

Architecture des réseaux étendus

Après avoir réalisé notre première interconnexion, nous pouvons passer à l'étape suivante qui consiste à créer un réseau WAN complet.

À l'inverse d'un LAN qui est par essence privé, un WAN nécessite d'emprunter des réseaux publics ou opérateurs qui agissent sous licence octroyée par l'État.

À l'inverse de votre LAN sur lequel vous pouvez réaliser des excès de vitesse gratuitement jusqu'au gigabit, la vitesse est limitée à quelques dizaines de mégabits sur les réseaux WAN. Et, plus vous allez vite et loin, plus c'est cher.

Il faut donc choisir avec discernement la technologie à utiliser, et déterminer au mieux en fonction de vos besoins et de votre budget la route à emprunter (route départementale, voie rapide, autoroute de l'information avec péage, bretelle d'accès, etc.).

Dans ce chapitre, vous apprendrez ainsi :

- à choisir un niveau de service opérateur ;
- à connaître les technologies d'accès xDSL ;
- à estimer la volumétrie générée par vos applications ;
- à dimensionner votre réseau WAN.

Les solutions disponibles sur le marché

Après notre première interconnexion, voilà qu'il faut interconnecter quatre nouveaux sites : Toulouse, Marseille, Strasbourg et Londres.

Quels sont alors les moyens mis à notre disposition ?

Les infrastructures

L'élément de base d'un réseau étendu est la **liaison** détenue et gérée par un **opérateur** : France Télécom et Cegetel en France, Deutsche Telekom en Allemagne, MCI et Sprint (pour ne citer qu'eux) aux États-Unis, etc.

Une liaison peut être **filaire** (cuivre ou fibre optique) ou **hertzienne** (satellites ou émetteurs terrestres). Les liaisons filaires sont obligatoirement **point à point**, tandis que les liaisons hertziennes peuvent être point à point ou **multipoint**.

Les opérateurs se louent leurs liaisons entre eux. Ils bâtissent leurs propres réseaux basés sur des liaisons qui leur appartiennent et sur d'autres qu'ils louent là où ils ne peuvent pas en construire.

La construction de liaisons filaires ou hertziennes requiert, en effet, des autorisations administratives (**licences**) pour pouvoir poser les câbles à travers des territoires appartenant à chaque État, lancer les satellites, obtenir les fréquences hertziennes et les exploiter commercialement. En France, l'ART (autorité de régulation des télécommunications) est responsable de l'attribution de ces licences aux opérateurs. Depuis peu, la libéralisation du commerce mondial incite à faire sauter les derniers monopoles.

Au niveau international, l'organisme qui contrôle les activités télécoms (autorisations, projets internationaux, normes, etc.) est l'**ITU** (*International Telecommunication Union*) qui est affilié à l'ONU. Tous les opérateurs nationaux sont membres de l'ITU.

La plupart des liaisons internationales sont le fruit d'une coopération entre les opérateurs qui utilisent les bandes passantes proportionnellement à leur participation financière. Certains opérateurs possèdent en propre leurs liaisons internationales, et les louent à d'autres opérateurs.

RÉSEAUX LOCAUX, ÉTENDUS ET INTERSITES

Le terme LAN (*Local Area Network*) désigne les **réseaux locaux**, dont le principal représentant est Ethernet. Le terme WAN (*Wide Area Network*) désigne les **réseaux étendus** dont les représentants les plus répandus sont les LS, Frame Relay et ATM.

On désignera par **réseau intersite** un réseau d'interconnexion de réseaux locaux reposant sur un réseau étendu et des **routeurs** qui réalisent l'interface entre les LAN et le WAN.

Les réseaux opérateurs

À partir des liaisons qui lui appartiennent en propre ou qu'il loue, un opérateur crée un ou plusieurs réseaux interconnectant ses sites. Ces liaisons se terminent par des multiplexeurs et des commutateurs (Frame-Relay, ATM, SDH ou propriétaires). L'opérateur propose ensuite à ses clients de partager son réseau en leur revendant de la bande passante et en leur proposant un service d'exploitation.

Une entreprise désirant interconnecter ses sites, ou un particulier désirant communiquer à distance (téléphoner, se connecter à l'Internet ou à son intranet, etc.) devra **obligatoirement faire appel aux services d'un opérateur**.

Le premier de ces réseaux est historiquement le **RTC** (ou réseau téléphonique commuté) qui permet aux entreprises et aux particuliers de communiquer par téléphone moyennant un abonnement et une facturation à la durée.

Le second type qui est apparu est la **LS** (ligne spécialisée, encore appelée ligne louée), qui permet aux entreprises d'interconnecter leurs sites moyennant un abonnement mensuel dont le coût dépend du débit utilisé et de la distance.

L'accès au réseau

Les sites et les liaisons qui constituent le réseau de l'opérateur peuvent être plus ou moins nombreux, et la **zone de couverture** de ce réseau peut être plus ou moins étendue.

Chaque client doit se raccorder au réseau de l'opérateur *via* des **liaisons d'accès** (filaires le plus souvent, ou hertzienne pour le téléphone mobile, par exemple) entre son site et les points d'accès appelés **POP** (*Point Of Presence*) de l'opérateur. La liaison d'accès est également appelée desserte locale ou, plus spécifiquement, **boucle locale**.

L'intérêt d'une telle solution est que le POP soit plus près possible du site client afin que la liaison de raccordement, dont le prix dépend du débit et de la distance, coûte le moins cher possible. Le RTC est le réseau opérateur qui dispose du plus important nombre de POP : il s'agit d'un commutateur installé au coin de la rue, dans un immeuble. Mais, pour les autres réseaux, il n'en est pas de même. Par exemple, vous avez sans doute consulté les zones de couverture d'Itinéris, de Bouygues Telecom, de SFR, etc.

