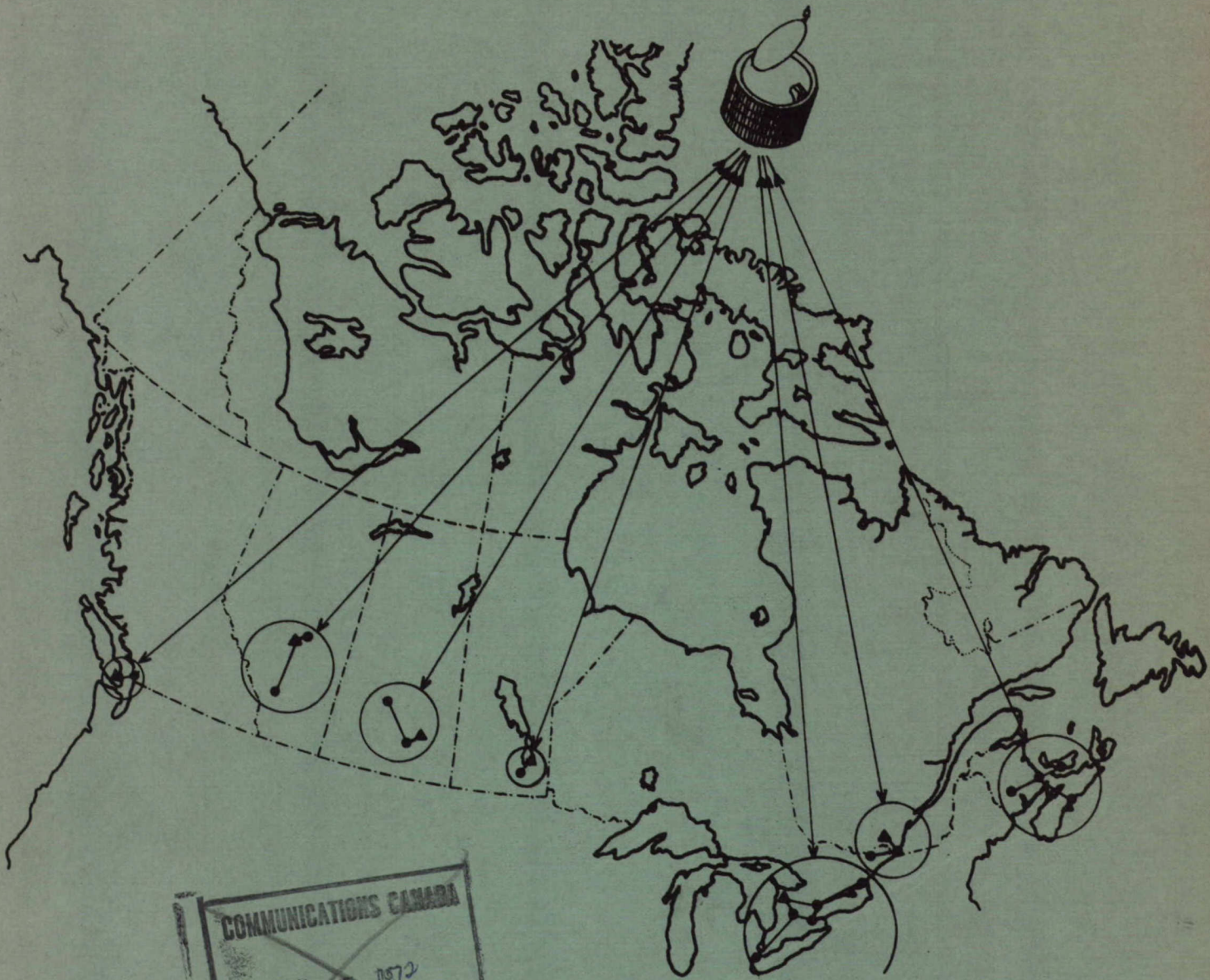


72-655

MAI 1972



LES RESEAUX D'ORDINATEURS

préparé par  
 J.A. Schwarz Da Silva,  
 R. Guindon,  
 J. DeMercado.

Service de la planification terrestre

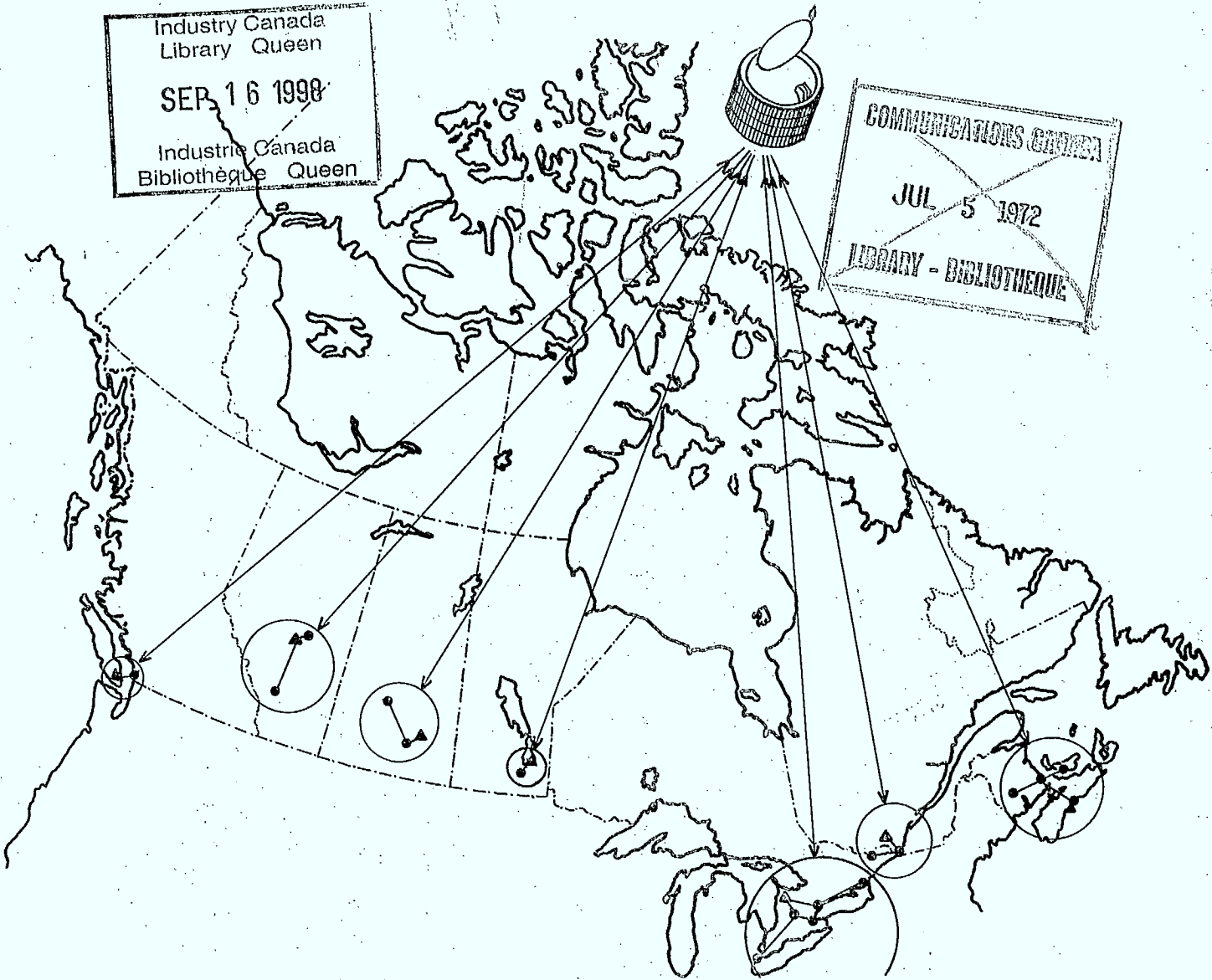
Z  
 699.4  
 C13  
 D38  
 1972

Z  
699.4  
C13  
D38  
1972

DEPARTMENT OF COMMUNICATIONS

MINISTÈRE DES COMMUNICATIONS

MAI 1972



②

/ LES RESEAUX D'ORDINATEURS /

préparé par  
/ J.A. Schwarz / Da Silva /  
R. Guindon,  
J. DeMercado.

