

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes



Département de Recherche Opérationnelle

Mémoire de Master

en

Recherche Opérationnelle

Option : Modélisation Mathématique et Evaluation des Performances dans les Réseaux

Thème :

Modélisation et Evaluation des Performances de la Solution Cloud Computing de l'Entreprise ICOSNET (Alger)



Présenté par :

DRIZI Fadhila & DEHDOUH Amel

devant le jury composé de :

Président	M ^r A. Larbi	M. A. A	U. A/Mira Béjaïa.
Rapporteur	M ^r D. Aissani	Professeur	U. A/Mira Bejaia.
Co-Rapporteur	M ^{me} L. Bouallouche	Professeur	U. A/Mira Bejaia.
Examinatrice	M ^{elle} N. Bousba	Doctorante	U. A/Mira Bejaia.
Examinatrice	M ^{elle} A. Outamazirt	Doctorante	U. A/Mira Bejaia.

Béjaïa, Juin 2015.

※ *Remerciements* ※

Au terme de ce travail, il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements est d'exprimer notre profonde gratitude :

En premier lieu, A Dieu, le miséricordieux, sans lui rien de tout cela n'aurait pu être.

A *M^r* D. AISSANI et *M^{me}* L. BOUALLOUCHE pour leur grand intérêt porté à notre travail, précieux conseils, patience et remarques constructives qui nous ont beaucoup aidés..

A *M^r* A. LARBI qui nous a honorés en acceptant de présider le jury.

A *M^{elle}* N. BOUSBA et *M^{elle}* A. OUTAMAZIRT d'avoir acceptés d'examiner notre travail.

A tous nos enseignants pour leurs encouragements et la qualité de leurs enseignements.

A *M^{me}* ADEL et *M^r* ZIANI pour leurs disponibilité permanente et leurs précieux conseils, aide inestimable.

Un grand merci au personnel de l'entreprise ICOSNET pour l'accueil chaleureux qui nous a été réservé, tout particulière, à nos encadreurs *M^r* M. SELMANE et *M^r* M. SAFTA pour leurs disponibilités, patiences, encouragements et leurs orientations, ainsi qu'à *M^r* M. ELGADIR pour sa collaboration, sa gentillesse et son aide précieuse.

Nous réservons un vif remerciement à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de notre travail.

Finalement, nous tenons à remercier vivement nos parents, nos frères et sœurs pour leur soutien constant et leurs amour qui est le meilleur des encouragements.

✧ *Dédicaces* ✧

On dédie ce modeste travail à

Nos chers parents.

Nos frères et Sœurs.

Nos amis, en particulier : Ouafa, Meriem, Rabah, Ryma, ainsi que la grande famille ACT.

Nos familles qui habitent à alger, qui nous ont accueilli durant notre stage : MELHA et OUSALEM.

Toute la promotion de 2^{ème} année Master.

Tous nos enseignants et enseignantes de cycle.

Liste des acronymes

- **SOA** : Service Oriented Architecture.
- **MIT** : Massachusetts Institute of Technology.
- **IBM** : International Business Machines.
- **ASP** : Application Service Provider.
- **NIST** : National Institute of Standards and Technology.
- **JO** : Journal Officiel.
- **IaaS** : Infrastructure as a Service.
- **PaaS** : Plateform as a Service.
- **SaaS** : Software as a Service.
- **OVH** : Oles Van Herman.
- **SLA** : Service Level Agreement.
- **CRM** : Customer Relationship Management.
- **QoS** : Quality of Service.
- **SLO** : Service Level Objective.
- **CDMI** : Cloud Data Management Interface.
- **PME/PMI** : Petites et Moyennes Entreprises / Industries.
- **LS** :Ligne Spécialisée.
- **VOIP** : Voix sur IP.
- **IP** : Internet Protocol.
- **ISP** : Internet Service Provider.

- **IPBX/PABX-IP** : Private Automatic Branch eXchange-Internet Protocol.
- **ISO** : International Organization for Standardization.
- **V.a** : Variable aléatoire.
- **VM** : Virtual Machine.
- **VApps** : Virtual Applications (collection of virtual machines "VMs").
- **RAM** : Random Access Memory (La mémoire vive).
- **CPU** : Central Processing Unit (Unité centrale de traitement).
- **MATLAB** : Matrix Laboratory.
- **FIFO** : First In First Out.
- **TIC** : Technologies de l'Information et de la Communication.

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Introduction	1
1 Notions fondamentales sur les Clouds Computing	3
1.1 Introduction	3
1.2 Historique	3
1.3 Définition du Cloud Computing	4
1.4 Les composants d'un Cloud Computing	5
1.4.1 La virtualisation	5
1.4.2 L'infrastructure physique (Datacenter)	6
1.4.3 Plateforme collaborative	6
1.5 Les différentes architectures du Cloud Computing	6
1.5.1 IaaS : Infrastructure as a service	6
1.5.2 PaaS : Platform as a service	7
1.5.3 SaaS : Software as a service	7
1.6 Les types de Cloud Computing	8
1.6.1 Les Clouds privés	8
1.6.2 Les Clouds publics	8

1.6.3	Les Clouds hybrides	8
1.6.4	Les Clouds communautaires	9
1.7	Les Acteurs du Cloud	9
1.8	Les caractérisation du Cloud Computing	10
1.9	L'intérêt du Cloud Computing	10
1.10	Les applications du Cloud Computing	10
1.11	Les solutions Clouds	11
1.12	La tarification dans le Cloud	12
1.13	La qualité de service dans le Cloud Computing	13
1.14	La sécurité dans le Cloud Computing	14
1.14.1	La sécurité des données	14
1.14.2	La sécurité des infrastructures	14
1.15	Les attaques dans le Cloud Computing	15
1.16	Les avantages et inconvénients du Cloud Computing	15
1.16.1	Les avantages	16
1.16.2	Les inconvénients	16
1.17	Conclusion	17
2	L'organisme d'accueil : L'entreprise ICOSNET	18
2.1	Introduction	18
2.2	L'organisme d'accueil	18
2.2.1	Présentation de l'entreprise ICOSNET	18
2.2.2	Couverture géographique	20
2.2.3	Les services proposés par ICOSNET	20
2.2.3.1	Les accès internet	20
2.2.3.2	La téléphonie	22
2.2.3.3	Les solutions Clouds	25
2.3	Position du problème	28
2.4	Conclusion	28

3	Notions théoriques	29
3.1	Introduction	29
3.2	Le processus de modélisation	29
3.2.1	La modélisation analytique	30
3.3	L'évaluation des performances	31
3.3.1	Définition	31
3.3.2	Les étapes de l'évaluation des performances	31
3.3.3	Les types d'analyse	31
3.4	La simulation	32
3.5	La théorie de files d'attente	33
3.5.1	Modèles de files d'attente	33
3.5.2	Notation de Kendall	33
3.6	Modèles markoviens	34
3.6.1	Structure générale d'un système M/M/1	35
3.6.2	Structure générale d'un système M/M/s	36
3.7	Modèles non markoviens	37
3.8	Réseaux de files d'attente	37
3.8.1	Définition d'un réseau de files d'attente	38
3.8.2	Les différents types de réseaux	38
3.8.3	Réseaux à forme produit	39
3.8.3.1	Réseaux de Jackson	39
3.9	Conclusion	41
4	Formalisation et modélisation du problème	42
4.1	Introduction	42
4.2	État de l'Art	42
4.3	Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET du côté administratif	43
4.4	Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET du côté technique	44
4.5	Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET du côté virtuel	44
4.6	Modélisation conceptuelle des systèmes à étudier	46

4.6.1	Système de la création	46
4.6.2	Système de la supervision	47
4.7	La modélisation des systèmes par des réseaux de files d'attente	48
4.7.1	Identification des entités	48
4.8	Conclusion	51
5	Evaluation des performances du modèle	52
5.1	Introduction	52
5.2	L'étude Statistique	52
5.2.1	La disponibilité des machines virtuelles (VMs)	52
5.2.2	Le volume des incidents	54
5.2.3	SLA Technique : Résolution des Incidents	56
5.3	L'évaluation des performances	57
5.3.1	Le premier réseau	57
5.3.2	Le système de réparation	63
5.4	Discussion des résultats obtenus	65
5.5	Conclusion	65
	Conclusion	66
	Bibliographie	68

Table des figures

1.1	Cloud Computing	5
1.2	Les différentes architectures du Cloud Computing	7
1.3	Types de Cloud Computing	9
2.1	Organigramme de l'Entreprise ICOSNET	19
2.2	La couverture géographique d'ICOSNET	20
2.3	Le Wimax	21
2.4	Les lignes spécialisées	21
2.5	La téléphonie IP	22
2.6	La solution d'ICOSNET Centrex	23
2.7	La solution ICOSNET IPBX	24
2.8	La solution ICOSNET call conférence	24
2.9	La solution ICOSNET Texto	26
2.10	La solution BULK SMS	27
3.1	Le processus de modélisation	30
3.2	Les étapes de l'évaluation des performances.	31
3.3	Les étapes du processus de la simulation.	32
3.4	Représentation d'une file d'attente	33
3.5	Structure générale d'un système de files d'attente M/M/1	36
3.6	Réseau de files d'attente ouvert.	38
3.7	Réseau de files d'attente fermé.	39

4.1	Acheminement de la requête dans le Cloud du côté administratif	43
4.2	Acheminement de la requête dans le Cloud du côté technique	44
4.3	Acheminement de la requête dans le Cloud du côté virtuel	45
4.4	Le schéma associé au système de la création.	47
4.5	Le schéma associé au système de la supervision.	47
4.6	Le réseau de files d'attente associé au système de la création.	48
4.7	La file d'attente associée à la résolution des incidents.	50
5.1	La disponibilité des VMs.	53
5.2	Le volume des incidents (événements actifs et historisés).	54
5.3	Le volume des incidents durant une journée et une semaine.	54
5.4	Le volume des incidents durant un mois et une année.	55
5.5	Le rapport de résolution des événements.	56
5.6	Le rapport de résolution des incidents durant une journée et une semaine.	56
5.7	Le rapport de résolution des incidents durant un mois et une année.	57
5.8	Le réseau de files d'attente associé au système de la création.	57
5.9	Performances de la station 1.	61
5.10	Performances de la station 2.	62
5.11	Performances du réseau.	62
5.12	La file d'attente associée à la résolution des incidents.	63
5.13	Simulation de la file de réparation.	64
5.14	Performances de la table de shooting.	64

Liste des tableaux

3.1	Les mesures de performances pour un modèle M/M/1.	36
3.2	Les mesures de performances pour un modèle M/M/s.	37
4.1	Description des flux	46
4.2	Test d'ajustement des durées de service.	50
5.1	Les différentes mesures de performances associées au réseau.	58
5.2	Les différentes mesures de performances associées au réseau pour les différentes valeurs de λ	59
5.3	La simulation du premier réseau en faisant varier les probabilités de routage.	60
5.4	La simulation en faisant varier la valeur de λ	60
5.5	Les différentes mesures de performances associées à la file de table de shooting.	63

Introduction générale

Le Cloud Computing est une plate-forme de l'externalisation et de traitement à distance des applications et des données qui se développe de plus en plus. Néanmoins, il reste des défis à relever en termes d'outils d'administration, d'interopérabilité et de sécurité. Ces défis devront être réglés avant que les utilisateurs puissent profiter de tous les avantages du Cloud Computing et y placer leur confiance. En effet, le renforcement de la sécurité et les pratiques de confidentialité vont attirer plus d'entreprises au monde de l'informatique dans les nuages. En effet, un nouveau moyen est mis à disposition : le Cloud Computing, qui permet de délocaliser les ressources (données) du client afin de les confier à des fournisseurs professionnels [10]. Le Cloud Computing promet de révolutionner le monde de la technologie de l'information en proposant des services accessibles à la demande au travers d'internet.

En réalité, c'est une notion qui reste assez confuse, c'est un terme à la mode et souvent utilisé de manière abusive à des fins marketings. Mais la tendance est bel et bien réelle et présente, toutes les grandes entreprises du domaine informatique s'engagent très fortement dans cette nouvelle approche.

En Algérie, le gouvernement a alloué un montant d'environ 2 milliards de dollars pour couvrir les investissements en matière d'infrastructures haut et très haut débit durant les cinq prochaines années, et ce, afin d'investir dans le paradigme du Cloud Computing. Tout de même, la majorité des entreprises algériennes n'ont pas encore opté pour cette révolution. Quelques entreprises seulement viennent de lancer leurs solutions Clouds comme : Ooredoo, Algérie Télécom, Cevital, mais la plupart n'ont pas encore de données à fournir pour effectuer des études. Nous avons eu le choix entre les deux seules entreprises ayant investies depuis plus d'une année et qui ont des ingénieurs spécialisés dans ce domaine. Ces entreprises sont : ICOSNET et EEPAD. Nous avons opté pour le choix de l'entreprise ICOSNET, car le Datacenter est présent au sein de son organisme, alors que le Cloud d' EEPAD est externalisé.

Une fois accueillis au sein de l'entreprise, nous avons remarqué que, le Cloud d'ICOSNET est un Cloud privé interne, géré par des ingénieurs compétents, qui nous ont aidé à comprendre

son architecture et le processus de cheminement d'une demande de client depuis son arrivée, à sa création, jusqu'à sa supervision.

la modélisation de notre étude se rapproche des phénomènes d'attente. Ces phénomènes d'attente se manifestent sous des formes multiples. L'étude de ces systèmes consiste à examiner le comportement au cours du temps de certaines grandeurs, comme la longueur des files d'attente, le temps de séjour et le temps d'attente des différents clients, qui en reflètent les performances.

Ce mémoire s'articule autour de cinq chapitres :

Le premier chapitre définit clairement les principes du Cloud Computing, ses avantages, inconvénients dans un premier temps, observer les risques, sécurité et qualité d'un tel service, et présente les différentes offres disponibles dans un second temps.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'entreprise d'accueil « ICOSNET », sa couverture géographique, ses différents services et solutions. Enfin, nous exposons la problématique de notre travail.

Le troisième chapitre porte sur la modélisation, l'évaluation des performances et la simulation des systèmes et réseaux de files d'attente.

Dans le quatrième chapitre, nous réalisons l'étude des données en utilisant la modélisation afin de construire un modèle adéquat à l'aboutissement de notre travail.

Le cinquième chapitre est consacré à l'évaluation des performances de nos modèles analytiquement et par simulation, par la suite nous interpréterons les résultats. À la fin de ce chapitre, une comparaison entre les résultats simulés et les résultats analytiques est réalisée.

Notions fondamentales sur les Clouds Computing

1.1 Introduction

Les entreprises modernes traitent de grandes quantités d'informations aussi nombreuses que variées. Ainsi, elles ont besoin de grandes capacités de stockage ainsi que d'une puissance de calcul élevée. Les ressources matérielles et logicielles nécessaires n'étant pas à la portée de toutes les entreprises, le Cloud Computing est une solution pour résoudre ce problème.

Au cours de ce chapitre, nous vous ferons découvrir les points essentiels du Cloud Computing afin d'aider le client à choisir le Cloud qui lui convient selon ses exigences et ses moyens.

1.2 Historique

La naissance du Cloud Computing n'a pas une date précise, elle vient de l'évolution de certaines technologies telles que les web services, ou l'architecture SOA (Service Oriented Architecture). La notion de Cloud fait référence à un nuage tel qu'on a l'habitude d'utiliser dans les schémas techniques lorsqu'on veut représenter Internet, d'où la confusion entre Internet et les services du Cloud Computing [7].

Mais, la notion même de consommation de services informatiques a été proposée pour la première fois en 1961 lors d'une conférence au MIT par John McCarthy connu comme l'un des pionniers de l'Intelligence Artificielle. A sa naissance, il pouvait être comparé au cluster de calcul [16].

Dans les années 60, IBM proposait déjà un service d'informatique à la demande. Les années 80 furent le début de la virtualisation. Dans les années 1990, un autre concept avait déjà préparé le terrain au Cloud Computing. Il s'agit de l'ASP (Application Service Provider) qui permettait au client de

louer l'accès à un logiciel installé sur les serveurs distants d'un prestataire. Il est communément admis que le concept de Cloud Computing ai été initié par le géant Amazon en 2002. Le cybermarchand avait alors investi dans un parc informatique afin de palier les surcharges des serveurs dédiés au commerce en ligne constatés durant les fêtes de fin d'année. Cependant, ce n'est qu'en 2006 qu'Amazon a compris qu'un nouveau mode de consommation de l'informatique et d'internet faisait son apparition [13].

1.3 Définition du Cloud Computing

« Le Cloud Computing est un modèle qui permet un accès facile à la demande par le réseau (Internet) à un pool partagé de ressources informatiques configurables, qui peuvent être provisionnées rapidement et distribuées avec un minimum de gestion ou d'interaction avec le fournisseur de services ». Telle est la définition donnée par NIST américain (National Institute of Standards and Technology).

De nombreuses autres définitions ont été proposées comme celle publiée dans le JO de la République française (6 juin 2010) : « mode de traitement des données d'un client dont l'exploitation s'effectue par l'internet, sous la forme de services fournis par un prestataire. » [22]

D'après la Commission Européenne : « Le Cloud Computing est un environnement de stockage et d'exécution élastique de ressources informatiques impliquant plusieurs acteurs, connectés par Internet. Cet environnement délivre un service mesurable, à la demande, à granularité variable et qui implique des niveaux de qualité de service. » [22]

Le Cloud Computing (ou informatique dans les nuages) est une métaphore désignant un réseau de ressources informatiques accessibles à distance par le biais des technologies Internet. C'est un modèle informatique qui permet un accès facile et sous forme d'un service à la demande par le réseau à un ensemble partagé de ressources informatiques configurables (logiciels et/ou matérielles : applications et services ; réseaux, serveurs, machines virtuelles et support de stockage) qui peuvent être rapidement provisionnées et libérées par un minimum d'efforts de gestion ou d'interaction avec le fournisseur du service.

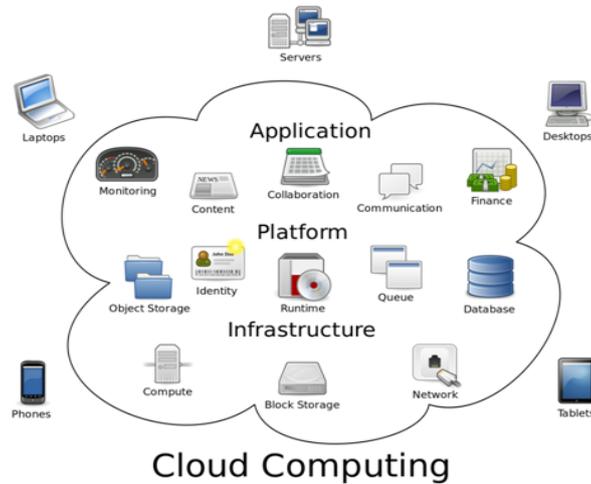


FIGURE 1.1 – Cloud Computing

1.4 Les composants d'un Cloud Computing

Dans cette section, nous allons présenter les différentes composantes du Cloud Computing :

1.4.1 La virtualisation

La virtualisation est apparue dans les années 1980. Elle regroupe l'ensemble des techniques matérielles ou logicielles permettant de faire fonctionner, sur une seule machine physique, plusieurs configurations informatiques (systèmes d'exploitation, applications, mémoire vive,...) de manière à former plusieurs machines virtuelles qui reproduisent le comportement des machines physiques.

Enfin, la virtualisation des serveurs permet une plus grande modularité dans la répartition des charges et la reconfiguration des serveurs en cas d'évolution ou de défaillance momentanée [15].

Les intérêts de la virtualisation sont multiples. On peut citer :

- L'utilisation optimale des ressources d'un parc de machines (répartition des machines virtuelles sur les machines physiques en fonction des charges respectives) ;
- L'économie sur le matériel (consommation électrique, entretien physique, surveillance) ;
- L'installation, tests, développements sans endommager le système hôte.

1.4.2 L'infrastructure physique (Datacenter)

Un centre de traitement de données est un site physique conçu pour accueillir et regrouper des équipements constituant le système d'information de l'entreprise (mainframes, serveurs, baies de stockage, équipements réseaux et de télécommunications, etc.). Il peut être interne et/ou externe à l'entreprise, exploité ou non avec le soutien de prestataires. Il comprend en général un contrôle sur l'environnement (climatisation, système de prévention contre l'incendie, dégâts extérieurs), une alimentation d'urgence et redondante pour les risques de coupures électriques, ainsi qu'une sécurité physique élevée pour les risques d'intrusions ou encore contre l'accès de personnes malveillantes sur les serveurs [16].

Cette infrastructure peut être propre à une entreprise et utilisée par elle seule ou à des fins commerciales. Ainsi, des particuliers ou des entreprises peuvent venir y stocker leurs données suivant des modalités bien définies.

1.4.3 Plateforme collaborative

Une plateforme de travail collaborative est un espace de travail virtuel. C'est un site qui centralise tous les outils liés à la conduite d'un projet et les met à disposition des acteurs.

L'objectif du travail collaboratif est de faciliter et d'optimiser la communication entre les individus dans le cadre du travail ou d'une tâche. Les plateformes collaboratives intègrent généralement les éléments suivants [20] :

- Un service de messagerie ;
- Un système de partage de ressources et de fichiers ;
- Des outils de type forum, pages de discussions ;
- Un calendrier.

1.5 Les différentes architectures du Cloud Computing

1.5.1 IaaS : Infrastructure as a service

Infrastructure as a service ou l'infrastructure en tant que service en français, où seul le serveur est dématérialisé, c'est un modèle où l'entreprise dispose d'une infrastructure informatique (serveurs, stockage, réseau) qui se trouve en fait chez le fournisseur. Cependant, elle y a accès sans restrictions. Cette couche permet à l'entreprise de se concentrer en premier sur ses processus métiers sans se préoccuper du matériel [22].

