

Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis

Projet de fin d'études

**EQUILIBRAGE DE TRAFIC PAR REPARTITION DE LA
CHARGE SUR DES NŒUDS DE COMMUTATION A
ATTENTE**

Réalisé par

HADJI Mohamed el Béhi

&

DHBAIBI Farhat

TS-télécommunications

Encadrés par

Mr.TORKHANI Abdelaziz

&

Mr.EL ABED Salem

2000-2001

Dédicaces

*A mon père qui m'a appris le sens de la responsabilité
Et la confiance en moi*
A ma mère qui a tout souffert sans me faire souffrir
A mes frères et mes sœurs
Qui se sont beaucoup sacrifiés pour me faire sourire
A la mémoire de ma sœur HOU'DA
A tous ce qui m'aiment
A tous ce qui j'aime
Je dédie ce mémoire

 *Mohamed*

EL Béhi

Dédicaces

À mes chers parents

À mes frères et sœurs

À tous mes amis

Je dédie ce mémoire

Farhat

Remerciements

A cette occasion nous tenons à remercier sincèrement nos encadreurs monsieur TORKHANI Abdelaziz et monsieur EL ABED Salem pour leurs aide et disponibilité tout au long de notre travail.

Nos remerciements sont adressés aussi à la direction de l'ISET' Com et à tous les enseignants qui ne cessent de conjuguer leurs effort afin de nous donner une formation solide.

Enfin, nous exprimons nos vifs remerciements aux membres du jury d'avoir accepter d'évaluer ce travail.

Dhibaibi Farhat

LL

HADJI Mohamed El Béhi

SOMMAIRE

Introduction générale et cahier de charges	4
Chapitre 1 : Trafic téléphonique	9
1. Introduction	9
2. Notions générales	9
2.1. Intensité de trafic	9
2.2. Taux d'efficacité	10
2.3. Variation de l'intensité de trafic	10
3. Flux de trafic	11
4. Processus d'arrivée des appels	12
5. Traitement des appels perdus	12
5.1. Système à appels perdus	12
5.2. Système avec attente	14
6. Groupements	14
Chapitre 2 : Architecture des réseaux et techniques de routage	17
1. Introduction	17
2. Topologie des réseaux	17
2.1. Réseau en étoile	17
2.2. Réseau maillé	18
2.3. Réseau linéaire	19
2.4. Réseau bouclé	20
3. Techniques de routage	20
3.1. Routage fixe	21
3.2. Routage dynamique	21
3.3. Stratégies de routage dynamique	21
3.3.1. Emplacement du système de traitement	21
3.3.2. Type d'information utilisée	21
3.4. Exemples de routage dynamique	22

3.4.1. Routage dynamique non-hierarchisé (DNHR)	22
3.4.2. Routage dynamique adaptatif	23
Chapitre 3 :Modélisation du Nœud de Tunis et dimensionnement du système	25
1. Introduction	25
2. Théorie de trafic et modélisation des systèmes	26
3. Présentation des travaux de modélisation du Nœud 110	26
3.1. Modèle de traitement adopté	27
3.2. Processus d'arrivée des appels	28
3.3. Accessibilité totale du système de commutation	28
3.4. Présentation des sources d'appels et des ressources	29
3.4.1. Les sources d'appels	29
3.4.2. Les ressources	29
3.4.3. Facteur de comparaison	29
4. Modèle et critères d'optimisation	30
5. Système d'aide à la décision	31
Chapitre 4 : Plate-forme centre d'appels : architecture et modélisation du réseau	34
1. Introduction	34
2. Présentation de la plate-forme centre d'appels	34
2.1. Architecture de Cluster	34
3. Topologie et architecture du réseau	36
3.1. Architecture logique	36
3.2. Topologie et architecture logique	36
3.3. Protocole de signalisation entre les Nœuds	37
4. Modélisation du réseau	38
4.1. Modèle d'un Nœud dans le réseau	38
4.2. Modèle du réseau	40
Chapitre 5 : Prédiction du trafic et modélisation des erreurs	43
1. Introduction	43
2. Technique de prédiction de trafic	43
2.1. Mécanismes de prédiction	43
2.2. Cas de trafic stationnaire	44

2.3.Cas de trafic non stationnaire	45
3. Modélisation des erreurs de prédition de trafic	45
Chapitre 6 : Modèle définitif et dimensionnement du réseau	48
1. Introduction	48
2. Présentation du modèle définitif	48
3. Paramètres additionnels rattachés au système	51
4. Dimensionnement du réseau	52
4.1. Principe du dimensionnement	52
4.2. Algorithme de dimensionnement	52
Conclusion	56
Bibliographie	58

Introduction générale et cahier de charges

1. INTRODUCTION

La plate-forme Call Center qu'on se propose de modéliser est baptisée autour de quatre Nœuds de commutation à attente.

Chaque Nœud intègre un commutateur équipé d'un ACD (Automatic Call Distributor) et d'une interface 10/100 Base T pour assurer le couplage CTI (Computer Telephony Integration).

2. MODELE ADOpte POUR LE NŒUD 110 DE TUNIS

Des travaux de modélisation du Nœud 110 de Tunis, qui ont été élaborés dans le cadre d'un projet de fin d'études au Sup'Com 98/99 par l'élève F. B. Younes sous la responsabilité de Monsieur Torkhani Abdelaziz, ont aboutit de retenir le modèle d'Erlang à attente.

Dans le cadre du présent projet, on profitera de ces travaux pour pouvoir modéliser l'ensemble des Nœuds 110 afin de pouvoir dimensionner et équilibrer le trafic d'une manière efficace.

3. TOPOLOGIE ET ARCHITECTURE DU RESEAU ADOPTÉES PAR TUNISIE TELECOM

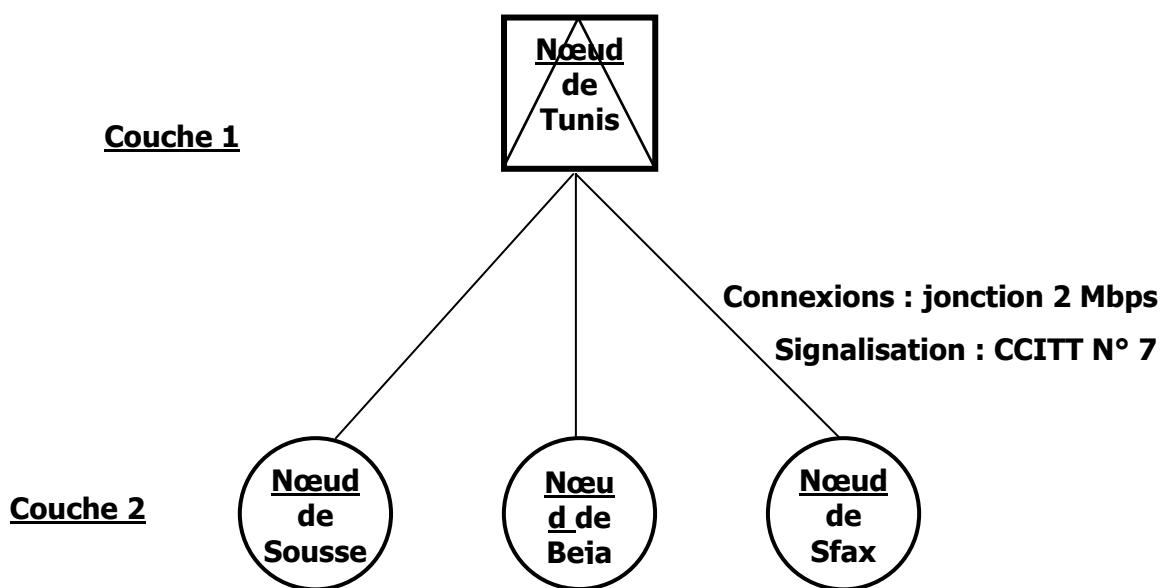
Tunisie Télécom a adopté une architecture optimale qui s'articule autour des approches suivantes :

Approche logique :

Chaque Nœud est connecté logiquement à tous les autres Nœuds en vue d'échanger le trafic entre eux.

Approche physique :

- Réseau Hiérarchisé
- Réseau à deux couches
- Architecture compatible avec la plate-forme réseau informatique implémenté au niveau des Nœuds 110
- Routage dynamique ou adaptatif entre les Nœuds du réseau (Call Center Platform)
- Equilibrage de trafic par répartition (ou partage) de la charge entre les Nœuds en vue de minimiser le nombre de ressources (agents) d'une part et d'améliorer les performances de la plate-forme par la minimisation du temps d'attente d'autre part.



4. TRAVAIL DEMANDE

Elaboration d'un modèle robuste du réseau constitué par les quatre Nœuds à attentes (Call Center Platform) qui servira principalement à :

- Dimensionner la plate-forme Call Center.
- Optimiser le système par minimisation du nombre de ressources d'une part et d'autre part améliorer les performances du système, par minimisation du temps d'attente.

Chapitre 1

Trafic téléphonique

1. Introduction
2. Notions générales
 - 2.1. Intensité de trafic
 - 2.2. Taux d'efficacité
 - 2.3. Variation de l'intensité de trafic
3. Flux de trafic
4. Processus d'arrivée des appels
5. Traitement des appels perdus
 - 5.1. Système à appels perdus
 - 5.2. Système avec attente
6. Groupements

Trafic téléphonique

1. INTRODUCTION

La gestion de trafic a une importance capitale, d'une part pour les opérateurs de télécommunication (optimisation du réseau), et d'autre part pour les abonnés (qualité de service offerte).