SECRET  
NO FORN DISSEM  
EXCLUDED FROM AUTOMATIC  
DOWNGRADING AND  
DECLASSIFICATION

Z  
699.4  
C13  
D38  
1973

DD 5405916  
DL 5405933

LES RESEAUX D'ORDINATEURS



## Définition des symboles utilisés

$\lambda$  nombre moyen de paquets dans un processus de POISSON (paquets/sec.)

$\frac{l}{\mu}$  longueur moyenne d'un paquet (bits/paquet)

$T_i$  délai moyen sur la voie 'i' (sec/paquet)

$T$  délai total moyen sur tout le réseau (sec/paquet)

$\bar{x} = \frac{1}{\mu C_i}$  temps moyen de service d'un paquet sur la voie 'i' (sec/paquet)

$C_i$  capacité de la voie 'i' (bits/sec)

$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu C_i}$  utilisation moyenne de la voie 'i' (sans dimensions)

$\gamma$  nombre total de paquets entrant dans le réseau (paquets/sec)

TABLE DES MATIÈRES

No. Page

SOMMAIRE

1. - INTRODUCTION	1
2. - DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT D'UN RESEAU D'ORDINATEURS	4
2.1 - Outils nécessaires à l'analyse d'un réseau	6
2.2 - Modèle mathématique du réseau	8
3. - LE RESEAU "CANUNET"	12
3.1 - Pourquoi un réseau	12
3.2 - Concept proposé	15
3.3 - Topologie du réseau	16
3.4 - Sélection des Universités	17
3.5 - Simulation du trafic	18
3.6 - Acheminement des messages	19
4. - UN RESEAU TERRESTRE POUR "CANUNET"	21
5. - UN RESEAU HYBRIDE POUR "CANUNET"	26
6. - CONCLUSIONS	32

## SOMMAIRE

Cet article explore la possibilité de créer un réseau d'ordinateurs reliant des universités canadiennes. Le fonctionnement d'un tel réseau utilisant comme principe de base la commutation de messages est décrit et les outils nécessaires à son analyse entrevus.

Ces techniques d'analyse, appliquées à deux types de réseaux (terrestre et hybride), permettent d'obtenir la variation du temps de réponse d'un réseau en fonction du trafic total circulant sur ce dernier.

## 1, INTRODUCTION

Vers le début des années '60, un des premiers systèmes d'ordinateurs, fonctionnant en temps partagé, fut développé au M.I.T.<sup>(1)</sup> Dans ce système, plusieurs terminaux utilisaient simultanément le même ordinateur; le principe étant que l'utilisateur typique au cours d'une conversation avec l'ordinateur n'avait pas besoin de toutes ses ressources. Ainsi, si l'utilisateur typique prend 19 secondes pour générer un message qui requiert une seconde de calcul, approximativement 20 usagers peuvent simultanément partager les ressources de l'ordinateur sans trop d'interférence.

Depuis lors, les systèmes d'ordinateurs à temps-partagé se sont multipliés à travers l'Amérique du Nord. Une infinie variété de systèmes et types de service sont maintenant disponibles à un coût de plus en plus bas. Des universités et des laboratoires de recherche des grandes compagnies ont développé soit des programmes spécialisés soit des banques de données soit de nouveaux langages. Ces diverses ressources disponibles aux centres de calcul où elles ont été créées sont difficilement transférables. Il est cependant évident que cette multitude de ressources doit être mise à la disposition d'utilisateurs situés ailleurs que dans ces centres de calcul. Pour répondre à ce besoin de la part des usagers, l'idée est née de créer des réseaux



d'ordinateurs pour ainsi rendre possible un partage de ressources. Ceci représente sans doute le prochain grand événement dans l'usage rationnel des ordinateurs.

Parmi les premiers réseaux d'ordinateurs à être créés figurent le réseau militaire "SAGE"<sup>(2)</sup> et le réseau "SABRE"<sup>(3)</sup> de la compagnie aérienne "American Airlines". Plus récemment, d'autres réseaux, tels que "N.P.L."<sup>(4)</sup>, "ARPA"<sup>(5)</sup> et "MERIT"<sup>(6)</sup> sont apparus.

La première tentative de création d'un réseau d'ordinateurs au Canada est due au "Council of Ontario Universities"<sup>(7)</sup>. Le but de ce dernier réseau est d'interconnecter les différentes universités situées dans la province d'Ontario pour ainsi mettre en commun des ressources éparpillées. En décembre 1970, une proposition visant à la création d'un réseau universitaire canadien fut adressée au Ministère des Communications. Au mois de mars 1971, sous la coordination de l'Université du Québec, des études préliminaires étaient entreprises ayant en vue la création du réseau "CANUNET" (Canadian University Computing Network).

Une de ces études préliminaires, effectuée au sein du Ministère des Communications, a porté sur l'analyse mathématique de plusieurs configurations possibles pour le réseau "CANUNET". Les résultats de cette étude, qu'on

peut trouver aux sections 3, 4 et 5, seront précédés (section 2 ) par une description du fonctionnement d'un réseau d'ordinateurs utilisant comme principe de base la commutation de messages et par un aperçu des techniques d'analyse employées.

## 2. DESCRIPTION D'UN RESEAU D'ORDINATEURS

On peut grossièrement affirmer qu'un réseau d'ordinateurs n'est rien qu'un ensemble d'ordinateurs reliés par des canaux de communication sur lesquels circulent des messages. On définit un "nœud" comme étant l'ensemble formé par un ordinateur (HOTE) et par une unité de contrôle (U.C.). Lorsqu'un HOTE a un message à transmettre, ce message est divisé en paquets (de longueur maximale imposée) chacun portant l'adresse de l'HOTE destinataire. Ces paquets sont alors envoyés à la première unité de contrôle (U.C.) qui en accepte un nombre fini\* à la fois. Un à un ces paquets sont dirigés vers l'HOTE destinataire.

Lorsqu'un paquet arrive à une unité de contrôle intermédiaire, celle-ci examine son contenu et si aucune erreur n'est trouvée, le paquet est acheminé jusqu'à l'unité de contrôle suivante et un accusé de réception (ACK) est envoyé à l'unité de contrôle dont provenait le paquet. Celle-ci détruit alors la copie de ce paquet qu'elle avait gardée en mémoire. Si l'unité de contrôle découvre une erreur dans un paquet, elle le détruit tout simplement.

---

\* Dans le réseau "ARPA" <sup>(16)</sup> l'unité de contrôle accepte jusqu'à 8 paquets à la fois.

L'unité de contrôle, dont provenait le paquet détruit, ne recevant pas de ACK pendant un certain laps de temps retransmet alors le même paquet. Comme un message peut être formé de plusieurs paquets, il est fort possible que ces paquets arrivent en désordre à l'unité de contrôle reliée à l'HOTE destinataire. Ceci ne constitue pas un problème car les paquets étant numérotés, l'unité de contrôle après réception du dernier paquet, les réordonne et les achemine vers l'HOTE destinataire.