Parmi les prestataires d'IaaS, on peut citer : Amazon avec EC2 ou Orange Business Services avec Flexible Computing .

1.5.2 PaaS : Plateform as a service

Plateforme en tant que service permet au client de bénéficier d'une plateforme applicative de développement et d'exécution propre, en utilisant des outils supportés et hébergés par un fournisseur (gestion de la sécurité, de la capacité et des bases de données). Elle évite à l'utilisateur d'avoir à acheter des logiciels ou d'avoir à réaliser des installations supplémentaires, puisque le matériel (serveurs), l'hébergement et le Framework d'application sont dématérialisés [7].

Les principaux fournisseurs de PaaS sont : Microsoft avec AZURE, Google avec Google App Engine et Orange Business Services.

1.5.3 SaaS : Software as a service

Application en tant que service, propose des applications informatiques pour les entreprises. Ce modèle est le plus utilisé dans le monde après le service d'email. Les offres SaaS ont fortement crû et ce, dans tous les domaines applicatifs (finance/comptabilité, ressources humaines, collaboratif, achats). Le service est fréquemment proposé en location, via un abonnement en fonction du volume d'utilisateurs [14] [10].

Les prestataires de solutions SaaS les plus connus sont : Google avec Gmail et Youtube ou encore les réseaux sociaux Facebook et Twitter.

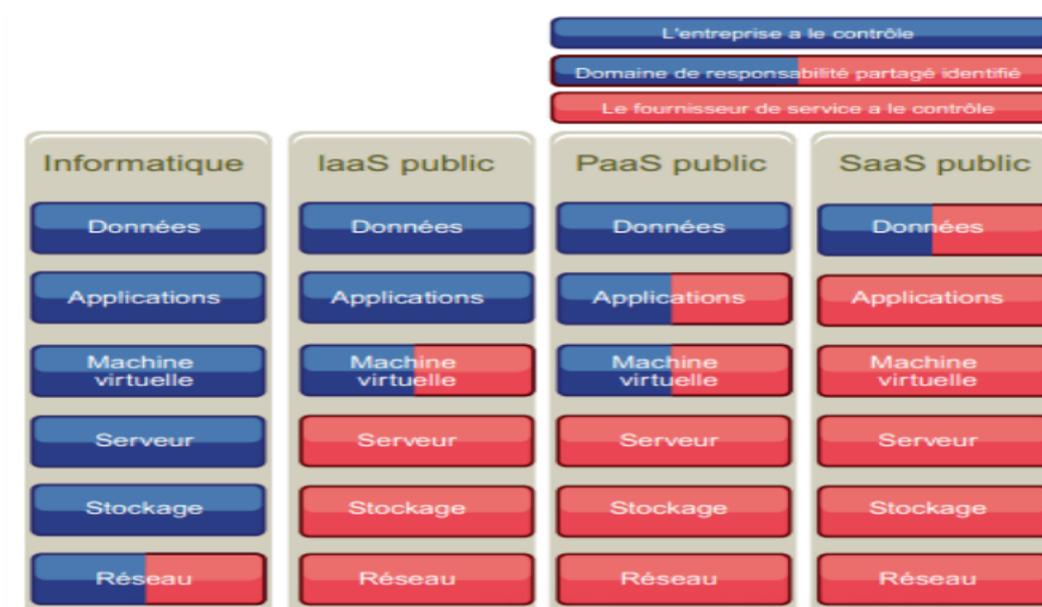


FIGURE 1.2 – Les différentes architectures du Cloud Computing

1.6 Les types de Cloud Computing

Un service dans le Cloud doit bien évidemment reposer sur des ressources physiques. Une entreprise a le choix entre se construire ou louer un Cloud privé, bénéficier des offres dans un Cloud public ou choisir différentes options avec un Cloud hybride ; et cela selon les besoins et les moyens de l'entreprise. Analysons ces trois possibilités plus en détail.

1.6.1 Les Clouds privés

Le Cloud privé est une nouvelle approche qui améliore l'organisation et la gestion des services et des ressources informatiques, mais aussi la façon dont l'entreprise les consomme et les met à l'œuvre [20].

Le Cloud privé peut être géré par l'entreprise elle-même (Cloud privé interne) ou par un prestataire externe qui met à la disposition de l'utilisateur un parc de machines s'adaptant à la demande de l'utilisateur (Cloud privé externe).

1.6.2 Les Clouds publics

Ce type de Cloud est créé par un organisme spécialisé qui met à disposition ses infrastructures, ses ressources pour des entreprises aussi multiples que variées (ou utilisateur privé). Ainsi, ces entreprises consommatrices de services utilisent et payent à la demande l'hébergement des applications, les différents services et données, il n'y a donc aucun investissement initial pour le client. Les fournisseurs de services Cloud Computing garantissent une disponibilité et une qualité de service à travers un contrat SLA « Service Level Agreement » signé avec le consommateur du service [13].

Les plus grandes entreprises mondiales qui offrent des solutions de Cloud Computing public sont : Microsoft, Amazon, Google, OVH.

1.6.3 Les Clouds hybrides

Ce type de Cloud combine les Clouds publics et privés. Par exemple, on pourra exporter nos applications dans un Cloud public mais ces applications utiliseront également des données stockées sur un Cloud privé, ou bien faire communiquer deux applications hébergées dans deux Cloud privés distincts, ou encore consommer plusieurs services hébergés dans des Clouds publics différents. Le Cloud hybride pose donc un problème important du Cloud Computing : celui de l'intégration [20].

1.6.4 Les Clouds communautaires

Il s'agit d'une configuration fermée partagée par plusieurs organisations. Elles peuvent être constituée d'un périmètre de plusieurs Clouds privés connectés entre eux et isolés vis-à-vis de l'extérieur, construits et exploités spécifiquement pour un groupe ciblé. Ces communautés ont des exigences de nuages semblables et leur objectif ultime est de travailler ensemble pour atteindre leurs objectifs d'affaires [16].

Le but des Clouds de la communauté est d'avoir des organisations participantes réalisant les avantages d'un Cloud public avec le niveau supplémentaire de la vie privée, de la sécurité et du respect de la politique générale associé à un Cloud privé.

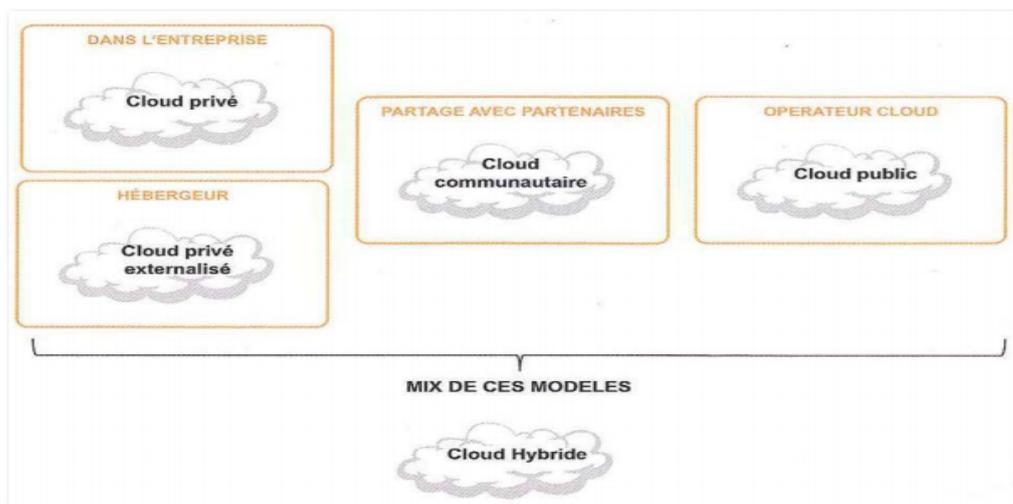


FIGURE 1.3 – Types de Cloud Computing

1.7 Les Acteurs du Cloud

- **Editeurs :**

Ils proposent des solutions Clouds. Un éditeur n'est pas forcément un fournisseur de services, autrement dit, son périmètre n'est pas de fournir un service Cloud, mais plutôt de fournir une technologie capable d'héberger une solution Cloud. Cependant, la frontière est mince car bon nombre d'éditeurs sont fournisseurs de leurs propres produits [7].

Les éditeurs fournissent donc une technologie de Cloud Computing qui peut être hébergée sur les infrastructures physiques d'une société de services et être proposée comme un Cloud public,

ou bien directement installée sur les infrastructures internes d'une entreprise laissant place à un Cloud privé [7].

- **Fournisseurs :**

Les fournisseurs de services de Cloud Computing sont des hébergeurs tels que l'on a l'habitude de les retrouver depuis plusieurs années sur Internet. Ils mettent à disposition des infrastructures physiques proposant une plate-forme de Cloud.

1.8 Les caractérisation du Cloud Computing

Le modèle Cloud Computing se différencie par les cinq caractéristiques essentielles suivantes [16] :

- Large bande passante ;
- Elasticité rapide (Mutualisation et allocation dynamique de capacité) ;
- Self-service et paiement à l'usage (en fonction de ce qu'on consomme) ;
- Mesure de consommation de service (Accès aux services par l'utilisateur à la demande) ;
- Pooling de ressources.

1.9 L'intérêt du Cloud Computing

Le Cloud Computing apporte plusieurs intérêt, à savoir [22] :

- Intérêts économiques Des services dans le Cloud : l'entreprise n'a plus besoin de disposer de locaux pour entreposer ses serveurs ; l'installation et la maintenance sont gérées par les fournisseurs des services. Le client paie désormais un abonnement « à la demande » extensible en fonction de ses besoins ;
- Préserver le contexte quand on change de terminal, par exemple : commencer un jeu du Xbox Live sur votre console Xbox, et continuer à jouer sur votre téléphone mobile ;
- Une formidable opportunité de réduire le décalage entre l'offre de services publics et les attentes des usagers ;
- Le Cloud Computing rend l'accès à l'informatique très similaire à celui de l'électricité du point de vue énergétique, en payant à hauteur de ce qui a été effectivement consommé .

1.10 Les applications du Cloud Computing

Le Cloud Computing possède plusieurs applications, nous pouvons cité [11] :

- Open source (logiciels libres) : fournies des logiciels avec leurs codes sources pour les modifier selon les besoins ;
- Les outils collaboratifs et de web-conferencing ;
- Les environnements de développement et de test ;
- Le CRM (Customer Relationship Management) : système d'information qui anticipe les besoins des clients, et qui s'occupe de la gestion et la planification des différentes tâches ;
- La Business Intelligent ;
- Les applications analytiques et décisionnelles ;
- Les applications d'ingénierie mathématique (modélisations, simulations, . . .) ;
- Les applications financières (analyse des marchés d'actions, analyses sur le long terme, . . .).

1.11 Les solutions Clouds

Une solution Cloud est une plate-forme de virtualisation permet à plusieurs systèmes d'exploitations de travailler sur une même machine physique en même temps.

Il existe deux catégories de solutions Clouds computing privés, telles que :

- Les solutions propriétaires : Office 365, VMware vcloud,
- Les solutions libres et gratuites : OpenStack, Owncloud,

Nous allons présenter la solution VMware, vu que c'est la solution utilisée par l'entreprise ICOSNET.

- **VMware**

VMware est une société fondée en 1998, qui propose notamment plusieurs produits propriétaires de virtualisation. La plate-forme de Cloud de VMware définit une nouvelle catégorie des technologies offrant une infrastructure de Cloud Computing fiable, évolutive et facile à gérer [10] :

- Toutes les applications sont exécutées de manière économique et prévisible dans un Cloud d'infrastructure partagé sur site ou hors site ;
- Les systèmes x86 et les ressources du stockage et le réseau standard sont regroupés dans des pools de ressources logiques pour exécuter les applications à moindre coût avec une fiabilité maximale ;
- Les utilisateurs gèrent automatiquement leurs applications en fonction de SLA (Service Level Agreement) prédéfinis grâce à des fonctions intégrées de disponibilité, de sécurité et de performances.

VMware encapsule le système d'exploitation de notre choix dans la machine virtuelle et l'isole du matériel (meilleure plate-forme de virtualisation du secteur). Les utilisateurs peuvent déployer le système d'exploitation et l'application contenue dans cette machine virtuelle sur

n'importe quelle plate-forme matérielle, en bénéficiant aussi d'un vaste écosystème de vClouds VMware Ready prenant en charge les différents types de systèmes d'exploitation pour choisir celui qu'on désire.

- **Applications**

VMware n'a cessé d'investir dans le marché du Cloud Computing, en rachetant différentes entreprises comme :

- vCloud Director : Pour le choix d'une infrastructure virtuelle adéquate ;
- Zimbra : Une application web collaborative qui fournit une boîte aux lettres, la possibilité de stocker, organiser et partager des contacts, des documents et des agendas,(solution de messagerie) ;
- Hyperic : Une solution de gestion et de surveillance d'applications sur des infrastructures physiques, virtuelles ou Cloud ;
- RabbitMQ : Un service de messagerie de type bus applicatif permettant la communication de plusieurs applications internes ou externes.

- **vCloud**

C'est un ensemble de technologies telles que VMware vSphere, APL vCloud, et d'autres services de Cloud Computing proposés aux clients via des Clouds privés reposant sur les solutions VMware, et ce pour que les clients créent des Clouds privés et déploient ainsi, de façon transparente et à la demande, des procédures de test et de reprise d'activités ou de la capacité supplémentaire hors site ou dans le Cloud [22].

1.12 La tarification dans le Cloud

La tarification du Cloud Computing est un sujet assez complexe à cause de la difficulté pour comparer les différentes offres.

En général la tarification Cloud pour le client comprend [16] :

- Le temps de calcul, en général à l'heure.
- La quantité de stockage mesurée en Gigaoctet.
- Le nombre de transactions représentant le nombre d'accès aux services de stockage.
- La bande passante en entrée comme en sortie.

De manière générale, le profit d'une entreprise est égale aux revenu moins les coûts :

Profit = Revenus - Coûts.

Le but d'une entreprise est généralement de maximiser son profit. En optant pour des services Cloud, la variable touchée sera principalement celle des coûts avec pour but de les diminuer.

- **Analyse des différents coûts pour le fournisseur [16]**
 - Les coûts en capital.
 - Les coûts de transition.
 - Les coûts opérationnels.
 - Les coûts de personnel.
 - Les coûts de support.
 - Hardware serveur.
 - Hardware de stockage.
 - Hardware client (ordinateurs).
 - Infrastructure réseau (routeurs, gestion de charge, bande passante).
 - Sécurité (firewalls, VPN, détection d'intrusions).
 - Licences (clients et serveurs).
 - Opérations de maintenance (backup, restauration, mise à jour).
 - Support (dépannage).
 - Gestion du système.
 - Gestion des contrats (fournisseurs).

1.13 La qualité de service dans le Cloud Computing

La qualité de service ou QoS (Quality of Service) désigne la capacité d'un service à répondre par ses caractéristiques aux différentes exigences de ses utilisateurs en termes par exemple de disponibilité (e.g : taux de rejet), fiabilité (e.g : temps moyen entre deux pannes), performance (eg : temps de réponse) et coût (économique, énergétique) [10].

Le Service Level Agreement (SLA) est un document qui définit la qualité de service requise entre un prestataire de service et un client. Le Service Level Agreement, que l'on pourrait traduire en français par accord de niveau de service ou contrat de niveau de service, est donc un contrat dans lequel on formalise la qualité du service en question. Un SLA est composé essentiellement des parties impliquées dans le contrat (et leurs rôles respectifs), la définition des services (leur signature), les objectifs de niveau de service SLO (Service Level Objective), une période de validité du contrat et les pénalités quand se produit une violation [14].

Le Cloud Computing est typiquement déployé dans un modèle ou une composition des trois modèles (SaaS, PaaS et IaaS) allant du plus partiel au plus complet, et s'adressant à des acteurs différents. Les SLAs sont caractérisés à différents niveaux dans cette hiérarchie pour assurer la QoS attendue. Les SLAs permettent également l'établissement de contrat inter-couches, comme par

exemple entre le SaaS (le consommateur) et le IaaS (le fournisseur). Chaque fournisseur (SaaS, PaaS et IaaS) doit gérer la demande multiple de ses consommateurs et les obligations décrites dans le SLA tout en minimisant les ressources louées à son propre fournisseur. En d'autres termes, il doit trouver un équilibre entre la minimisation des coûts et la satisfaction des exigences SLA [14].

1.14 La sécurité dans le Cloud Computing

Les intervenants du Cloud devraient s'assurer que les données sont bien protégées. Pour ce faire, il faut établir des bases fiables et des normes pour sécuriser leurs infrastructures.

1.14.1 La sécurité des données

- **La non-interopérabilité des fournisseurs**

Un client peut éprouver le besoin de changer de fournisseur de Cloud, ainsi il décrit un format d'échange qui permet de déplacer les données d'un environnement Cloud vers un autre grâce à la norme CDMI (Cloud Data Management Interface) [15].

- **Le chiffrement dans le Cloud**

Le client peut utiliser le chiffrement des données pour le stockage dans le Cloud, mais il reste à définir qui doit contrôler les clés de chiffrement et de déchiffrement [16].

- **L'intégrité des données**

Les clients qui cherchent à externaliser leurs données peuvent évidemment s'attendre à être protégés contre les modifications non autorisées. Les systèmes dans les nuages fournissent un certain nombre de mécanismes de protection de l'intégrité des données [16].

- **La gestion des logs**

Les logs doivent être fournis au gestionnaire de sécurité, tels que les logs sont des événements qui se déroulent à l'intérieur du système [7].

- **La confidentialité**

La confidentialité assure que les données d'un client ne soient accessibles que par les entités autorisées. Les différentes solutions de Cloud Computing comportent des mécanismes de confidentialités comme la gestion des identités des accès et l'isolation ou le cryptage [12].

1.14.2 La sécurité des infrastructures

- **La sécurité physique**

Il revient logiquement au fournisseur de choisir ou mettre en place son architecture et la sécurité physique à déployer, mais aussi protéger et documenter l'accès aux données utilisateur [7].

- **L'audit**

Le fournisseur de Cloud doit être audité sur la sécurité de ses infrastructures et de ses solutions par une société externe ou acquérir une certification [13].

- **Les mises à jour**

Afin de bénéficier des mises à jour de sécurité sur les produits qui sont installés ou utilisés sur l'infrastructure Cloud, le client doit s'assurer d'effectuer régulièrement les mises à jour [15].

- **Test de sécurité de l'image de base**

Le Cloud est basé sur la virtualisation, ceci permet au fournisseur de créer une image de base sécurisée et à jour afin de déployer à la demande d'un client une machine ou un service [15].

1.15 Les attaques dans le Cloud Computing

Les composants de sécurité tel que les pare-feux ou les systèmes de détection d'intrusion, ne sont pas adaptés pour détecter les attaques distribuées. Ces attaques sont donc subdivisées en sous attaques afin d'être indétectables par de tels système de sécurité [12] [22] :

- **Balayage de port**

L'attaque par Balayage de port permet à celui-ci de découvrir des ports de communication exploitables. Les solutions de sécurité actuelles ne sont pas adaptées pour ce type d'attaques sur une telle infrastructure.

- **Déni de service**

L'attaque par déni de service a pour but de rendre un service indisponible par une surcharge réseau par exemple. Il est dans ce cas difficile de détecter ces attaques pour les bloquer à cause du potentiel de nombre d'attaques simultanées.

- **L'exploitation de bogue logiciel**

Le client et le fournisseur doivent s'assurer que les logiciels qu'ils utilisent sont à jour afin d'éviter l'exploitation des bogues logiciels. Cette action ne permet pas de les éviter mais de limiter les risques.

- **Attaque de l'homme du milieu**

L'Attaque de l'homme du milieu a pour but d'intercepter les communications entre un client et un serveur afin de consulter, capturer et contrôler la communication en toute transparence.

1.16 Les avantages et inconvénients du Cloud Computing

Le Cloud Computing possède plusieurs avantages et inconvénients, tel que :

1.16.1 Les avantages

Le Cloud Computing est généralement associé à une multitude d'avantages qui créent l'unanimité parmi les professionnels de l'entreprise. Parmi ces avantages on trouve [16] [22] :

Cloud publique :

- Offre des possibilités d'être immédiatement opérationnel pour une entreprise ;
- Aucun pré requis demandé : accès simplifié en utilisant des navigateurs web ;
- Un service d'une grande flexibilité, et de disponibilité ;
- L'utilisateur n'a aucun effort à fournir, il suffit qu'il demande les services dont il a besoin ;
- Le contrat signé entre le fournisseur et le consommateur de service stipule une disponibilité du service à 99% ;
- Un paiement sur mesure ;
- Le consommateur est facturé à la consommation suivant une grille tarifaire prédéfinie .

Cloud privé :

- Sécurité et confidentialité : l'entreprise est propriétaire de ses données ;
- Une architecture sur mesure : le Cloud privé est facilement gérable et adaptable ;
- À long terme, il optimise les coûts ;
- Haute disponibilité ;
- Economie d'énergie /réseau (moins de câblages) ;
- Augmentation du nombre de VM (applications) ;
- Optimisation du temps ;
- Optimisation de la puissance de calcul ;
- Le concept de la virtualisation apporte l'économie d'espace, puisque une seule armoire porte beaucoup de serveurs.