Nous présentons dans ce chapitre quelques notions importantes portant sur le trafic et les différents concepts qui lui sont rattachés.

2. NOTIONS GENERALES

2.1. Intensité de trafic

L'intensité de trafic, désignée plus couramment sous le nom de *trafic*, peut être définie comme étant :

- Le quotient entre la période de temps durant laquelle un équipement est occupé et le temps total d'observation de cet équipement.
- Le nombre d'organes occupés simultanément dans un groupe d'organes.

- Le produit du nombre d'appels / unité de temps et le temps moyen d'occupation par organe.

$$\mathbf{A} = \mathbf{Y} * \mathbf{S}$$

A : intensité du trafic.

Y : intensité des appels (nombre d'appels / unité de temps).

S : durée moyenne d'un appel.

2.2. Taux d'efficacité

C'est une notion qualitative de l'écoulement de trafic qui permet de déterminer le degré d'efficacité du réseau.

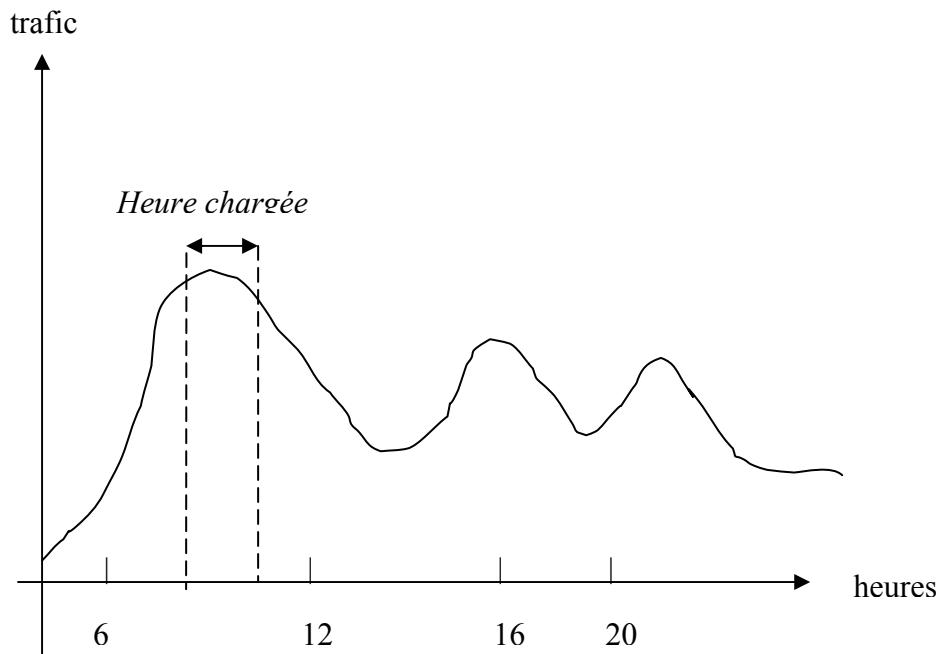
Le taux d'efficacité, noté r , est défini comme suit :

$$r = \frac{\text{Nombre d'appels efficaces}}{\text{Nombre total de tentatives d'appels}}$$

On dit qu'un appel est efficace si la communication entre demandeur et demandé est établie (il donne donc lieu à taxation).

2.3. Variation de l'intensité de trafic : notion de l'heure chargée

En observant, au cours d'une journée normale, le nombre de communications en cours, et notant ces résultats sur un graphe, on obtient généralement une courbe ayant l'allure de la figure ci-dessous :



On remarque une répartition inégale de trafic le long de la journée avec un pic en fin de matinée (heures d'activité).

On désigne, alors, sous le nom de *l'heure chargée*, la période de soixante minutes successives pendant laquelle le volume du trafic est le plus important.

3. FLUX DE TRAFIC

On distingue trois notions de base :

Trafic offert (A)

Le trafic offert représente le taux de demandes de services par les abonnés.

Trafic écoulé (Ac)

Le trafic écoulé désigne l'ensemble des appels écoulés.

Trafic perdu (Ap)

C'est le taux de demandes de services rejetées (non écoulées).

4. PROCESSUS D'ARRIVEE DES APPELS

Il permet de décrire comment les appels se présentent. De manière courante, on utilise *le processus de poisson* pour décrire l'arrivée des appels. C'est le cas le plus simple et qui correspond bien à la réalité dans la plupart des cas.

L'arrivée des appels suit une loi de probabilité exponentielle négative de paramètre λ définie comme suit :

$$g(t) = e^{-\lambda t}$$

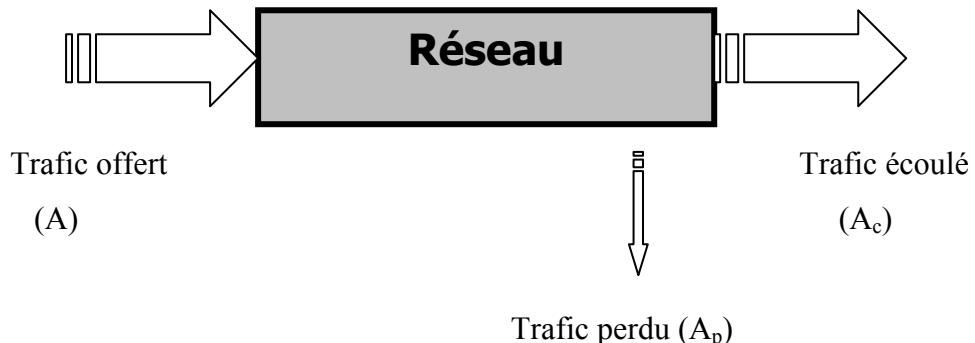
avec $1/\lambda = S$, durée d'occupation moyenne d'un appel.

5. TRAITEMENT DES APPELS PERDUS

On distingue deux systèmes différents :

5.1. Système à appels perdus

Un appel qui se présente lorsque tous les organes sont occupés est rejeté et on suppose qu'il ne se présente pas de nouveau.



Première formule d'Erlang

Considérons un ensemble de 'n' organes auquel on offre un trafic 'A' et qui fonctionne avec perte.

On suppose que les appels sont pris dans l'ordre où ils apparaissent et que les abonnés ne renouvellent pas leurs appels après échec (processus ordonné et sans mémoire de Poisson).

La probabilité pour que tous les organes soient occupés, et donc un appel qui se présente sera rejeté est donnée par *la première formule d'Erlang* $E_{1(n,A)}$, tel que :

$$E_{1(n,A)} = \frac{A^n / n!}{\sum A^i / i!}$$

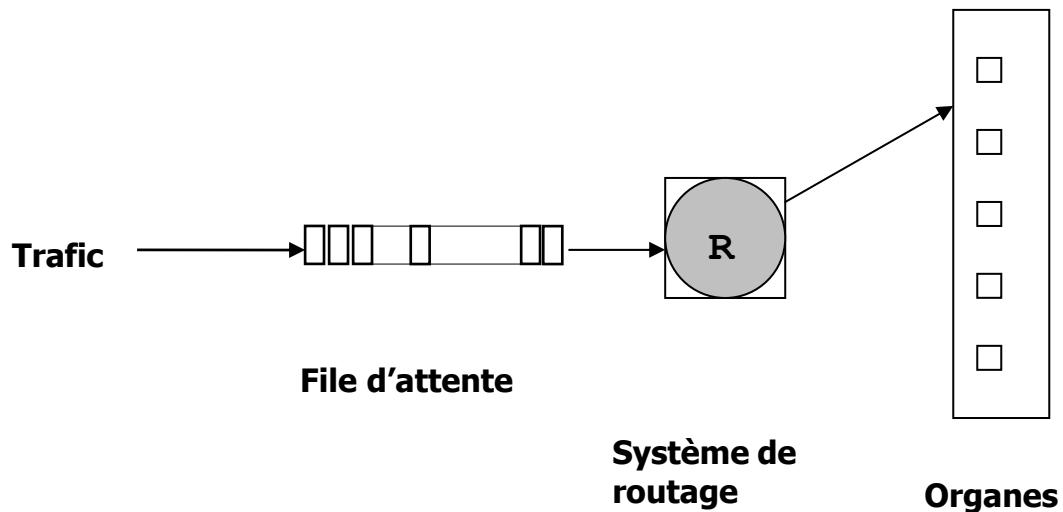
$E_{1(n,A)}$: probabilité de congestion

n : nombre d'organes

A : trafic offert

5.2. Système avec attente

Dans un système à délai d'attente, un appel qui se présente lorsque tous les organes sont occupés n'est pas perdu, mais mis en attente jusqu'à ce qu'il soit écoulé.



On définit donc, pour ce système, deux notions importantes : *la probabilité d'attente et la durée moyenne d'attente*.

Ces deux critères seront présentés avec plus de détails dans les chapitres suivants.

6. GROUPEMENTS

La connexion entre les points d'entrée et les points de sortie peut être réalisée avec accessibilité totale ou avec multiplage partiel.

