérieur à $b_{x_0}(\hat{x})$, et donc il n'y ait pas intérêt à commander. En effet l'application

$$[0, S] \cap \mathbb{N} \ni i \mapsto b_i(S-i) - b_i(0) \tag{3.34}$$

est décroissante, ce qui nous incite à poser

$$s = min\{0 \leq i \leq S : b_i(0) > b_i(S-i)\} \tag{3.35}$$

L'entier s est le stock plancher, à partir duquel il n'y a pas intérêt à commander.
En résumé la stratégie que suivra le gérant est la suivante : si en début de mois le stock est supérieur ou égal au stock plancher s, il ne commande rien. S'il est inférieur à s, il commande la quantité nécessaire pour compléter jusqu'au stock optimal théorique S.

3.3.2 Modélisation markovienne

On suppose maintenant que les demandes mensuelles constituent une suite $(D_t), t \in \mathbb{N}$ de variables aléatoires indépendantes et de même loi. On note $X(t)$ le nombre de produits présents en stock à la fin du mois t, après la vente du mois, et avant la commande éventuelle du mois suivant. La stratégie de gestion est celle de la section précédente : Si le nombre de produits restants au début du mois est supérieur ou égal à s, rien n'est commandé. S'il reste strictement moins de s produits, une commande est effectuée de manière à compplléter à hauteur de S.
La suite de variables aléatoires $(X(t))_{t\in\mathbb{N}}$ est une chaîne de Markov, à valeurs dans l'ensemble fini $\{0, \ldots, S\}$.
En considérant que $s = 3$ et $S = 7$ par exemple, on aura une matrice de transition de la forme suivant :

$$P = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{array} \\ \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & p_{03} & p_{04} & p_{05} & p_{06} & p_{07} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} & p_{17} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} & p_{27} \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & p_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{40} & p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} & 0 & 0 & 0 \\ p_{50} & p_{51} & p_{52} & p_{53} & p_{54} & p_{55} & 0 & 0 \\ p_{60} & p_{61} & p_{62} & p_{63} & p_{64} & p_{65} & p_{66} & 0 \\ p_{70} & p_{71} & p_{72} & p_{73} & p_{74} & p_{75} & p_{76} & p_{77} \end{pmatrix} \end{array}$$

On suppose que pour tout $i \in \{0, \ldots, S\}$, $p(i)$ est strictement positive. La chaîne de Markov $(X(t))$ est irréductible et apériodique sur l'ensemble fini $\{0, \ldots, S\}$. Elle admet donc une mesure stationnaire unique, que l'on notera $\pi = (\pi(i)), i = 0, \ldots, S$.

3.4 Optimisation du nouveau système de gestion d'un circuit de distribution des produits dans la coopérative COTRA-Miel à l'aide des chaînes de Markov en temps discret

Dans cette section, nous allons modéliser ce système au niveau de la gestion des stocks (stock des produits en vente ou stock central) qui est le point le plus important de la coopérative COTRA-Miel, vu que le mode de transport dans cette coopérative est encore plus difficile à définir surtout parce qu'elle est encore très jeune.

La coopérative COTRA-Miel produit ou achète une quantité du miel chez les différents fournisseurs, après traitement, on emballe dans différents emballages soit dans de petits bouteilles ou des bidons pouvant contenir différentes quantités pour la vente. Après un temps, lorsque la quantité en stock est inférieure à une valeur qu'on s'est donnée, on lance la commande aux fournisseurs.

Ce système est assimilé à une chaîne de Markov.On part du fait que les commandes se font à la fin de chaque mois. Soit $D1$,$D2$, $D3, \ldots$, les demandes du miel par les clients donc les quantités vendues au cours du premier mois, du deuxième mois, du troisième mois,. . . ,respectivement. On suppose que D_t sont des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées ayant une distribution de poisson de moyenne 1.
Soit X_0 la quantité du miel au départ, X_1 la quantité disponible à la fin du premier mois, X_2 la quantité disponible à la fin du second mois , X_3 la quantité disponible à la fin du troisième mois,. . . . Le stock de départ de la COTRA-Miel est de 5 bidons. La coopérative utilise la politique de commande suivante : S'il y a moins de 2 bidons en stock , la coopérative commande la quantité nécessaire pour compléter le stock jusqu'à la hauteur maximale. Cependant, s'il existe en stock au moins deux bidons, aucune commande n'est passée. Ainsi, $\{X_t\}$ pour $t = 0, 1, \ldots$ est un processus stochastique. Les états possibles du processus sont les entiers $0, 1, 2, 3, 4, 5$ représentant le nombre possible de bidons disponibles à la fin du mois. Les variables aléatoires

X_t peuvent être calculées par l'expréssion suivante :

$$X_{t+1} = \begin{cases} max\{5 - D_{t+1}, 0\} & \text{si } X_t < 2 \\ max\{X_t - D_{t+1}, 0\} & \text{si } X_t \geq 2, \end{cases} \tag{3.36}$$

pour $t = 0, 1, 2, \ldots$

Rappelons que X_t représente la quantité en stock à la fin du mois t, pour dire que X_t représente l'état du système à l'instant t. Etant donné que l'état courant est $X_t = i$, l'expression précédente indique que X_{t+1} dépend seulement de D_{t+1} et X_t. Puisque X_{t+1} est indépendant du passé, le processus stochastique $\{X_t\}, (t = 0, 1, \ldots)$ possède la propriété de Markov et donc c'est une chaîne de Markov.

Etant donné que D_{t+1} possède la distribution de Poisson de moyenne 1, alors :

$$P\{D_{t+1} = n\} = \frac{(1)^n e^{-1}}{n!}, \quad \text{pour } n = 0, 1, \ldots$$

Donc

$P\{D_{t+1} = 0\} = \frac{1^0 e^{-1}}{0!} = e^{-1} = 0,3678$

$P\{D_{t+1} = 1\} = \frac{1^1 e^{-1}}{1!} = e^{-1} = 0,3678$

$P\{D_{t+1} = 2\} = \frac{1^2 e^{-1}}{2!} = \frac{e^{-1}}{2} = 0,1839$

$P\{D_{t+1} = 3\} = \frac{1^3 e^{-1}}{3!} = \frac{e^{-1}}{6} = 0,0613$

$P\{D_{t+1} = 4\} = \frac{1^4 e^{-1}}{4!} = \frac{e^{-1}}{24} = 0,0153$

$P\{D_{t+1} \geq 2\} = 1 - P\{D_{t+1} = 0\} - P\{D_{t+1} = 1\} = 0,2644$

$P\{D_{t+1} \geq 3\} = 1 - P\{D_{t+1} = 0\} - P\{D_{t+1} = 1\} - P\{D_{t+1} = 2\} = 0,0805$

$P\{D_{t+1} \geq 4\} = 1 - P\{D_{t+1} = 0\} - P\{D_{t+1} = 1\} - P\{D_{t+1} = 2\} - P\{D_{t+1} = 3\} = 0,0192$

$P\{D_{t+1} \geq 5\} = 1 - P\{D_{t+1} = 0\} - P\{D_{t+1} = 1\} - P\{D_{t+1} = 2\} - P\{D_{t+1} = 3\} - P\{D_{t+1} = 4\} = 0,0039$

On écrit alors la ***matrice de transition à une étape*** comme suit :

$$P = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0,0039 & 0,0153 & 0,0613 & 0,1839 & 0,3678 & 0,3678 \\ 0,0039 & 0,0153 & 0,0613 & 0,1839 & 0,3678 & 0,3678 \\ 0,2644 & 0,3678 & 0,3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0,0805 & 0,1839 & 0,3678 & 0,3678 & 0 & 0 \\ 0,0192 & 0,0613 & 0,1839 & 0,3678 & 0,3678 & 0 \\ 0,0039 & 0,0153 & 0,0613 & 0,1839 & 0,3678 & 0,3678 \end{pmatrix} \end{array}$$

Matrice de transition à deux étapes

$$P^2 = \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix}$$

$$\Longrightarrow P^2 = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0,0396 & 0,0848 & 0,1815 & 0,2741 & 0,2776 & 0,1423 \\ 0,0396 & 0,0848 & 0,1815 & 0,2741 & 0,2776 & 0,1423 \\ 0,0997 & 0,1449 & 0,1740 & 0,1163 & 0,2325 & 0,2325 \\ 0,1279 & 0,2070 & 0,2868 & 0,1839 & 0,0972 & 0,0972 \\ 0,0856 & 0,1591 & 0,2755 & 0,2854 & 0,1649 & 0,0296 \\ 0,0396 & 0,0848 & 0,1815 & 0,2741 & 0,2776 & 0,1423 \end{pmatrix} \end{array}$$