1.16.2 Les inconvénients

Le Cloud Computing présente de nombreux avantages. Cependant, certaines entreprises n'ont pas intérêt à passer à l'informatique dans les nuages, pour des raisons légales et techniques. Voici quelques inconvénients que présente le Cloud Computing [7] [16] :

Cloud publique :

- Confidentialité et sécurité des données : un risque potentiel fort pour l'entreprise de voir ses données mal utilisées ou volées, C'est actuellement le problème majeur du Cloud Computing publique ;
- Le cadre légal : la loi peut imposer de pouvoir localiser précisément et rapidement les données, Ceci est donc problématique pour un bon nombre d'entreprises ;
- Palier à désagréments. En effet, un changement d'hébergeur prend du temps, et peut nécessiter un recodage des applications ;

- Le client d'un service de Cloud Computing devient très dépendant de la qualité du réseau pour accéder à ce service .

Cloud privé :

- Budget : Toute la charge financière et technique (serveur, personnel qualifié, logiciel), pour la mise en place du service sont supportés par l'entreprise .

1.17 Conclusion

Le Cloud Computing est un nouveau modèle informatique qui consiste à proposer les services informatiques sous forme de services à la demande, accessibles de n'importe où, n'importe quand et par n'importe qui. Cette nouvelle technologie permet à des entreprises d'externaliser le stockage de leurs données et de leur fournir une puissance de calcul supplémentaire pour le traitement de grosses quantités d'informations. Dans ce chapitre, nous avons présenté la technologie du Cloud Computing, son utilisation ses avantages et inconvénients. Il est à présent question d'appliquer ces concepts à notre contexte.

L'organisme d'accueil : L'entreprise ICOSNET

2.1 Introduction

Nous avons suivi un stage pratique d'une durée d'un mois dont le but principal est d'approcher un Cloud dans l'état réel, et ce pour comprendre son architecture et l'apprentissage de fonctionnement d'un Cloud Computing dans l'état pratique, afin de le modéliser et d'évaluer ses performances. Notre projet a été réalisé au sein de l'entreprise ICOSNET.

2.2 L'organisme d'accueil

2.2.1 Présentation de l'entreprise ICOSNET

ICOSNET est une entreprise créée en 1999, elle se positionne comme un opérateur d'accès internet et de solutions de télécommunication et s'impose aujourd'hui sur le marché de la convergence voix et données pour les PME/PMI et les grands comptes multinationaux installés en Algérie.

Avec son équipe pluridisciplinaire, ICOSNET a su capitaliser une importante expérience et nouer un relationnel conséquent avec les différents acteurs du secteur des télécommunications en Algérie et à l'étranger. ICOSNET se distingue par son approche technique et qualitative. La société a ainsi montré son savoir-faire et sa maîtrise, notamment auprès des entreprises multi-sites.

Sur le marché algérien, ICOSNET est un opérateur à part entière (autorisations ISP, VoIP et Wi-max). Ce positionnement permet à ICOSNET de s'adresser à une clientèle large, de convaincre des clients de taille significative et de pouvoir proposer des solutions de connexion et de communication économiquement plus avantageuses et plus abouties.

Les raisons de ses succès sont multiples ; elles sont tout d'abord humaines, combinant l'expérience et l'implication des collaborateurs à la forte expertise des partenaires, elles sont aussi stratégiques, car à partir de 2009, toute la connectivité internet est acheminée depuis Londres, ce qui a largement contribué à la fiabilité du réseau ICOSNET. Aujourd'hui, plusieurs entreprises algériennes et grands groupes internationaux implantés en Algérie ont fait confiance à ICOSNET, qui ambitionne d'étendre son implantation sur le territoire national.

Au delà de ses nouvelles ambitions de croissance, ICOSNET ne perd pas de vue ses valeurs : qualité de service, satisfaction client, anticipation, veille technologique et innovation sont autant d'objectifs qui restent et resteront prioritaires.

L'entreprise possède environ 160 employés, qui sont dispersés dans une structure, qui est représentée dans l'organigramme suivant :

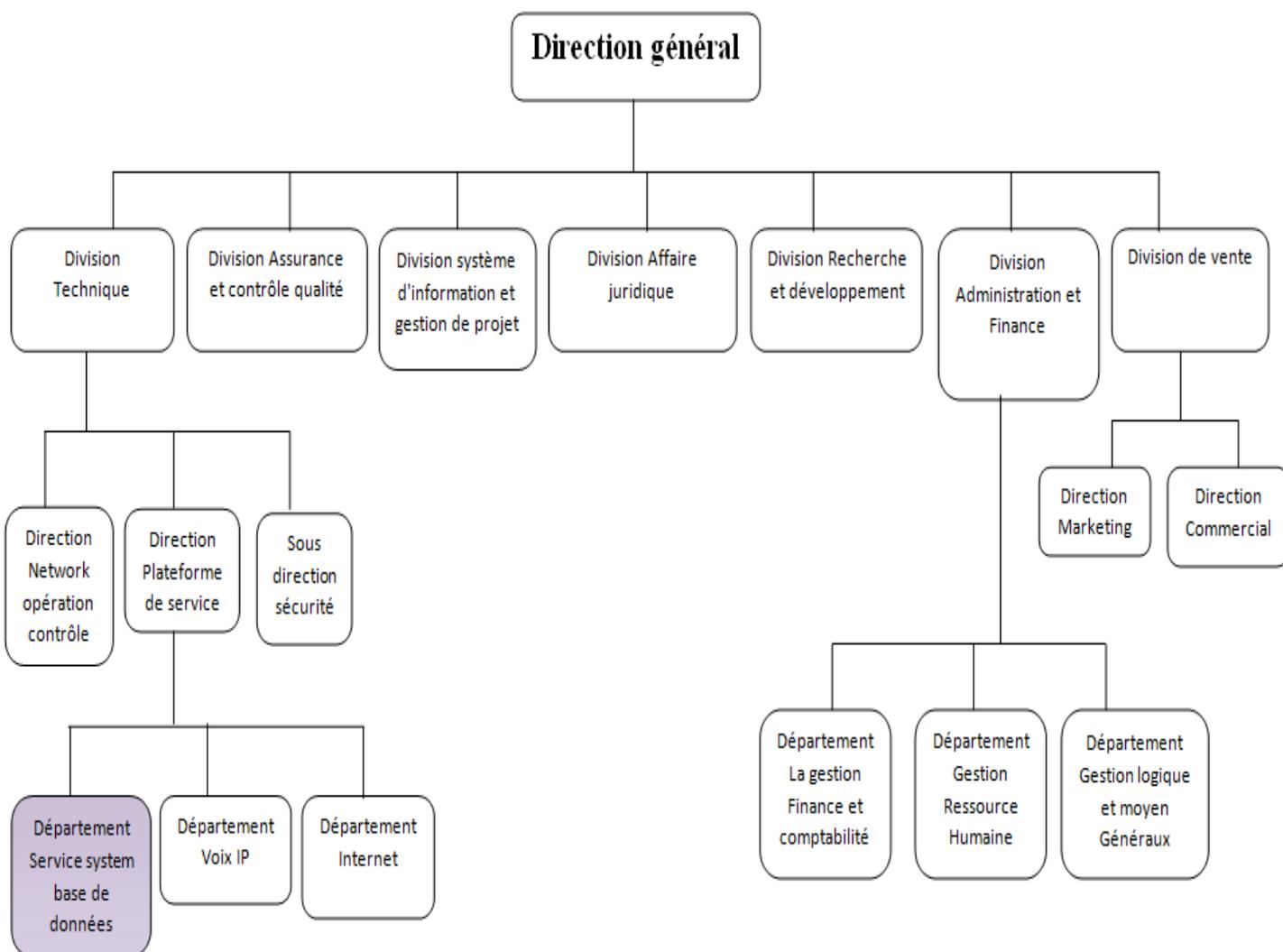


FIGURE 2.1 – Organigramme de l'Entreprise ICOSNET

Notre stage s'est effectué au sein du département système et bases de données, qui se charge de la gestion et de sécurité technique de leurs services.

2.2.2 Couverture géographique

La carte suivante représente la localisation géographique de l'entreprise ICOSNET dans le monde :



FIGURE 2.2 – La couverture géographique d'ICOSNET

2.2.3 Les services proposés par ICOSNET

ICOSNET est un fournisseur d'accès internet et opérateur de solutions télécoms destinées aux PME/PMI et grands comptes, il propose plusieurs services. comme :

2.2.3.1 Les accès internet

ICOSNET propose deux solutions pour l'accès à l'internet, à savoir :

- **Le wimax**

qui est une technologie utilisant les ondes radio pour bénéficier de l'internet à très haut débit, d'émettre des appels téléphoniques sur IP (VoIP) ou encore d'interconnecter des réseaux d'entreprises.

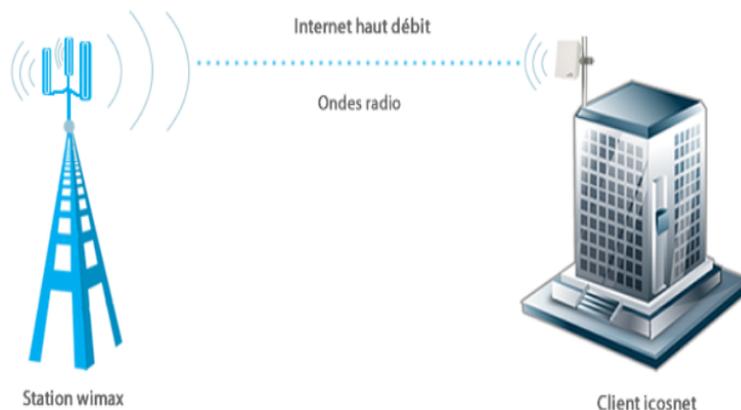


FIGURE 2.3 – Le Wimax

- **Les lignes spécialisées**

L'accès internet via une ligne spécialisée est un accès haut débit permanent, fiable et sécurisé. ICOSNET propose la solution LS avec un débit symétrique et une garantie en émission et réception de données ou encore d'interconnecter un ensemble de réseaux d'entreprises. ICOSNET propose des accès via fibre optique ou un câble concédé urbain avec des débits adaptés à la taille de l'entreprise.

Utilisant une technologie de pointe, un accès via une liaison terrestre procure une qualité de connexion optimale pour une utilisation performante, elle offre plusieurs avantages en combinant confort et souplesse.

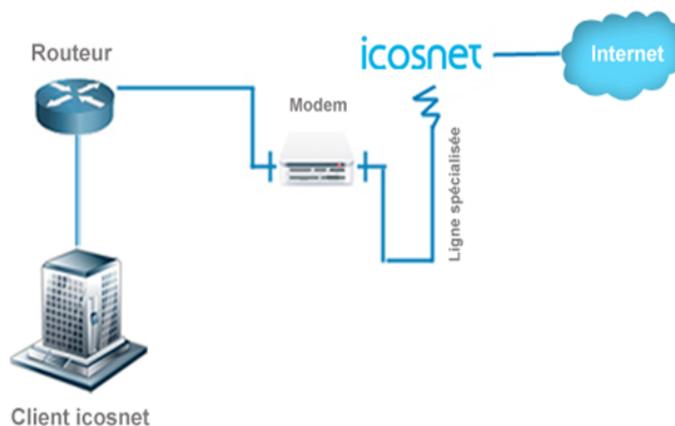


FIGURE 2.4 – Les lignes spécialisées

2.2.3.2 La téléphonie

• La téléphonie IP

ICOSNET offre une ligne téléphonique IP qui fonctionne avec une connexion internet portant un numéro 09824 x x x x x.

Avec cette ligne de téléphonie IP, ICOSNET permet de :

- Acquérir une ligne téléphonique immédiatement, gratuitement et sans aucun investissement ;
- Communiquer en Algérie et vers l'international avec des tarifs préférentiels ;
- Payer uniquement la consommation et sans frais d'abonnement ;
- Réduire les coûts de la facture télécom ;
- Se différencier grâce au numéro 09824 de la numérotation téléphonique classique ;
- Utiliser différents supports (Soft phone, IP phone, Smartphone) ;
- Être joignable lors des déplacements ;
- Utiliser la ligne pour émettre et recevoir des FAX par email et cela, à des tarifs avantageux.



FIGURE 2.5 – La téléphonie IP

• Le Centrex

ICOSNET Centrex est la solution idéale destinée aux petites structures. Elle permet d'optimiser la téléphonie en toute simplicité tout en maîtrisant le budget télécom.

Avec l'offre ICOSNET Centrex, on économise de 40 à 60% sur la facture télécom actuelle en bénéficiant des appels à des tarifs préférentiels en Algérie et vers l'international.

Le principe de la solution ICOSNET Centrex est simple ; au lieu de devoir investir dans un standard téléphonique d'entreprise et d'en assurer soi-même la maintenance, celui-ci est externalisé chez ICOSNET sur une plateforme téléphonique dédiée et installée au cœur de son propre ré-

seau.

La solution ICOSNET Centrex permet d'accéder aux fonctionnalités avancées d'un standard téléphonique moderne sans investissement lourd et cela en utilisant un seul câblage pour les équipements informatiques et téléphoniques. Un accès internet et des accessoires tels qu'un téléphone IP et un softphone sont indispensables pour le passage à la téléphonie IP.



FIGURE 2.6 – La solution d'ICOSNET Centrex

- **L'IPBX**

L'IPBX est un standard téléphonique IP tout en un qui permet d'optimiser le budget télécom des entreprises.

La solution IPBX permet de bénéficier de solutions modernes et évolutives basées sur la technologie IP.

Un accès internet et des accessoires tels qu'un téléphone IP et un softphone sont indispensables pour le passage à la téléphonie IP.

Opter pour la solution ICOSNET IPBX, c'est aussi bénéficier d'une réduction sur les coûts de prestations téléphoniques en termes de maintenance et de communication, elle permet de gérer la téléphonie d'une manière centralisée et simplifiée.

La centrale téléphonique sera installée au siège de l'entreprise afin de gérer le réseau en toute simplicité.

L'offre ICOSNET IPBX présente l'avantage d'une infrastructure réseau unique, moins coûteuse et plus simple à gérer. Elle permet une réduction des coûts d'exploitation de 40 à 60 %.

En administrant tout sur le réseau local, ICOSNET offre une excellente qualité de service et une maintenance réduite et cela en utilisant un seul câblage pour les équipements informatiques et téléphoniques.

Cette offre permet d'accéder à la technologie IP avec ses avantages sans remettre en cause l'installation existante. On peut conserver la PABX analogique ainsi que les numéros de téléphone et passer à la téléphonie IP grâce à la Gateway que ICOSNET installe.

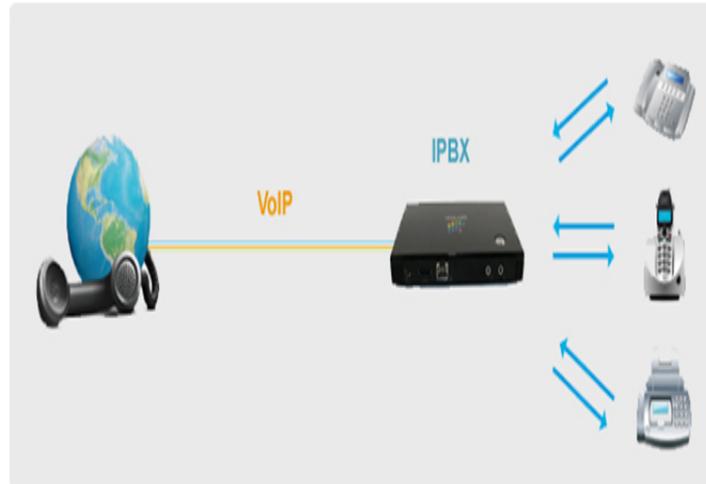


FIGURE 2.7 – La solution ICOSNET IPBX

- **ICOSNET call conference**

Le call conférence d'ICOSNET est un service qui permet d'organiser des conférences téléphoniques simultanément avec des collaborateurs ou des clients sans avoir à se déplacer.

Cette solution s'organise aisément avec autant de participants souhaités, elle propose un service professionnel et elle garanti une excellente qualité d'écoute pour les communications.



FIGURE 2.8 – La solution ICOSNET call conférence

- **ICOSNET webmeeting**

Webmeeting est un moyen de communication à distance. Il permet de transmettre des informations sécurisées à des interlocuteurs par l'intermédiaire de l'image et la voix sans tenir compte

du facteur géographique.

Le service Webmeeting est une solution simple à utiliser, ergonomique avec de puissantes fonctionnalités intuitives qui permettent d'optimiser les conférences en ligne, il suffit de se réunir sur un PC, un Mac ou un Smartphone connecté à un réseau wifi.

2.2.3.3 Les solutions Clouds

ICOSNET propose une panoplie de services à valeur ajoutée telles que :

- **Chronoweb**

Est une solution qui permet de créer en ligne un site web rapidement et en toute simplicité.

L'offre Chronoweb comporte :

- La création d'un site web ;
- Un nom de domaine au choix ;
- Un espace de stockage en fonction des besoins ;
- Des boîtes de messagerie professionnelles.

- **ICOSNET Housing**

Est un service de colocation qui assure un environnement optimal pour l'hébergement des serveurs.

- **ICOSNET Contact Center « CC Solutions »**

Elle est une offre proposée exclusivement en mode SaaS (Software as a Service), elle permet d'installer rapidement un centre de contacts multicanal et d'adapter le nombre de positions selon la progression de l'activité.

ICOSNET assure la livraison conjointe de moyens, de services et d'expertises qui offrent la possibilité d'externaliser l'infrastructure du centre de contacts et son exploitation et de l'assimiler à un coût de fonctionnement plutôt qu'à un investissement.

- **ICOSNET, partenaire d'altitude software**

ICOSNET a choisi de travailler en partenariat avec le leader des solutions multimédia pour les centres de contacts, Altitude Software, à travers sa filiale française Easyphone.

Avec 16 filiales dans le monde et plus de 160 partenaires, Altitude Software équipe aujourd'hui plus de 1100 clients représentant plus de 300 000 utilisateurs.

Altitude Software est l'un des rares éditeurs de solutions de centres de contacts à être certifié ISO 9001-2008 pour l'ensemble de ses processus de support.

Dans le cadre de ce partenariat, ICOSNET est aujourd'hui l'opérateur algérien en mode SaaS de la plateforme tout IP Altitude IP Contact Center.

Son offre ICOSNET CC Solutions bénéficie également du support technique et des services à

valeur ajoutée de son partenaire Easyphone.

Avantages de l'offre ICOSNET CC solutions en mode SaaS

- Dimensionner le centre de contacts en fonction des besoins, les coûts de production suivent le niveau d'activité.
- Utiliser une solution de gestion de la relation client en mode multicanal sur une seule interface.
- Traiter les échanges de la relation client au sein d'une entreprise tout en bénéficiant de l'expertise d'ICOSNET pour la gestion de la plateforme technique.
- Maitriser des coûts et bénéficier d'un modèle locatif avantageux.
- Bénéficier d'un niveau de sécurité maximum pour les serveurs et les données.

• ICOSNET Texto

Elle est une solution qui permet de visualiser et de connaître les chiffres clés relatifs à l'activité de l'entreprise en un seul SMS, à distance et en temps réel.

Le principe de cette solution est simple ; à partir d'un mobile et à tout moment, il suffit d'envoyer un simple mot-clé par SMS (CA pour chiffre d'affaires, ES pour État des stocks, etc.) pour recevoir immédiatement un SMS en retour comprenant les données de notre requête.



FIGURE 2.9 – La solution ICOSNET Texto

Avantages de la solution ICOSNET Texto Parmi les avantages de cette solution, on peut trouver :

- Intégration simple et sécurisée au système d'information ;
- Facilité d'extension et de configuration ;
- Interface d'administration simple et intuitive ;
- Usage multiple, interrogation et notification par SMS (2 Ways SMS) ;
- Bulk SMS (Envoi de SMS en Masse) ;

- Email To SMS, notification par SMS de réception de nouvel Email ;
- Rapport envoi/réception SMS et statistiques en temps réel ;
- Gestion des utilisateurs et mots clés.

- **Le BULK SMS d'ICOSNET**

Il Est une performance qui permet l'envoi massif d'un même message personnalisé simultanément à plusieurs destinataires. L'envoi de SMS groupés via la solution BULK SMS d'ICOSNET se fait selon deux solutions au choix :



FIGURE 2.10 – La solution BULK SMS

- **Envoi de SMS via une interface web :**

L'interface web ICOSNET permet d'accéder à plusieurs services notamment :

SMS rapide ;

SMS professionnel : C'est un outil d'envoi de SMS complet et configurable, avec un carnet d'adresse flexible permettant d'importer des contacts via un fichier Excel ou CSV et de les envoyer en masse ;

Rapports : Un outil de reporting puissant, conçu pour donner un accès rapide aux statistiques de trafic avec des outils de filtrage de données (Date, Numéro de destinataire, Expéditeur, etc.) et ainsi générer rapidement un fichier au format CSV.

- **Envoi de SMS via une interface de programmation applicative :**

L'API est idéale pour les services web, elle s'adapte à tous les langages de programmation et prend en charge http GET ou POST avec HTTPS/SSL pour une sécurité supplémentaire.

Avantages de la solution BULK SMS :

- Une solution très rapide à mettre en place ;
- Une interface à la pointe ;
- Des fonctionnalités avancées ;
- Solutions à des coûts avantageux.