- **Groupement à accessibilité totale**

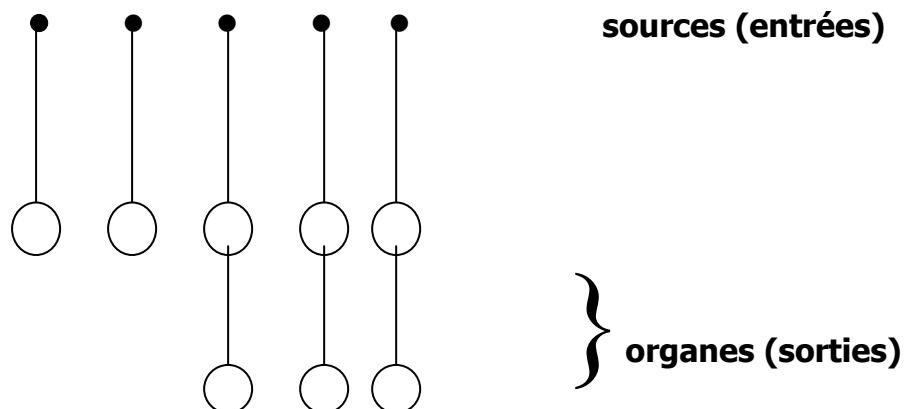
0-0-0-.....-0 → □ □ □□

N sources

n organes

Chaque entrée libre peut trouver un chemin vers une sortie (organe) libre et un appel provenant d'une source peut être traité par n'importe quel organe.

- **Groupement à multiplage partiel**



Dans ce cas, une source ne peut atteindre qu'un nombre limité d'organes.

Chapitre 2

Architecture des réseaux et techniques de routage

1. Introduction
2. Topologie des réseaux
 - 2.1. Réseau en étoile
 - 2.2. Réseau maillé
 - 2.3. Réseau linéaire
 - 2.4. Réseau bouclé
3. Techniques de routage
 - 3.1. Routage fixe
 - 3.2. Routage dynamique
 - 3.3. stratégies de routage dynamique
 - 3.3.1. Emplacement du système de traitement
 - 3.3.2. Type d'information utilisée
 - 3.4. Exemples de routage dynamique
 - 3.4.1. Routage dynamique non-hierarchique (DNHR)
 - 3.4.2. Routage dynamique adaptatif

Architecture des réseaux et techniques de routage

1. INTRODUCTION

Plusieurs paramètres permettent de distinguer les différents types de réseaux (mode de fonctionnement, architecture, capacité...) dont dépend le fonctionnement, la fiabilité et la qualité de chaque réseau.

Dans ce chapitre nous présentons les principales topologies (implantations géographiques) et nous décrivons la fonction routage qui joue un rôle fondamental dans les réseaux à commutation de circuits d'aujourd'hui.

2. TOPOLOGIES DES RESEAUX

L’interconnexion de plusieurs points dans un réseau peut être réalisée par plusieurs topologies dont les principales sont :

2.1. Réseau en étoile

Il est organisé autour d’un nœud central, qui assure en général une fonction de commutation permettant de mettre les terminaux en relation entre eux ou avec l’extérieur. L’exemple le plus classique est celui du réseau d’abonnés au téléphone: de quelques centaines

à plusieurs milliers d'abonnés sont raccordés à un autocommutateur chacun par sa propre paire téléphonique. De même pour les réseaux informatiques centralisés traditionnels, où les terminaux ne sont reliés qu'à l'ordinateur central.

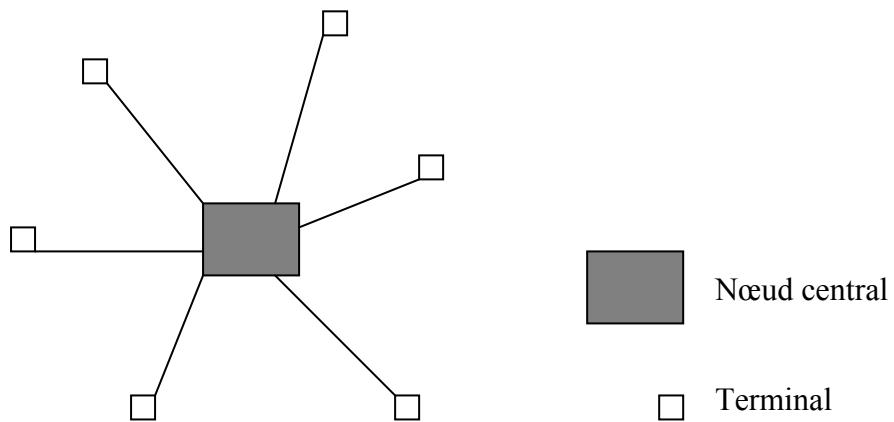


Fig2.1 Réseau en étoile

2.2 Réseau maillé

En théorie, dans un réseau totalement maillé, chaque nœud serait directement raccordé à tous les autres nœuds. Ce n'est pas économiquement praticable, on met donc en œuvre des architectures à niveaux multiples, d'où l'importance de la fonction de routage dans ces réseaux.

Par exemple, le réseau téléphonique interurbain reliant les autocommutateurs de transit est intermédiaire entre un réseau totalement maillé et un réseau hiérarchique à plusieurs niveaux (secondaire, principal, international), de capacités de commutation et de transmission croissantes.

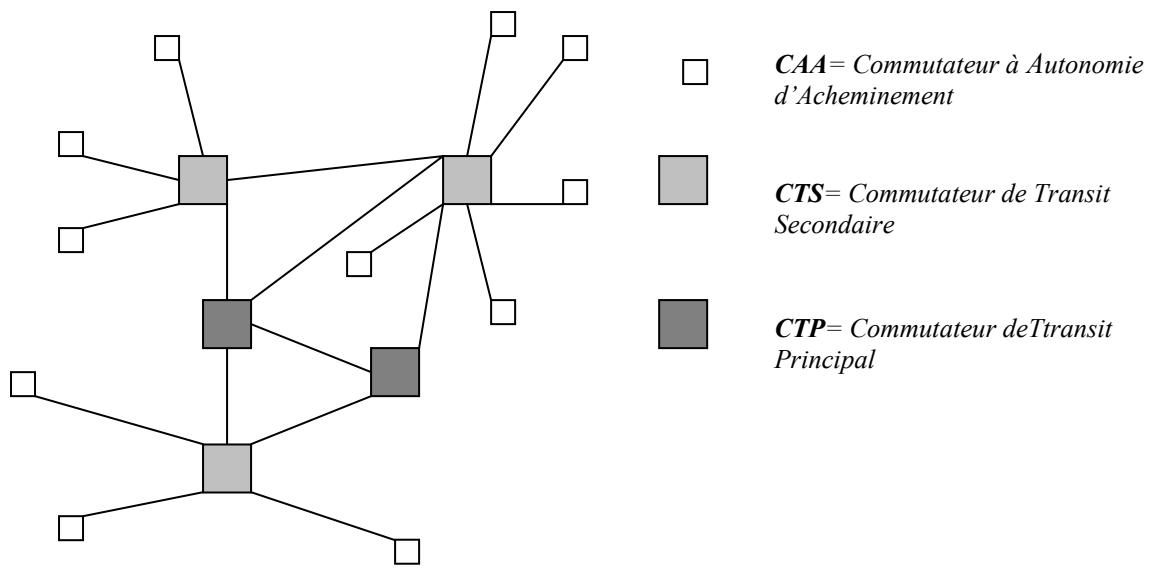


Fig2.2 Réseau maillé (exemple du réseau téléphonique interurbain)

2.3 Réseau linéaire

Dans ce cas, un seul faisceau est accessible par tous les nœuds du réseau. Les communications peuvent être réalisées par multiplexage fréquentiel ou temporel.

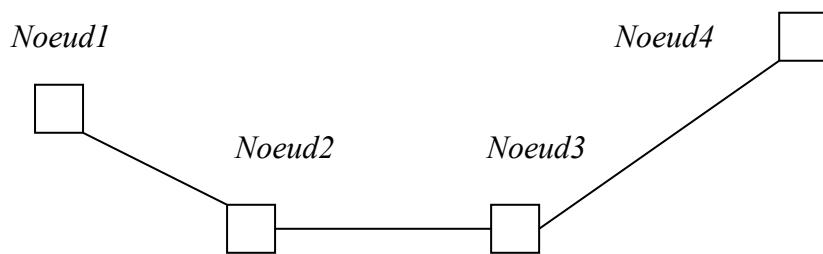


Fig2.3 Réseau linéaire

2.4 Réseau bouclé

Le réseau bouclé n'est autre qu'un réseau linéaire fermé sur lui même, comme l'indique la figure suivante :

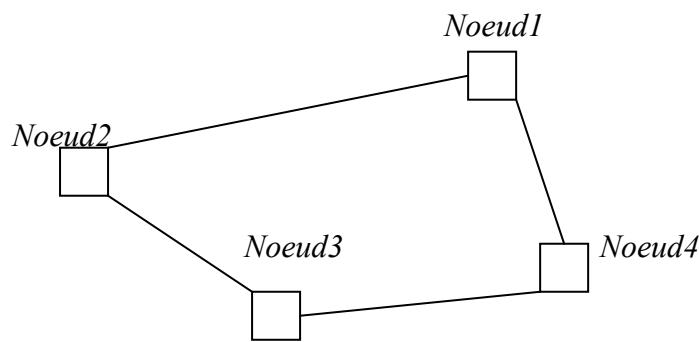


Fig2.4 Réseau bouclé

Remarque :

Les réseaux commutés permettent de relier plusieurs terminaux et autorisent un grand nombre de communications simultanées. Le plus important est évidemment le réseau téléphonique commuté (RTC).

Ce mode est sans doute plus complexe et nécessite donc une fonction permettant de diriger le trafic d'une source vers une destination bien déterminée : *c'est la fonction de routage.*

3.TECHNIQUES DE ROUTAGE DYNAMIQUE

La fonction de routage permet d'assurer la recherche, l'établissement, le maintien puis la libération d'un itinéraire à travers le réseau.

3.1 Routage fixe :

Le routage fixe ou classique est une technique qui permet de router le trafic indépendamment de l'état du réseau. Il n'implique pratiquement aucune activité du temps réel. Il est basé sur des prévisions fixées à l'avance dans les entités de calcul.