Matrice de transition à trois étapes

$$P^3 = \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix}$$

$$* \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix}$$

$$\Longrightarrow P^3 = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0,0764 & 0,1383 & 0,2350 & 0,2520 & 0,2002 & 0,0981 \\ 0,0764 & 0,1383 & 0,2350 & 0,2520 & 0,2002 & 0,0981 \\ 0,0617 & 0,1069 & 0,1788 & 0,2160 & 0,2610 & 0,1755 \\ 0,0942 & 0,1519 & 0,2175 & 0,1829 & 0,1947 & 0,1589 \\ 0,1000 & 0,1681 & 0,2534 & 0,2160 & 0,1615 & 0,1009 \\ 0,0764 & 0,1383 & 0,2350 & 0,2520 & 0,2002 & 0,0981 \end{pmatrix} \end{array}$$

Matrice de transition à quatre étapes

$$P^4 = \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix}$$

$$* \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \\ 0{,}2644 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}0805 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 & 0 \\ 0{,}0192 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 & 0 \\ 0{,}0039 & 0{,}0153 & 0{,}0613 & 0{,}1839 & 0{,}3678 & 0{,}3678 \end{pmatrix}$$

$$\Longrightarrow P^4 = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0,0875 & 0,1498 & 0,2351 & 0,2238 & 0,1887 & 0,1151 \\ 0,0875 & 0,1498 & 0,2351 & 0,2238 & 0,1887 & 0,1151 \\ 0,0710 & 0,1268 & 0,2143 & 0,2388 & 0,2226 & 0,1266 \\ 0,0775 & 0,1317 & 0,2079 & 0,2133 & 0,2206 & 0,1489 \\ 0,0889 & 0,1485 & 0,2250 & 0,2067 & 0,1951 & 0,1357 \\ 0,0875 & 0,1498 & 0,2351 & 0,2230 & 0,1887 & 0,1151 \end{pmatrix} \end{array}$$

Matrice de transition à huit étapes

$$P^8 = P^4 P^4 \Longrightarrow P^8 = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0,0817 & 0,1401 & 0,2222 & 0,2218 & 0,2050 & 0,1293 \\ 0,0817 & 0,1401 & 0,2222 & 0,2218 & 0,2050 & 0,1293 \\ 0,0819 & 0,1403 & 0,2219 & 0,2207 & 0,2050 & 0,1302 \\ 0,0823 & 0,1409 & 0,2227 & 0,2209 & 0,2040 & 0,1292 \\ 0,0820 & 0,1406 & 0,2228 & 0,2217 & 0,2042 & 0,1287 \\ 0,0817 & 0,1401 & 0,2222 & 0,2218 & 0,2050 & 0,1293 \end{pmatrix} \end{array}$$

Matrice de transition à seize étapes

$$P^{16} = P^8 P^8 \Longrightarrow P^{16} = \begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0,0819 & 0,1404 & 0,2224 & 0,2213 & 0,2046 & 0,1293 \\ 0,0819 & 0,1404 & 0,2224 & 0,2213 & 0,2046 & 0,1293 \\ 0,0819 & 0,1404 & 0,2224 & 0,2213 & 0,2046 & 0,1293 \\ 0,0819 & 0,1404 & 0,2224 & 0,2213 & 0,2046 & 0,1293 \\ 0,0819 & 0,1404 & 0,2224 & 0,2213 & 0,2046 & 0,1293 \\ 0,0819 & 0,1404 & 0,2224 & 0,2213 & 0,2046 & 0,1293 \end{pmatrix} \end{array}$$

Les probabilités d'équilibre

Les équations d'états stationnaires peuvent être exprimé de la manière suivante :

$$\begin{cases} \pi_0 = \pi_0 p_{00} + \pi_1 p_{10} + \pi_2 p_{20} + \pi_3 p_{30} + \pi_4 p_{40} + \pi_5 p_{50} \\ \pi_1 = \pi_0 p_{01} + \pi_1 p_{11} + \pi_2 p_{21} + \pi_3 p_{31} + \pi_4 p_{41} + \pi_5 p_{51} \\ \pi_2 = \pi_0 p_{02} + \pi_1 p_{12} + \pi_2 p_{22} + \pi_3 p_{32} + \pi_4 p_{42} + \pi_5 p_{52} \\ \pi_3 = \pi_0 p_{03} + \pi_1 p_{13} + \pi_2 p_{23} + \pi_3 p_{33} + \pi_4 p_{43} + \pi_5 p_{53} \\ \pi_4 = \pi_0 p_{04} + \pi_1 p_{14} + \pi_2 p_{24} + \pi_3 p_{34} + \pi_4 p_{44} + \pi_5 p_{54} \\ \pi_5 = \pi_0 p_{05} + \pi_1 p_{15} + \pi_2 p_{25} + \pi_3 p_{35} + \pi_4 p_{45} + \pi_5 p_{55} \\ 1 = \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 \end{cases}$$

En substituant les valeurs pour p_{ij} dans ces équations, on aura :

$$\begin{cases} \pi_0 = 0,0039\pi_0 + 0,0039\pi_1 + 0,2644\pi_2 + 0,0805\pi_3 + 0,0192\pi_4 + 0,0039\pi_5 \\ \pi_1 = 0,0153\pi_0 + 0,0153\pi_1 + 0,3678\pi_2 + 0,1839\pi_3 + 0,0613\pi_4 + 0,0153\pi_5 \\ \pi_2 = 0,0613\pi_0 + 0,0613\pi_1 + 0,3678\pi_2 + 0,3678\pi_3 + 0,1839\pi_4 + 0,0613\pi_5 \\ \pi_3 = 0,1839\pi_0 + 0,1839\pi_1 + 0,3678\pi_3 + 0,3678\pi_4 + 0,1839\pi_5 \\ \pi_4 = 0,3678\pi_0 + 0,3678\pi_1 + 0,3678\pi_4 + 0,3678\pi_5 \\ \pi_5 = 0,3678\pi_0 + 0,3678\pi_1 + 0,3678\pi_5 \\ 1 = \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} -0,9961\pi_0 + 0,0039\pi_1 + 0,2644\pi_2 + 0,0805\pi_3 + 0,0192\pi_4 + 0,0039\pi_5 = 0 \\ 0,0153\pi_0 - 0,9847\pi_1 + 0,3678\pi_2 + 0,1839\pi_3 + 0,0613\pi_4 + 0,0153\pi_5 = 0 \\ 0,0613\pi_0 + 0,0613\pi_1 - 0,6322\pi_2 + 0,3678\pi_3 + 0,1839\pi_4 + 0,0613\pi_5 = 0 \\ 0,1839\pi_0 + 0,1839\pi_1 - 0,6322\pi_3 + 0,3678\pi_4 + 0,1839\pi_5 = 0 \\ 0,3678\pi_0 + 0,3678\pi_1 - 0,6322\pi_4 + 0,3678\pi_5 = 0 \\ 0,3678\pi_0 + 0,3678\pi_1 - 0,6322\pi_5 = 0 \\ \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 = 1 \end{cases}$$

La résolution de ce système nous donne les solutions suivantes :

$$\pi_0 = 0,0819; \pi_1 = 0,1404; \pi_2 = 0,2224; \pi_3 = 0,2213; \pi_4 = 0,2046; \pi_5 = 0,1293$$

Diagramme de transition d'état à une étape

L'information donnée par la matrice de transition peut aussi être représentée graphiquement avec le diagramme de transition d'état. Voici la représentation du diagramme de transition d'état associé à la matrice de transition à une étape :

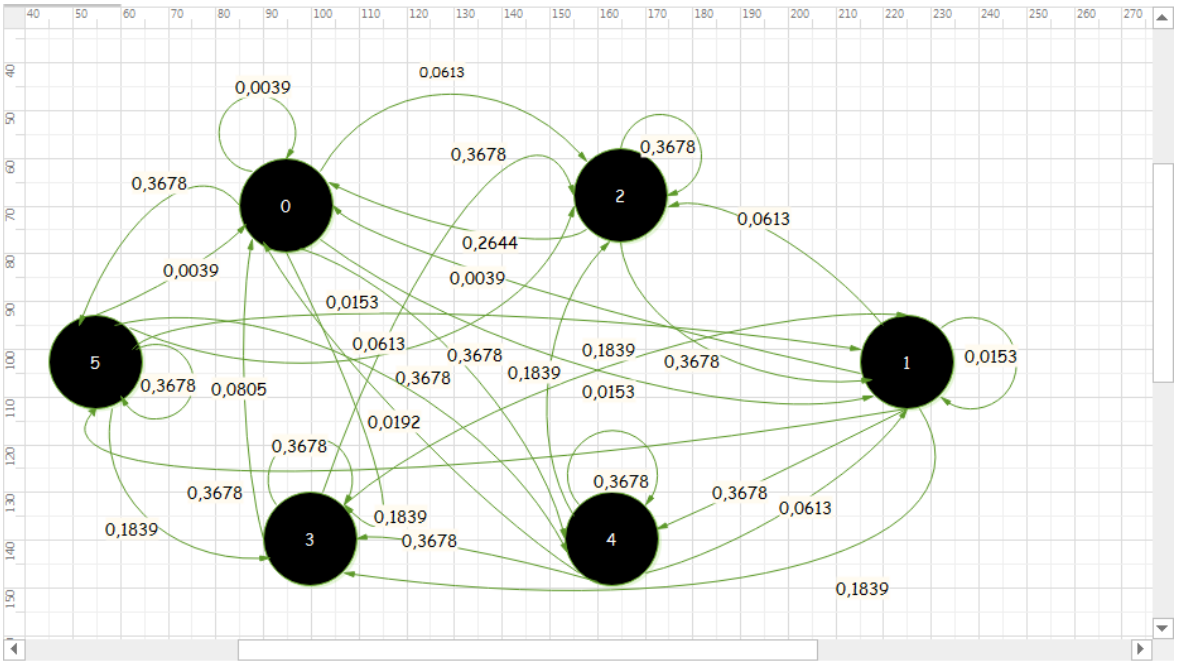


FIGURE 3.6 – Diagramme de transition d'état

On constate qu'il s'agit d'une ***chaîne de Markov irréductible et ergodique.***

Interprétation et discussion des résultats

Les flèches pour le diagramme de transition d'état indiquent les transitions possibles d'un état à l'autre, ou parfois d'un état à lui-même, lorsque le stock passe de la fin du mois à la fin du mois suivant. Le nombre à côté de chaque flèche indique la probabilité que cette transition particulière se produise.