Le principe selon lequel le réseau, décrit précédemment, fonctionne est celui de la commutation de messages par opposition à la commutation de circuits. En effet, la commutation de messages apparaît comme la solution adéquate au problème de la transmission de données; le délai subi par un message pour se rendre à destination étant négligeable ( $\ll$  1 seconde).

## 2.1 Outils nécessaires à l'analyse d'un réseau d'ordinateurs

Quelque soit le réseau que l'on étudie (réseau routier ou autre), plus particulièrement un réseau d'ordinateurs, il faut faire appel à la théorie des graphes et à la théorie des files d'attente. Un réseau d'ordinateurs n'étant qu'un graphe dont les sommets sont les centres de commutation ou unités de contrôle (U.C.), la théorie des graphes est l'outil nécessaire à la détermination du chemin de valeur minimale (shortest path).

En effet, dans un réseau on veut normalement choisir, parmi les différents chemins menant d'un point A à un point B, le chemin de longueur minimale. Plusieurs algorithmes\* existent qui permettent de trouver le chemin de longueur minimale (voir par ex.: Communication, Transmission and Transportation Networks par Frank et Frisch, Addison-Wesley 1971). Souvent aussi la valeur du flot maximal, c'est-à-dire la quantité maximale de messages, de marchandise, etc. que l'on peut transporter d'un point à un autre, sans excéder la capacité des canaux de communication (routes), doit être calculée. Ce problème a été résolu par Ford et Fulkerson<sup>(8)</sup> et la solution est connue sous le nom de "Max-Flow-Min-Cut Theorem".

---

\* Le mot algorithme résulte de la corruption du nom du mathématicien arabe Al Khwarismi (IXième siècle) et signifie: procédé permettant de résoudre un problème en un nombre fini d'opérations.

Il faut ensuite faire appel à la théorie des files d'attente car un réseau d'ordinateurs utilisant la commutation de messages est un système avec attente. En effet, comme des messages arrivent continuellement aux unités de contrôle, ils doivent attendre que ceux qui les ont précédés soient servis, (on assume que tous les messages sont d'égale priorité) ce qui entraîne une attente.

Dans les pages suivantes, le lecteur trouvera les éléments de la théorie des files d'attente nécessaires à l'établissement d'un modèle mathématique d'un réseau d'ordinateurs.



## 2.2 Modèle mathématique d'un réseau<sup>(9)</sup>

Considérons un réseau tel que celui représenté à la figure 1. Chaque "nœud" du réseau est formé par une unité de contrôle (centre de commutation) et un ou plusieurs ordinateurs (HOTES). Plus spécifiquement, considérons le sous-réseau formé d'unités de contrôle et de canaux de communication.

Dès messages (paquets) circulant sur les canaux de communication arrivent aux unités de contrôle, sont servis après un certain laps de temps (le temps de service est proportionnel à la longueur du message) et partent ensuite vers d'autres unités de contrôle.

L'hypothèse généralement acceptée considère le flux d'arrivées comme un processus de POISSON et la longueur des paquets comme ayant une distribution exponentielle de moyenne  $\frac{1}{\mu}$ .

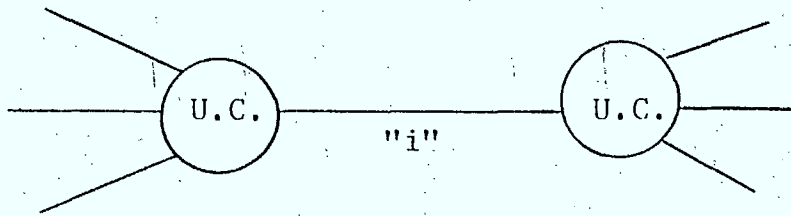
$$\begin{aligned} \text{Ainsi: } \quad A(t) &= 1 - e^{-\lambda t} \quad * \\ B(x) &= 1 - e^{-\mu t} \quad * \end{aligned}$$

De plus, si les unités de contrôle servent un seul message à la fois, le système peut être représenté par un ensemble de files d'attente du type M/M/1.\*

---

\* Voir "Etude d'un réseau universitaire d'ordinateurs pour le Canada; par J. DaSilva, R. Guindon, M. Kadoch, Rapport préliminaire, Ministère des Communications, OTTAWA, janvier 1972.

On peut alors trouver le délai subi par un paquet, dû au délai d'attente et de service sur le canal 'i' représenté par le schéma qui suit.



Soit:

$$T_i = E \left\{ \text{délai d'attente et service sur la voie 'i'} \right\}$$

$$T_i = \frac{\bar{x}}{1 - \rho_i} = \frac{1}{\mu C_i - \lambda_i} \quad *$$

$$T_i = \frac{1}{\mu C_i - \lambda_i} \dots\dots\dots (2.1)$$

Une fois  $T_i$  obtenu, le délai total moyen  $T$  est calculé.

Représentant le taux total de messages qui entrent dans le réseau par  $\gamma$  et incluant 1 milliseconde pour tenir compte du délai dans chaque unité de contrôle, l'expression suivante est obtenue:

$$T = \sum_i \frac{\lambda_i}{\gamma} (T_i + 10^{-3}) \dots\dots\dots (2.2)$$

\* Voir page A-12 de la référence (15)

Cette expression ne tient pas compte du fait que chaque fois qu'un paquet est reçu à une unité de contrôle celle-ci transmet un ACK à l'unité de contrôle d'où provenait le paquet et dont la longueur en bits est différente de celle du paquet. En effet, le temps qu'un paquet passe à attendre avant d'être servi dépend du trafic total (paquets & ACK) tandis que le temps de service requis dépend uniquement de la longueur du paquet. De plus, il faudra tenir compte du fait que le temps de propagation n'est pas toujours négligeable.

La nouvelle expression obtenue pour  $T_i$  est alors:

$$T_i = \frac{1}{\mu' C_i} + \frac{\lambda_i / \mu C_i}{\mu C_i - \lambda_i} + PL_i + 10^{-3} \dots\dots(2.3)$$

où:

$\frac{1}{\mu'}$  = longueur moyenne d'un paquet

$\frac{1}{\mu}$  = longueur moyenne de l'ensemble paquet et ACK

$PL_i$  = délai de propagation sur la voie 'i'

$\frac{1}{\mu' C_i}$  = temps moyen de service par paquet.

Les deux premiers termes de l'équation (2.3) s'obtiennent facilement à partir de l'équation de Pollaczek-Khinchin.\*

---

\* Voir référence (10)

L'équation (2.3) est celle qui est utilisée pour calculer le délai total moyen rencontré par un message dans un réseau à commutation de messages.

Ce paramètre constitue, sans aucun doute, la figure de mérite la plus importante de n'importe quel réseau d'ordinateurs du type décrit précédemment.

### 3. LE RESEAU "CANUNET"

Dans les pages précédentes, le fonctionnement d'un réseau d'ordinateurs utilisant comme principe la commutation de messages a été décrit et les outils nécessaires à son analyse entrevus.

Il convient maintenant, avant de présenter les résultats obtenus pour diverses configurations, de préciser pourquoi un réseau d'ordinateurs est avantageux pour le Canada et sur quelles hypothèses notre étude s'est basée.

#### 3.1 Pourquoi un réseau

Le Conseil des Sciences du Canada, tel que souligné dans son rapport #13 <sup>(11)</sup>, estime que les besoins canadiens dans le domaine de la téléinformatique vont s'accroître et préconise la création d'une artère nationale qui servirait l'ensemble du Canada. Les bénéfices apportés par un réseau d'ordinateurs canadien sont variés et entre autres, on peut mentionner les suivants:

- la qualité et la quantité des services d'informatique accessibles à tous les canadiens seraient largement améliorées

- la réalisation d'un tel réseau aiderait fortement l'industrie canadienne et empêcherait l'envahissement du marché canadien par les services d'informatique américains.