3.2 Routage dynamique :

A la différence du routage fixe, le routage dynamique choisit les routes en se basant sur les informations de l'état du réseau.

3.3 Stratégies de routage dynamique :

On distingue deux stratégies importantes :

3.3.1. Emplacement du système de traitement

La fonction routage peut être centralisée ou décentralisée (distribuée). Pour une implémentation centralisée, une seule entité est responsable d'exécuter tous les calculs de routage, tandis que la décentralisation exige la répartition des entités de calcul sur tout le réseau.

3.3.2. Type d'information utilisée pour prendre des décisions de routage

D'une part, l'information d'état du réseau impliquée dans la fonction de routage peut être celle de l'heure où la demande du trafic a eu lieu : c'est un routage dépendant du temps.

D'autre part, les données de routage peuvent rester fixes pendant un intervalle de temps constant (par exemple une heure) et la fonction de routage sera donc pilotée par

l’information d’état actuel du réseau : c’est ce qu’on appelle traditionnellement *routage adaptatif*.

3.4. Exemples de routage dynamique

En tenant compte des stratégies présentées, le routage dynamique peut être classé en trois groupes comme le montre le tableau suivant :

	Centralisé	Décentralisé
Adaptatif	Routage temps réel (RTNR)	Routage dynamique adaptatif (DAR)
Dépendant du temps	Routage dynamique Non-hierarchisé (DNHR)	

Tab. Classification de routage dynamique

3.4.1. Routage dynamique non-hierarchisé (DNHR)

C'est un système de routage centralisé utilisant la signalisation sur voie commune « CCS » pour rassembler et distribuer les informations de routage entre les nœuds. Ce système a été présenté depuis 1987 par AT&T(America Telephone and Telegraph).

Chaque nœud du réseau non hiérarchisé maintient une table de routes de débordements au cas où le lien direct entre la source et la destination serait indisponible, les voies sont essayées par ordre de leurs positions dans la table de routage jusqu'à ce qu'on puisse trouver une voie libre.

3.4.2. Routage dynamique adaptatif :

Il a été mis en application dans le réseau téléphonique commuté de British Telecom et adapté aussi par la compagnie Bell Canada.

Cette technique consiste à choisir une route de débordement en utilisant des informations locales sur les changements d'état des circuits départ afin de déterminer la possibilité d'aboutir au moyen de ces routes.

Chapitre 3

Modélisation du Nœud de Tunis et dimensionnement du système

1. Introduction
2. Théorie de trafic et modélisation des systèmes
3. Présentation des travaux de modélisation du Nœud 110
 - 3.1. Modèle de traitement adapté
 - 3.2. Processus d'arrivée des appels
 - 3.3. Accessibilité totale du système de commutation
 - 3.4. Présentation des sources d'appels et des ressources
 - 3.4.1. Les sources d'appels
 - 3.4.2. les ressources
 - 3.4.3. Facteur de comparaison
4. Modèle et critères d'optimisation
5. Système d'aide à la décision

Modélisation du Nœud de Tunis et Dimensionnement du Système

1. INTRODUCTION

Les travaux de modélisation du Nœud 110 de Tunis en tant que centre d'appels ont été élaborés dans le cadre du projet de fin d'étude réalisé au Sup'Com par l'élève F. Ben Younes au cours de l'année 98/99.

Egalement, le modèle adopté a été amélioré au niveau du centre 110 par la considération de paramètres additionnels ainsi que la corrélation entre ces paramètres qui se présentent sous forme de variations relatives et cela en vue d'approcher de la réalité physique.

On se propose dans ce chapitre de présenter ces travaux de modélisation et la méthodologie adoptée pour le dimensionnement du système pour pouvoir gérer le trafic 110 d'une manière économiquement optimale.

Dans une deuxième approche, on profitera de ces travaux pour pouvoir modéliser dans le chapitre suivant l'ensemble des Nœuds 110 afin de pouvoir dimensionner et équilibrer le trafic d'une manière efficace et optimale.

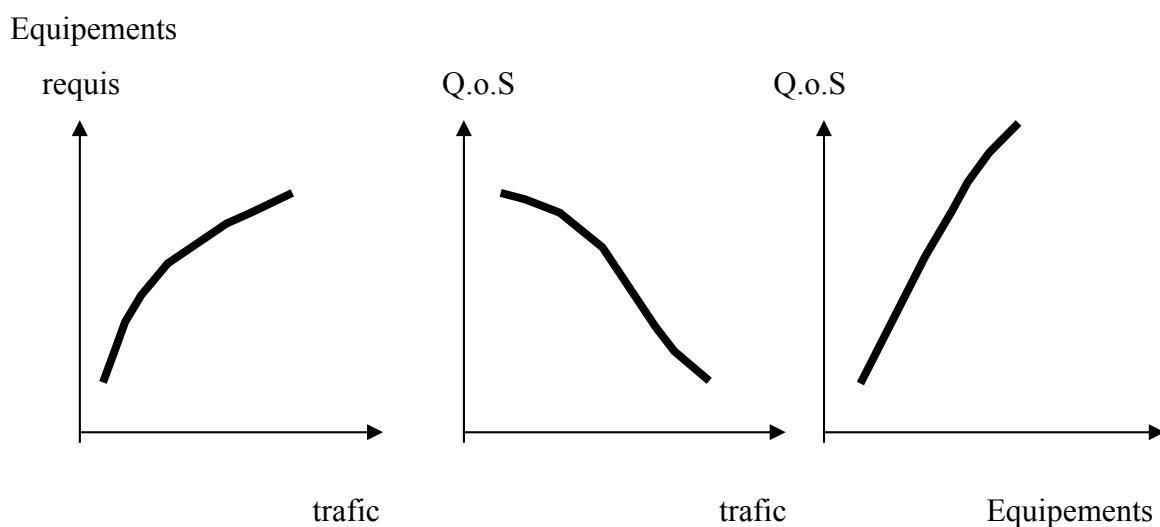
2. THEORIE DE TRAFIC ET MODELISATION DES SYSTEMES

Le rôle fondamental de la théorie de trafic est de fournir des modèles mathématiques dans le but d'assurer les fonctions suivantes :

- Rendre le trafic mesurable
- Permettre d'estimer le trafic
- Calculer la corrélation entre la qualité de service (Q.o.S) et la capacité d'un système.

En règles générales, un modèle conceptuel doit être simple et proche de la réalité d'une part et évolutif d'autre part.

A titre d'exemple, on présente une approche qualitative qui est valable pour décrire la dépendance des grandeurs rattachées aux systèmes des télécommunications.



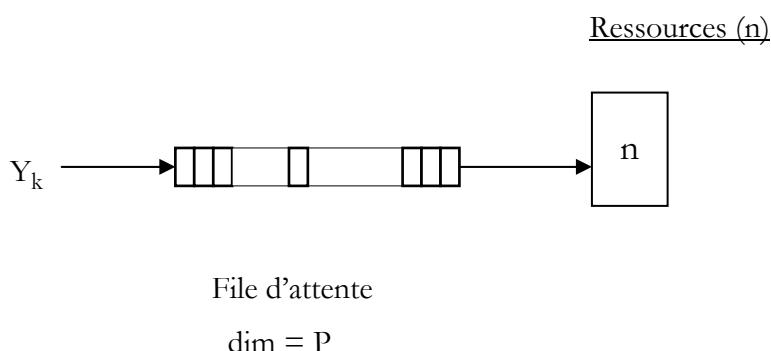
3. PRESENTATION DES TRAVAUX DE MODELISATION DU NŒUD 110

Le Nœud 110 de Tunis assure actuellement le traitement d'appels en provenance de 450.000 abonnés du réseau fixe et de 110.000 abonnés GSM et RTM (norme NMT 450).

3.1. Modèle de traitement adopté

Un appel qui arrive lorsque toutes les ressources sont prises sera routé vers une file d'attente de dimension P .

Modèle :



avec Y_k : Intensité d'appels, elle désigne le nombre d'appels / unité de temps

L'algorithme de routage à partir de la file d'attente vers les ressources a été optimisé dans le but d'équilibrer la charge sur les ressources dans le sens d'avoir un rendement par agent (r_1) constant.

$$r_1 = r_2 = \dots = r_i = \dots = r_n = r = Ac/n$$

Les termes Ac et n désignent respectivement le trafic écoulé et le nombre de ressources.

De point de vue traitement et calcul, cet algorithme a été considéré, à l'équilibre statistique, de la même manière que l'algorithme de routage au hasard. Ce modèle a été vérifié par des résultats expérimentaux et la convergence est rapide pour Y_k supérieure à 400 appels par heure.

La discipline de service ou le processus de gestion de la file d'attente adopté au niveau du fonctionnement réel du système est le FIFO (First In, First Out)

3.2. Processus d'arrivé d'appels

Des considérations expérimentales ont permis de retenir le modèle d'Erlang pour représenter l'arrivée d'appels.

Ce modèle peut être représenté par une suite de lois exponentielles, cette distribution est connue sous le nom de distribution de Poisson de paramètre λ .

En particulier, la distribution d'Erlang k de taux λ est une somme de k distributions exponentielles de taux λ/k .

De ce fait, la distribution de probabilité est définie par :

$$f_k(t) = \frac{\lambda^k t^{k-1} e^{-\lambda t}}{(k-1)!}$$

3.3. Accessibilité totale du système de commutation

Le système physique vérifie la condition d'accessibilité totale, cela désigne que n'importe quelle entrée libre prise peut aboutir à une sortie lui permettant d'atteindre une ressource finale en transitant par la file d'attente.