En analysant la matrice de transition pour les différentes étapes, étant donné par exemple qu'il reste trois bidons de miel en stock à la fin du mois, la probabilité qu'il n'y aura pas de bidon de miel en stock deux mois plus tard est de $0,1279$ soit $p_{30}^{(2)} = 0,1279$. La probabilité qu'il y aura trois bidons de miel en stock deux mois plus tard est de $0,1839$ soit $p_{33}^{(2)} = 0,1839$. La probabilité qu'il y aura un seul bidon de miel en stock trois mois plus tard est $0,1519$ soit $p_{31}^{(3)} = 0,1519$. La probabilité qu'il y aura cinq bidons de miel trois mois plus tard est de $0,1589$ soit $p_{35}^{(3)} = 0,1589$. La probabilité d'avoir deux bidons de miel quatre mois plus tard est de $0,2079$ soit $p_{32}^{(4)} = 0,2079$. La probabilité qu'il y aura deux bidons de miel en stock huit mois plus tard est de $0,2227$ soit $p_{32}^{(8)} = 0,2227$ et celle d'avoir quatre bidons seize mois plus tard par exemple est $0,2046$ soit $p_{34}^{(16)} = 0,2046$.

En analysant la matrice de transition à seize étapes, on remarque que chacune des six lignes à des entrées identiques. Ceci signifie alors que la probabilité d'être dans l'état j après seize mois est essentiellement indépendante de l'état initial du système.

Les probabilités d'équilibre π_j appelées aussi probabilités stationnaires qui sont trouvées en résolvant le système en haut sont les mêmes résultats que ceux apparaissant dans la matrice de transition à seize étapes. Ceci signifie que la probabilité qu'il y aura zéro, un, deux, trois, quatre et cinq bidons de miel en stock après plusieurs mois ($\geq 16mois$) tend vers $0,0819$;$0,1404$;$0,2224$;$0,2213$;$0,2046$;$0,1293$ respectivement.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit la notion de chaînes de Markov à temps discret et à temps continu. A l'aide des chaînes de Markov à temps discret, nous avons calculé les probabilités de transition possibles pour le stock de la COTRA-Miel après n'importe combien de mois pour pouvoir comprendre le comportement de ce stock dans le temps. Les résultats que nous avons trouvés sont des résultats sur lesquels le décideur peut se baser pour prendre des décisions concernant l'avenir de la coopérative. Dans le chapitre suivant, nous allons implémenter dans l'application, un module qui permet de calculer automatiquement ces différentes probabilités de transition et de générer les matrices de transitions.

Chapitre 4

Développement et réalisation d'une application de gestion de circuits de distribution des produits dans la coopérative COTRA-Miel

Arrivé à ce stade, il ne reste qu'à développer notre application donc traduire en langage de programmation notre conception en UML. Mais cela se fait en suivant des critères. On doit passer par plusieurs étapes pour avoir un produit de bonne qualité. Ces techniques se basent sur le cycle de vie d'un logiciel. Ces modèles de cycle de vie d'un logiciel font objet du génie logiciel. Ainsi, dans ce chapître, nous allons donner un bref aperçu de ces modèles et des outils utilisés à la réalisation avant de présenter les résutats de notre projet.

4.1 Modèles de cycles de vie d'un logiciel

Un projet de réalisation d'un système d'information est composé d'étapes. Le découpage d'un projet en étapes et l'organisation de ces étapes varient selon le modèle utilisé. On appelle cycle de vie d'un logiciel l'ensemble des étapes à suivre lors de la création du logiciel ainsi que leur enchaînement. Il existe plusieurs modèles de cycles de vie d'un logiciel parmi lesquels on distingue le modèle de cycle de vie en cascade, le modèle de cycle de vie en V, le modèle incrémental, le modèle de prototypage, le modèle de cycle de vie en spirale et d'autres. Pour la concéption, le développement et la réalisation de notre système, nous avons opté pour l'application du procéssus de développement en V qui demeure actuellement le cycle de vie le plus connu et certainement le plus convenable aux projets dont les spécifications du système sont bien connues d'avance.

4.1.1 Modèle de cycle de vie en cascade

Le modèle de cycle de vie en cascade a été mis au point dès 1966, puis formalisé aux alentours de 1970. Dans ce modèle, le principe est très simple : chaque phase se termine à une date précise par la production de certains documents ou logiciels. Les résultats sont définis sur la base des interactions entre étapes, ils sont soumis à une revue approfondie et on ne passe à la phase suivante que s'ils sont jugés satisfaisants. Le modèle original ne comportait pas de possibilité de retour en arrière. Celle-ci a été rajoutée ultérieurement sur base qu'une étape ne

remet en cause que l'étape précédente, ce qui s'avère insuffisant dans la pratique.[28]

Le modèle en cascade (Waterfall model) est le plus classique des cycles de vie. Il s'agit d'un cycle de vie linéaire sans aucune évaluation entre le début du projet et la validation . Le projet est découpé en phases successives dans le temps, à chaque phase correspond une activité principale bien précise produisant un certain nombre de livrables et à chaque phase ne peut remettre en cause que la phase précédente.[29] La figure ci-dessous montre le modèle du cycle de vie du logiciel en cascade.

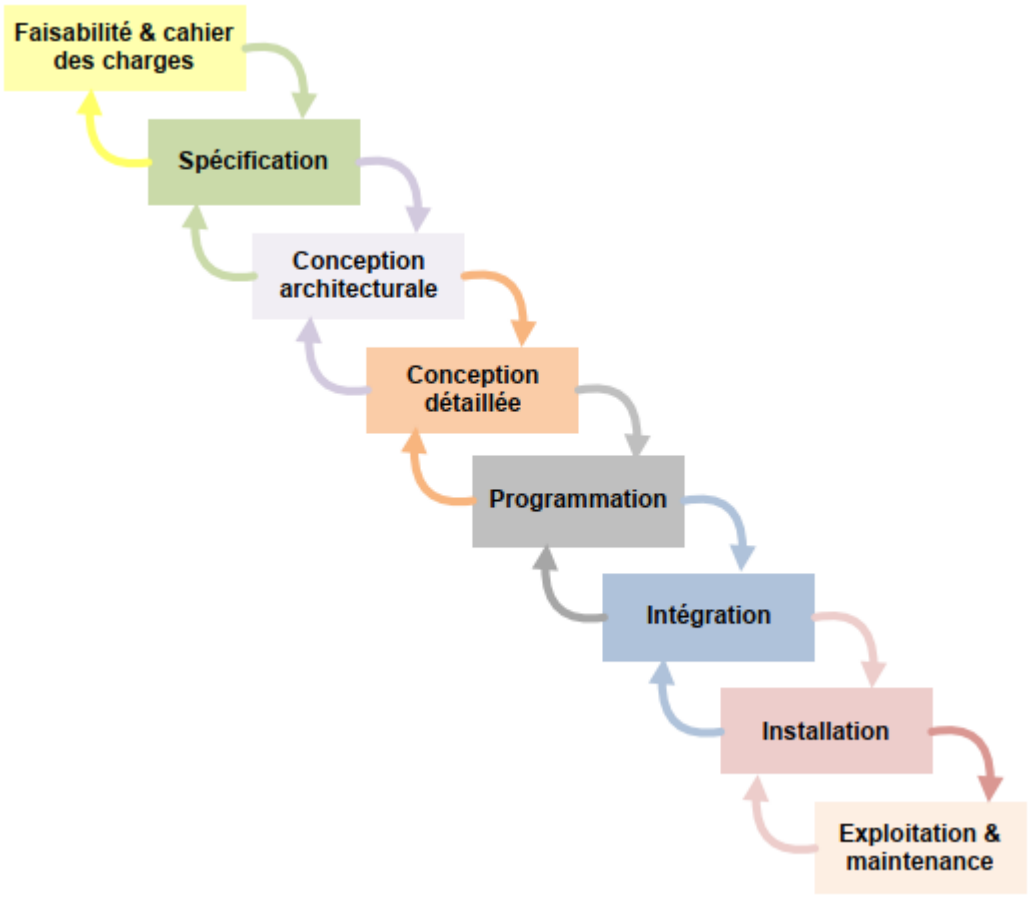


FIGURE 4.1 – Modèle du cycle de vie du logiciel en cascade

TABLE 4.1 – Avantages et Inconvenients du Modèle en cascade

Avantages	Inconvenients
-Facile à utiliser et à comprendre ;	-Sensibilité aux nouveaux besoins : refaire tout le procédé ;
-Structure simple pour une équipe inexpérimentée ;	-Une phase ne peut démarrer que si l'étape précédente est finie ;
-Fonctionne bien quand la qualité est beaucoup plus importante que les coûts et le temps.	-Le produit n'est visible qu'à la fin ; les risques se décalent vers la fin ; trés faible implication du client