2.3 Position du problème

L'introduction des Technologies d'Information et communication "TIC" dans la vie quotidienne de l'Algérien requiert un changement d'habitudes et un temps d'apprentissage qui implique une contribution médiatique plus forte. Nous sommes à l'ère de la gestion à distance et de la mutualisation des ressources informatiques et réseaux ; le Cloud Computing avance timidement dans l'environnement des services informatiques algériens, malgré même qu'il soit très en vogue à l'échelle mondiale. Ainsi, les entreprises tardent pour investir. Toutefois, elles commencent à innover, et ce, en l'intégrant dans leurs structures, car elles sont très intéressées de savoir comment sauvegarder des informations et des données vitales ; ceci leur assurera leur continuité après des préjudices matériels subis en cas d'accidents, séismes, incendies ou même de sabotage. D'un autre côté, les clients (futurs utilisateurs) montrent une certaine réticence quant à la virtualisation de l'intégralité de leurs données à distance sur un Cloud et une crainte et méfiance sur le fait de confier leurs données sur le plan sécurité et confidentialité.

C'est pourquoi, il nous semble intéressant d'étudier le Cloud Computing, et ce, pour le vulgariser et ainsi rassurer les clients potentiels sur ses performances. A cet effet, nous présentons la solution Cloud de l'Entreprise ICOSNET, et ce, pour étudier son fonctionnement pour le modéliser et pour évaluer ses performances.

2.4 Conclusion

A l'issue de notre stage au sein de l'entreprise ICOSNET et après concertation avec nos deux encadreurs, nous avons pu aboutir à un modèle qui répond à notre objectif d'étude, qui est l'étude du fonctionnement d'un Cloud Computing, afin d'évaluer ses performances.

Notions théoriques

3.1 Introduction

Nous rencontrons fréquemment, dans la vie courante, des phénomènes dans lesquels une ou plusieurs grandeurs, représentant l'état d'un système varient aléatoirement en fonction du temps ; cette variation aléatoire obéit néanmoins à des lois probabilistes.

Ce chapitre portera sur des généralités concernant la modélisation, les systèmes et réseaux de files d'attente, la simulation et l'évaluation des performances.

3.2 Le processus de modélisation

L'étude d'un système réel n'est que rarement réalisable dans un environnement opérationnel. La représentation du fonctionnement d'un système d'une manière plus ou moins précise est nécessaire pour nous permettre d'approcher le comportement du système. Cette représentation se nomme modélisation. Cette dernière consiste à décomposer le système à étudier en plusieurs tâches dans le but de simplifier son analyse. Ce symbolisme de représentation s'appuie également sur des outils théoriques et mathématiques [1].

Le système réel n'existe pas forcément lors du processus de modélisation, il se peut que ce soit un système que nous cherchons à développer. Pour cela, nous désirons effectuer une étude préliminaire de ses performances [1].

A partir du modèle, nous voulons obtenir des résultats sur le système étudié, c'est l'étape de résolution et cela se réalise par : mesure d'un système existant (souvent une maquette), étude analytique (souvent un modèle mathématique en utilisant la théorie des files d'attentes) ou simulation (souvent à événements discrets). Certains résultats peuvent nous amener à modifier notre vision du système, et nous inciter à calculer de nouveaux résultats sur le modèle. Pour cela, nous pouvons être amenés à

complexifier le modèle pour rajouter des informations. De même, nous pouvons nous rendre compte que certains résultats ou éléments du modèle sont inutiles pour calculer les indices de performances recherchés, et nous pouvons ainsi parfois simplifier le modèle pour faciliter sa résolution [2].

Pour finir, nous comparons les résultats obtenus avec le comportement du système réel (comportement espéré si le système n'est pas encore créé), et nous pouvons alors concevoir le système qui donne les performances optimales.

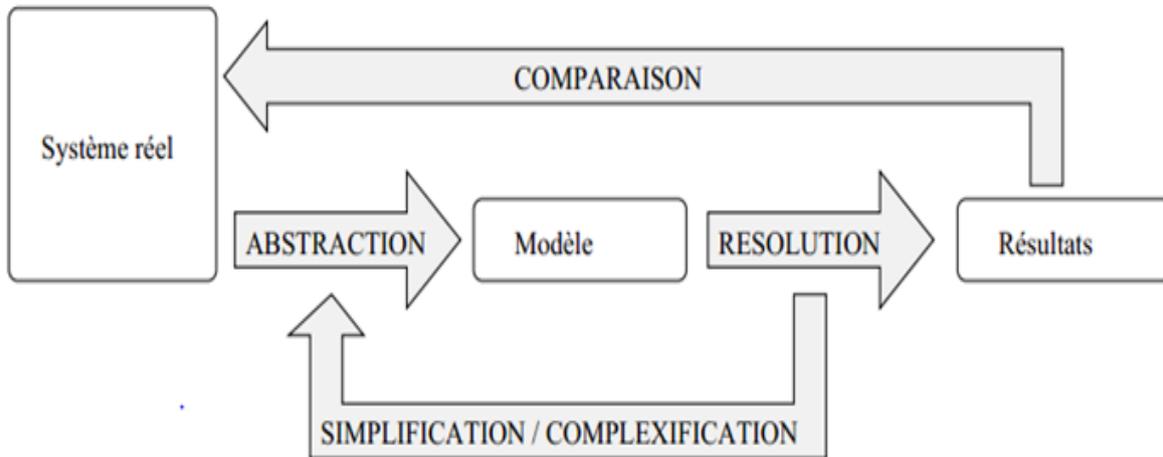


FIGURE 3.1 – Le processus de modélisation

3.2.1 La modélisation analytique

La modélisation analytique est un formalisme mathématique pour créer un modèle traduisant le comportement et intégrant les paramètres du système réel. Parfois il est nécessaire de poser une ou une série d'hypothèses simplificatrices afin que le modèle mathématique puisse être résolu [2]. Il existe plusieurs méthodes de modélisation analytique, nous citons par exemple :

- Les chaînes de Markov.
- Les files d'attente.
- Les réseaux de files d'attente.
- Les réseaux de Petri.

Dans notre travail, nous avons opté pour la théorie des réseaux de files d'attente pour la modélisation et la simulation du fonctionnement de la solution Cloud d'ICOSNET. Du fait, nous sommes face à un phénomène de partage et de consommation des ressources.

3.3 L'évaluation des performances

3.3.1 Définition

L'évaluation des performances consiste à calculer les paramètres de performances d'un système que l'on souhaite obtenir sous forme de grandeurs quantitatives qui peuvent se présenter sous différents ordres, en fonction des systèmes considérés.

3.3.2 Les étapes de l'évaluation des performances

Elles se résument en trois étapes comme nous indique le schéma suivant :

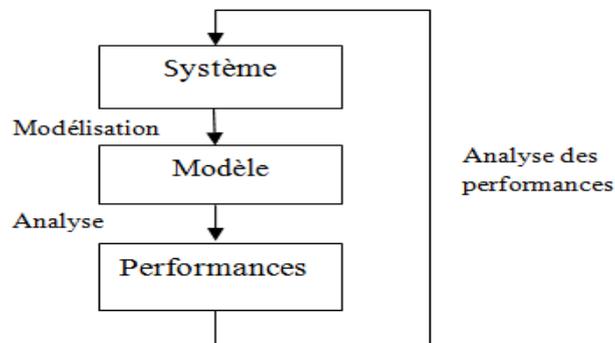


FIGURE 3.2 – Les étapes de l'évaluation des performances.

Etape1 : Comprendre le fonctionnement du système.

Etape2 : Elaborer un modèle plus fidèle aux caractéristiques et fonctionnement du système.

Etape3 : Evaluer les performances du système selon le formalisme du modèle.

3.3.3 Les types d'analyse

- **Qualitative :** Elle consiste à définir les propriétés structurelles et comportementales du système, telle que l'absence de blocage [1].
- **Quantitative :** Elle consiste à calculer les paramètres de performances du système. Elle n'a de sens que si une analyse qualitative a été préalablement menée. Il existe trois grands types de méthodes d'analyse quantitative des performances : la simulation, les méthodes analytiques et les mesures [1].

3.4 La simulation

La simulation est une technique qui consiste à construire un modèle d'une situation réelle, puis à faire des expériences sur ce modèle. Cette définition est toutefois très vaste, et dans notre travail on considère la simulation telle que définie par Naylor : « La simulation est une technique numérique pour élaborer des expériences sur l'ordinateur. Elle implique l'utilisation de modèles logiques et mathématiques qui décrivent le comportement de systèmes administratifs ou économiques (ou de leurs sous-systèmes) durant une période de temps prolongée » [5]. La simulation est couramment utilisée comme outil d'aide à la décision dans le domaine des systèmes de production de biens ou de services. Il s'agit de suivre une démarche.

La démarche de simulation passe donc par trois étapes distinctes : l'étape de modélisation, qui consiste à construire le modèle du phénomène à étudier, l'étape d'expérimentation, qui consiste à soumettre ce modèle à un certain type de variations, et l'étape de validation, qui consiste à confronter les données expérimentales obtenues avec le modèle à la réalité [5].

De nombreux outils de simulation à événements discrets sont utilisés pour l'évaluation de perfor-

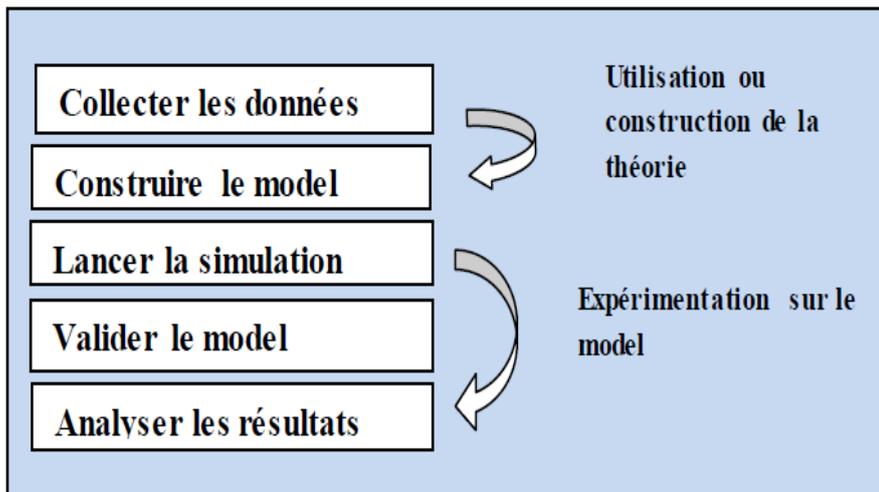


FIGURE 3.3 – Les étapes du processus de la simulation.

mances des systèmes informatique et de communication, à savoir : NS-2 / NAM (Network Simulator 2), OPNET (Optimum NETWORK Performance), etc.

Dans, ce travail nous exploitons le logiciel Matlab pour la simulation d'un système et d'un réseau de files d'attente.

3.5 La théorie de files d'attente

Les origines de la théorie de files d'attente remontent à 1909 où A.K.Erlang en a posé les bases dans ses recherches sur les trafics téléphoniques. Ses travaux ont par la suite été intégrés à la recherche opérationnelle [4].

L'évolution rapide de la théorie des files d'attente permet l'évaluation des performances des systèmes [17]. Citons par exemples : les systèmes informatiques et de transport.

3.5.1 Modèles de files d'attente

Une file d'attente est un système stochastique dans lequel arrivent des clients auxquels des serveurs fournissent un service. Ce formalisme peut être utilisé dans des situations diverses : serveur = guichet ; service = traitement des instructions par un processeur, transmission de données dans un réseau de communication, etc.

Un système stochastique est une famille $\{Y_t, t \in T\}$ de variables aléatoires définies sur un même espace de probabilité, il peut être à temps continu $I =]0, \infty[$ ou discret $I = \{1, 2, \dots\}$ [3].

La description de la file d'attente est schématisée dans la figure suivante :

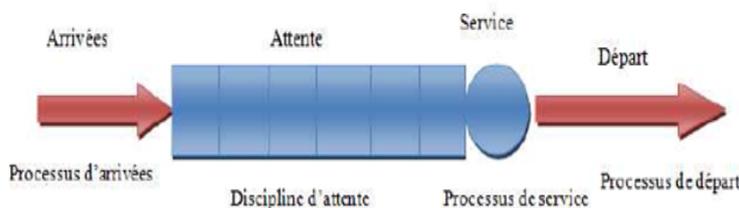


FIGURE 3.4 – Représentation d'une file d'attente

3.5.2 Notation de Kendall

Pour décrire un système de file d'attente élémentaire, Kendall a introduit en 1953 une notation pour classifier les files d'attente en différents types. Ainsi une file d'attente notée par [4] :

$$A/B/s/(k/n/Z)$$

A : distribution des temps entre deux arrivées successives.

B : distribution des durées de services.

s : nombre de postes de service en parallèle.

k : capacité du système (nombre de serveurs + longueur maximale de la file).

n : population des usagés.

Z : discipline du service.

si les valeurs ($k / n / Z$) ne sont pas explicitées, on prend par défaut ($\infty / \infty / \text{FIFO}$).

- **Distribution inter-arrivées et service [4]**

Pour spécifier les distributions A et B , les symboles suivants sont définis :

GI : loi générale indépendante.

G : loi général.

H_K : loi hyper exponentielle d'ordre k .

E_K : loi Erlang- k .

M : loi exponentielle.

C_k : loi de Cox- k .

D : loi constante.

- **Discipline de la file [4]**

Nous citons quelques possibilités quant à l'ordre selon lequel les clients entrent en service.

- FIFO (First In First Out) : Lorsque la discipline de la file n'est pas mentionnée dans la notation de Kendall, alors la discipline par défaut est FIFO, les clients sont servis selon leurs ordres d'arrivée.
- LIFO (Last In Last Out) : Le client qui arrive au dernier est le premier à être servi.
- PS (Processor Sharing) : Un serveur donne à chaque client en attente une « tranche de service », c'est-à-dire s'il y a $n > 0$ clients dans la file d'attente, chacun est servi avec un taux $1/n$ (processeur partagé).
- RANDOM : chaque client a une même probabilité d'être servi en premier, indépendamment de sa date d'arrivée ou de son ordre dans la file.
- Priorité : Il y a plusieurs classes de clients, chacun avec un niveau de priorité. Le client qui a la priorité la plus haute est servi en premier.

Prenons par exemple la notation $M / G / K / k$ désigne une file d'attente possédant K serveurs avec un nombre fini de places dans le buffer, le processus des arrivées suit un processus de poisson et le temps des services est distribué selon une distribution générale.

3.6 Modèles markoviens

Les modèles markoviens de files d'attente sont des systèmes où les deux quantités stochastiques principales « les temps des inter-arrivées » et « la durée de service » sont des variables aléatoires indépendantes exponentiellement distribuées. La propriété « sans mémoire » de la loi exponentielle facilite l'analyse de ces modèles [9].

• Processus de naissance et de mort

Un processus de naissance et de mort est un processus markovien qui possède la propriété sans mémoire et pour le quel à partir d'un état n , deux transitions sont possibles, le passage à l'état $(n+1)$: « naissance » avec un taux λ_n ou à l'état $(n-1)$: « mort » avec un taux μ_n . le processus peut aussi rester dans le même état n [18].

• Processus de Poisson

Un processus est dit de poisson qui est un cas particulier du processus de naissance et de mort, s'il consiste en l'apparition d'événements aléatoires satisfaisant les hypothèses suivantes [3] :

- Le processus est strictement stationnaire ;
- Le processus est homogène dans le temps ;
- Il arrive au plus un évènement à la fois.

• Loi exponentielle

On considère la variable aléatoire (v.a) X , on dit que X suit une loi exponentielle de paramètre λ si sa fonction de densité est [4] :

$$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x), x \geq 0 \quad (3.1)$$

La fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x) \quad (3.2)$$

L'espérance et la variance associée sont respectivement :

$$EX = 1/\lambda \quad \text{et} \quad \text{VAR}(X) = 1/\lambda^2 \quad (3.3)$$

3.6.1 Structure générale d'un système M/M/1

Le système de file d'attente M/M/1 est un système où l'arrivée des clients est Poissonienne de taux λ (nombre moyen de clients arrivant pendant une unité de temps) et la durée du service est exponentielle de taux μ , (nombre moyen de clients servis pendant une unité de temps, donc $1/\mu$ est le temps moyen de service d'un client) [1].

M/M/1 est donc une file avec un processus de Markov en entrée et en sortie, un seul serveur, une discipline de service premier arrivé, premier servi, une capacité infinie et un nombre infini de clients qui peuvent entrer dans cette file.

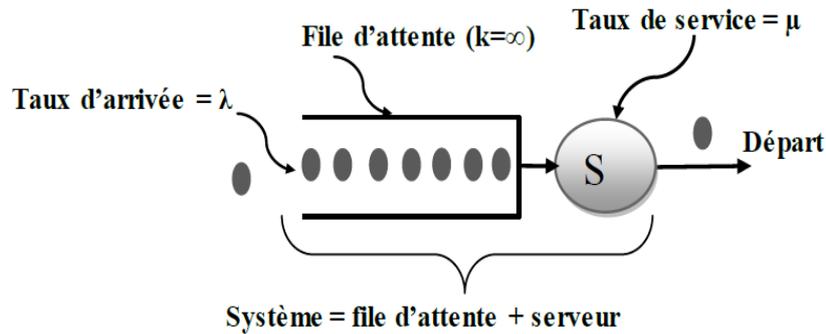


FIGURE 3.5 – Structure générale d'un système de files d'attente M/M/1

Le tableau suivant résume les formules servant à calculer les mesures de performance pour un modèle avec serveur unique M/M/1 [4] :

Mesure de performance	Equation
Taux d'utilisation	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
Nombre moyen de requêtes dans le serveur	$E(N) = \frac{\rho}{1-\rho}$
Nombre moyen de requêtes en attente d'être prise en charge	$E(L) = \frac{\rho^2}{1-\rho}$
Temps d'attente moyen d'une requête dans la file	$E(W) = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}$
Temps de séjour moyen d'une requête dans le serveur	$E(T) = \frac{1}{\mu(1-\rho)}$
Probabilité qu'il y ait zéro unité dans le système	$P_0 = 1 - \rho$
Probabilité qu'il y ait n unité dans le système	$P_n = P_0 \rho^n$

TABLE 3.1 – Les mesures de performances pour un modèle M/M/1.

3.6.2 Structure générale d'un système M/M/s

Le processus d'arrivée est de poisson de taux $\lambda > 0$, la durée de service est une variable aléatoire exponentielle de paramètre $\mu > 0$ et il ya s serveurs identiques. Le système admet une distribution stationnaire si et seulement si $\lambda/s\mu < 1$, ou encore $\lambda < s\mu$: c'est-à-dire si le taux d'arrivée est inférieur au taux total de service.

Dans de nombreux cas, il est impossible de dériver des expressions analytiques pour ces mesures de performance et il faut alors recourir à des procédures de calcul numérique ou à des simulations

du système étudié pour estimer leur valeur. Dans d'autres cas, par contre, les processus d'arrivée et de service possèdent des propriétés autorisant une analyse très complète du système. Nous allons maintenant présenter les plus typiques de ces propriétés.

Le tableau suivant résume les formules servant à calculer les mesures de performance pour un modèle M/M/s [4] : On pose $A = \lambda/\mu$

Mesure de performance	Equation
Taux d'utilisation	$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$
Nombre moyen de requêtes dans le serveur	$E(N) = A + \left(\frac{p_s}{(1-\rho)^2}\right)$
Nombre moyen de requêtes en attente d'être prise en charge	$E(L) = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot p_0}{\mu^s s! (1-\rho)^2}$
Temps d'attente moyen d'une requête dans la file	$E(W) = A + \frac{p_0 \cdot A^s \cdot \rho}{S! (1-\rho)^2}$
Temps de séjour moyen d'une requête dans le serveur	$E(T) = \frac{1}{\mu} \left(1 + \frac{p_0 \cdot \rho \cdot A^{s-1}}{s!(1-\rho)^2}\right)$
Probabilité qu'il y ait zéro unité dans le système	$p_0 = \left[\sum_{n=0}^s \left(\frac{A^n}{n!}\right) + \frac{A^{s+1}}{s!(s-A)} \right]^{-1}$
Probabilité qu'il y ait n unité dans le système	$p_s = \frac{A^s}{s!} p_0$

TABLE 3.2 – Les mesures de performances pour un modèle M/M/s.

3.7 Modèles non markoviens

En s'écartant de l'hypothèse d'exponentialité d'une des deux quantités stochastiques « les temps d'inter-arrivés » et « les durées de service » ou en introduisant des paramètres supplémentaires spécifiques au modèle étudié, on aboutit à un modèle non markovien. Dans ce cas, l'étude mathématique du modèle est délicate, voire impossible, on essaye alors de se ramener à un processus de Markov à l'aide des méthodes d'analyses ; telles que : méthodes des étapes d'Erlang, méthode de chaîne de Markov induite, simulation, etc [9].

3.8 Réseaux de files d'attente

La modélisation d'un système à l'aide d'une seule file d'attente n'offre qu'un champ d'application. Bien souvent, un client a besoin de recevoir plusieurs traitements consécutifs et de différentes natures avant de quitter le système. Pour modéliser ce type de situation il faut relier plusieurs files d'attente entre elles d'où la notion des réseaux des files d'attente.

3.8.1 Définition d'un réseau de files d'attente

Un modèle de réseau de file d'attente est une collection de centres de service représentant les « Serveurs » qui fournissent le service à un ensemble de clients qui représentent « les utilisateurs » [8]. Le modèle se caractérise par :

- les processus d'arrivées des clients au réseau.
- Les temps de service des clients aux stations.
- Le cheminement des clients d'une station à une autre.
- Les disciplines de service à chaque station.

Plusieurs réseaux de files d'attente peuvent se présenter, à savoir, BCMP, Gordon-Newell et Jackson la où notre étude se profonde.