La condition d'accessibilité est offerte par le réseau de connexion qui constitue un module de base du système de commutation temporelle employé au niveau du centre d'appels.

3.4. Présentation des sources d'appels et des ressources

3.4.1. Les sources d'appels

Les sources d'appels sont identifiées par le nombre d'abonnés N qui est de l'ordre de 560.000 et qui peuvent demander le service suivant la loi d'Erlang déjà exposée.

3.4.2. Les ressources :

Les ressources sont constituées par les agents du centre d'appels pouvant fournir le service à la clientèle de Tunisie Telecom.

Dans un sens abstrait, les ressources sont identifiées par le couple (n, S) dont les termes désignent respectivement le nombre de ressources et la durée moyenne de traitement d'un appel ou de prise d'une ressource.

3.4.3. Facteur de comparaison

Il est à noter que l'ordre de grandeur des sources et des organes est le suivant :

- Le nombre de sources 'N' est de l'ordre de 560,000
- Le nombre de ressources 'n' est de l'ordre de 20

Le modèle adopté a été également basé sur l'approche d'Erlang pour l'ordre de grandeur entre N et n qui permet de considérer N comme étant infini et cela relativement au nombre de ressources n .

4. MODELE ET CRITERES D'OPTIMISATION

En se référant aux éléments du modèle qui vérifient fortement le modèle d'Erlang à attente, on définit dans ce cadre les éléments suivants :

- La probabilité D pour qu'un appel se mette en attente est égale à la probabilité lorsque toutes les ressources sont prises, cette probabilité est donnée par la relation suivante :

$$(A^n / n!) \cdot n / (n - A)$$

$$D_{(n,A)} = E_{2(n,A)} = \frac{(A^n / n!) \cdot n / (n - A)}{\sum A^i / i! + (A^n / n!) \cdot n / (n - A)}$$

$D_{(n,A)}$ peut être exprimé en fonction de la première formule d'Erlang, $E_{1(n,A)}$, comme suit :

$$D_{(n,A)} = \frac{n \cdot E_{1(n,A)}}{n - A (1 - E_{1(n,A)})}$$

- La probabilité $P(w > T_0)$ pour qu'un appel se mette en attente pour une durée supérieure à T_0 est exprimée comme suit :

$$P(w > T_0) = E_{2(n,A)} \exp \left(- \frac{T_0 \cdot (n - A)}{S_m} \right)$$

S_m : durée moyenne de traitement ou de prise d'une ressource finale.

A : trafic offert.

T_0 : temps d'attente.

n : nombre de ressources de traitement

CONCLUSION :

Le critère d'optimisation est exprimé par la probabilité P ($w > T_0$), ce critère nous permet de dimensionner le Nœud sur les bases des paramètres du vecteur suivant :

Vecteur optimisant :

(*Trafic A, Probabilité P(w > To), Temps d'attente To, Durée moyenne de prise Sm*)

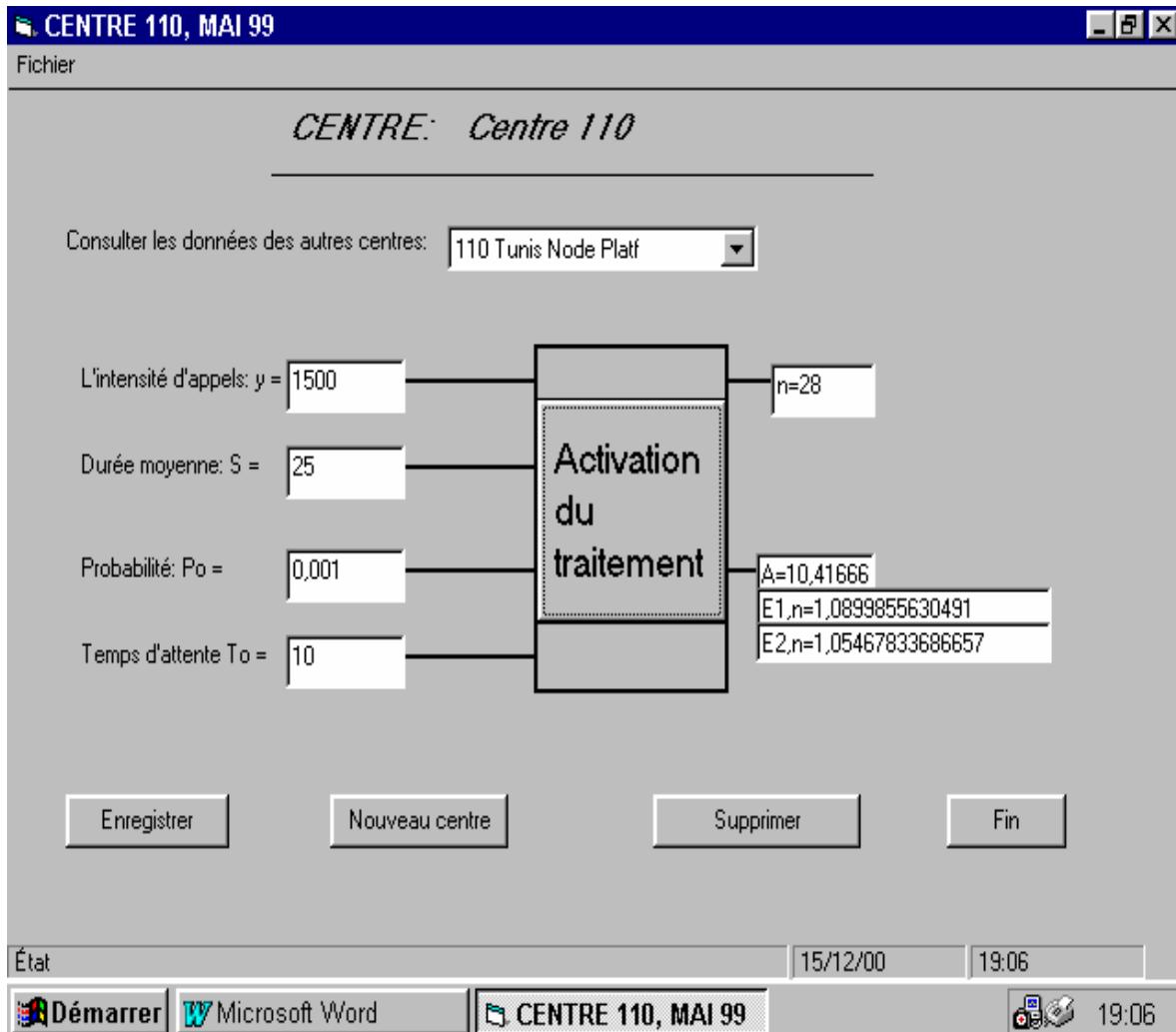
Le dimensionnement du Nœud désigne la détermination du nombre minimal de ressources selon les paramètres d'exploitation du système.

5. SYSTEME D'AIDE A LA DECISION

Cet outil logiciel a été développé au centre 110 dans le but d'automatiser le dimensionnement du système face à la complexité de l'algorithme de dimensionnement de point de vue calcul.

La conception de cet outil est basée sur le modèle conceptuel de traitement, de même il permet de traiter les plates-formes similaires sans aucune difficulté de mise en œuvre.

En conclusion, cet outil constitue un système d'aide à la décision capable de permettre la gestion et le dimensionnement des plates-formes qui obéissent au même modèle indépendamment des paramètres d'exploitation.



Chapitre 4

Plate-forme centre d'appels : architecture et modélisation du réseau

1. Introduction
2. Présentation de la plate-forme Centre d'appels
 - 2.1. Architecture de Cluster
3. Topologie et architecture du réseau
 - 3.1. Architecture logique
 - 3.2. Topologie et architecture logique
 - 3.3. Protocole de signalisation entre les Nœuds
4. Modélisation du réseau
 - 4.1. Modèle d'un Nœud dans le réseau
 - 4.2. Modèle du réseau

Plate-forme centre d'appels : architecture et modélisation du réseau

1. INTRODUCTION

On présentera dans ce chapitre la plate-forme Centre d'Appels (Call Center platform) que Tunisie Télécom compte introduire au niveau du système 110 National.

En particulier, on introduit l'architecture réseau optimale qui constitue un point fort de la plate-forme et on essayera d'étudier cette architecture .

Egalement, on présentera un modèle conceptuel de la plate-forme Centre d'Appels qui s'identifie au réseau. Ce modèle nous permet d'équilibrer le trafic entre les Nœuds de la plate-forme. Cette modélisation se base sur le processus de traitement afflux de trafic et de ce fait elle repose sur la modélisation d'un Nœud au sein du réseau.