4.1.2 Modèle de cycle de vie en V

Le modèle en V demeure actuellement le cycle de vie le plus connu et certainement le plus utilisé. Le principe de ce modèle est qu'avec toute décomposition doit être décrite la recomposition, et que toute description d'un composant doit être accompagnée de tests qui permettront de s'assurer qu'il correspond à sa description.[29]
La représentation en V tient d'avantage compte de la réalité, le processus de développement n'est pas réduit à un enchaînement de tâches séquentielles.
Elle montre que :

— c'est en phase de spécification que l'on se préoccupe des procédures de qualification ;
— c'est en phase de conception globale que l'on se préoccupe des procédures d'intégration ;
— c'est en phase de conception détaillée que l'on prépare les tests unitaires.

Le modèle de cycle de vie en V permet d'anticiper sur les phases ultérieures de développement du produit. Voici la représentation du modèle en V :

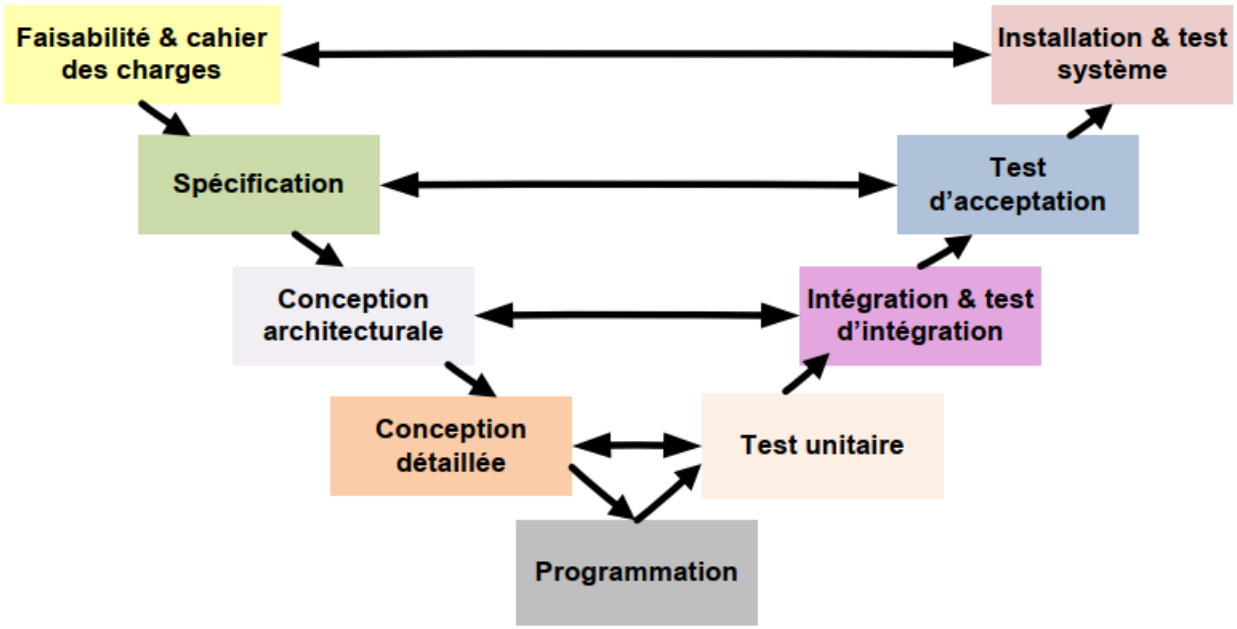


FIGURE 4.2 – Modèle de cycle de vie en V

TABLE 4.2 – Avantages et Inconvénients du modèle en V

Avantages	Inconvenients
-Met l'accent sur les tests et la validation et donc accroît la qualité ;	-Ne gère pas les actvités parallèles ;
-Chaque livrable doit être testable ;	-Ne gère pas les changements des spécifications ;
-Facile à utiliser et planifier.	-Ne contient pas d'activités d'analyse de risque

4.1.3 Modèle incrémental

Dans les modèles par incrément, un seul ensemble de composants est dévéloppé à la fois : des incréments viennent s'intégrer à un noyau du logiciel développé au préalable. Chaque incrément est une construction partiel du logiciel. Ce modèle trie les spécifications par priorités. Chaque incrément implémente un ou plusieurs spécifications jusqu'à ce que la totalité du produit soit finie. La figure ci-dessous montre le modèle du cycle de vie par incrément.[29]

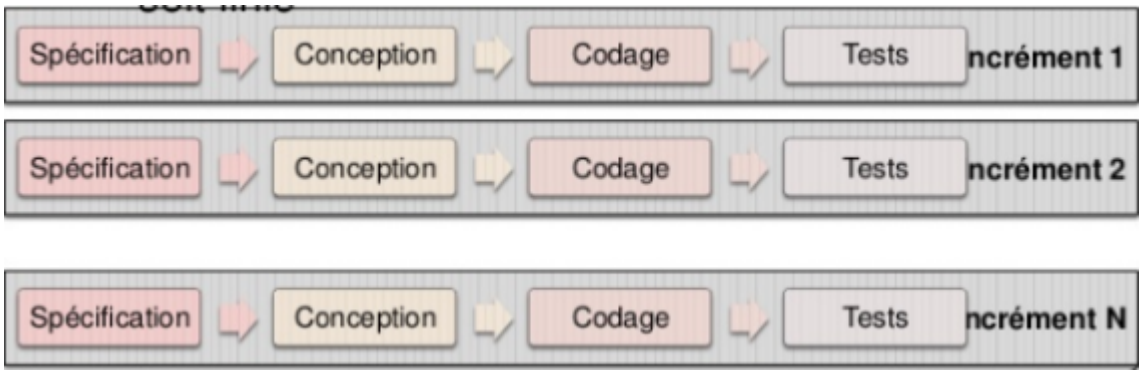


FIGURE 4.3 – Modèle incrémental

TABLE 4.3 – Avantages et Inconvénients du modèle incrémental

Avantages	Inconvenients
-Développement de fonctionnalités à risques en premier ;	-Exige une bonne planification et une bonne conception ;
-Chaque incrément donne un produit fonctionnel ;	-Exige une vision sur le produit fini pour pouvoir bien le diviser en incréments ;
-Le client intervient à la fin de chaque incrément ;	-Le coût total du système peut être cher
-Utilise l'approche "diviser pour régner" ;	
-Le client entre en relation avec le produit très tôt.	

4.1.4 Modèle de prototypage

Un prototype est un modèle exécutable d'un système logiciel, qui souligne des aspects spécifiques. Le prototypage, construit et utilisé en phase d'analyse (spécification) exige de discuter et d'interagir avec l'utilisateur pour montrer aux clients les fonctions que l'on veut mettre en œuvre, identifier les besoins et vérifier les choix spécifiques d'IHM. A chaque étape, un ou plusieurs prototypes sont soumis au client pour évaluation / révision. Il permet d'examiner certains aspects du système pour évaluer et choisir les meilleures stratégies / solutions.
Construit et utilisé en phase de conception, il permet de s'assurer de la faisabilité de parties critiques, de valider des options de conception et de vérifier l'efficacité réelle d'un algorithme.

On distingue le prototypage évolutif du prototypage jetable. Le prototype jetable est un squelette du logiciel qui n'est créé que dans un but et dans une phase particulière du développement. C'est une maquette exploratoire développée pour mieux comprendre les besoins du client, évaluer différentes solutions,.... Développé rapidement et jeté ensuite. Si gardé, alors s'appelle prototype évolutif. Le prototype évolutif (ou réutilisable) est une maquette destinée à être completée / optimisée dans les prochaines étapes du développement jusqu'à l'obtention du produit final.[30]

La figure ci-dessous représente le modèle de prototypage du cycle de vie de logiciel.