3.8.2 Les différents types de réseaux

• Réseaux ouverts

Un réseau est dit « ouvert » lorsque les clients peuvent entrer dans le système et peuvent le quitter [21].

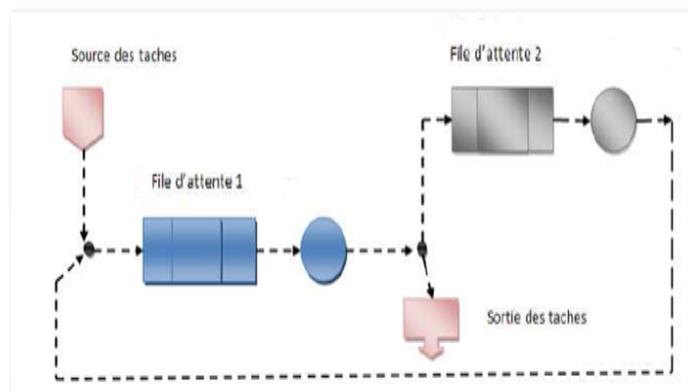


FIGURE 3.6 – Réseau de files d'attente ouvert.

• Réseaux fermés

Un système est dit « fermé », lorsque les clients ne peuvent ni entrer dans le système ni le quitter , dans ce type de réseau le nombre de clients est constant [21].

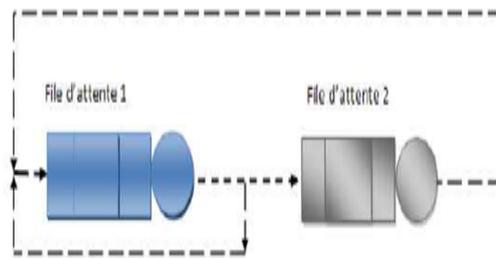


FIGURE 3.7 – Réseau de files d'attente fermé.

- **Réseaux mixtes**

Il existe aussi ce qu'on appelle « réseau mixte » qui est un réseau ouvert pour certains clients et fermé pour d'autres [21].

- **Réseaux multi classes**

Il peut circuler dans un réseau plusieurs classes de clients. Les clients d'une même classe ont tous un comportement identique (temps de service et cheminement identique) [21].

3.8.3 Réseaux à forme produit

Un réseau à forme produit est un réseau de files d'attente qui admet une solution analytique dont la distribution stationnaire est le produit des distributions stationnaires de chacune de ses files d'attente considérées en isolation.

3.8.3.1 Réseaux de Jackson

James R. Jackson a trouvé une solution à forme produit, il s'agit du premier développement significatif dans la théorie des réseaux de file d'attente [18].

Un réseau de Jackson est un ensemble de N files d'attente FIFO avec le fonctionnement suivant :

- Les réseaux ne possèdent qu'une seule classe de clients.
- Les files d'attente dans un réseau de Jackson sont des files $M/M/m$ comportant chacune un ou plusieurs serveurs identiques.
- Le nombre global de clients dans le réseau est illimité.
- Les clients arrivent de l'extérieur du réseau selon des processus de poisson indépendants, et se déplacent d'un nœud à un autre en suivant des règles de routages markoviennes.
- Le taux d'arrivée externe dans la file j étant égal à λ_j .
- Un client peut quitter le système de n'importe quel nœud (file d'attente).
- Le réseau possède un nombre fini de serveurs fournissant des traitements dont les durées sont exponentiellement distribuées (le taux de service de la file j est noté μ_j).

• **Réseaux de Jackson ouverts**

Le réseau reçoit des clients de l'extérieur et les envoie vers l'extérieur après le parcours de quelques unes ou l'ensemble des stations, possède une source 0 qui permet à des clients de l'extérieur d'entrer dans le réseau par la file j avec la probabilité P_{0j} . De plus il existe une station « puits » dénotée $N + 1$ par laquelle les clients quittent le système [8].

- La condition de stabilité du système est $\lambda_i < \mu_i \quad i = 1, 2, \dots$

- Les clients venant de la source 0 se dirigent vers la station i avec la probabilité p_{0i} .

La source débitant, suivant un processus de poisson, le flot λp_{0i} est lui-même un processus de poisson de poisson. On a :

$$\sum_{i=1}^N P_{0i} = 1$$

- Les probabilités de routages :

$P_{ij} = P(\text{un client sortant de la station } i \text{ se dirige vers la station } j)$

$$i = 0, 1, \dots, N \quad j = 1, 2, \dots, N + 1$$

Tel que :

$$\sum_{j=1}^{N+1} P_{ij} = 1 \quad i = 0, 1, \dots, N \quad (3.4)$$

- Le taux d'arrivée λ_i dans la file i est donné par :

$$\lambda_i = P_{0i} + \sum_{j=1}^N \lambda_j P_{ji} \quad (3.5)$$

Posons $\lambda_i = \lambda e_i$. la valeur e_i peut être interprétée, comme le nombre moyen de passages d'un client par la station i calculé par la résolution du système linéaire :

$$e_i = P_{0i} + \sum_{j=1}^N e_j P_{ji} \quad i = 1, \dots, N \quad (3.6)$$

• **Théorème de Jackson**

Lorsque le système est stable pour un réseau de Jackson ouvert, la distribution stationnaire, si elle existe, est à forme produit, donné par :

$$P_n = P(n_1, n_2, \dots, n_N) = \prod_{i=1}^N P_i(n_i) \quad (3.7)$$

Où $P_i(n_i)$ est la probabilité stationnaire d'avoir n_i clients dans la station i en isolation (indépendamment des autres stations) [18].

• **Réseaux de Jackson fermés**

Si le réseau est fermé, les stations 0 et $N+1$ sont confondues : il n'y a pas de clients entrant dans le système n_i des clients pouvant en partir. Le nombre de clients reste constant dans un réseau fermé. Donc $p_{0i} = 0$ [8].

- La stabilité du réseau est assurée, car le nombre de clients à chaque station est limité.
- Les probabilités de routages :

$$P_{ij} = P(\text{un client sortant de la station } i \text{ se dirige vers la station } j)$$

$$i = 0, 1, \dots, N \quad j = 1, 2, \dots, N$$

Tel que :

$$\sum_{j=1}^N P_{ij} = 1 \quad i = 0, 1, \dots, N$$

- Le taux de visite de la station i est calculé par la résolution du système linéaire :

$$e_i = \sum_{j=1}^N e_j P_{ji} \quad (3.8)$$

Performances du réseau

On étudie chaque file en isolation : le nombre moyen de clients $E(N_i)$ de la station i , temps moyen de réponse $E(T_i)$ de la station i . puis pour le réseau, on a tout simplement :

$$E(N) = \sum_{i=1}^N E(N_i) \quad (3.9)$$

$$E(T) = E(N)/\lambda \quad (3.10)$$

$$E(T) = \sum_{i=1}^N e_i E(T_i) \quad (3.11)$$

Pour ce qui concerne la simulation, on aura affaire à d'autres formules telle que :

$$E(N_i) = X_i/T_{max} \quad (3.12)$$

$$T_i = X_i/D_i \quad (3.13)$$

avec : X_i est la durée comulée durant laquelle le système contient i clients.

D_i est le nombre de départ associé pour chaque station i du réseau.

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions théoriques, à savoir les principes de la modélisation, la simulation et l'évaluation des performances sur les phénomènes d'attente ; Ces notions vont nous servir de base pour notre étude.

Formalisation et modélisation du problème

4.1 Introduction

L'étude du paradigme Cloud computing pour le divulguer est intéressante mais pour modéliser son fonctionnement l'étude d'un cas pratique est primordiale. A cet effet, l'Entreprise ICOSNET nous a accueilli pour un stage durant lequel nous avons recueilli les données nécessaires à notre étude. Dans cette partie, nous allons procéder à l'étude de ces données, en utilisant la modélisation ; Afin de construire nos propres modèles, qui sont nécessaire à l'aboutissement de notre objectif d'étude.

4.2 État de l'Art

Au sein du Département Système de l'Entreprise ICOSNET, nous avons été reçues par nos deux encadreurs Mr SELMANE et Mr SAFTA, qui ont enrichi notre savoir théorique sur les Clouds après une approche pratique sur le terrain. Ainsi, nous avons pu avoir accès à la salle machine, où se situe leur machine physique (Datacenter), afin de bien assimiler le concept de la virtualisation et de mieux comprendre ce qui se cache derrière le paradigme du Cloud Computing. Aussi, ils nous ont fait découvrir leurs techniques de gestion de système, et ce, en partageant leur routine de travail et le déroulement de leur processus de création et de contrôle.

Les données fournies nous démontrent que le Cloud d'ICOSNET fait partie des Clouds privés où le fournisseur est bien l'Entreprise elle-même et les éditeurs sont bien-sûr les clients qui consomment et jouissent des services du Cloud. Ces clients peuvent être soit internes comme les différents Départements et Services de l'Entreprise, soit externe comme les banques, assurances, boîtes d'intégrations et startup ou des clients individuels. Le Cloud d'ICOSNET est sous l'architecture SaaS, il repose sur la solution Cloud VMware qui offre toute la sécurité et la qualité de service exigée par le client, et ce, en engageant des contrats SLA. Ainsi, pour gérer le contrôle du Cloud, l'Entreprise utilise le système

d'information CRM. Enfin, pour ce qui est de la tarification, ICOSNET utilise l'application charge Back qui offre plusieurs possibilités d'arrangement pour tarifier le client selon la demande.

4.3 Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET du côté administratif

Pour que le client puisse accéder au Cloud, il doit suivre une certaine procédure administrative (qui est illustrée dans la figure 4.1) :

Le client communique sa requête (demande) au service commercial, et négocient ensemble une offre arrangeant les deux parties. Une fois que les deux partenaires trouvent un terrain d'entente, la requête est transmise au Service Technique qui étudie la faisabilité de la demande, puis crée une version test pour une durée déterminée afin que le client puisse tester le produit, et cela, en posant leurs conditions sur la faisabilité selon les moyens disponibles et les désirs du client.

Le Service Technique transmet le produit test et les contraintes au Service Commercial, qui à son tour les propose au client.

Si le client n'est pas satisfait du produit test, il quitte le système en informant le service commercial, pour libérer les ressources qui lui ont été attribuer ; Sinon il communique son désir de disposer de ses propres ressources au Service Commercial, en signant un contrat renouvelable tous les ans. Le Service Commercial informe le Service Technique afin de prendre en charge la demande du client. Une fois ces ressources créés, le client pourra les gérer selon ses désirs.

En cas d'incident (problèmes techniques), le client envoie une requête au Support Technique qui étudie le problème, puis la requête sera dispatchée au service concerné, dans le but d'y remédier.

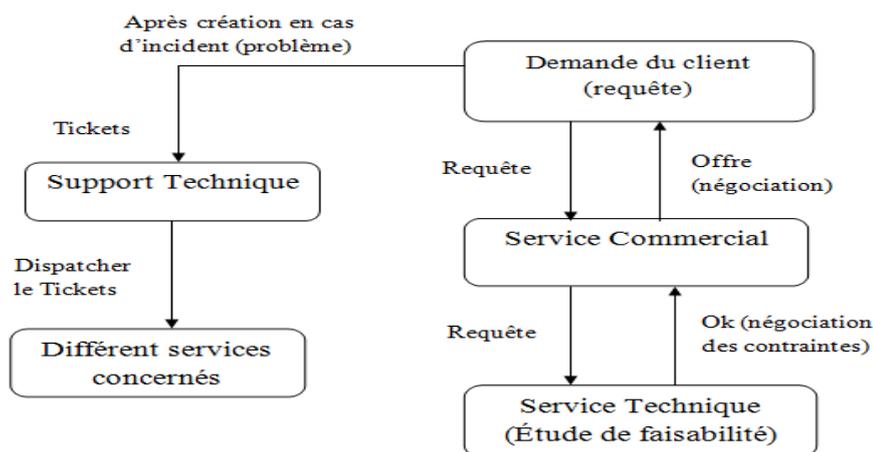


FIGURE 4.1 – Acheminement de la requête dans le Cloud du côté administratif

4.4 Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET du côté technique

À la demande du client (interne ou externe à l'Entreprise), le fournisseur ICOSNET lui fournit un pool qui a une capacité finie de ressources (RAM, CPU, Disque).

Le client gère son pool selon ses besoins. Il peut ainsi créer à l'intérieur des Machines Virtuelles « VMs », des sous pools ou des groupes de VM (VApps). Si le client demande une petite capacité de ressources, le Service Technique d'ICOSNET peut lui allouer des VM/VApps qu'il affecte directement au pool créé préalablement. Ainsi, il dispose à l'intérieur ses services qu'il alloue à son tour à ses propres clients. Ce service peut être un espace de stockage, applications, logiciels,...

La consommation du client ne peut dépasser la capacité du pool / VM / VApps qui lui est attribué. Au-delà de cette capacité, il doit demander au fournisseur d'augmenter sa capacité, engendrant éventuellement une augmentation des frais.

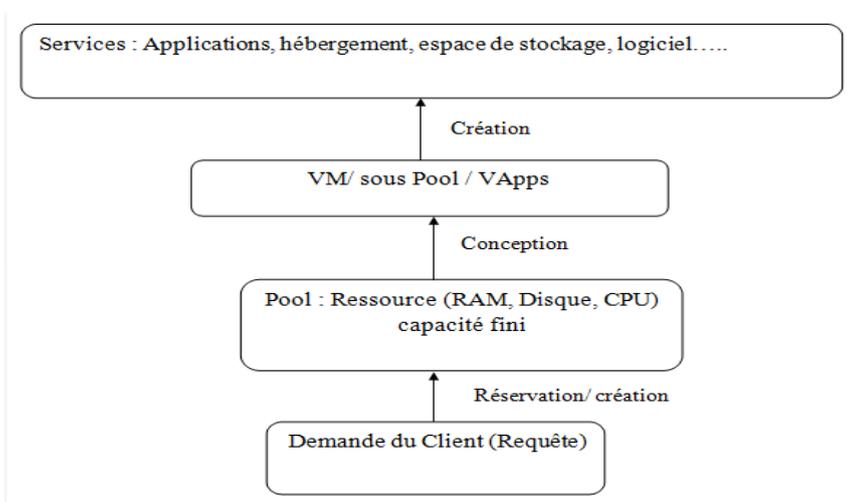


FIGURE 4.2 – Acheminement de la requête dans le Cloud du côté technique

4.5 Fonctionnement du Cloud d'ICOSNET du côté virtuel

Dès la génération d'une requête, une fiche technique lui est destinée dans le système d'information et base de données CRM du Service Technique d'ICOSNET. Une « VM test » disposant de ressources finies est créée pour une durée déterminée (un mois) afin que le client puisse tester le produit. En cas de satisfaction (de la part du client), cela donnera naissance à la « VM de production » comme suit :

- Préparation de VM (allouer les ressources : RAM, CPU, Disque).
- Choix du système d'exploitation (selon les besoins du client et les moyens disponibles dans l'Entreprise).

- Installation du système.
- Configuration des services.
- L'accès réseau (Adresse IP, Port).

Cette « VM de production » sera gérée par le client, pour satisfaire ses besoins.

Du côté du fournisseur ICOSNET, la gestion de ces VMs se fait à travers le CRM, car il offre la possibilité de planifier les tâches, de conserver les contacts et les fiches techniques, de surveiller les équipements POP (Switch, Routeur, Wimax) et les équipements téléphoniques IPBX (standard pour la voie, la messagerie) qui raisonne avec le protocole IP, CRM fourni aussi un tableau de bord pour surveiller et gérer les incidents, les données, faire des statistiques sur le nombre de réclamations et actions.

On peut trouver ainsi dans le CRM un espace de travail propre à chaque individu travaillant dans l'Entreprise, espace de vente, marketing,...

Lorsque le client utilise la VM, il se peut qu'il rencontre des problèmes. Il envoie un ticket au fournisseur qui va le dispatcher vers le service concerné à travers la boîte de messagerie du CRM afin de régler le problème. Une fois que celui-ci est réglé, un ticket sera renvoyé au client pour lui confirmer la résolution du problème.

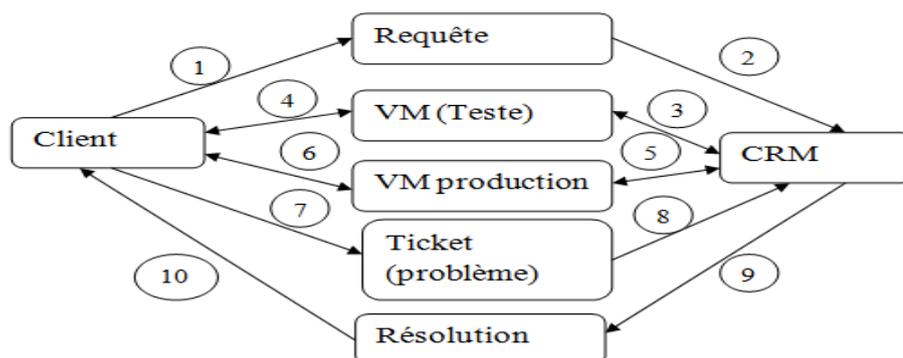


FIGURE 4.3 – Acheminement de la requête dans le Cloud du côté virtuel

Le tableau 4.1 décrit les flux existants dans le modèle de fonctionnement du cloud d'ICOSNET du point de vue virtuel présenté dans la figure 4.3 :

N° Flux	Les Flux
1	Génération d'une requête
2	Création d'une fiche technique
3	Création d'une VM test
4	Tester la VM test
5	Naissance de la VM production
6	Exploitation de la VM production
7	L'envoi du ticket
8	Réception du ticket
9	Résolution du problème
10	Confirmation de la résolution du problème

TABLE 4.1 – Description des flux

4.6 Modélisation conceptuelle des systèmes à étudier

Après avoir étudié le Cloud d'ICOSNET, et assimilé son fonctionnement sur ses différents aspects (administratif, technique et virtuel), nous avons suivi l'enchaînement de la requête depuis son lancement de la part du client jusqu'à sa supervision finale de la part de l'Entreprise.

Cette étude approfondie du système met en évidence deux grandes étapes, qui sont la création et la supervision. Dans ce qui suit, nous allons modéliser et analyser les performances de ces deux étapes séparément.

4.6.1 Système de la création

Les clients envoient des requêtes. Ces dernières vont passer par plusieurs étapes techniques comme suit :

- Création du pool de ressources.
- Affectation du pool de ressources.
- Création du VM.
- Exploitation de VM par le client.

Ainsi on obtient le modèle illustré dans la figure 4.4 :

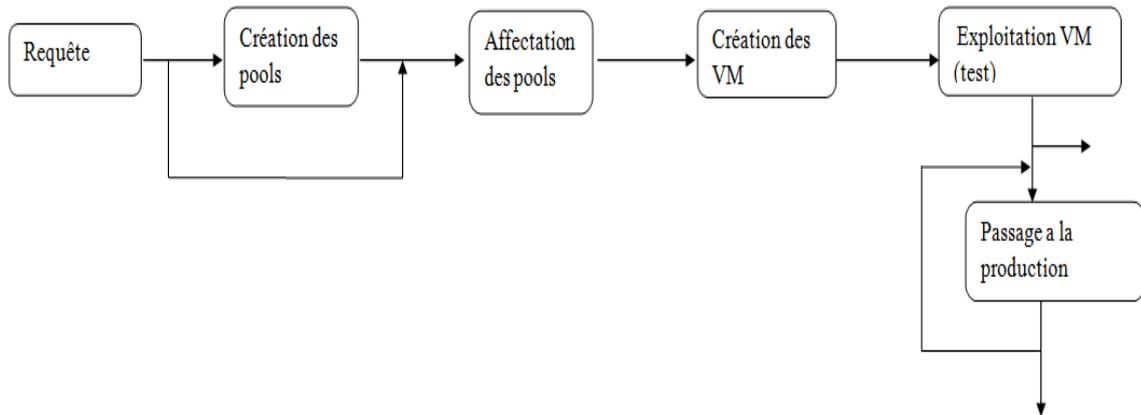


FIGURE 4.4 – Le schéma associé au système de la création.

4.6.2 Système de la supervision

Dès son arrivée à ce niveau au système, la requête passe par plusieurs étapes techniques :

- Supervision des VM et consommation des ressources.
- Table de shooting (Résolution du problème).

Ainsi on obtient le modèle suivant :

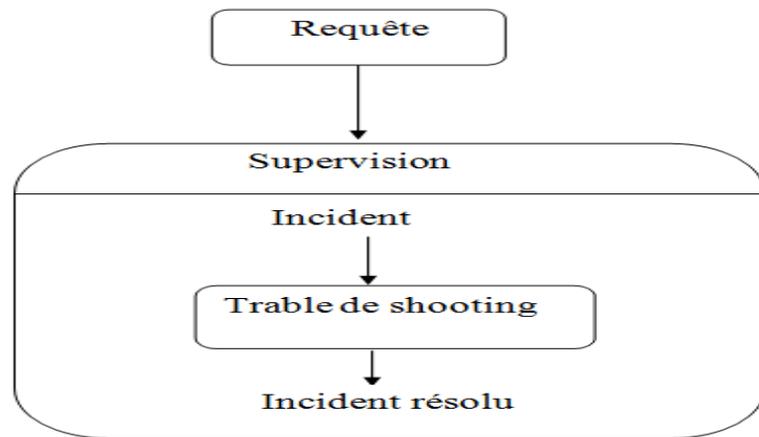


FIGURE 4.5 – Le schéma associé au système de la supervision.

4.7 La modélisation des systèmes par des réseaux de files d'attente

L'objectif d'étude comme nous l'avons cité auparavant est d'évaluer les performances de la plateforme du Cloud Computing d'ICOSNET, ce qui nous ramène en premier lieu à la modélisation.