Il est intéressant de noter que la plupart, sinon la totalité, des réseaux d'ordinateurs existants sont nés dans les universités. C'est en effet chez les universitaires que le besoin de services d'informatique sophistiqués est le plus pressant. Parmi les bénéfices qu'un réseau d'ordinateurs apporterait à la communauté universitaire figurent les suivants:

1. L'élimination de disparités, au niveau du revenu, parmi les centres de calculs des universités.
2. Une meilleure utilisation d'un ordinateur en rendant possible le partage de sa charge de pointe avec un ordinateur situé dans une autre zone horaire.
3. Le développement et l'entraînement du personnel nécessaire à la création de futurs réseaux nationaux. Un réseau universitaire fournirait le moyen idéal de recherche et développement dont la valeur serait cruciale pour de futurs réseaux.



4. Un haut degré d'efficacité serait atteint en permettant à certaines universités la spécialisation dans des types particuliers de services d'informatique, lesquels seraient disponibles à n'importe quelle autre université au pays.
5. Des banques de données hautement spécialisées, dont la duplication est très onéreuse, seraient accessibles à n'importe quelle université du réseau.

Il convient, pour bien se rendre compte des bénéfices découlant de la création d'un réseau d'ordinateurs, de mentionner quelques types de services actuellement éparpillés dans les universités canadiennes. On trouve entre autres:

1. des services de bibliothèque (Univ. de Toronto, Univ. Laval, etc.)
2. des services légaux (Univ. Queen, Univ. de Montréal, etc.)
3. des services éducationnels (Univ. d'Alberta, Univ. Simon Frazer, etc.)
4. des services administratifs (Univ. de Québec, Univ. Laval)
5. des services médicaux (Univ. du Manitoba, Univ. de Sherbrooke, etc.)
6. des services financiers (Univ. McGill).

Du point de vue économique, un réseau universitaire entraînerait possiblement \* une réduction du coût de la transmission de données.

A long terme, on peut entrevoir la possibilité de connecter le réseau "CANUNET" aux réseaux "ARPA" (Etats-Unis) et "NPL" (Angleterre) ce qui représenterait un bénéfice inestimable.

### 3.2 Concept proposé

Avant la création d'un réseau d'ordinateurs, il faut définir les contraintes auxquelles le réseau doit obéir.

Entre autres, il faut:

- que le réseau puisse accepter les différents types d'ordinateurs. La diversité des ordinateurs en présence entraîne la création de certaines règles de communication. (16)(17)
- que le mode d'opération du réseau soit tel que le raccordement à d'autres réseaux régionaux ou nationaux soit possible.
- que le temps de réponse du réseau soit inférieur à 1 seconde. A partir du moment où un usager envoie

---

\* Le coût de transmission d'un Megabit d'information dans le réseau "ARPA", se situe autour de 30 cents. Un Megabit d'information équivaut approximativement au contenu de 100 feuilles dactylographiées 8½" x 11".

un message jusqu'à la réception d'un accusé de réception (ACK), ne doit s'écouler qu'au maximum 1 seconde. Cette contrainte est essentielle quand un usager utilise le réseau en mode dialogué.

- que le principe de base de fonctionnement du réseau soit celui de la commutation de messages. En effet, dans l'état actuel de la technologie, le temps de réponse d'un réseau utilisant la commutation de circuits se chiffre en secondes. Cependant, la possibilité d'utiliser la commutation de circuits ne devrait pas être écartée, car de nouveaux développements technologiques peuvent rendre celle-ci attrayante.

### 3.3 Topologie du réseau

Plusieurs configurations ont été envisagées pour le réseau "CANUNET" parmi lesquelles, celles de type "étoile", "boucle" et "maille".

Le premier type de configuration a été écarté pour des raisons évidentes. En effet, dans une configuration "étoile" tous les ordinateurs sont reliés à un unique centre de commutation ce qui entraîne un arrêt complet du réseau lorsque l'unique centre de commutation fait défaut.

Le deuxième type de configuration a été aussi abandonné pour des raisons similaires aux précédentes.

Il restait finalement la configuration du type "maille" aussi appelée topologie distribuée. Dans ce genre de configuration, plusieurs canaux de communication existent entre les différents "nœuds". Pour des raisons de fiabilité, un minimum de deux chemins doit exister entre chaque paire de "nœuds".

Malgré cette dernière restriction, d'innombrables configurations sont encore possibles. Le choix doit donc être dicté à partir de considérations d'ordre économique en tenant compte du temps de réponse imposé.

#### 3.4 Sélection des universités

A ce stage-ci de l'étude du réseau "CANUNET", il était impossible de savoir quelles universités allaient participer au réseau initial. Ainsi le choix des universités participantes a été fait arbitrairement en considérant au moins une université par province.

Comme indiqué précédemment, chaque "nœud" est formé d'une unité de contrôle et d'une ou plusieurs universités. L'avantage de consacrer une seule unité de contrôle à plusieurs universités réside dans le fait que d'autres universités peuvent être ajoutées au réseau sans pour cela changer sa topologie.

### 3.5 Simulation du trafic

Il est difficile, sinon impossible, d'évaluer le trafic futur du réseau "CANUNET" étant donné le nombre d'inconnues en jeu. Pour contourner cette difficulté, on a supposé que le trafic émanant d'une unité de contrôle et adressé à une autre unité de contrôle était proportionnel au nombre d'étudiants à plein temps des universités reliées à ces unités de contrôle. Ainsi le trafic en bits par seconde émanant de l'unité de contrôle 'i' et adressé à l'unité de contrôle 'j' est donné par;

$$t_{i,j} = \frac{k \cdot P_i \cdot P_j}{\sum_n P_n}$$

où:

- $P_i$  et  $P_j$  représentent le nombre d'étudiants à 'i' et à 'j',
- $k$  est une constante qui peut être variée dans le but de simuler différents niveaux de trafic,
- $n$  est le nombre d'unités de contrôle considérées,
- $t_{i,j}$  représente le trafic en bits par seconde allant de 'i' à 'j'.

Le trafic circulant dans le réseau est constitué de messages subdivisés en "paquets" de longueur maximale égale à 1024 bits. La longueur moyenne d'un paquet a été fixée à 640 bits (\*). Comme précédemment décrit, lorsqu'une unité de contrôle reçoit un paquet ne contenant aucune erreur, elle transmet à l'unité de contrôle, dont provenait le paquet, un accusé de réception (ACK pour acknowledgement) d'une longueur constante de 160 bits (\*).

### 3.6 Acheminement des messages

Deux principales méthodes existent pour acheminer des messages. Dans la première méthode, dite d'acheminement fixe, les messages allant de 'i' à 'j' empruntent toujours les mêmes voies de communication pour s'y rendre. Le désavantage de cette méthode réside dans le fait que la congestion d'un canal de communication à un moment donné est inévitable. La deuxième méthode d'acheminement, dite d'acheminement dynamique, réduit la congestion car toute unité de contrôle tient les unités de contrôle voisines au courant de son état. Ainsi les paquets allant de 'i' à 'j' ne prennent pas toujours la même route. Notons que la congestion d'une unité de contrôle peut avoir pour effet d'obliger la retransmission répétée d'un paquet.

---

(\*) Ces valeurs sont sensiblement égales à celles utilisées dans le réseau "ARPA".



En effet, une unité de contrôle possède un certain nombre de locations de mémoire, chacune pouvant contenir un seul paquet. Un paquet arrivant à une unité de contrôle dont toutes les locations de mémoire sont remplies ne pourra pas être accepté et sera donc perdu.

Pour faciliter la programmation, la première méthode a été utilisée dans le programme servant à la simulation du réseau "CANUNET".