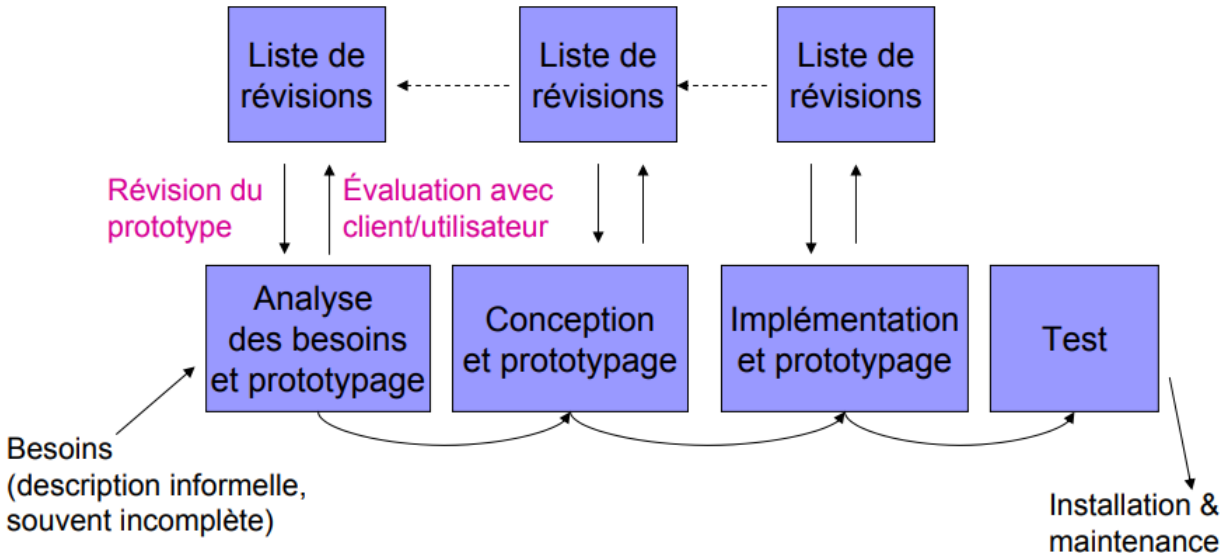


FIGURE 4.4 – Modèle de prototypage

On peut représenter les avantages et les inconvénients de ce modèle dans un tableau comme suit :

TABLE 4.4 – Avantages et Inconvénients du modèle de prototypage

Avantages	Inconvenients
-Améliore la compréhension mutuelle du problème entre client, développeur et utilisateur ;	-Tentation d'abréger le processus et de se contenter d'un prototype incomplet ;
-Fonctions critiques développées en premier ;	-Le modèle est très complexe
-Favorise les activités de vérification et de validation intermédiaires ;	

4.1.5 Modèle de cycle de vie en spirale

Proposé par B.Boehm en 1988, ce modèle est beaucoup plus général que le précédent. Il met l'accent sur l'activité d'analyse des risques. Chaque cycle de la spirale se déroule en quatre phases [28] :

- détermination, à partir des résultats des cycles précédents, ou de l'analyse préliminaire des besoins, des objectifs du cycle, des alternatives pour les atteindre et des contraintes ;
- analyse des risques, évaluation des alternatives et, éventuellement maquettage ;
- développement et vérification de la solution retenue, un modèle "classique" (cascade ou en V) peut être utilisé ici ;
- revue des résultats et vérifications du cycle suivant.

La figure ci-dessous représente le modèle du cycle de vie du logiciel en Spirale.

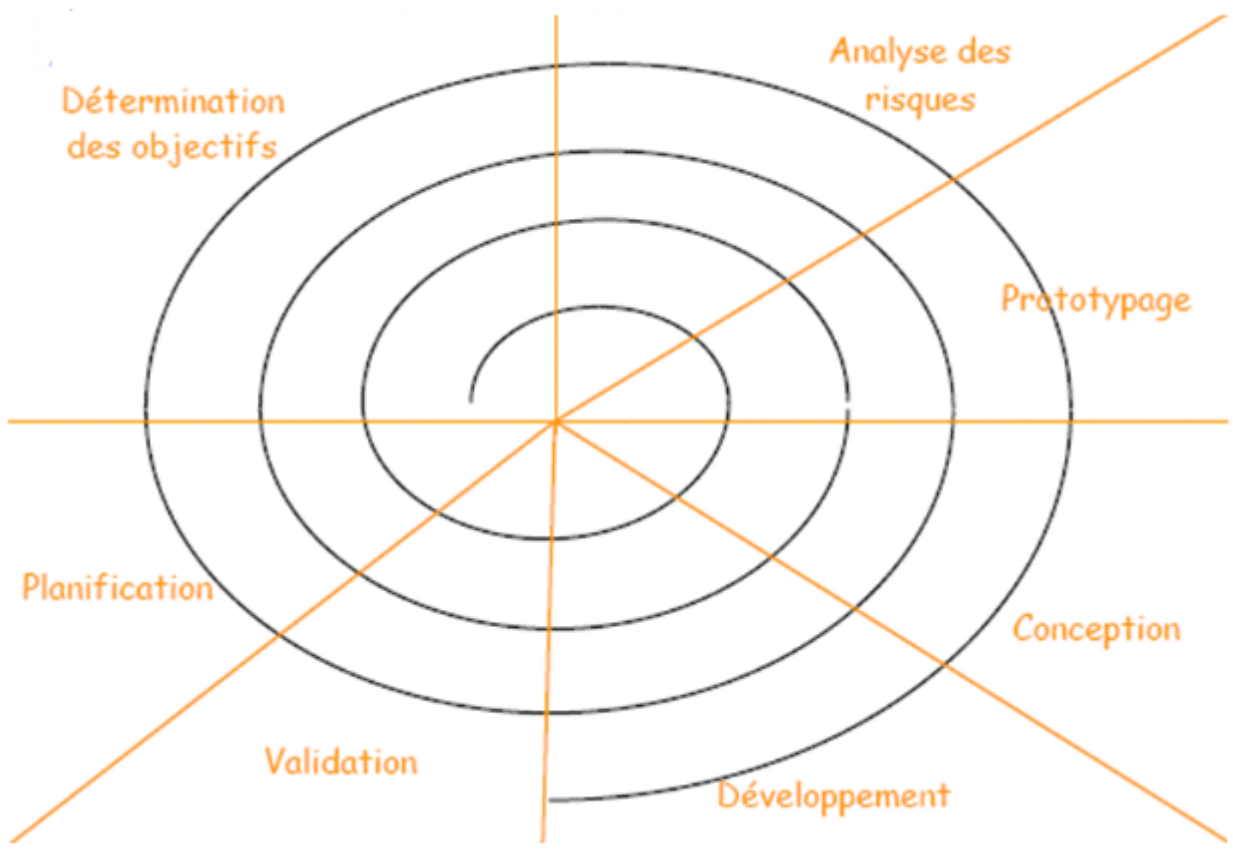


FIGURE 4.5 – Modèle en spirale

On peut représenter les avantages et les inconvénients de ce modèle dans un tableau comme suit :

TABLE 4.5 – Avantages et Inconvénients du modèle en spirale

Avantages	Inconvenients
-Inclut l'analyse de risque et le prototypage ;	-L'évaluation des risques peut prendre beaucoup de temps ;
-Fonctions critiques développées en premier ;	-Le modèle est très complexe
-Feedback rapide du client ;	
-Une évaluation continue du procédé ;	
-Chaque cycle est composé des mêmes activités que du modèle en cascade	

4.2 Outils de développement utilisés

4.2.1 Système de Gestion de Base de Données « MySQL »

Un système de gestion de base de données (SGBD) est un logiciel système destiné à stocker et à partager des informations dans une base de données, en garantissant la qualité, la pérennité et la confidentialité des informations, tout en cachant la complexité des opérataions.

MySQL est le système relationnel le plus populaire de gestion de base de données. Sur de nombreuses raisons pour lesquelles MySQL est le choix pour les développeurs est sa nature open source. Il est libre et peut être utilisé par n'importe qui sans aucune licence ou autorisation. La structure et le style de MySQL sont très clairs. MySQL est facile à utiliser, la plupart des tâches peuvent être exécutées directement dans la ligne de commande, ce qui réduit les étapes de développement.

4.2.2 Langage de programmation « Java »

Java est un langage de programmation complètement orienté objet. Java nous permet et nous pousse même à développer nos applications d'une façon orientée objet et nous permet d'avoir une application bien structurée, modulable, maintenable beaucoup plus facilement et efficace.

Contrairement à la plupart des autres langages (sauf la plateforme .Net), Java met à la disposition du développeur une API très riche lui permettant de faire de très nombreuses choses. Contrairement à des langages comme le C, où il fallait coder par nous même des fonctionnalités basiques comme le chargement d'images, ou bien d'avoir recours pour quasiment n'importe quoi à une librairie de code tierce, Java nous propose à peu près tout ce dont nous avons besoin directement dans le JDK. Ceci est une énorme avantage, qui augmente encore une fois grandement notre productivité de développement.

4.2.3 Environnement de développement « NetBeans »

L'outil de développement NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI)- un outil pour les programmeurs - pour écrire, compiler, déboguer et déployer des programmes. Il est écrit en Java - mais peut supporter d'autres langages de programmation. L'EDI NetBeans est un produit open-source et gratuit, sans aucune restriction sur son utilisation.

4.3 Présentation de quelques fonctionnalités de l'application développée

Notre application que nous allons présenter possède beaucoup de fenêtre mais nous allons présenter quelques unes d'entre-elles que nous jugeons importantes à montrer.