Les deux modèles conceptuels que nous avons conçu plus haut décrivent le cheminement d'une (ou plusieurs) requêtes dès son arrivée dans le système et son passage par les différents services. Nous avons remarqué que s'il y a plusieurs arrivées, on se retrouve dans le cas d'attente, qui nous a amené à modéliser nos systèmes par des réseaux de files d'attente. Aussi, nous avons opté pour les réseaux de files d'attente, car nous sommes face à un réseau de télécommunication et la modélisation d'un tel réseau se fait en général par les réseaux de files d'attente.

4.7.1 Identification des entités

a. Le système de la création

Les arrivés : les demandes des clients (les ressources : Vm, VApps, VDataCenter).

Les serveurs : Serveur de la création des pools.

Serveur d'affectation des pools.

Serveur de création des VMs.

Serveur d'exploitation des VMs (VM test).

Serveur de passage à la VM de production.

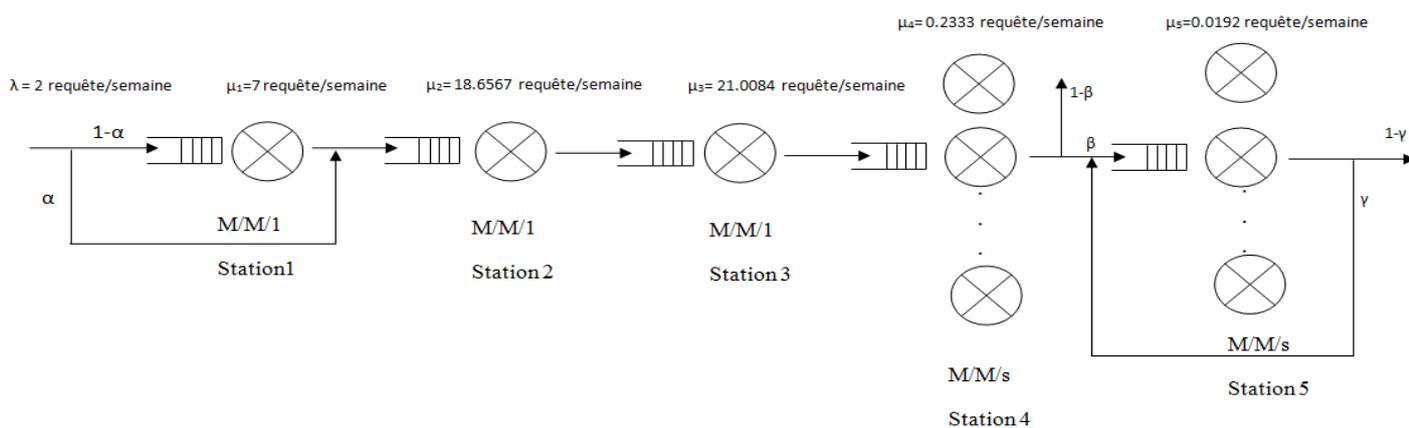


FIGURE 4.6 – Le réseau de files d'attente associé au système de la création.

Les différents paramètres de système

- **Le processus d'arrivée**

Les instants d'arrivée des clients sont en général aléatoires. Pour pouvoir calculer des grandeurs caractéristiques de la file d'attente, on doit connaître les lois probabilistes des durées entre deux arrivées successifs, ou tout au moins faire certaines hypothèses sur ces lois qui seront vérifiées en pratique et qui rendront les calculs possibles. La première hypothèse confirme qu'il n'arrive qu'un client à la fois. La deuxième hypothèse est l'homogénéité dans le temps ; cela se traduit par le fait que les temps d'inter-arrivées des clients sont des variables aléatoires qui ont la même loi. Cette hypothèse est vérifiée lorsque l'on étudie une file d'attente durant une période où les conditions qui amènent les clients sur la file sont semblables. Une autre hypothèse est l'indépendance probabiliste des temps d'inter-arrivées des clients ; cette hypothèse simplifie notamment les calculs probabilistes. Enfin, on supposera connue la loi des temps d'inter-arrivées où cette loi est une loi exponentielle. Autrement dit, le nombre d'arrivées suit **un processus de poisson**.

Cette hypothèse a deux mérites. D'abord elle est souvent vérifiée en pratique. Ensuite elle se prête bien au calcul probabiliste.

- **Le processus de service**

On suppose que les durées de service sont des variables aléatoires indépendantes de même loi, indépendantes du processus des arrivées. Ces hypothèses sont souvent vérifiées en pratique. Il est courant de supposer que cette loi est **exponentielle**. Cette hypothèse simplifie les calculs, notamment lorsque les durées de services sont réguliers, c'est le cas dans les différentes stations (système de files d'attente) de nos modèles.

- **Capacités des files d'attente**

Nous n'avons pas trouvé d'informations sur les capacités des files d'attente au niveau de chaque étape, mais les ingénieurs nous ont confirmé que ces derniers sont dotés de files d'attente de grande capacité, largement suffisante pour le trafic qu'engendre leurs demandes de requêtes. De ce fait, nous les avons considérées de **capacité infinie**.

- **La discipline de service**

La discipline de sélection des requêtes dans les files d'attente au niveau de chaque étape est **FIFO** ; ce qui a été confirmé par les ingénieurs de l'entreprise après avoir consulté le fonctionnement de leur système.

Remarque

Vu l'absence des données, on n'a pas pu confirmer notre choix pour la loi exponentielle des durées des inter-arrivées, en faisant des tests statistiques.

b. Le système de la supervision

Les arrivés : les ressources (CPU, RAM, Disque), applications, pools, VMs, Datacenter

Les serveurs : Serveur de Trable Shooting.

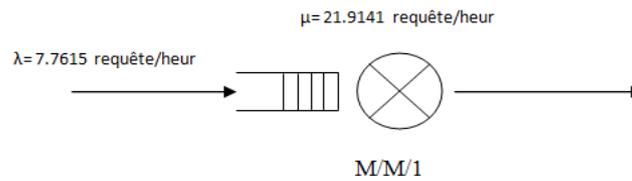


FIGURE 4.7 – La file d'attente associée à la résolution des incidents.

En ce qui concerne le deuxième système, qui est représenté sous forme d'une file d'attente qui traite les incidents, nous avons utilisé un logiciel d'ajustement EASYFIT, afin de confirmer notre choix pour la file M/M/1, et ce, en utilisant un échantillon de données récolté durant notre stage.

Les résultats obtenus de l'ajustement démontrent que le test de Kolmogorov-Smirnov ne rejette pas la loi exponentielle.

pour le reste des paramètres, on a suivi la même démarche que le premier système.

Le tableau suivant représente les résultats d'ajustement.

Qualité d'ajustement - Détails [masquer]					
Exponential [# 10]					
Kolmogorov-Smirnov					
Taille de l'échantillon	16				
Statistique	0,42056				
Valeur de P	0,2576				
Rang	32				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valeur critique	0,44698	0,50945	0,56328	0,62718	0,66853
Rejeter?	Non	Non	Non	Non	Non

TABLE 4.2 – Test d'ajustement des durées de service.

4.8 Conclusion

Après avoir étudié le fonctionnement du Cloud du côté administratif, technique et virtuel, nous avons procédé à la modélisation du système, et nous avons abouti, d'après les informations récoltées durant notre stage, à la schématisation des deux modèles : le premier, celui de la création, et le deuxième, de la supervision. Une fois cela est fait, nous les avons traduits sous forme de système et réseau de files d'attente, afin de les étudier suivant des méthodes et des lois bien définies.

Evaluation des performances du modèle

5.1 Introduction

Après avoir introduit dans le chapitre précédent nos modèles de fonctionnement de la solution Cloud d'ICOSNET, nous allons maintenant évaluer leurs performances par deux approches : la première analytique et la deuxième par simulation.

La simulation nécessite un langage évolué. Pour cela, nous allons appliquer un langage performant qui est Matlab.

5.2 L'étude Statistique

Dans cette partie, nous allons faire une étude statistique ; cette étude se consacrera sur la qualité de service fourni par la solution Cloud d'ICOSNET, plus précisément : la disponibilité des machines virtuelles qui hébergent les ressources des clients ; le volume des incidents et le volume de résolution des incidents. Le but de cette étude est de voir si le Cloud d'ICOSNET arrive à satisfaire le client, de sorte que ce dernier aura accès à ses ressources à n'importe quel moment.

5.2.1 La disponibilité des machines virtuelles (VMs)

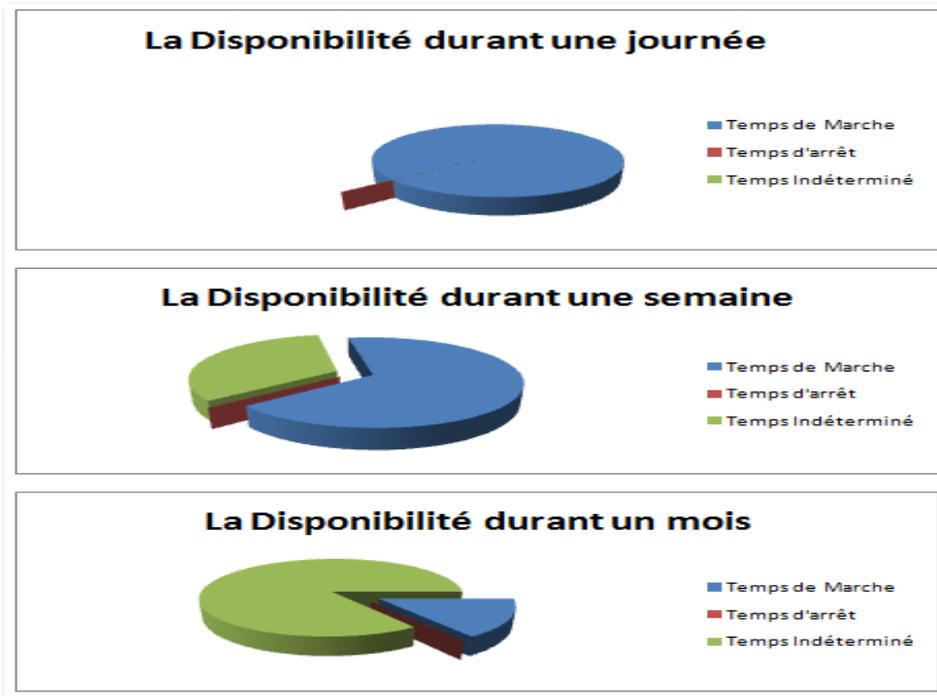


FIGURE 5.1 – La disponibilité des VMs.

Parmi les données fournies par des ingénieurs de l'Entreprise ICOSNET, nous avons celles qui concernent la disponibilité des machines virtuelles de leur solution Cloud. Nous avons pu les exploiter et les représenter sous forme de graphes de secteurs, où : le premier secteur représente la disponibilité des VMs durant une journée. La dessus, on peut voir que les VMs sont quasiment en marche avec un pourcentage négligeable d'arrêts. Pour le deuxième secteur, on remarque une réduction du temps de marche avec une augmentation du temps indéterminé et une quasi absence de temps d'arrêt. Dans le troisième secteur, on remarque que le temps indéterminé dépasse largement le temps de marche durant le mois, avec le même temps négligeable d'arrêt.

Le temps indéterminé se définit par le fait que la VM est en état de veille. Cela signifie qu'elle est en marche mais qu'elle n'effectue pas de tâches durant une période donnée. On peut conclure que les VMs du Cloud sont toujours disponibles.

5.2.2 Le volume des incidents

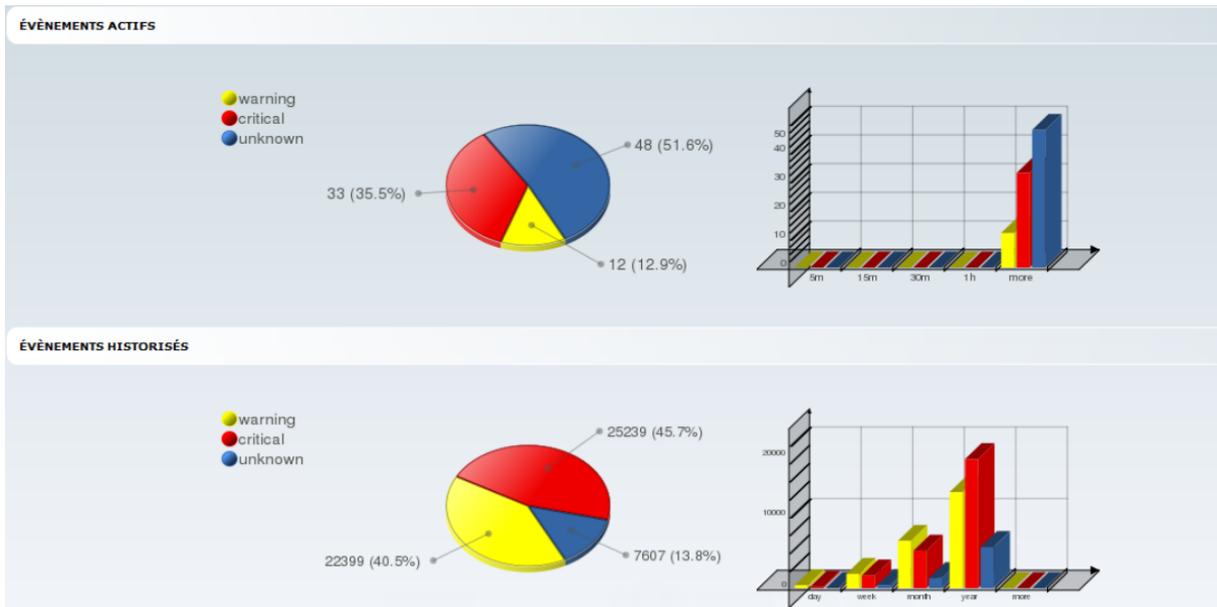


FIGURE 5.2 – Le volume des incidents (évènements actifs et historisés).



FIGURE 5.3 – Le volume des incidents durant une journée et une semaine.

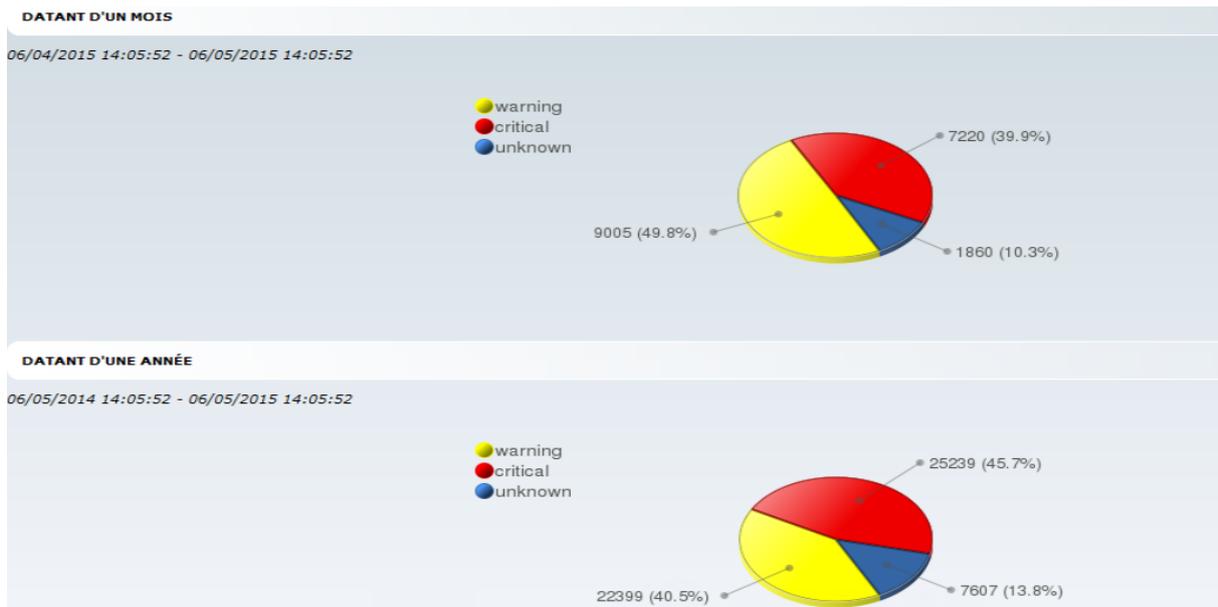


FIGURE 5.4 – Le volume des incidents durant un mois et une année.

Les données récoltées montrent qu'avec le temps (d'une journée, vers la semaine, le mois et l'année) le volume des Warning diminue avec la hausse du volume des incidents Critical.

Les chiffres du volume d'incidents cités sont importants. Enfait, il faut savoir qu'il y a 3 types d'incidents :

- Les incidents de type Unknown : sont les incidents inconnus, qui sont des anomalies survenues dans le système, et qui se résolvent automatiquement dans une durée de temps qui pourrait être négligeable. Ainsi, il ne s'agit pas en réalité d'un incident qui aurait besoin de résolution.
- Les incidents de type Warning : sont juste des avertissements permettant de prévenir en cas de changement d'état pour éviter les incidents.
- Les incidents de type Critical : sont des incidents engendrés par des problèmes techniques (équipement, réseaux), non accessibles au service ; saturation de la capacité des ressources donné au client, etc. Certain de ces incidents se résolvent automatiquement et n'ont pas besoin d'une intervention pour leurs résolution.

En résumé, nous sommes face d'un grand volume d'incidents des équipements physiques et virtuels du Cloud. Néanmoins, ce ne sont pas des incidents qui influencent directement sur la qualité et la disponibilité de service fourni au client.

5.2.3 SLA Technique : Résolution des Incidents

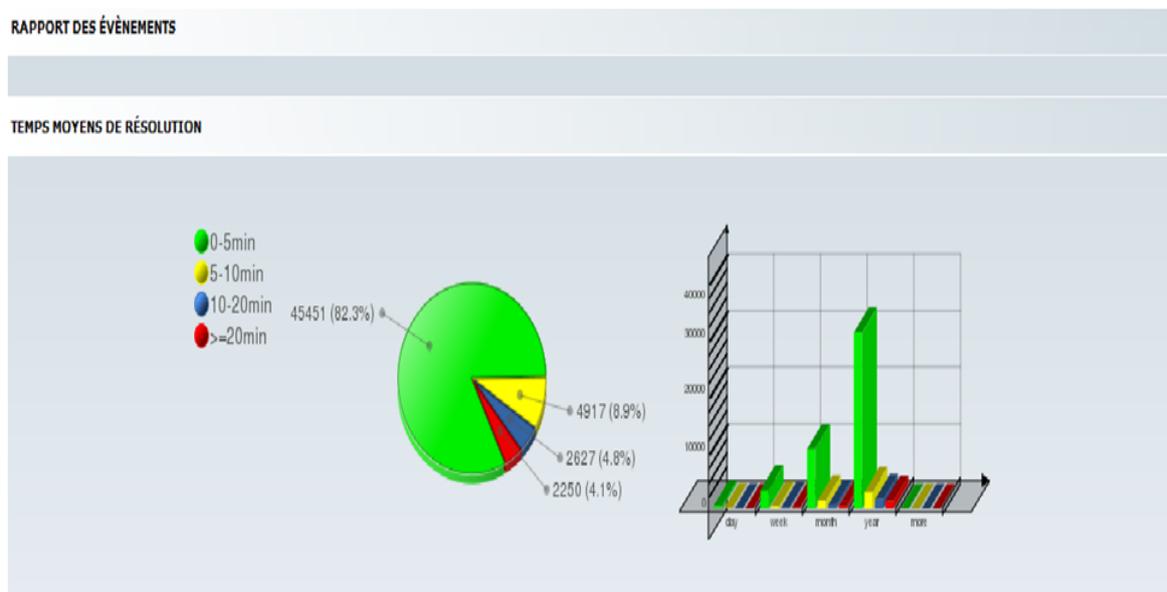


FIGURE 5.5 – Le rapport de résolution des évènements.

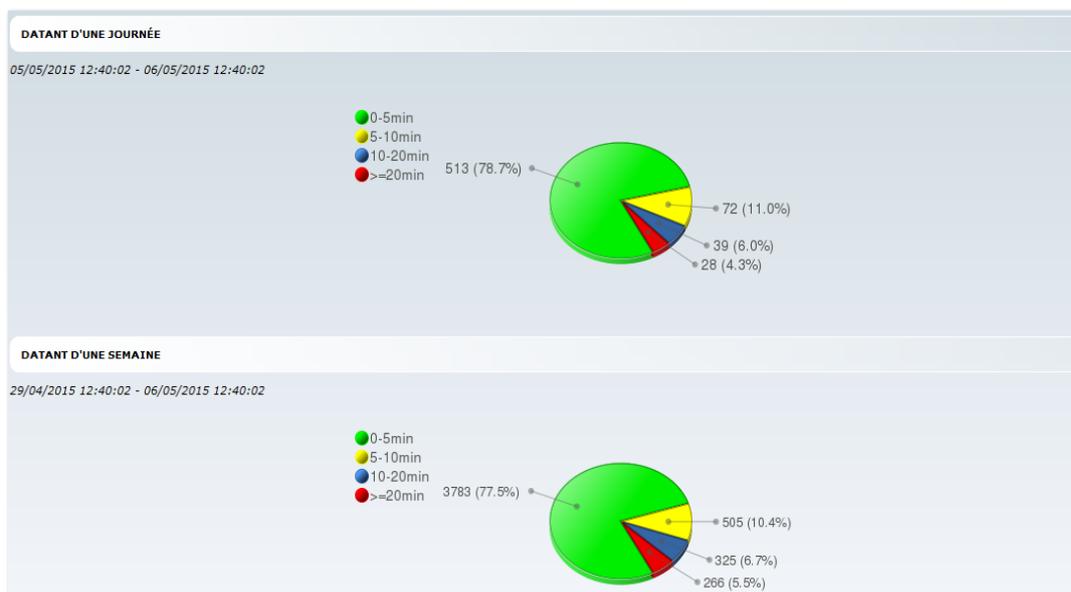


FIGURE 5.6 – Le rapport de résolution des incidents durant une journée et une semaine.