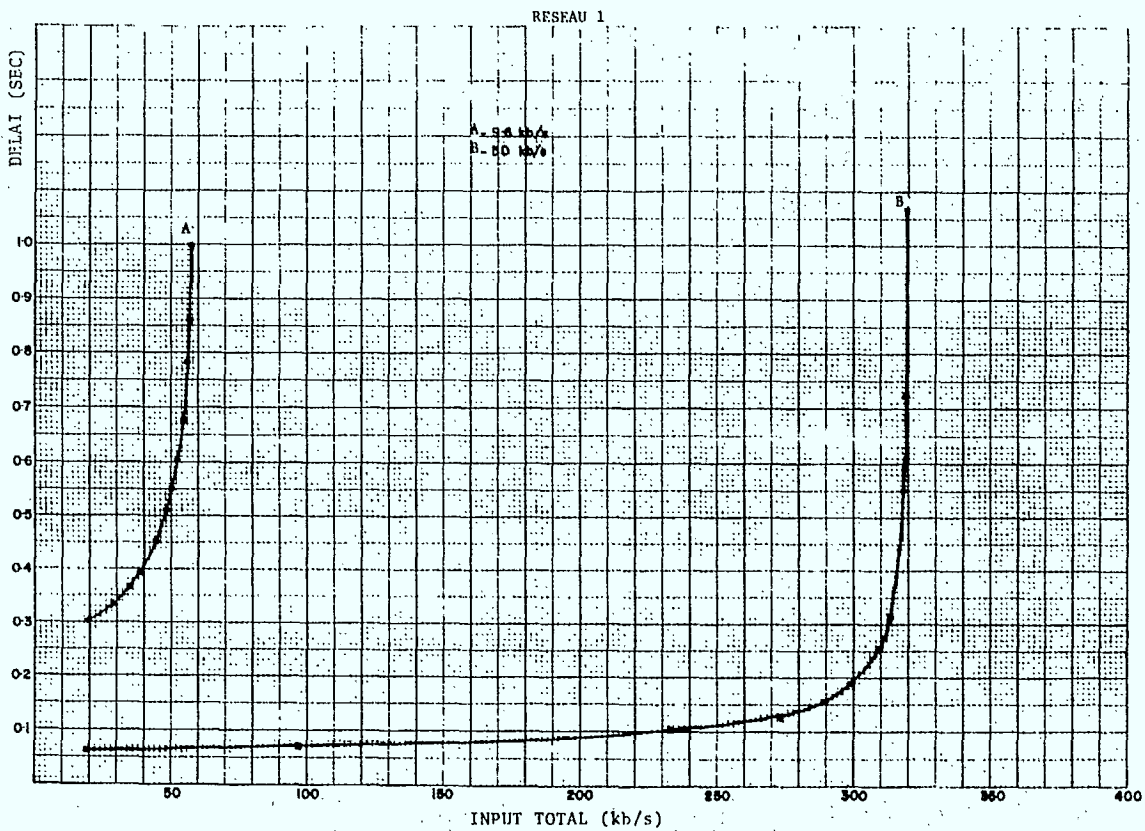
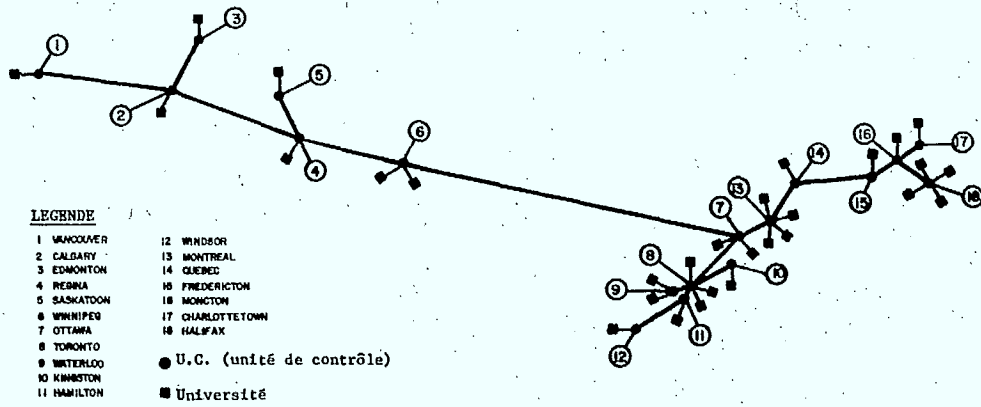
#### 4. RESEAUX TERRESTRES POUR "CANUNET"

Dans cette partie de l'étude deux configurations possibles pour le réseau CANUNET ont été analysées. Ces deux configurations, de 18<sup>(\*)</sup> unités de contrôle chacune, ont été choisies dans le but de démontrer les avantages d'une topologie double (double dans le sens qu'il y a un minimum de deux routes entre chaque paire d'unités de contrôle) par rapport à une topologie simple (un seul chemin entre deux unités de contrôle). Pour chaque réseau on inclut la topologie et un graphique représentant la variation du délai total moyen subi par un paquet en fonction du nombre total de bits par seconde entrant dans le réseau, pour des canaux de communication de 9.6 kb/sec. et 50 kb/sec. Le modèle utilisé pour l'obtention de ces résultats est le modèle mathématique décrit précédemment.

---

\* Pour de plus amples détails sur ces configurations et sur d'autres configurations, le lecteur est prié de consulter le rapport "Topological Analysis and Design of CANUNET" par J. deMercado, R. Guindon, J. Da Silva et M. Kadoch, Department of Communications, Terrestrial Planning Branch, January 1972.

RESEAU 1



RESFAU 2

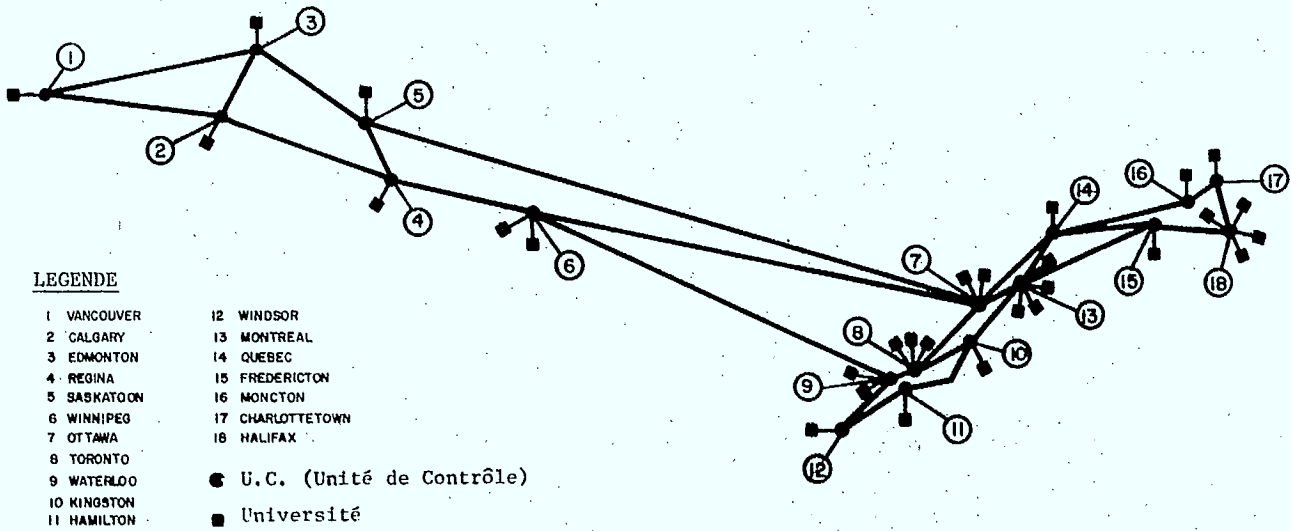


Fig. 3.