4.3.1 Authentification

C'est la première fenêtre qui s'affiche si on exécute l'application. Toute personne qui veut bénéficier des services de l'application doit d'abord s'authentifier. Après authentification, une fenêtre principale s'affiche selon l'individu authentifié. Voici ci dessous la fenêtre pour "Authentification".

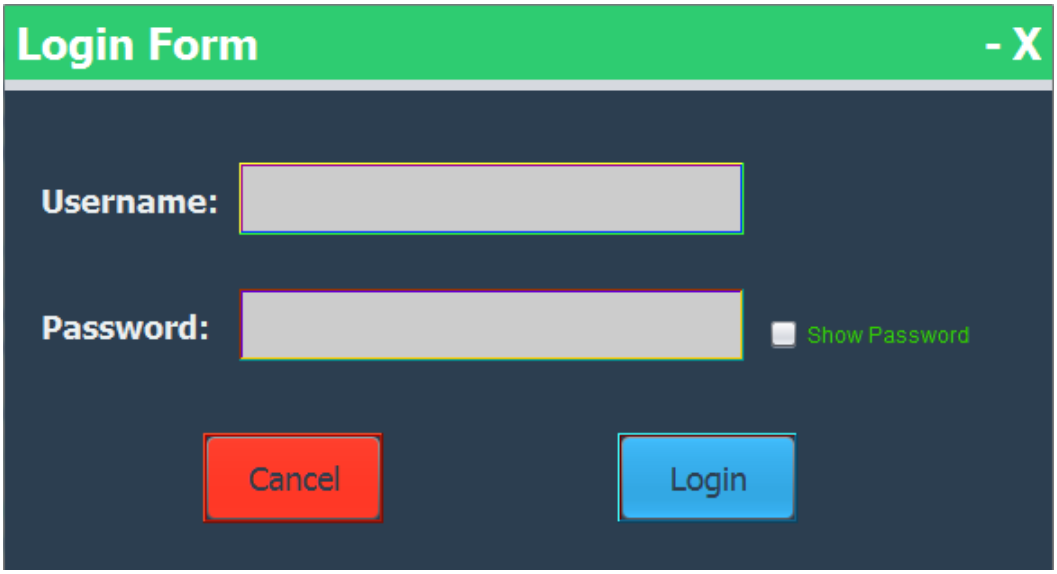


FIGURE 4.6 – Formulaire d'authentification

4.3.2 Fenêtre pour la gestion les utilisateurs

Cette interface permet à l'administrateur de créer des utilisateurs et de les ajouter dans la base de données. Avant d'ajouter un utilisateur, il doit d'abord crypter son mot de passe sinon ça ne marche pas. Cette interface permet aussi de faire la recherche d'un utilisateur en partant de ses attributs. Elle permet aussi de modifier ou supprimer un utilisateur choisi. Elle se présente comme suit :

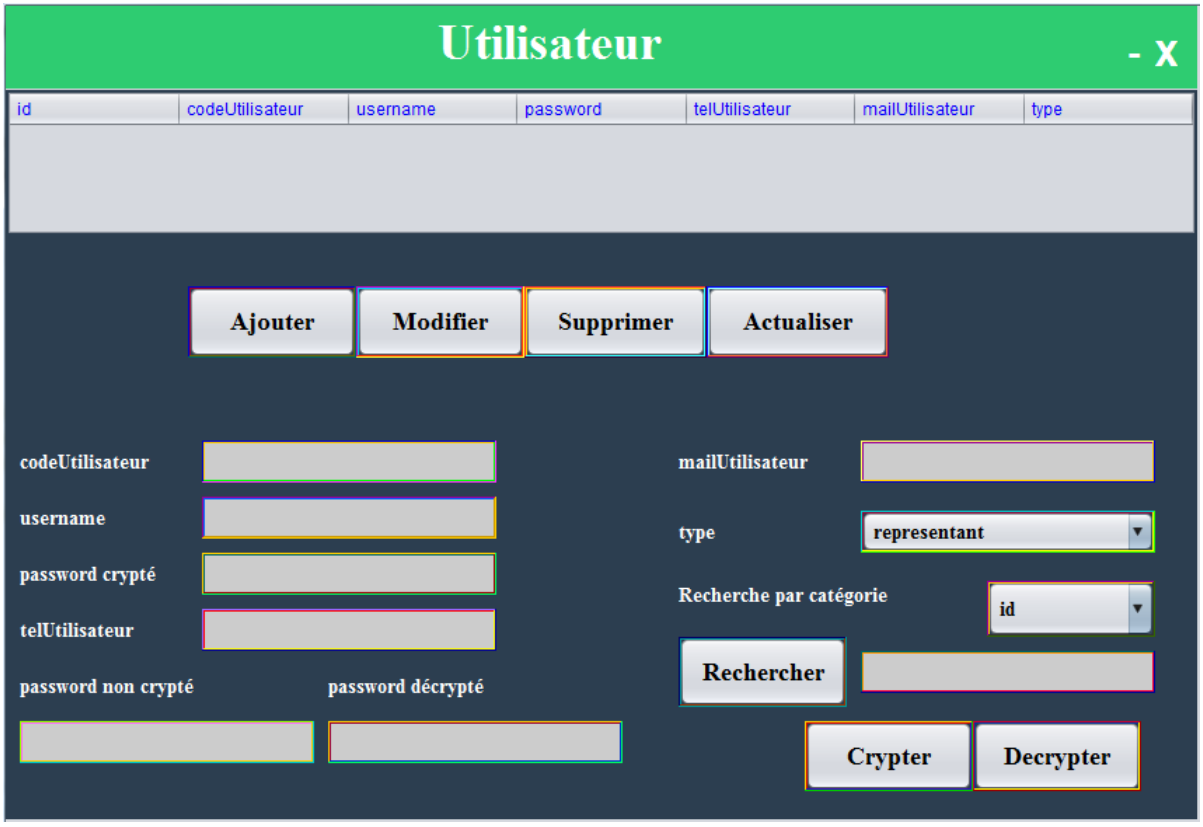


FIGURE 4.7 – Formulaire de création des utilisateurs

4.3.3 Fenêtre pour la gestion des fournisseurs

Cette interface permet au magasinier d'ajouter ou de supprimer les fournisseurs dans la base de données. Elle permet aussi de faire une recherche très rapidement dans la liste en cas de besoin. Elle se représente comme suit :

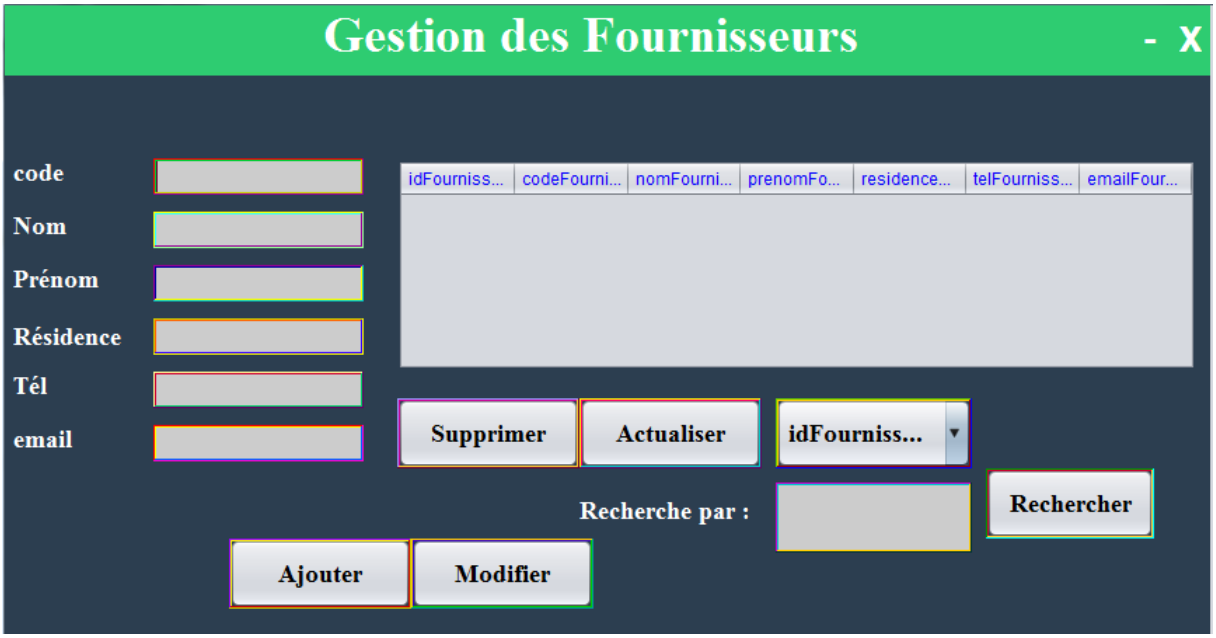


FIGURE 4.8 – Formulaire de gestion des Fournisseurs

4.3.4 Fenêtre pour la gestion des produits

L'interface ici permet de gérer les produits. Elle facilite l'ajout des nouveaux produits entrants en stock et la suppression des produits sortants.