FIGURE 5.7 – Le rapport de résolution des incidents durant un mois et une année.

Les graphes ci-dessus présentent le volume de résolution des incidents durant une journée, semaine, mois et année. La résolution de la majorité des incidents (78 % à 80 %) se fait dans une durée qui ne dépasse pas 5 min. Entre (13 % et 17 %) sont des incidents résolus, dans une période variant de 5 à 20 min. Le reste qui constitue un petit pourcentage (5 %) de cas d'incidents importants à résoudre dans une période supérieur ou égale à 20 min. Ces résultats s'expliquent par la présence des trois types d'incidents cités auparavant.

5.3 L'évaluation des performances

5.3.1 Le premier réseau

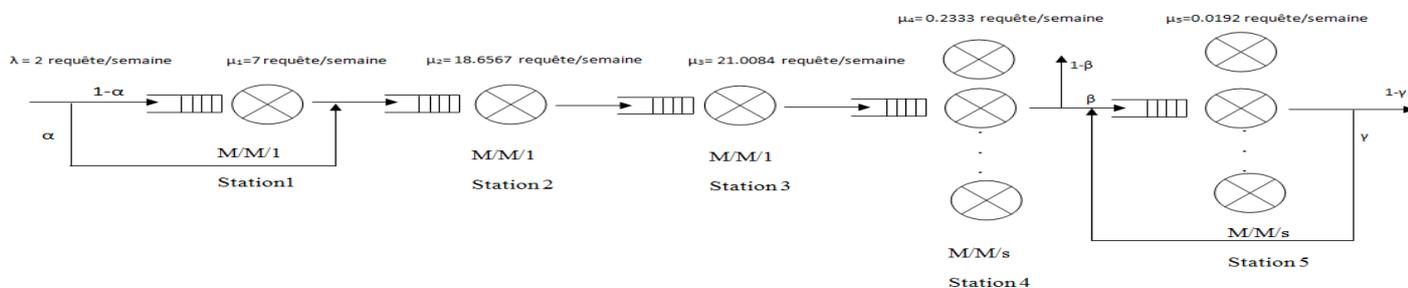


FIGURE 5.8 – Le réseau de files d'attente associé au système de la création.

a. Etude analytique

Le premier réseau représente un réseau jacksonien ouvert, ce qui nous a permis de simplifier son analyse en l'étudiant station par station. Les performances de chaque station sont obtenues à l'aide des formules du réseau de jackson représentées dans la section 3.8.3.1 et des tableaux 3.1 et 3.2.

Nous avons réalisé une application permettant d'obtenir les résultats analytiques de ce système. En faisant varier dans un premier temps les probabilités α , β et γ . Dans un deuxième temps, nous avons fixé ($\alpha = \beta = \gamma = 0.8$) et nous avons fait varier le taux d'entrée au réseau λ (requêtes/semaine) (dans les conditions du régime stationnaire des stations et du système), et cela, en fixant le nombre de serveurs dans les files M/M/s à 100 ; Ceci est dû à la diversité des ressources fournies aux clients.

Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants :

		ρ	E(n)	E(L)	E(T)	E(w)	P ₀	P ₁₀₀
$\alpha=0.8$ $\beta=0.8$ $\gamma=0.8$	File 1	0.0571	0.0606	0.0035	0.1515	0.0087	0.9429	0
	File 2	0.4610	0.8552	0.3942	0.0994	0.0458	0.539	$1.2638 \cdot 10^{-34}$
	File 3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	$7.85 \cdot 10^{-7}$
	File 4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	$7.2512 \cdot 10^{-40}$	0.0218
	File 5	0.1052	10.5208	$6.0880 \cdot 10^{-62}$	52.0833	$3.0139 \cdot 10^{-61}$	$2.6969 \cdot 10^{-5}$	$4.6331 \cdot 10^{-61}$
	Réseau		111.4001		55.7000			
$\alpha=0.7$ $\beta=0.9$ $\gamma=0.6$	File1	0.0857	0.0938	0.0080	0.1563	0.0134	0.9143	0
	File2	0.4502	0.8190	0.3687	0.0975	0.0439	0.5498	$1.2044 \cdot 10^{-35}$
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	$7.85 \cdot 10^{-7}$
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	$7.2512 \cdot 10^{-40}$	0.0218
	File5	0.1154	11.5359	$2.4763 \cdot 10^{-58}$	52.0833	$1.1180 \cdot 10^{-57}$	$9.7674 \cdot 10^{-6}$	$1.6867 \cdot 10^{-57}$
	Réseau		112.4122		56.2061			
$\alpha=0.5$ $\beta=0.4$ $\gamma=0.7$	File1	0.1429	0.1667	0.0238	0.1667	0.0238	0.8571	$2.7306 \cdot 10^{-85}$
	File2	0.4288	0.7507	0.3219	0.0938	0.0402	0.5712	$9.5999 \cdot 10^{-38}$
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	$7.85 \cdot 10^{-7}$
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	$7.2512 \cdot 10^{-40}$	0.0218
	File5	0.0556	5.5604	$8.3305 \cdot 10^{-88}$	52.0833	$7.8030 \cdot 10^{-87}$	0.0038	$1.3843 \cdot 10^{-86}$
	Réseau		106.4413		53.2206			

TABLE 5.1 – Les différentes mesures de performances associées au réseau.

Remarque

Le taux d'arrivée dans le réseau $\lambda = 2$ clients/semaine est vraiment faible, mais avec l'arrivée des nouvelles solutions Cloud conçues par ICOSNET comme VAZII, lancés après notre récolte de données et qui a augmenté λ , (d'après nos encadreurs d'ICOSNET). On va le faire varier pour voir le changement lié aux performances du réseau.

		ρ	E(n)	E(L)	E(T)	E(w)	P ₀	P ₁₀₀
$\lambda = 4$	File 1	0.1143	0.1290	0.0147	0.1613	0.0184	0.8857	5.6482 10 ⁻⁹⁵
	File 2	0.5467	1.2061	0.6594	0.1182	0.0646	0.4533	2.6996 10 ⁻²⁷
	File 3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File 4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File 5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
	Réseau		111.8195		55.9098			
$\lambda = 6$	File1	0.1714	0.2069	0.0355	0.1724	0.0296	0.8286	2.0865 10 ⁻⁷⁷
	File2	0.6325	1.7209	1.0885	0.1458	0.0922	0.3675	4.6915 10 ⁻²¹
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
	Réseau		112.4122		56.2061			
$\lambda = 8$	File1	0.2286	0.2963	0.0677	0.1852	0.0423	0.7714	6.2359 10 ⁻⁶⁵
	File2	0.7182	2.5491	1.8309	0.1902	0.1366	0.2818	1.1871 10 ⁻¹⁵
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
	Réseau		113.3298		56.6649			
$\lambda = 10$	File1	0.2857	0.4000	0.1143	0.2000	0.0571	0.7143	2.7855 10 ⁻⁵⁵
	File2	0.8040	4.1021	3.2981	0.2735	0.2199	0.196	6.5748 10 ⁻¹¹
	File3	0.8881	7.9333	7.0452	0.4252	0.3776	0.1119	7.85 10 ⁻⁷
	File4	0.9005	92.0302	1.9814	4.3806	0.0943	7.2512 10 ⁻⁴⁰	0.0218
	File5	0.1052	10.5208	6.0880 10 ⁻⁶²	52.0833	3.0139 10 ⁻⁶¹	2.6969 10 ⁻⁵	4.6331 10 ⁻⁶¹
			114.9864		57.4932			

TABLE 5.2 – Les différentes mesures de performances associées au réseau pour les différentes valeurs de λ .

b. Application de la simulation

Nous avons résolu le modèle par une deuxième approche à savoir la simulation.

Un simulateur adapté au réseau de files d'attente a été conçu (sa présentation est dans l'annexe 1).

En gardant la même procédure suivie dans la méthode analytique et pour une durée de simulation

$T_{max} = 500$ semaines, les résultats sont représentés dans les tableaux suivants :

5.3 L'évaluation des performances

		E(N)	E(T)	E(L)	E(W)
$\alpha=\beta=\gamma=0.8$	File 1	0.0665	0.1518	0	0.0089
	File 2	0.8230	0.0965	1	0.0429
	File 3	7.6239	0.4111	3	0.3635
	File 4	92.0521	4.3289	0	0.3409
	File 5	10.6924	52.1542	2	0.0047
	Réseau	111.2579	55.7241		
$\alpha=0.7$ $\beta=0.9$ $\gamma=0.6$	File 1	0.0879	0.1480	2	0.0051
	File 2	0.6652	0.0876	0	0.0340
	File 3	7.2773	0.3900	5	0.3424
	File 4	92.9546	4.7861	4	0.8491
	File 5	11.4978	52.0987	1	0.0032
	Réseau	112.4828	56.5401		
$\alpha=0.5$ $\beta=0.4$ $\gamma=0.7$	File 1	0.0726	0.1494	1	0.0066
	File 2	0.6973	0.0884	2	0.0348
	File 3	8.8320	0.4741	10	0.4265
	File 4	92.8421	3.8631	7	0.
	File 5	5.6751	52.1409	0	0.0019
	Réseau	108.1191	53.0598		

TABLE 5.3 – La simulation du premier réseau en faisant varier les probabilités de routage.

		E(N)	E(T)	E(L)	E(W)
$\lambda = 4$	File 1	0.1377	0.1661	0	0.0233
	File 2	1.2758	0.1232	1	0.0696
	File 3	6.6942	0.3608	8	0.3132
	File 4	91.9051	4.8647	3	0.0713
	File 5	10.9478	52.714	0	0.0019
	Réseau	110.9606	55.4718		
$\lambda = 6$	File 1	0.2153	0.1780	0	0.0351
	File 2	1.7787	0.1514	3	0.0978
	File 3	9.0597	0.4781	6	0.4305
	File 4	90.8252	4.9781	2	0.0248
	File 5	10.2154	51.9783	4	0.0124
	Réseau	112.0943	56.5897		
$\lambda = 8$	File 1	0.2888	0.1775	0	0.0347
	File 2	2.5794	0.1911	4	0.1375
	File 3	7.5526	0.4047	7	0.3571
	File 4	92.1049	5.1004	4	0.1521
	File 5	11.2481	52.5487	2	0.0418
	Réseau	113.7738	57.7841		
$\lambda = 10$	File 1	0.3823	0.1942	0	0.0513
	File 2	4.6946	0.3119	5	0.2583
	File 3	7.6979	0.4110	10	0.3634
	File 4	93.5791	4.9825	1	0.0687
	File 5	9.5781	52.8721	3	0.0087
	Réseau	115.932	58.4308		

TABLE 5.4 – La simulation en faisant varier la valeur de λ .

c. Interprétation des résultats

Après avoir obtenu les métriques de performances du réseau de files d'attente par la méthode analytique et la simulation, nous passons à l'interprétation de ces résultats pour chaque station et pour le système global.

Nous remarquons que les stations 3 et 4 ne sont pas atteintes par la variation des probabilités α , β et γ comme le montrent les résultats analytiques, tandis que les stations 1, 2 et 5 sont légèrement influencées car elles sont concernées par cette variation en restant tout de même performantes.

En variant les taux d'arrivée des requêtes dans le réseau, nous remarquons que les stations touchées sont seulement les deux premières, mais en général elles arrivent à satisfaire largement les besoins des clients car le nombre de clients dans la file et leurs temps d'attente sont faibles.

Il y a une légère différence entre les résultats analytiques et ceux de la simulation. Cela est dû au caractère aléatoire de la simulation. Une augmentation du temps de simulation donne de meilleurs résultats.

Les graphes représentant la variation du temps moyen de séjour, du nombre moyen de requêtes et du temps moyen d'attente en fonction de taux moyen d'entrée au système des stations 1 et 2 et du réseau sont représentés dans les figures ci-dessous :

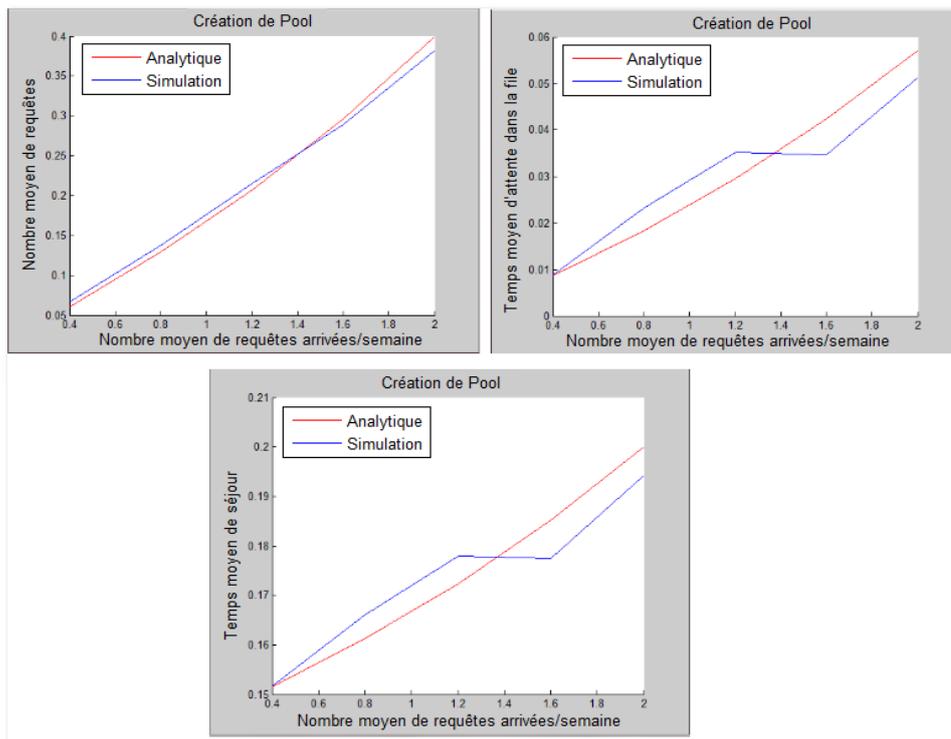


FIGURE 5.9 – Performances de la station 1.

5.3 L'évaluation des performances

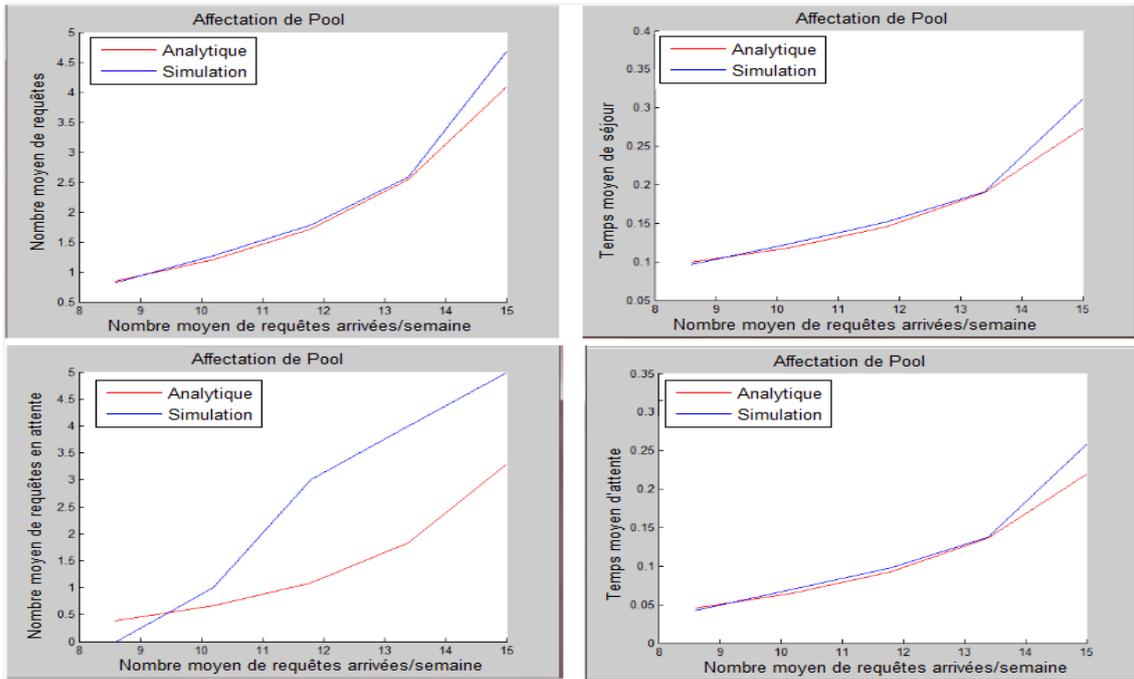


FIGURE 5.10 – Performances de la station 2.

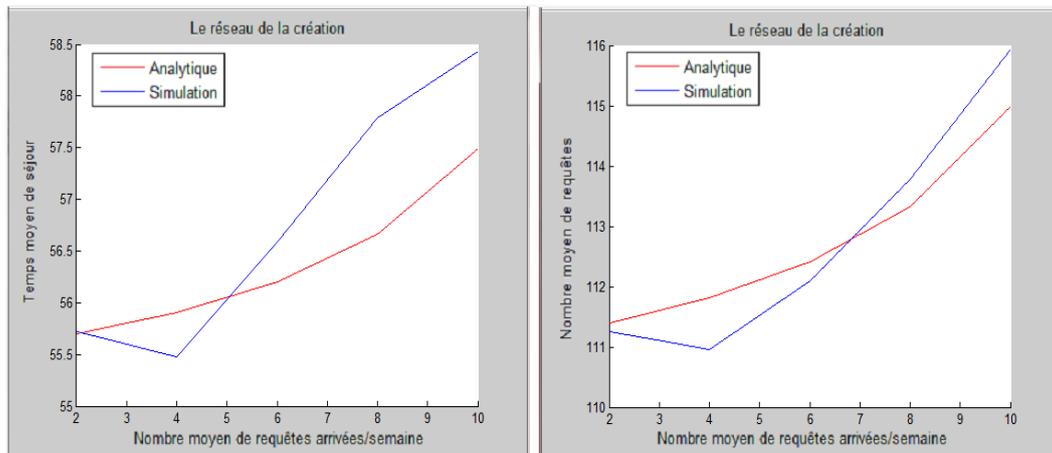


FIGURE 5.11 – Performances du réseau.

5.3.2 Le système de réparation

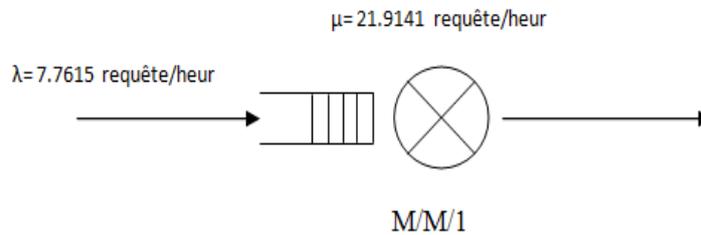


FIGURE 5.12 – La file d'attente associée à la résolution des incidents.

a. Etude analytique

Les performances du système de réparation sont calculées à l'aide des formules représentées dans la table 3.1.

Nous allons faire varier les taux d'arrivée des événements (incidents) comme dans le premier réseau, et ce, pour voir les performances du système de réparation en augmentant le taux d'arrivés.

	ρ	E(N)	E(L)	E(T)	E(W)	P ₀	P ₁₀₀
$\lambda = 2.8812$ $\mu = 21.9141$	0.1315	0.1514	0.0199	0.0525	0.0069	0.8685	$6.7818 \cdot 10^{-89}$
$\lambda = 7.7615$ $\mu = 21.9141$	0.3542	0.5484	0.1942	0.0707	0.0250	0.6458	$5.4319 \cdot 10^{-46}$
$\lambda = 8.0222$ $\mu = 21.9141$	0.3661	0.5775	0.2114	0.0720	0.0264	0.6339	$1.4521 \cdot 10^{-44}$
$\lambda = 8.3333$ $\mu = 21.9141$	0.3803	0.6136	0.2333	0.0736	0.0736	0.6197	$6.3799 \cdot 10^{-43}$
$\lambda = 11.8095$ $\mu = 21.9141$	0.5389	1.1687	0.6298	0.0990	0.0533	0.4611	$6.5254 \cdot 10^{-28}$

TABLE 5.5 – Les différentes mesures de performances associées à la file de table de shooting.

b. Application de la simulation

Nous avons aussi simulé ce système en faisant varier le taux d'arrivée des incidents, pour une durée de simulation $T_{max} = 1000$ heures. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

	E(N)	E(T)	E(L)	E(W)
$\lambda = 2.8812$ $\mu = 21.9141$	0.1480	0.0505	0	0.0049
$\lambda = 7.7615$ $\mu = 21.9141$	0.5286	0.0696	0	0.0240
$\lambda = 8.0222$ $\mu = 21.9141$	0.5653	0.0702	0	0.0245
$\lambda = 8.3333$ $\mu = 21.9141$	0.6117	0.0743	0	0.0286
$\lambda = 11.8095$	1.1332	0.0961	0	0.0505

FIGURE 5.13 – Simulation de la file de réparation.

c. Interprétation des résultats

Les résultats analytiques et de simulation montrent que le système de réparation résout parfaitement les incidents, et cela est bien prouvé par les performances, car la longueur de la file d'attente et le temps d'attente sont faibles.