2. PRESENTATION DE LA PLATE-FORME CENTRE D'APPELS

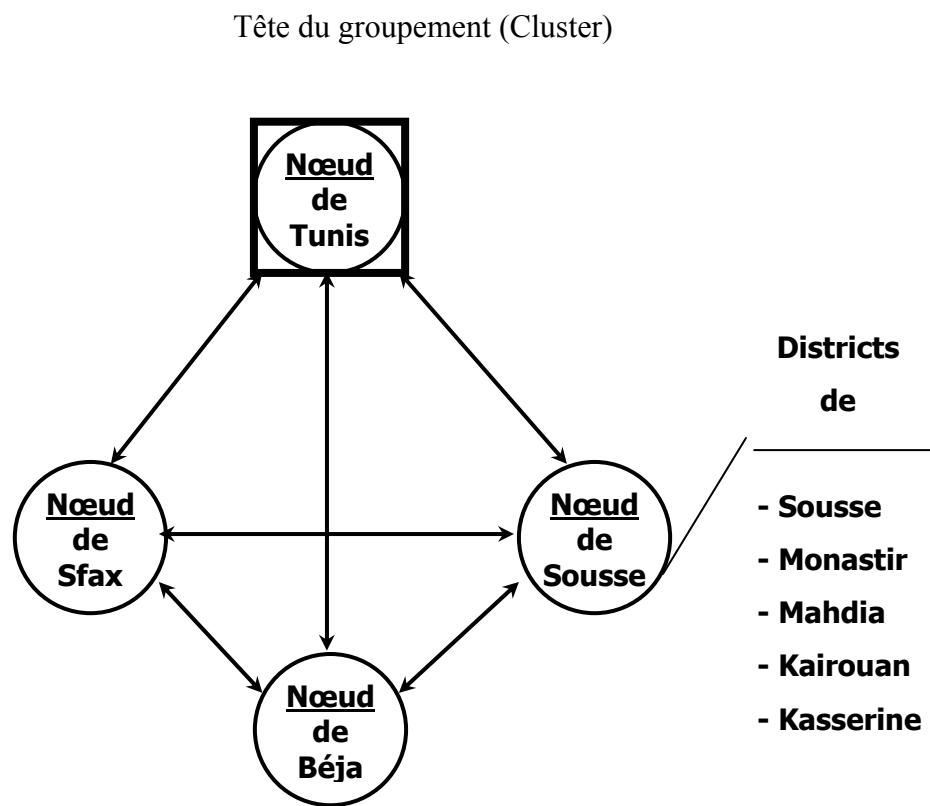
2.1 : Architecture de Cluster

La plate-forme Centre d'appels (Call Center Platform) sera mise en place selon une *architecture de Cluster* qui regroupe les quatre Nœuds suivants :

- Nœud local de Tunis
- Nœud déporté de Sousse
- Nœud déporté de Sfax
- Nœud déporté de Béja

Chaque Nœud constitue un commutateur ACD (Automatic Call Distributor) et se dispose d'une autonomie totale en matière de traitement et d'acheminement d'appels en provenance du réseau régional qu'il couvre.

Le diagramme des connexions logiques entre ces différents Nœuds est défini comme le montre la figure suivante :



De ce fait chaque Nœud i est connecté aux autres Nœuds j ($j \neq i$) en vue de router l'afflux de trafic sur le Nœud i.

C'est ce modèle conceptuel qui nous servira dans la suite à répartir les afflux de trafic entre les Nœuds du réseau.

Le concept de Cluster est employé pour la centralisation des activités suivantes :

- Exploitation
- Maintenance
- Développement de services
- Statistiques de services

3. TOPOLOGIE ET ARCHITECTURE DU RESEAU

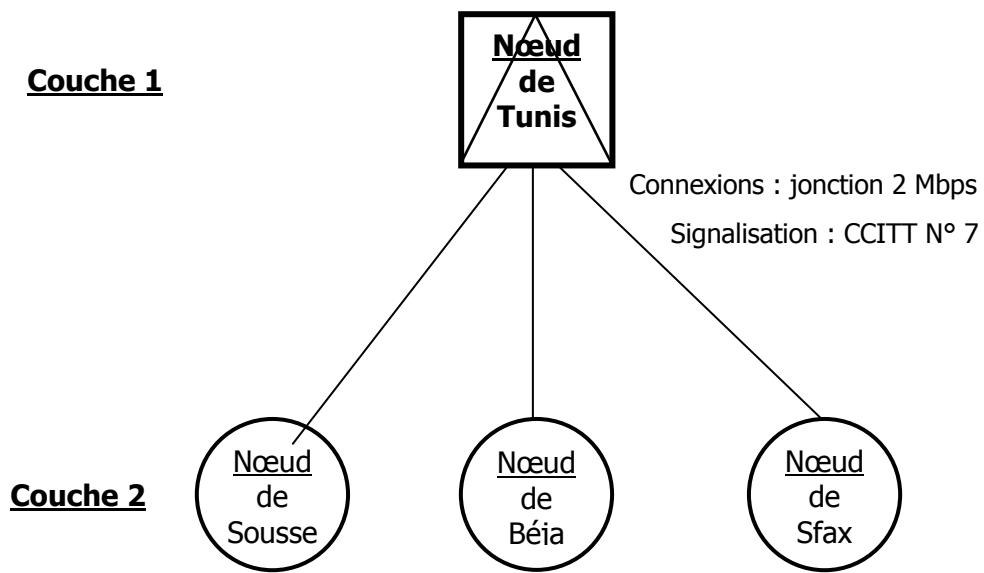
3.1 Architecture logique

Chaque Nœud est connecté logiquement à tous les autres Nœuds, cela leur permet d'échanger le trafic entre eux.

3.2 Topologie et architecture physique optimisée

La topologie du réseau a été optimisée par Tunisie Télécom dans le cadre du projet de la manière suivante :

- Réseau Hiérarchisé
- Réseau à deux couches
- Architecture compatible avec la plate-forme réseau informatique implémenté au niveau des Nœuds 110



3.3 Protocole de signalisation entre les Nœuds

Le protocole de signalisation sur voie commune (CCITT N° 7) a été adopté principalement pour les performances dont il dispose.

Ce protocole a été spécifié au cours des années 1979/80 et prévu pour fonctionner dans les réseaux numériques nationales et internationales.

Le protocole, orienté paquets, est évolutif et l' UIT-T ne cesse de lui apporter des ajouts dans le but de lui permettre le support de nouvelles fonctions et de nouveaux services.

Les avantages dont dispose ce protocole sont les suivants :

- La rapidité (le temps d'établissement d'un appel) est inférieur à une seconde dans la majorité des cas

- La capacité de signalisation élevée
- Economique, moins d'équipements de signalisation comparé au systèmes classiques (R1, R2, Wink, E&M,...)
- Fiable
- Flexible, ce protocole peut contenir plusieurs signaux et peut être employé dans des utilisations autre que la téléphonie.

4. MODELISATION DU RESEAU

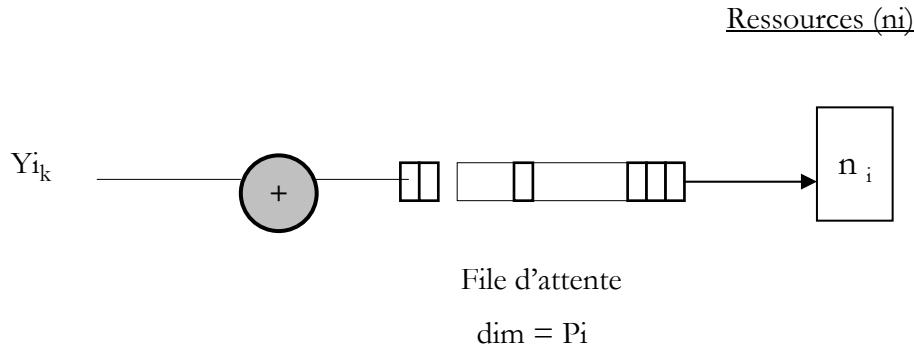
4.1 Modèle d'un Nœud dans le réseau

Pour un Nœud i fonctionnant d'une manière autonome, le modèle adopté a été déjà défini dans le chapitre précédent.

Lorsque le Nœud fait partie du réseau , il sera appelé à prendre en charge le trafic des autres nœuds en cas de disponibilité de ressources locales.

De ce fait on adoptera le modèle suivant :

Modèle du Nœud i :



$$Y_{j_k} \ (j \neq i)$$

Y_{i_k} : Intensité d'appels propre au Nœud i pour la plage horaire t_k

Le terme Y_{i_k} désigne le nombre d'appels / unité de temps générés par les sources propres du Nœud i pour la plage horaire t_k

Y_{j_k} : Intensité d'appels propre aux Nœuds j ($j \neq i$) pour la plage horaire t_k

Le terme Y_{j_k} désigne le nombre d'appels / unité de temps générés par les sources propres aux Nœuds j pour la plage horaire t_k , ces Y_j constituent des afflux de trafic dans ces Nœuds qu'on se propose de les router vers le Nœud i .

On adopte également *le même algorithme de routage* à partir de la file d'attente vers les ressources .

La discipline de service ou le processus de gestion de la file d'attente adoptée au niveau du fonctionnement du système est toujours le FIFO (First In, First Out).

Le processus de naissance de la demande de service ou de génération d'appels reste également inchangé.

Il est à noter, qu'un tel modèle ne favorise pas les sources du Nœud i par rapport aux sources des Nœuds j dès que l'afflux de trafic est routé vers le Nœud i .

- La probabilité $P(w > T_0)$ pour qu'un appel se mette en attente au niveau du Nœud i pour une durée supérieure à T_0 est exprimée comme suit :

$$P(w > T_0) = E_{2(n_i, A)} \exp \frac{T_0 \cdot (n_i - (Y_{i_k} + Y_{j_k}) \cdot S_m)}{S_m}$$

S_m : durée moyenne de traitement ou de prise d'une ressource finale

A : trafic offert , propre au Nœud i est afflux aux Nœud j ($j \neq i$)

T_0 : temps d'attente

n_i : nombre de ressources de traitement du Nœud i .