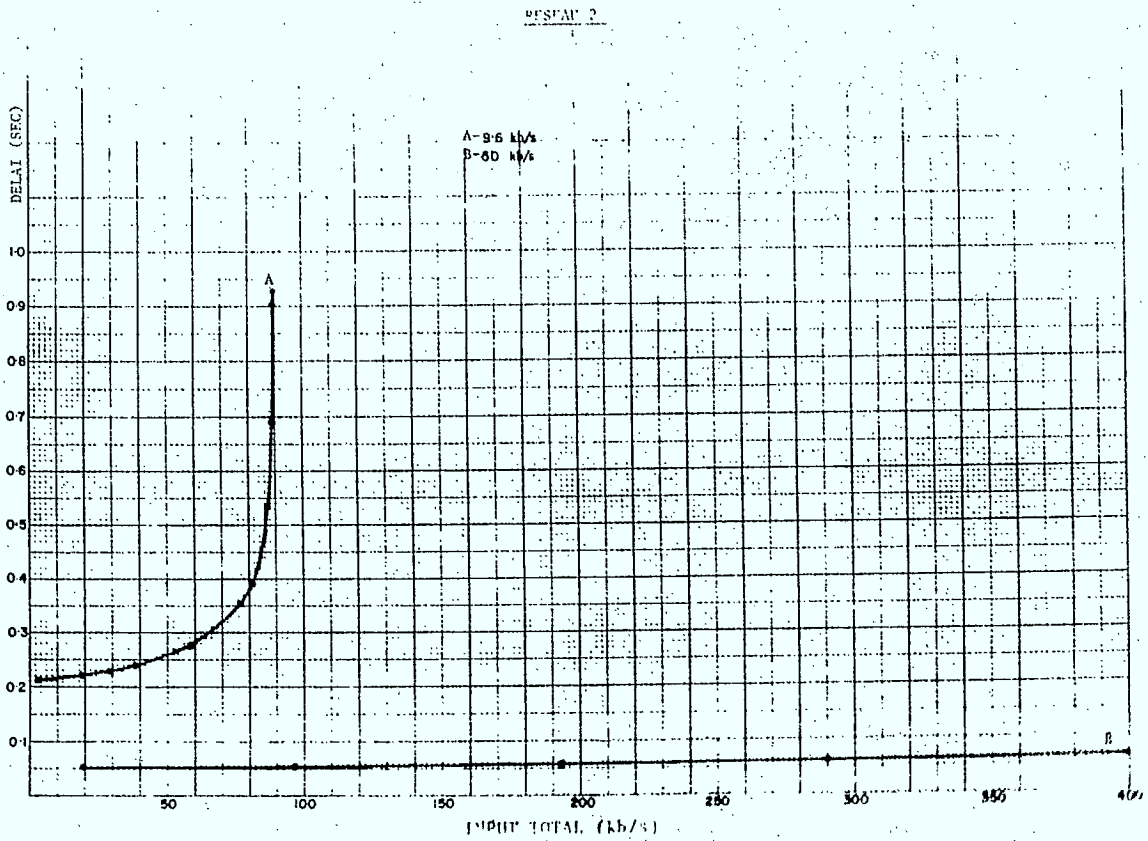


Fig. 4.

## 5. RESEAUX HYBRIDES POUR "CANUNET"

Après avoir analysé deux réseaux terrestres possibles pour "CANUNET", on décrit maintenant les résultats obtenus lorsque l'utilisation du satellite "ANIK" est envisagée. Le satellite "ANIK", dont l'opération commerciale est prévue pour janvier 1973, a une capacité de 12 canaux RF. Chaque canal RF peut transporter jusqu'à 60 Mb/s ou 960 canaux de voix unidirectionnels, dépendant du type de modulation et du type de station terrienne utilisée (\*). Aussi chaque canal RF peut-il accommoder jusqu'à 70 porteuses d'une capacité de 50 kb/s ou 140 porteuses d'une capacité de 9.6 kb/sec. Dans les configurations choisies, à chaque station terrienne serait assigné un canal de 50 kb/s possédant une seule fréquence émettrice. D'autre part, chaque station terrienne serait équipée de façon à pouvoir capter toutes les fréquences émises par les autres stations terriennes. Les deux topologies illustrées contiennent chacune 10 unités de contrôle et 5 stations terriennes (\*\*). Comme précédemment, pour chaque topologie un graphique représentant le délai total moyen en fonction du nombre total de bits par seconde entrant dans le réseau,

---

\* Une description détaillée de satellite ANIK peut être trouvée dans "Communications Capability of the Canadian Domestic Satellite System" par J. Almond et R.M. Lester, I.C.C. Conference Paper, June 1971.

\*\* Le lecteur pourra trouver les résultats obtenus pour d'autres configurations dans "Topological Analysis of CANUNET" par J. deMercado, R. Guindon, J. da Silva et M. Kadoch, Department of Communications, Terrestrial Planning Br., March 1972.

pour des canaux terrestres de 9.6 kb/s et 50 kb/s, a été  
inclu. Les canaux reliant le satellite aux stations  
terriennes sont des canaux de 50 kb/s.

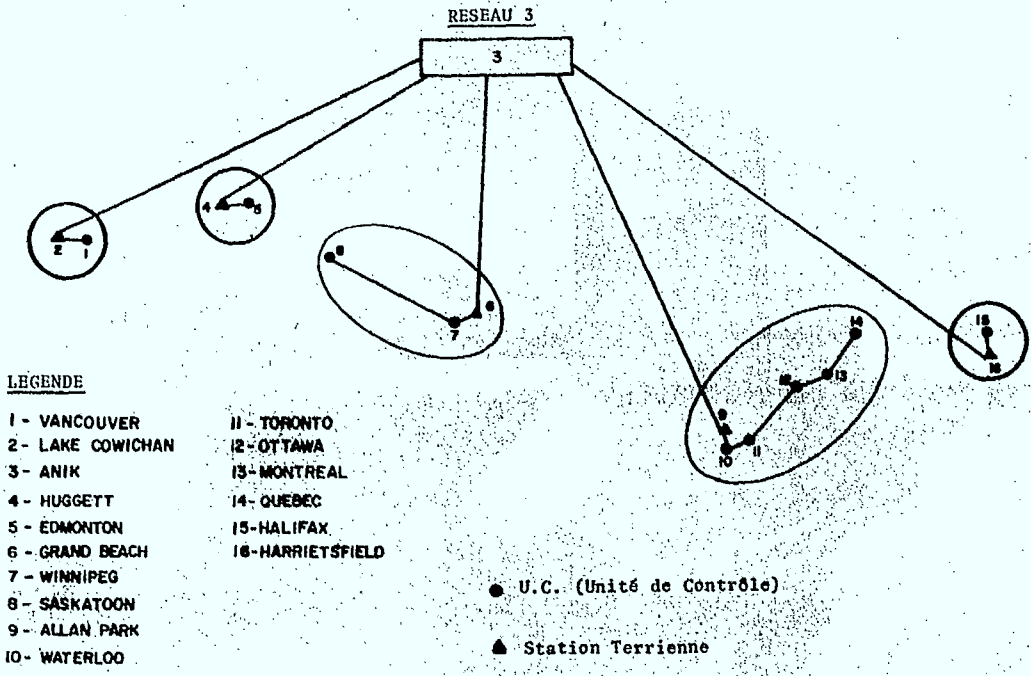


Fig. 5.