On remarque toujours une légère différence entre les résultats analytiques et ceux la simulation. Cela est dû au caractère aléatoire de la simulation.

Les graphes représentant la variation des temps moyen de séjour, du nombre moyen de requêtes et du temps moyen d'attente en fonction du taux moyen d'entrée au système sont :

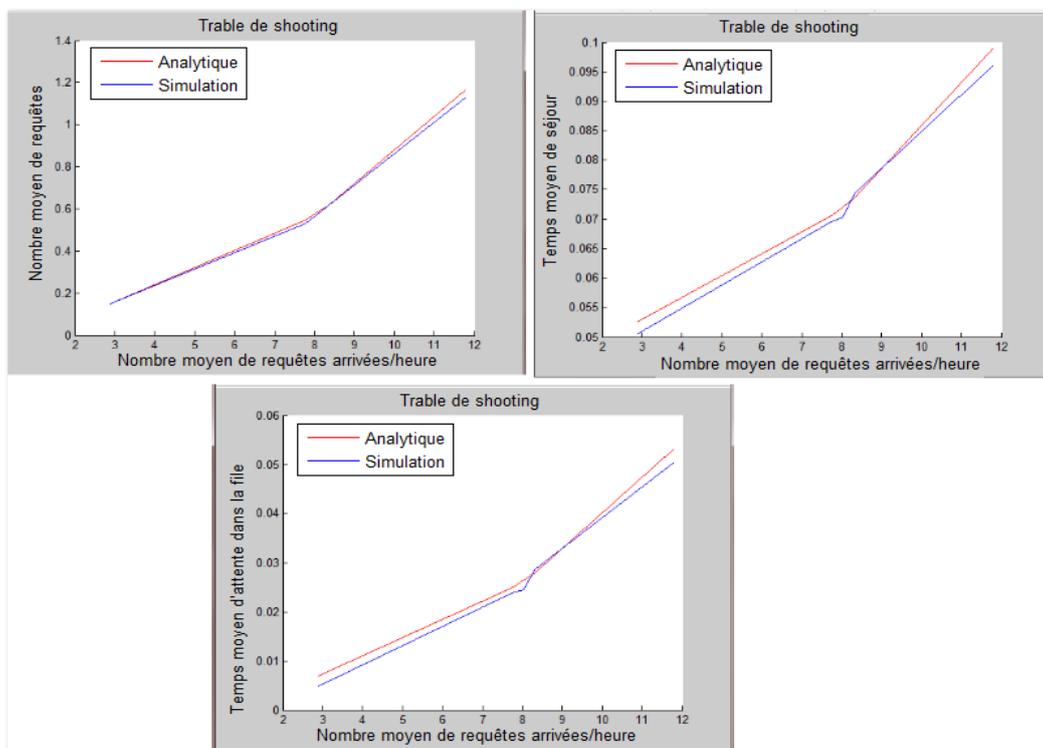


FIGURE 5.14 – Performances de la table de shooting.

5.4 Discussion des résultats obtenus

D'après les résultats de notre étude, nous pouvons conclure qu'ils se rapprochent du déroulement réel du processus de fonctionnement du Cloud d'ICOSNET ; ce qui nous amène à valider nos modèles. Aussi, les résultats de la simulation diffèrent légèrement des résultats analytiques, et ce, à cause du caractère aléatoire de la simulation. Ce qui conduit à la validation de notre modèle de la simulation, et nous donne ainsi la possibilité d'évaluer les performances dorénavant par la simulation, notamment lorsque les conditions des réseaux à forme produit ne sont pas vérifiées.

En analysant les résultats, on peut remarquer que : P_0 se rapproche de 1, tandis que P_n se rapproche de 0, cela signifie que nos processus (création, et supervision) sont fluides, et que nos serveurs arrivent à satisfaire largement les besoins des clients car les taux d'arrivée sont inférieurs aux taux de service.

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évalué les performances des modèles conçus par un calcul analytique, puis en utilisant la simulation. De même, nous avons fait une comparaison entre les deux types de calcul après avoir interprété les résultats obtenus.

Conclusion et Perspectives

Dans ce travail, nous avons procédé à l'étude du fonctionnement du Cloud, et dans ce sens l'étude d'un cas pratique est plus intéressant afin d'aboutir à des résultats réels. Pour cela, nous avons étudié la solution Cloud de l'entreprise ICOSNET. Durant notre stage, nous avons suivi la chaîne d'une demande de ressource d'un client depuis son arrivée jusqu'à son exploitation et sa supervision.

Durant notre modélisation, nous avons construit de deux modèles. Le premier est le processus de création de ressource et le deuxième est celui de la supervision. Nous avons par la suite proposé une modélisation par les réseaux de files d'attente, tel que le premier modèle représente un réseau de Jackson ouvert formé de trois files d'attente $M/M/1$ et deux files d'attente $M/M/s$, et le deuxième modèle est représenté par une file d'attente $M/M/1$; Une fois la modélisation finie, nous avons procédé à l'évaluation de leurs performances, et ce, analytiquement et par la simulation.

Les résultats obtenus à partir de notre étude reflètent bien la réalité constatée durant notre stage, ce qui nous a amené à valider nos modèles. Ainsi, nous remarquons bien que le processus de création est performant et il le restera malgré l'augmentation du nombre de clients dans le réseau. Cela se traduit par une bonne qualité et performance de leur services et de la prise en charge de leurs clients de façon à minimiser leur temps d'attente. De même, pour le deuxième processus est celui de la supervision qui surveille la disponibilité et les pannes des équipements physiques, et virtuel et les ressources des clients; Nous constatons depuis les résultats de notre étude que le système de résolution de panne est fluide et résoud toutes les pannes tout en veillant à la minimisation du temps d'attente, qui pourrait engendrer un mécontentement du client. Toutefois, il ne faut pas omettre que le volume d'incidents est trop important, cela est dû au trois types d'incidents (Warning, Unknown et Critical). Par ailleurs, il faut pas oublier que l'un des avantages du Cloud Computing est que malgré que l'équipement physique est en panne (serveur : disque, CPU et RAM), les ressources du client restent toujours disponibles et cela grâce à leurs deux méthodes de sauvegarde.

Le nombre de clients, individuels ou entreprises, montrent une crainte liée à l'investissement

dans des solutions Cloud. Notre étude sur le Cloud d'ICOSNET, divulgue une grande responsabilité de la manière dont ils prennent en charge le client de façon à satisfaire ses besoins et de respecter la confidentialité et la disponibilité de ses ressources.

Enfin, il semblerait intéressant d'élargir le périmètre de notre étude :

- La perspective d'étudier les performances de nos deux systèmes dans le cas non Markovien. Cela impliquera une récolte de données pour confirmer les lois à utiliser.
- Exploiter de nouvelles pistes comme les réseaux de files d'attente avec priorité, taille de la file d'attente limitée, avec perte de client ou d'autre cas particuliers, qui n'ont pas été remarqués durant notre stage mais qui surgiront avec l'arrivée des éventuels nouveaux services et clients.

Bibliographie

- [1] A. KOUBAA. Introduction à l'évaluation de performances des systèmes informatiques et de communication.LORIA-TRIO-INPL, 2004.
- [2] A. MARTEL. Techniques et applications de la recherche opérationnelle.Gaetan morin Ed, 2^{me} edition, 1979.
- [3] A. RUEGG. Processus stochastique avec application aux phénomènes d'attente et de fiabilité. Presses polytechniques Romandes,1989.
- [4] B. BAYNAT. Théorie des files d'attente, Hermès Ed, 2000.
- [5] B. BRAUNSCHWEIG. La simulation sur micro-ordinateur (Les modèles de dynamique des systèmes). Eyrolles Ed, 1998.
- [6] C. Develotte and M. Pothier. la notion de ressources à l'heure du numérique.ENS Ed, Lyon, 2004.
- [7] Q. Ltang et W. Xiangsui. Livre blanc : Cloud Computing et confidentialité Microsoft, Novembre 2009.
- [8] E. Gelenbe and G. Pujolle. Introduction aux réseaux de files d'attente.Eyrolles Ed, Paris, 1982.
- [9] G. Pujolle and S. Fdida. Modèles de systèmes et de réseau, volume 2. Eyrolles Ed, Paris, 1989.
- [10] G. Plouin. Cloud Computing et SaaS : Une rupture décisive pour l'informatique d'entreprise. Dunod Ed,2009.
- [11] G. Reese. Cloud application architectures : building applications and infrastructure in the cloud. Andy Oram Ed,2009.
- [12] G. Plouin. Cloud Computing sécurité, stratégie d'entreprise et panorama du marché. Dunod Ed,2013.
- [13] J.P. Briffant and F. Stéphan. Cloud Computing, évolution technologique, résolution des usagers. IOS Press,2008
- [14] J. Marc. Practical Guide to Cloud Service Level Agreements Version 1.0. Cloud Standards Customer Council. McGrawHill Ed,USA, 2012.

- [15] LIBVIRT. The Virtualization API, Terminology and Goals, <http://libvirt.org/goals.html>, 22/4/2010.
- [16] L. Schubert, K. Jeffery and B. Neidecker. The Future of Cloud Computing. Opportunities for European Cloud Computing Beyond. International Journal of Managing Information Technology (IJMIT), 2010.
- [17] L. Klenrock. Queueing Systems : Theory, volume1. John Wiley and Sons Ed, 1975.
- [18] O. Lekadir. Stabilité forte d'un réseau de Jackson à deux stations en tandem. Thèse de magister, Université Abderrahmane MIRA, Bejaia, Octobre 2001.
- [19] R. Faure. Processus stochastiques, leurs graphes, leurs usages. Paris, 1974.
- [20] R. S. Montero, I. M. Liorente, and I. Foster, Virtual infrastructure management in private and hybrid clouds, IEEE Internet Computing, September / October, 2009.
- [21] S. Fdida. and G. Pujolle. Modèles de systèmes et de réseau, volume 1. Eyrolles Ed, Paris, 1989.
- [22] S. Caicoya. J.G. Saury. Cloud computing : le guide complet,La découverte Ed, Paris, 2011.

Annexe 1

Présentation du simulateur

Nous avons conçu un simulateur à événements discrets adapté à notre réseau de files d'attente, développé par le langage MATLAB que nous avons trouvé le plus approprié en terme d'optimisation d'instructions de programmation grâce à la richesse de sa bibliothèque mathématique. Le simulateur a pour but d'évaluer les performances de notre système en étudiant son comportement en fonction de la variation des paramètres d'entrée et en fonction de la variation des lois des arrivées et de service.

Environnement MATLAB

MATLAB est un logiciel de calcul numérique produit par Math Works. Matlab est un langage simple et très efficace, optimisé pour le traitement des matrices, d'où son nom. Pour le calcul numérique, Matlab est beaucoup plus concis que les vieux langages (C, pascal, fortran, basic). On peut traiter la matrice comme une simple variable.

Matlab contient également une interface pratique puissante, ainsi qu'une grande variété d'algorithmes scientifiques. On peut enrichir Matlab en ajoutant des « boîtes à outils » (toolbox) qui sont des ensembles de fonctions supplémentaires, profilées des applications particulières (traitement des signaux, analyse statistique, optimisation, ...)

Événement aléatoire

Événement « arrivée »

Une arrivée est générée selon le processus stochastique qui caractérise le phénomène des arrivées dans le système. Dès qu'il y a arrivée d'un paquet vers le système. Il sera routé vers l'une des stations et le nombre de paquets présents dans le système sera incrémenté. La variable qui représente les durées d'inter-arrivées est notée par t_a .

Événement « fin de service »

Une arrivée est générée selon le processus stochastique qui caractérise le phénomène de service dans les stations. Dès qu'il y a fin de service d'un paquet, ce dernier sera routé vers l'une des stations ou vers la sortie du système, le nombre de paquets présents dans la station ou le système sera décrémenté et celui du nombre de paquets servis sera incrémenté. Le vecteur variable qui représente les durées de service est noté par T_s .

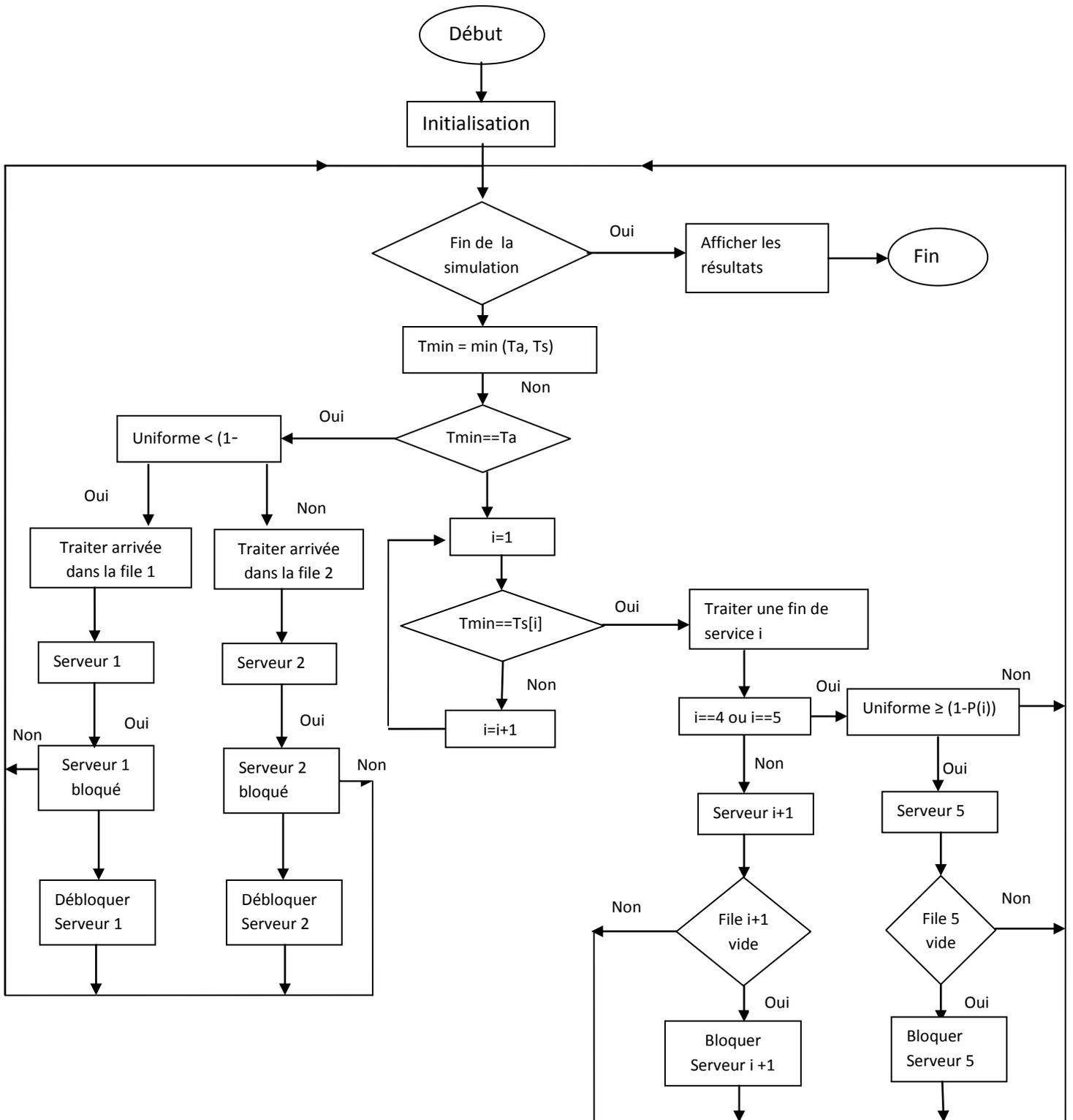
Organigramme du simulateur

Afin d'obtenir les performances du réseau de files d'attente, nous avons besoin des paramètres suivants :

- Durée de simulation : T_{min} .
- Taux d'arrivée : λ .
- Probabilités de routage inter-stations : P_{ij} .
- Des nombres aléatoires uniformes entre 0 et 1 : Uniforme.

Pour calculer les principaux indicateurs de performance :

- Le nombre moyen de paquets dans chaque station : $E(N_i)$.
- Le temps moyen de séjour d'une requête dans chaque station : $E(T_i)$.
- Le temps moyen d'attente d'une requête dans chaque station : $E(W_i)$.
- Le nombre moyen de paquets dans le système : $E(N)$.
- Le temps moyen de séjour d'une requête dans le système : $E(T)$.
- Le temps moyen d'attente d'une requête dans le système : $E(W)$.



Squelette de la simulation

Annexe 2

Présentation du logiciel EasyFit

EasyFit est un logiciel d'ajustage de distributions statistiques qui permet d'ajuster automatiquement les distributions aux données échantillon et de sélectionner le meilleur modèle, et ce grâce à trois tests qui sont : Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling et Khi-Carré. Il est conçu de façon à rendre l'analyse des données aussi facile que possible.

Principales fonctionnalités

Gestion : Toutes les informations concernant un produit sont stockées dans une base de données d'**EasyFit**. Ce programme permet de les visionner en sélectionnant la table qui les contient. Elles peuvent être exploitées à l'aide de requêtes graphiques.

Analyse : Lors du traitement des données, l'utilisateur peut faire appel aux fonctions de distributions contenues dans les ressources de ce programme. Une fois l'analyse terminée, les résultats sont affichés sur son interface principale sous forme de tableau.

Statistique : Des rapports de probabilités peuvent être générés à partir des différents traitements effectués dans **EasyFit**. Ceux-ci seront sous forme d'un graphe accompagné de tous les détails utiles comme la légende et les repères de mesures.

Avantages d'EasyFit:

- Fait gagné du temps: réduit votre temps d'analyses de 70 à 95% par rapport aux méthodes manuelles.
- Fait gagner de l'argent: empêche les erreurs d'analyses et vous aide à prendre de meilleures décisions.
- Assure la haute qualité de vos projets.
- Facile à apprendre et utiliser: ne demande que les connaissances de base de la statistique.

ANNEXE 3

Lexique sur le Cloud :

Dématérialisation : la dématérialisation des données consiste à stocker et à faire circuler des informations sans support matériel autre que des équipements informatiques.

Hardware : terme désignant l'ensemble des composants informatiques physiques d'un ordinateur employés pour le traitement des données, par opposition au software qui désigne l'ensemble des composants logiciels.

Logiciel libre : terme désignant l'ensemble des applications fournies avec leurs codes sources. Ces logiciels peuvent donc être adaptés en fonction de ses besoins propres. (Open Source)

Machine virtuelle : terme désignant la création de plusieurs environnements d'exécution sur un seul ordinateur physique.

Taux d'occupation : rapport entre le nombre de serveurs utilisés et le nombre total de serveurs d'un Datacenter.

Mainframe : peut désigner un principe d'architecture informatique où un ordinateur puissant centralise les données et les traitements d'un système d'information ; un ordinateur central fonctionnant selon ce modèle centralisé.

Les Ressources informatiques : sont des composants, matériels ou logiciels, connectés à un ordinateur. Tout composant de système interne est une ressource. Les ressources d'un système virtuel incluent les fichiers, les connexions au réseau, et les zones de mémoire.

Un pool : est un groupe de ressources de même type. Le pool est géré par un système qui peut donner l'accès aux ressources disponibles à un programme qui le demande. La demande est bloquante tant que toutes les ressources sont occupées.

Résumé

Issu du développement intégré des centres informatiques, des télécommunications et des terminaux fixes et mobiles, le Cloud Computing connaît aujourd'hui un déploiement rapide. Cette mutation s'accélère sous la pression des utilisateurs d'appareils mobiles et d'une politique de réduction des coûts des entreprises.

Notre travail a pour principal objectif d'étudier ce qui se cache derrière le paradigme du Cloud Computing. A cet effet, il est intéressant pour modéliser son fonctionnement d'étudier d'un cas pratique ; Ce qui nous ramène à étudier la solution Cloud de l'entreprise ICOSNET, qui est un Cloud privé interne avec une panoplie de services structurés sous une architecture SaaS ; Nous avons procédé à l'évaluation des performances de son fonctionnement dès la naissance d'une demande de client. Nous avons construit deux modèles : Le premier modèle est le processus de la création des ressources, qui est présenté par un réseau de Jackson à cinq stations. Le deuxième est le processus de la supervision, qui est modélisé par une station de résolution des incidents ; la solution de nos modèles est obtenue analytiquement et par la simulation. Les résultats obtenus reflètent bien la réalité constatée durant notre stage, ce qui confirme les performances de leurs services et la bonne prise en charge des clients, afin de satisfaire leurs désirs.

Mots clés : Cloud Computing ; Evaluation de performances ; Réseaux de files d'attente ; simulation.

Abstract

Based on the integrated development of computer center , telecommunications, fixed and mobile devices, today, cloud computing is experiencing a rapid deployment . this mutation accelerates under pressure from mobile users and a polical costs reduction of companies.

Our work is for main objective to studying what lies behind the cloud computing paradigm. For this effect, we have study the solution cloud of ICOSNET Company, which is an internal private cloud with a panoply of services structured under a SaaS architecture. We have evaluated his functional performance, from customer request birth. We built two models : the first model represent the creation of resources which is introduced by a network of Jackson on five stations. The second is the monitoring process that is modeled by a troubleshooting station ; the solution of these models is obtained analytically and by simulation. The results reflect the reality observed during our training period, which is accordance with the performance of their services and the good support of customers, in order to satisfy their desires.

Key words : Cloud Computing ; Performance Evaluation ; queuing networks ; simulation.