CONCLUSION :

Le critère d'optimisation est exprimé par la probabilité P ($w > T_0$), ce critère nous permet de dimensionner le Nœud i sur les bases des paramètres du vecteur suivant :

Vecteur optimisant :

(Trafic A , Probabilité $P(w > T_0)$, Temps d'attente T_0 , Durée moyenne de prise S_m)

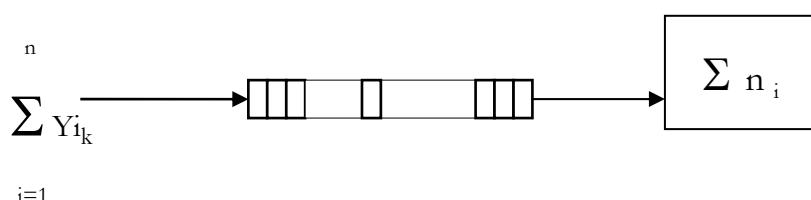
Le dimensionnement du Nœud désigne la détermination du nombre minimal de ressources selon les paramètres d'exploitation du système.

4.2 Modèle du réseau

On peut actuellement définir le modèle du réseau, celui-ci se présente comme le montre le diagramme suivant :

Modèle du réseau :

Ressources : ($\sum n_i$)



File d'attente

$$\text{dim} = \sum P_i$$

$\sum Y_{i,k}$ désigne la somme des Intensités d'appels relatives aux Nœuds i , pour $i=1$ à 4 et cela pour la plage horaire t_k

On adopte également *le même algorithme de routage* à partir de la file d'attente (dimension $\text{dim} = \sum P_i$) vers les ressources.

La discipline de service ou le processus de gestion de la file d'attente adoptée au niveau du fonctionnement du système est toujours le FIFO (First In, First Out)

Le processus de naissance de la demande de service ou de génération d'appels reste également inchangé et le nombre de sources sera égal à la somme des N_i .

Chapitre 5

Prédiction du trafic et modélisation des erreurs

1. Introduction
2. Technique de prédiction de trafic
 - 2.1. Mécanismes de prédiction
 - 2.2. Cas de trafic stationnaire
 - 2.3. Cas de trafic non stationnaire
3. Modélisation des erreurs de prédiction de trafic

Prédiction du trafic et modélisation des erreurs

1. INTRODUCTION

On présentera dans ce chapitre les techniques de prédiction de trafic pouvant être employées dans le réseau.

Par ailleurs, on essayera dans une première approche de modéliser l'erreur de prédiction en vue de l'introduire dans le modèle du réseau.

Il est à noter que la conception d'un prédicteur dans un environnement similaire nécessite tout un travail qui a peut être la taille de ce travail ou plus.

2. TECHNIQUE DE PREDICTION DE TRAFIC

2.1 Mécanismes de prédiction

La prédiction de trafic consiste à déterminer le trafic futur A_{k+1} (ou Y_{k+1}) pour la plage horaire (t_k, t_{k+1}) à partir de la connaissance du trafic pour $t < t_k$.

Il est d'importance capitale de modéliser l'évolution de ce trafic dans le réseau afin qu'on puisse traiter, d'une manière optimale, ce trafic en se basant sur les deux paramètres suivants :

- Affectation adéquate des ressources
- Routage efficace du trafic

On présentera dans la suite les méthodes pouvant être employées dans des situations similaires et cela couvre évidemment les deux cas suivants :

- *Trafic stationnaire*
- *Trafic non stationnaire*

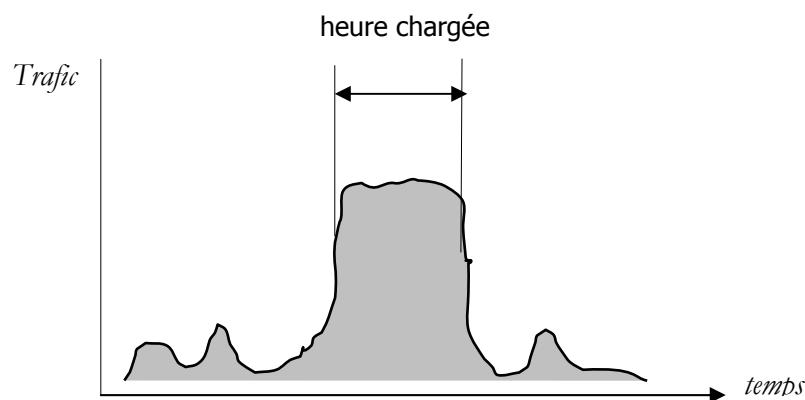
2.2 Cas de trafic stationnaire

L'hypothèse de "*trafic stationnaire*" n'est pas forte et les opérateurs des télécommunications ont adopté cette hypothèse rien que pour la simplicité du modèle.

Le modèle de trafic stationnaire et le concept de l'heure chargée qui lui est rattaché peuvent être employés, pour dimensionner les jonctions et les organes communs, dans un **réseau classique** en matière de **routage** d'appels où les techniques de débordement peuvent être introduites dans l'architecture des réseaux adoptés par l'UIT-T.

Ce modèle est généralement employé sans risque majeur dans la prévision de trafic au sens de planification des réseaux.

Modèle :



- Le trafic A est supposé stationnaire durant l'heure chargée
- Le trafic de l'heure chargée est une valeur moyenne
- L'intensité d'appels $\delta Y / \delta t \approx 0$ durant l'heure chargée
- Le trafic de l'heure chargée constitue un maximum absolu

2.3. Cas de trafic non stationnaire

Par contre, dans le cas d'un trafic **non stationnaire**, le problème devient plus complexe et la recherche d'un modèle sera d'importance majeure.

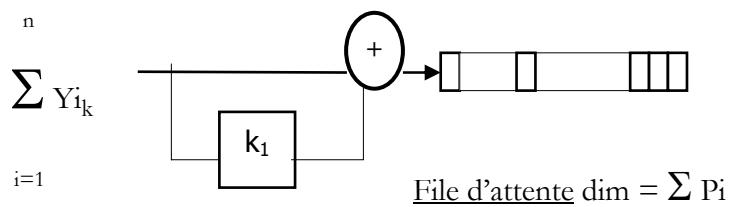
Actuellement, la modélisation des systèmes dispose de quelques outils pour pouvoir traiter un problème similaire mais cela reste tributaire peut être de plus de connaissances sur l'évolution de trafic, d'une part, et d'autre part les paramètres qui peuvent agir dans le sens d'influencer ce trafic.

Parmi ces outils, on cite la technique de poursuite de la stationnarité qui devient de plus en plus abordable dans des systèmes où la divergence n'est pas importante.

3. MODELISATION DES ERREURS DE PREDICTION DE TRAFIC

On introduit un coefficient K_1 qui portera toutes les erreurs de prédition de trafic, celui-ci traduit les performances de l'algorithme de prédition de trafic en vue de dimensionner correctement le système.

Modèle de l'erreur de prédition de trafic :



$\sum_i Y_{i,k}$: désigne la somme des Intensités d'appels relatives aux Nœuds i , pour $i=1$ à 4 et cela pour la plage horaire t_k

On adopte également *le même algorithme de routage* à partir de la file d'attente (dimension $\text{dim} = \sum_i P_i$) vers les ressources.

$\sum_i Y_{i,k} \times (1 + K_1)$: désigne la somme des Intensités d'appels relatives aux Nœuds i , pour $i=1$ à 4 , pour la plage horaire t_k et portant également l'erreur de prédiction de trafic.

Chapitre 6

Modèle définitif et modélisation du réseau

1. Introduction
2. Présentation du modèle définitif
3. Paramètres additionnels rattachés au système
4. Dimensionnement du réseau
 - 4.1. Principe du dimensionnement
 - 4.2. Algorithme de dimensionnement

Modèle définitif et dimensionnement du réseau

1. INTRODUCTION

On présentera dans ce chapitre le modèle définitif du réseau ou la plate-forme Centre d'Appels (Call Center platform).

En particulier, on introduit dans le modèle les erreurs de prédition de trafic en vue d'approcher de la réalité .

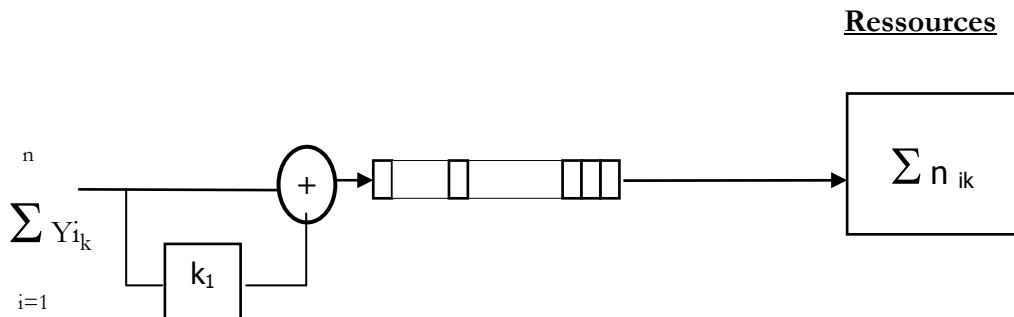
Finalement, le modèle sera employé pour le dimensionnement de la plate-forme Centre d'Appels.

2. PRESENTATION DU MODELE DEFINITIF

Dans le cadre de l'équilibrage de trafic par répartition de charge entre les Nœuds de commutation à attente du réseau est le modèle qu'on a déjà mis en place.

Ce premier modèle sera amélioré par l'intégration de l'erreur de prédition de trafic en vue d'approcher de la réalité physique.

De ce fait, le modèle final considéré sera le suivant :

Modèle final du réseau :File d'attente

$$\dim = \sum P_i$$

$\sum_i Y_{i_k}$: désigne la somme des intensités d'appels relatives aux Nœuds i,

i

pour $i = 1$ à 4, et cela pour la plage horaire t_K

On adopte également *le même algorithme de routage* à partir de la file d'attente (dimension $\dim = \sum P_i$) vers les ressources.