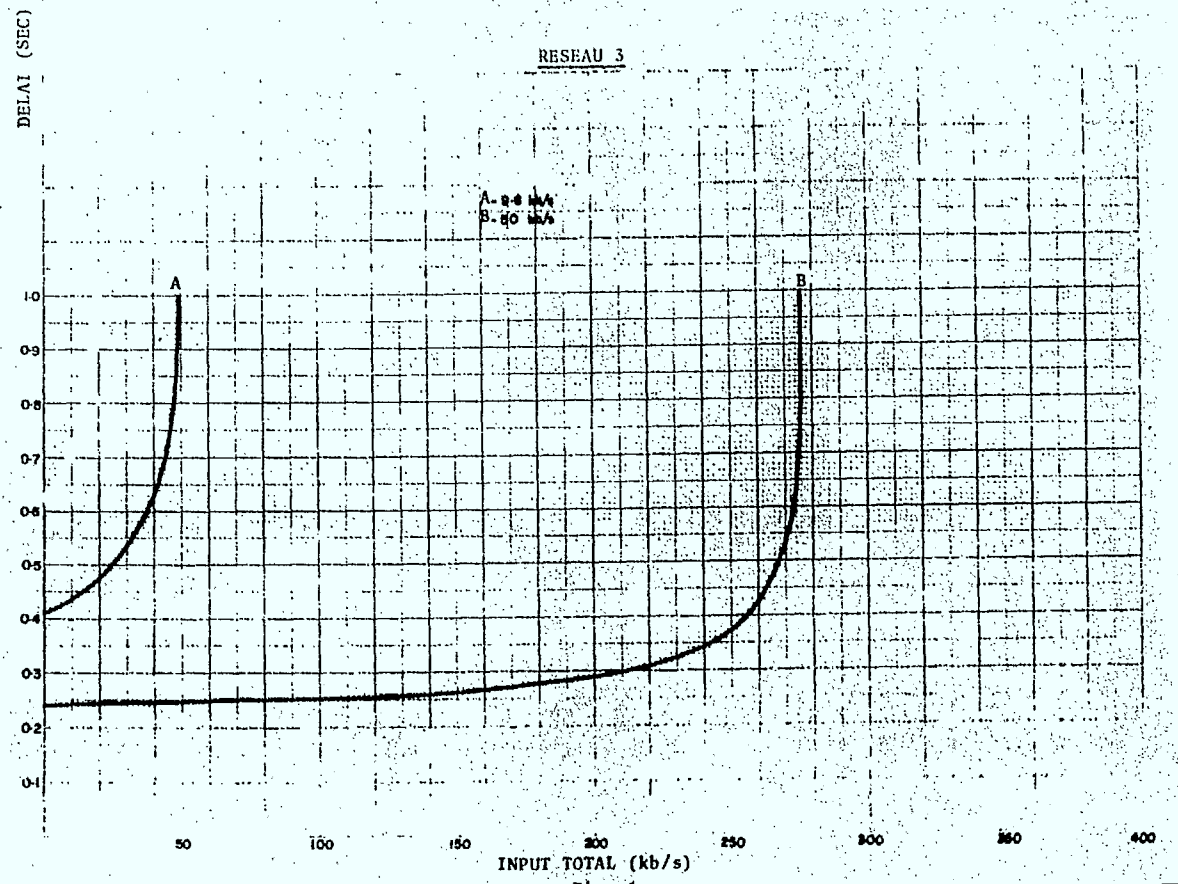


Fig. 6.

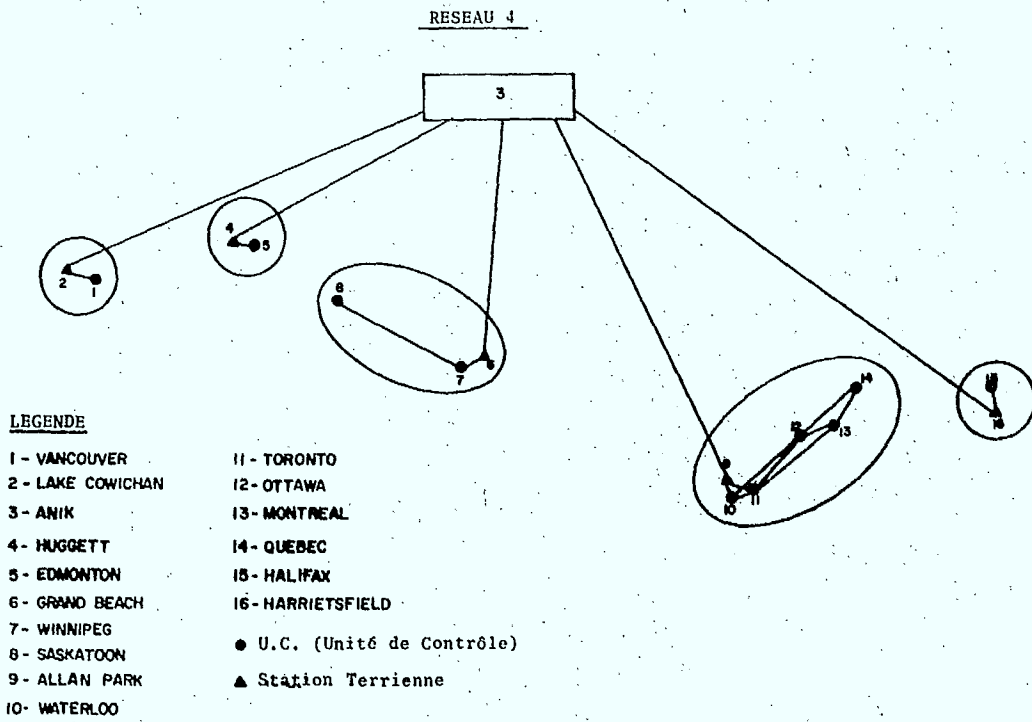


Fig. 7.