FIGURE 4.9 – Formulaire de gestion des produits

4.3.5 Fenêtre pour la gestion des factures

Cette interface permet à l'agent commercial de faire la liste des ventes et de créer les factures. Elle permet aussi de rechercher les différents produits vendus à partir du numéro de la facture et de supprimer la facture en cas de besoin. Elle se présente comme suit :

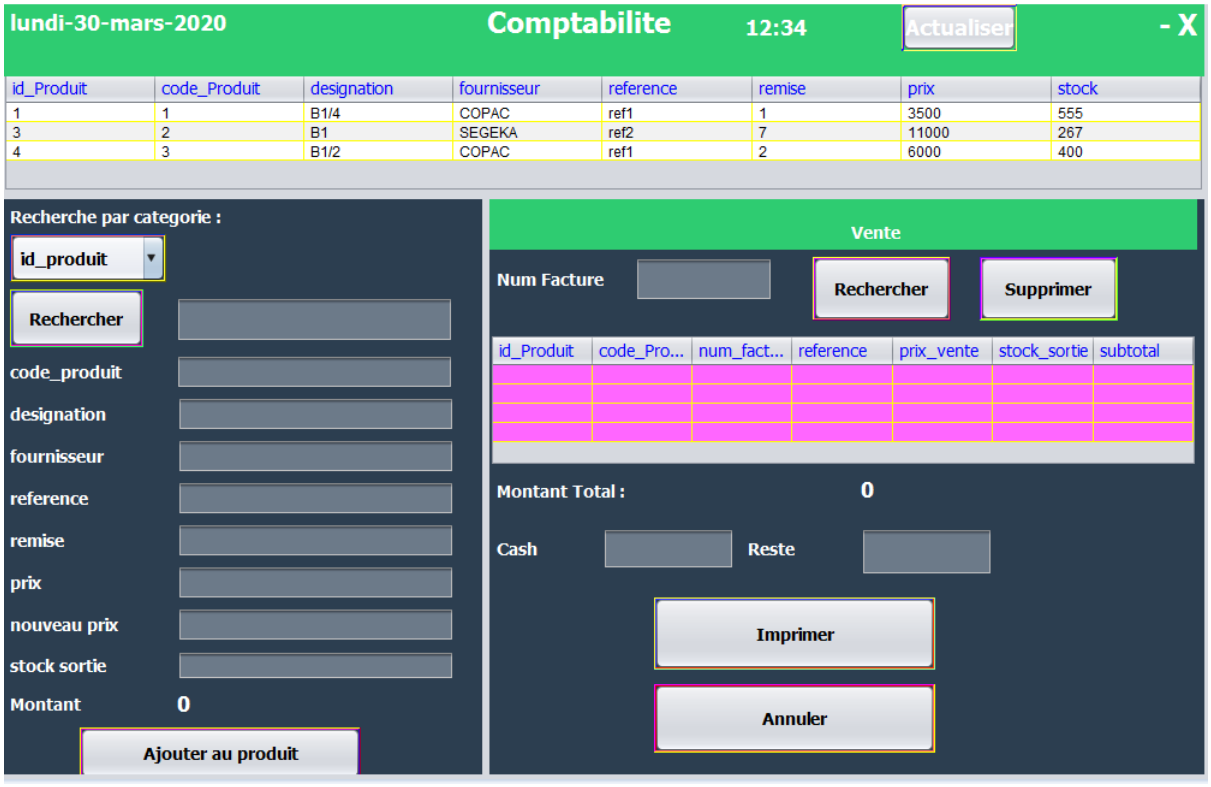


FIGURE 4.10 – Formulaire de gestion des factures

4.3.6 Fenêtre pour l'impréssion de la facture

Cette interface permet de faire l'impréssion de la facture. Ayant déjà créé les différentes factures sur la page de gestion des factures, on peut encore les imprimer en sélectionnant d'abord le numéro de la facture qu'on cherche à imprimer. Sur celle-ci, on va y trouver les différents produits vendus portant le même numéro de facture, le montant total à payer par le client pour ces produits, le montant déjà payé et le montant restant si le client n'a pas pu payer toute la somme. Les éléments figurant sur cette page sont des éléments importés de la page de gestion des factures. Elle se présente comme suit :



FIGURE 4.11 – Création de la facture

4.3.7 Fenêtre pour le calcul des probabilités de transition

Cette interface permet d'étudier le comportement du stock de la COTRA-Miel dans le temps à l'aide de l'outil mathématique dit chaîne de Markov. Sur cette page, nous avons d'abord un espace surnommé « Etat de depart » ; dans cet espace, le gestionnaire ou bien le décideur va y mettre le mois qu'il se donne ou bien qu'il considère comme référence donc comme mois de départ. Nous avons aussi un autre espace dit « Etat de destination » qui va contenir le mois final donc le mois que le décideur veut étudier son comportement par rapport au stock du mois considéré comme de départ. Ici le décideur va étudier le problème structuré comme suit :« Sachant que le processus est, au début, dans « Etat de depart » ; quelle est la probabilité qu'il soit dans « Etat de destination » après un nombre de mois égal « Nombre de mois » ? ». Ici, l'espace « Nombre de mois » va contenir la période exprimée en mois que le processus va faire pour partir de « Etat de depart » à « Etat de destination ». Il y a aussi un bouton « Calculer » qui permet de trouver cette probabilité.

Sur la même page, il y a un bouton « Matrice » qui permet de générer automatiquement une matrice appelée *matrice de transition* ou *noyau de transition* ou encore *opérateur de transition*. Cette matrice donne une vue globale des probabilités du processus d'être dans chacun des états possibles après un nombre de mois voulu. Ayant les différentes probabilités que le processus soit dans un état quelconque après une période choisie, le décideur pourra prendre de meilleurs décisions permettant à la coopérative d'avancer et d'aller plus loin dans son développement grâce à ce module permettant la prédiction du futur basé sur les chaînes de Markov. Cette interface se présente comme suit :

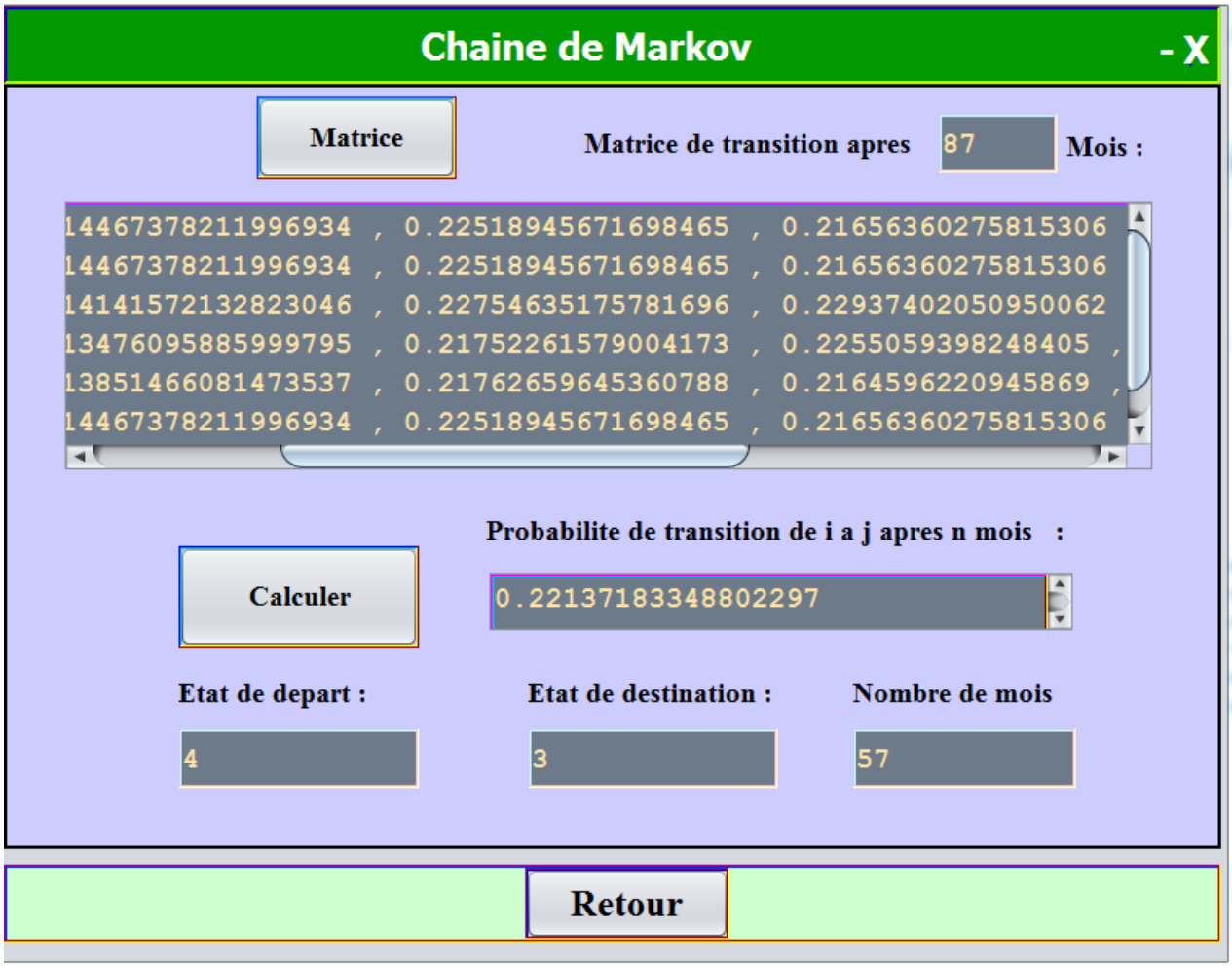


FIGURE 4.12 – Outil d'aide à la prise de décision

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de définir certains modèles de cycles de vie d'un logiciel et de dégager les avantages et les inconvénients de l'utilisation de l'un ou de l'autre. Nous avons enfin passé à la présentation de quelques interfaces graphiques des fonctionnalités réalisées dans notre système.