La discipline de service ou le processus de gestion de la file d'attente adoptée au niveau du fonctionnement du système est toujours le FIFO (First In, First Out)

Le processus de naissance de la demande de services ou de génération d'appels reste également inchangé et le nombre de sources sera égal à la somme des N_i .

$\sum Y_{i_k} x (1+ K_1)$: désigne la somme des Intensités d'appels relatives aux Nœuds i , pour $i=1$ à 4 , pour la plage horaire t_k et portant également l'erreur de prédition de trafic.

Vecteur optimisant :

(Trafic A, Probabilité $P(w>T_0)$, Temps d'attente T_0 , Durée moyenne de prise S_m , Coefficient de l'erreur de prédition de trafic K_1)

Comme on l'a déjà défini, le dimensionnement du réseau se base sur la minimisation du nombre de ressources (n_i) pouvant gérer le trafic (A) sous la contrainte de minimisation du temps d'attente maximal (T_0).

Cette contrainte s'exprime par la probabilité $P(w>T_0)$ pour qu'un appel se mette en attente pour une durée supérieure à T_0 .

Pour une plage horaire t_k , t_{k+1} , cette probabilité s'exprime par :

$$P_k (w > T_0) = \frac{T_0 \cdot [\sum n_{ik} - (1+k) \sum Y_{ik} \cdot S_m]}{S_m}$$

S_m : durée moyenne de traitement ou de prise d'une ressource finale

A_k : trafic offert au réseau pour la plage horaire t_k-t_{k+1}

T_0 : temps d'attente maximale

n_i : nombre de ressources de traitement du Nœud i , plage t_k-t_{k+1}

K1 : coefficient de l'erreur de prédiction de trafic, plage $t_k - t_{k+1}$

3. PARAMETRES ADDITIONNELS RATTACHES AU MODELE

Pour une plage horaire (t_k, t_{k+1}) et conformément au modèle final amélioré, on définit les paramètres additionnels suivants:

- La probabilité pour qu'un appel se mette en attente
- Le temps moyen d'attente pour un appel qui subit l'attente
- Le temps moyen d'attente pour tous les appels

Probabilité pour qu'un appel se mette en attente

$$\sum n_i E1(\Sigma n_i, A)$$

$$D(\Sigma n_i, A) = E2(\Sigma n_i, A) = \frac{\sum n_i - A(1 - E1(\Sigma n_i, A))}{\sum n_i - A(1 - E1(\Sigma n_i, A))}$$

Temps moyen d'attente pour un appel qui subit l'attente

$$S_m$$

$$\langle t_m \rangle = \frac{S_m}{\sum n_i - A}$$

$$\sum n_i - A$$

Temps moyen d'attente pour tous les appels

$$S_m$$

$$\langle T_m \rangle = \frac{D(\sum n_i A)}{\sum n_i - A} ; \quad (\text{Pour } i = 1 \text{ à } 4)$$

$$\sum n_i - A$$

4. DIMENSIONNEMENT DU RESEAU

4.1 : Principe du dimensionnement

Au sens large, le dimensionnement du réseau consiste à déterminer le nombre de ressources ($N = \sum n_i$, pour $i = 1$ à 4) connaissant les paramètres d'exploitation et de qualité.

Ces paramètres sont :

n

$$\begin{aligned} - \text{Le trafic } A &= \sum_{i=1}^n Y_{ik} \cdot (1 + K_1) \cdot S_m \end{aligned}$$

- La probabilité $P(w > T_o)$ pour qu'un appel se mette en attente plus que T_o .
- Le temps d'attente maximal T_o

4.2 : Algorithme de dimensionnement du système

Algorithme de dimensionnement

```
/*
** cet algorithme permet le dimensionnement du réseau de commutateurs à attente par le
** calcul des ressources pour pouvoir traiter le trafic offert A sur la base de paramètres
** d'exploitation et de qualité requises
*/
```

/* déclaration des fonctions E1, E2 */

Fonction E1(A,I)

début

A^n

E1 = _____

$$\sum A^i / I !$$

fin

Fonction E2(A,I)

début

I E1(A,I)

$$E2(\sum n_i A) = \frac{\sum n_i A}{I - A (1 - E1(A,I))}$$

$$I - A (1 - E1(A,I))$$

fin

/* initialisation des variables */

erreur = 1

I = 0

$$P_0 = P(w > T_0)$$

$$T_{\text{attente_max}} = T_0$$

/ processus d'acquisition de données */*

acquérir

- les intensités d'appels Y_i : Vecteur_intensité (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)
- le coefficient d'erreur de prédiction de trafic : K_1
- la durée moyenne de prise : S_m
- la probabilité d'attente : $P(w > T_0)$
- la durée d'attente maximale : T_0

/ calcul du trafic à la base du modèle */*

4

$$A = \sum_{i=1}^4 Y_i \cdot (1 + K_1) \cdot S_m$$

/ Traitement */*

tant que erreur > 0

faire

$$I := I + 1$$

E1(A,I) /* appel à la fonction E1(A,I) */

E2(A,I) /* appel à la fonction E2(A,I) */

$$T_0 \cdot (N - A)$$

$$P(w > T_0) := E2(A,I) \exp \left(- \frac{T_0 \cdot (N - A)}{S_m} \right)$$

$$\text{Erreur} := P(w > T_p) - P_0$$

fin tan que

$N :=$ partie entière de $(I+1)$

4

/* Le nombre de ressources optimal est $N = \sum_{i=1}^I n_i$ */

i=1

Conclusion générale

Dans le cadre de ce travail, on a élaboré un modèle robuste pour servir au dimensionnement des ressources du réseau composé de quatre Nœuds à attentes constituant la plate-forme centre d'appels sur laquelle on se propose d'équilibrer le trafic.

Ce modèle nous permet d'équilibrer le trafic par répartition de la charge entre les Nœuds en vue de minimiser le nombre de ressources nécessaires tout en agissant sur les paramètres d'exploitation et de qualité de la plate-forme.

Le protocole de signalisation N° 7 a été considéré dans le cadre du centre d'appels pour sa souplesse en matière d'intégration de nouveaux services d'une part et d'autre part pour sa fiabilité et sa rapidité pour l'établissement d'un appel.

Egalement, on a considéré une architecture hiérarchisée en deux couches et une technique de routage dynamique qui consiste à gérer les appels en fonction de l'état du réseau. Cela ne peut pas échapper l'introduction d'une technique de prédition du trafic.

De ce fait, on a essayé de modéliser l'erreur de prédition du trafic par un coefficient qui porte ces erreurs et on a intégré ce concept dans le modèle global en vue d'approcher de la réalité.

Ce travail peut être complété par l'étude et l'implémentation d'une technique de prédition de trafic et cela débute certainement par la modélisation du trafic.

En outre, ce travail peut déboucher sur l'étude et l'implémentation d'une technique de routage dynamique appropriée au système.

Dans une perspective future, rien n'empêche que ces travaux regroupés peuvent constituer une base solide pour pouvoir aborder une migration du routage classique au routage dynamique au niveau du réseau national à commutation de circuit sachant que les opérateurs mondiaux tel que ATT et Bell Canada, épaulés respectivement par les constructeurs ATT et Nortel, ont déjà débuté ces implantations depuis une dizaine d'années pour optimiser le rendement des réseaux en minimisant le taux de blocage d'une part et d'autre part minimiser les investissements surtout face un trafic de données qui évolue très rapidement.

Cette migration peut être très importante surtout face à la convergence des services de la voix et des données qui ont donné le nouveau produit 'Commutateurs multi-services' et cela sans oublier l'ATM et le rôle qu'il a joué ainsi que les technologies hybrides qui intègrent l'IP et L'ATM.

Bibliographie

- ✉ **Pierre-Gérard Fontollet**, *Systèmes de télécommunication*, Presses polytechniques et universitaire romandes, 1990.
- ✉ Mémoire de fin d'études "conception d'un outil d'aide à la décision pour la gestion d'appels" 1998/1999.
- ✉ Cours de "trafic téléphonique", ISET'Com 1999/2000.
- ✉ **P. FADIER**, *Architecture des réseaux de télécommunications* TOME II.
- ✉ **Greg Trangmoe** "A Comparative Study of Dynamic Routing in Circuit-Switched Networks"

EQUILIBRAGE DE TRAFIC PAR REPARTITION DE LA CHARGE SUR DES NŒUDS DE COMMUTATION A ATTENTE

Réalisé par : *HADJI Mohamed el Béhi & DHBAIBI Farhat*

Promotion : *TS5 Commutation*

Résumé

Le présent rapport consiste à élaborer un modèle robuste du réseau constitué par quatre Nœuds à attentes formant la plate-forme centre d'appels du système 110 de Tunisie Télécom.

Ces travaux reposent sur un modèle déjà adopté pour le Nœud de Tunis qui a été développé et validé par des mesures expérimentales.

En vue d'approcher de la réalité physique, le modèle a été amélioré par l'intégration des erreurs de prédiction de trafic dans un paramètre de prédiction qui porte ces erreurs.

Le dimensionnement du système repose sur la détermination du nombre de ressources optimal pouvant assurer le traitement du trafic en minimisant la probabilité d'attente $P(w>To)$ qui constitue un critère fondamental de qualité.

Un algorithme de dimensionnement est élaboré afin de servir à l'implémentation d'un outil logiciel de dimensionnement du système.

Mots clés :

Plate-forme centre d'appels, Nœud de commutation à attente, Algorithme de routage d'appels, Modélisation, Routage dynamique, prédiction de trafic, Equilibrage de trafic par répartition de la charge.