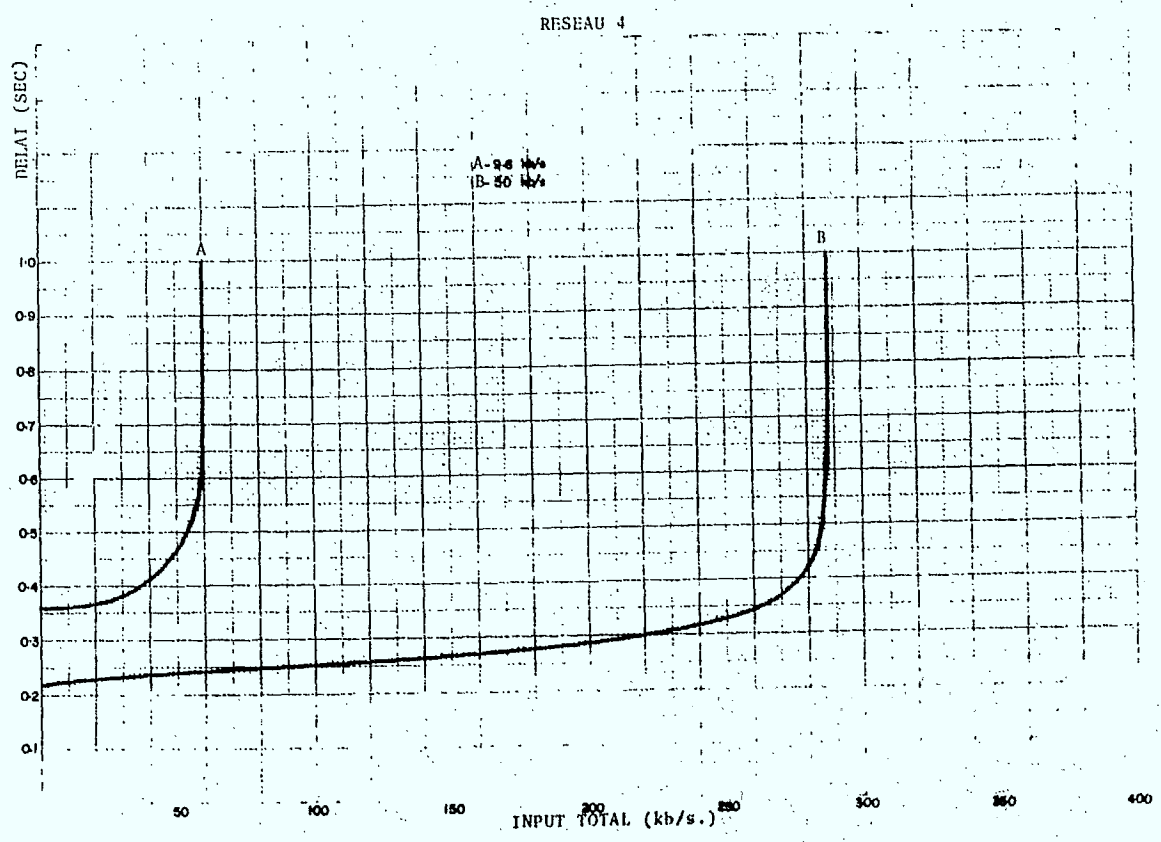


Fig. 8.



## 6. CONCLUSION

L'analyse d'un réseau d'ordinateurs à laquelle nous avons procédé à la section 2 nous a permis d'étudier quatre réseaux types, deux étant des réseaux terrestres et les deux autres des réseaux hybrides.

En comparant les résultats obtenus pour les réseaux 1 et 2 on remarque que non seulement le délai rencontré par un message est plus faible pour un même niveau de trafic dans le réseau 2, mais aussi que la capacité totale du réseau 1 est inférieure à celle du réseau 2 quelque soit la capacité des canaux de communication utilisée. Ceci s'explique facilement en observant que dans le réseau 1 un message traverse en moyenne plus d'unités de contrôle que dans le réseau 2. Aussi dans le réseau 1 la congestion des canaux de communication est-elle atteinte beaucoup plus rapidement que dans le réseau 2, ce qui entraîne des délais plus élevés. Il faut noter que par un choix dynamique des routes à suivre par un paquet, on pourrait réduire considérablement les délais obtenus dans les deux cas.

Mentionnons aussi que le choix du réseau approprié doit être fait en tenant compte non seulement de son coût mais aussi de sa capacité totale. Ainsi, bien que le coût du réseau 1 soit inférieur au réseau 2, la capacité de ce dernier est beaucoup plus élevée.

Le même type de considérations s'applique aux réseaux hybrides 3 et 4. La différence majeure entre les réseaux terrestres et hybrides réside dans le fait que le délai minimum subi par un message est plus élevé pour ces derniers. Ceci s'explique par le fait que le satellite étant situé à environ 22,300 milles de la terre, le temps de propagation d'un message, empruntant une route passant par ce dernier, est de 260 ms\*. Bien que la capacité des réseaux 3 et 4 n'excède pas 300 kb/s les avantages découlant de l'utilisation d'un satellite sont considérables. En effet, la topologie du réseau peut être variée assez facilement ce qui permet un usage plus efficace du réseau. D'autre part, pour accroître le nombre d'interconnexions possibles, il suffit d'ajouter aux stations terriennes en jeu le nombre d'émetteurs et de récepteurs requis.

Les auteurs tiennent à remercier la collaboration de M. Michel Kadoch responsable en grande partie du programme de simulation de "CANUNET".

Nos remerciements vont aussi à Mlle Yollande Chartrand pour avoir bien voulu dactylographier cet article.

---

\* Cette valeur dépend de la position du satellite et de la localisation des stations terriennes et varie entre 250 et 270 ms.

## REFERENCES

- (1) Corbato, F.J.,  
M. Daggett, and  
R.C. Daley "An Experimental Time-Sharing  
System"; Proceedings of S.J.C.C.,  
pp. 335-344, May 1962.
- (2) R.R. Everett,  
C.A. Zraket, and  
H.D. Benington. "SAGE: A Data Processing System  
for Air Defence"; EJCC,  
pp. 148-155, 1957.
- (3) J. Evans "Experience Gained from the  
American Airlines SABRE System  
Control Program"; Proc. ACM  
National Meeting, pp. 77-83,  
August 1967.
- (4) D.W. Davies "The Principles of a Data  
Communication Network for  
Computer and Remote Peripherals"  
I.F.I.P. Congress, pp. D11-5, 1968.
- (5) L.G. Roberts, and  
B.D. Wessler "Computer Network Development to  
achieve Resource Sharing",  
Spring Joint Computer Conference,  
pp. 543-549, 1970.
- (6) "The MERIT Computer Network", Progress  
Report for the period July 1969 to  
March 1971, May 1971.
- (7) M.P. Brown "Ontario University Computers to be  
linked in Network", Canadian Data  
Systems, pp. 48-50, 61-62, March '72
- (8) L.R. Ford, and  
D.R. Fulkerson "Flows in Networks"; Princeton  
University Press, Princeton, N.J.,  
1962.

- (9) L. Kleinrock "Models for Computer Networks";  
I.C.C. Proceedings, Boulder,  
Colorado, Juin 1969.
- (10) L. Kleinrock "Analytic and Simulation Methods  
in Computer Network Design";  
Proceedings of S.J.C.C., AFIPS  
Press, pp. 569-580, 1970.
- (11) Conseil des Sciences "Un réseau Transcanadien de  
du Canada Téléinformatique", Rapport # 13,  
août 1971.
- (12) J. deMercado, "Topological Analysis and Design  
R. Guindon, of CANUNET", Department of  
J. DaSilva and Communications, Terrestrial  
M. Kadoch Planning Branch, OTTAWA, January  
1972.
- (13) J. Almon, and "Communications Capability of the  
R.M. Lester Canadian Domestic Satellite  
System"; I.C.C. Conference  
Paper, June 1971.
- (14) J. de Mercado, "Topological Analysis of CANUNET",  
R. Guindon, Department of Communications,  
J. DaSilva and Terrestrial Planning Branch,  
M. Kadoch March 1972.
- (15) J. Da Silva, "Etude d'un réseau d'ordinateurs  
R. Guindon and pour le Canada". Rapport  
M. Kadoch préliminaire. Ministère des  
Communications, Ottawa, janvier  
1972.
- (16) R.E. Kahn, and "Flow Control in a Resource-Sharing  
W.R. Crowther Computer Network"; Second ACM  
Symposium on Problems in the  
Optimization of Data Communication  
Systems; pp. 108-116, 1971.
- (17) D.A. Twyver, J.F. "A Network Design for CANUNET",  
Hogg, and W. Dettwiler The Univ. of British Columbia  
Computing Center, March 1972.

BIBLIOGRAPHIE

- T.L. Saaty. "Elements of Queueing Theory";  
McGraw Hill Book Company, 1961.
- D.R. Cox, and  
W.L. Smith "Queues"; Methuens Monographs  
on Applied Probability and  
Statistics, 1961.
- L. Kleinrock "Message Switching Networks:  
Tools and Applications"; Cours  
professé au C.R.C., Shirley  
Bay, 20 sept. au 1<sup>er</sup> oct. 1971.
- L. Kleinrock "Communication Nets; Stochastic  
Message Flow and Delay";  
McGraw-Hill Book Company, 1964.
- H. Frank,  
I.T. Frisch "Communication, Transmission, and  
Transportation Networks";  
Addison-Wesley Publishing Co.,  
1971.