Conclusion générale et perspectives

Les recherches que nous avons menées au cours de ce mémoire nous ont permis de développer un système automatisé de gestion des circuits de distribution des produits de la coopérative COTRA-Miel.

Pour la mise en place de ce système, nous avons utilisé la technique de modélisation à l'aide d'un langage UML pour décrire de manière visuelle et graphique les besoins et les solutions fonctionnelles et techniques de ce projet ; la technique d'optimisation des processus de distribution des produits à l'aide des chaînes de Markov à temps discret utilisée dans le but de comprendre le comportement de ce système dans le temps ainsi que l'approche de programmation orientée objet à l'aide du langage de programmation Java.

Le développement de ce système nous a permis de répondre aux problèmes evoqués dans la critique de l'existant. Grâce à ce nouveau système de gestion des circuits de distribution de la COTRA-Miel, on peut :

- Échanger facilement et rapidement les informations et les données au sein de la coopérative ;
- Suivre et gérer le stock tout en évitant la duplication d'informations et de données sauvegardées ;
- Créer, sauvegarder et imprimer les factures ;
- Étudier facilement le comportement du stock dans le temps en utilisant l'outil d'aide à la prise de décision basé sur les chaînes de Markov et prendre de décisions pertinentes par rapport aux activités ultérieures.

Les perspectives d'avenir de ce projet concernent la poursuite des recherches sur ce projet en mettant notamment en place de nouvelles fonctionnalités permettant le monitoring et l'intégration des prix de produits agro-pastoraux.

Recommandations

Au terme de ce mémoire, nous tenons aussi à formuler des humbles recommandations fort utiles à l'endroit de la Coopérative de Traitement de Miel et à l'Université du Burundi :

À l'endroit de la COTRA-Miel, nous recommandons d' :

— Acheter des ordinateurs pour pouvoir utiliser les outils informatiques dans sa gestion. Les outils informatiques déterminent la performance de l'entreprise. Se doter de bons outils est essentiel pour rester compétitif dans un monde économique où tout s'accélère ;
— Adopter le système de gestion du circuit de distribution afin de pouvoir simplifier les tâches, les automatiser et gagner du temps et par la suite augmenter la productivité ;
— Organiser des formations aux membres de la coopérative surtout à ceux qui sont impliqués au secteur commercial sur les divers logiciels et sur les avantages d'utiliser les TIC dans la commercialisation de leurs produits.

À l'endroit de l'Université du Burundi : Nous recommandons d'appuyer financièrement et matériellement les projets de recherche dont les résultats répodent aux besoins réels de la population.

Bibliographie

[1] AGBEGNIDO Kodjo. Organisation et efficacité des circuits de distribution du riz local au togo :cas de la vallée du zio, Consulté le 03 Octobre 2019. https ://www.memoireonline.com/Organisation-et-efficacite-des-circuits-de-distribution-du-riz-local-au-Togo-Cas-de-la-vallee-du-.html.

[2] Imago Mundi. L'histoire du commerce, Consulté le 21 Décembre 2019. https ://www.cosmovisions.com/Commerce-Histoire.htm.

[3] FretBay. Transporteur, Consulté le 14 Janvier 2020. https ://fret-bay.com/fr/transporteur,definition.html.

[4] Ilham NEJJARI and BOUCHRA Lebzar. Tic et performance commerciale des coopératives : étude d'impact-cas des coopératives agicoles marocaines. *International Journal of Economics and Strategic, Management of Business Process (ESMB)*, 2018.

[5] Hnaien Faicel. *Gestion des stocks dans des chaînes logistiques face aux aléas des délais d'approvisionnements.* PhD thesis, Ecole Supérieure des Mines de Saint-Étienne, Décembre 2008.

[6] AGUEZZOUL Aïcha. *Prise en compte des politiques de transport dans le choix des fournisseurs.* PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, Septembre 2005.

[7] ROUIBI Sonia. *Impact du partage d'informations et du Vendor Managed Inventory sur la performance des chaînes logistiques.* PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Mai 2012.

[8] Conan Denis, Taconnet Chantal, and Bac Christian. *Introduction au langage de modélisation UML.* TELECOM, Sud Paris, Octobre 2015.

[9] AUDIBERT Laurent. Uml2-de l'apprentissage à la pratique, Consulté le 17 Octobre 2019. https ://laurent-audibert.developpez.com/Cours-UML/.

[10] Souissi Amir. Introduction à la modélisation objet, Consulté le 14 Octobre 2019. https ://fr.slideshare.net/AmirSouissi1/chap1-introduction-la-modelisation-objet.

[11] Ech-Cheikh* Hamid, Elhaq* Saâd-Lissane, and Douraid* Abdessamad. Approches de modélisation d'une chaîne logistique de distribution multi-échelon-etat de l'art. page 17, Décembre 2011.

[12] TOUNSI Jihène. *Modélisation pour la simulation de la chaîne logistique globale dans un environnement de production PME mécatroniques.* PhD thesis, Université de Savoie, Décembre 2009.

[13] Parunak* H.Van Dyke, Savit** Robert, Rick L.Riolo**, and Steven J.Clark*. *DASCh : Dynamic Analysis of Supply Chain.* Center for Electronic Commerce, 1999.

[14] M.Law Averill and W.David Kelton. *Simulation modeling and analysis.* New York : McGraw-Hill, 1982.

[15] E.Shannon Robert. Introduction to the art and science of simulation. *Whashington D.C, United States, IEE Computer Society Press,*, page 8, Dec 1998.

[16] Treuil Jean-Pierre, Drogoul Alexis, and Jean-Daniel Zucker. Modélisation et simulation à base d'agents : Exemples commentés, outils informatique et questions théoriques. 20 Août 2008.

[17] Khadija EDDOUG* et Saâd Lissane Elhaq**. Optimisation conjointe des coûts de transports et de stockage dans une chaîne logistique de distribution multiniveaux : Une approche basée sur la simulation. *X^{ème} Conférence Internationale : Conception et Production Intégrés, Dec 2015, Tanger, Maroc.*

[18] Larivière Philippe. *Langage UML.* Classe de Terminale SI, 2017.

[19] Deslandres Veronique. *Introduction à UML-Unified Modeling Language.* IUT de Lyon, 2017-2018.

[20] Nassim TOUCHE. *Chaîne de Markov à temps discret.* Mathématiques appliquées, Facultés des sciences exactes, Université Abderrahmane Mira de Béjaia, 2017-2018.

[21] Hu Yueyun and Tournier Laurent. *Processus stochastiques à temps discret.* Institut de Galilée, Université de Paris 13, 2017.

[22] S.Lemaine. *Introduction aux chaînes de Markov.* Polycopié pour l'U.E."chaînes de Markov", 2012-2013.

[23] Hêche Fran¸cois, M.Liebling Thomas, and De Werra Dominique. *Recherche Opérationnelle pour Ingénieurs II.* PPUR,1èreédition, Enseignement des mathématiques, 13 Novembre 2003.

[24] Solaiman Bassel. *Processus stochastiques pour l'ingénieur.* PPUR, Édition 1, Collection technique et scientifique des télécommunications, 2006.

[25] Patrick Thiran. Modèles stochastiques pour les communications, Consulté le 13 Novembre 2019. http ://moodle.epfl.ch/course/view.php ?id=14236.

[26] Robson Mike. *Processus stochastique et simulation.* IUP Miage, Bordeaux, Janvier 2005.

[27] L'encyclopédie libre. Processus de markov à temps continu, Consulté le 05 Décembre 2019. https ://fr.wikipedia.org/wiki/Processus-de-Markov-à-temps-continu.

[28] Sautot Lucile and Chéry Jean-Pierre. *Découpage d'un projet et modèles de cycle de vie.* AgrosParisTech, 2018.

[29] BEN GHORBEL Jalila and AZIZa Rabia. Cycle de vie d'un logiciel, Consulté le 16 Janvier 2020. https ://fr.slideshare.net/RabiaAziza/cycles-de-vie-dun-logiciel.

[30] Chikh Azeddine. Modèles du cycle de vie du logiciel, Consulté le 16 Janvier 2020. https ://slideplayer.fr/slide/13242749/.