L'opérateur installe toujours un équipement d'extrémité, appelé **CPE** (*Customer Premises Equipment*), dans les locaux du client qui permet de gérer la liaison d'accès. Il s'agit, par exemple, d'un modem, d'un commutateur, etc., selon le niveau de service fourni.

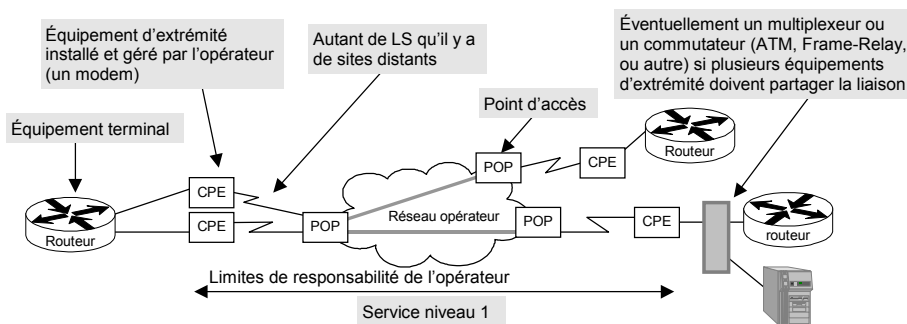
Les services proposés par les opérateurs

L'opérateur propose à ses clients d'utiliser son réseau en leur revendant de la bande passante ainsi que différents niveaux de service d'exploitation. À la diversité des technologies s'ajoute le maquis des services proposés, l'habillage commercial en quelque sorte. Bien qu'il en existe de nombreuses variantes, on trouve principalement trois types de services.

Niveau de prestation	Description technique	Service fourni	Exemples
1. Fourniture du support de transmission brut (couche physique)	Liaisons (le plus souvent point à point) pour créer un réseau privé	Support client de la liaison	Lignes spécialisées, liaisons VSAT
2. Réseau fédérateur (couches physique et liaison)	Création d'un réseau privé (le plus souvent multipoint) au-dessus de l'infrastructure opérateur	Réseau fourni et exploité par l'opérateur + support client	Réseau ATM, Frame-Relay ; accès à l'Internet
3. Service à valeur ajouté (couches physique, liaison et réseau)	Support de transmission + réseau fédérateur + équipements terminaux (routeur, téléphone, etc.)	Réseau de bout en bout (juste dans le site du client) fourni et exploité par l'opérateur	RTC, RNIS, interconnexion de LAN, accès à l'Internet

Le service de niveau 1 permet aux clients de disposer du support de transmission qui leur est fourni : ils peuvent installer des multiplexeurs, des commutateurs ATM ou Frame-Relay, des routeurs, etc. pour transmettre des données, de la voix ou de la vidéo.

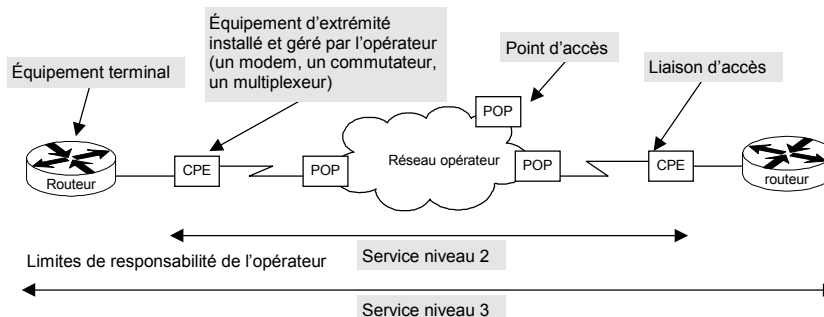
Figure 9-1.
Service opérateur
de niveau 1
– lignes
spécialisées.



Le service de niveau 2 consiste à profiter de l'infrastructure réseau de l'opérateur, qui est vu comme un nuage (un réseau multipoint), sur lequel les sites du client sont raccordés *via* des liaisons locales et les POP.

Le service de niveau 3 est un service complet : l'opérateur propose un service clé en main *via* un réseau quelconque, avec les moyens et les technologies qu'il souhaite. Le client ne voit que le service : téléphone, interconnexion de réseaux locaux, etc.

Figure 9-2.
Services opérateurs
de niveaux 2 et 3.



Pour compliquer un peu la situation, sachez qu'il existe deux types d'offres de niveaux 2 et 3 :

- Les **VPN** (*Virtual Private Network*). Les clients se partagent le réseau de l'opérateur mais sont physiquement ou logiquement séparés. L'opérateur leur garanti la bande passante demandée ainsi que le niveau de service souhaité, avec des engagements de résultats.
- Les **VPN-IP** (*VPN sur un réseau IP*). Les clients se partagent le réseau de l'opérateur mais ne sont pas obligatoirement séparés. L'opérateur ne garantit pas que le client disposera de toute la bande passante demandée et n'offre généralement pas ou peu d'engagements de services.

Les VPN sont bien sûr plus chers que les VPN-IP, car les engagements de services sont meilleurs. Les VPN sont pour cela adaptés aux interconnexions de réseaux locaux, tandis que la vocation première des VPN-IP est la connexion à l'Internet, voire la mise en place d'un intranet.

Dans tous les cas, le client doit signer un contrat de service, appelé **SLA** (*Service Level Agreement*), avec l'opérateur. Ce dernier s'engage à fournir une qualité de service (temps de réponse, débit garanti, taux de disponibilité, etc.) ainsi qu'à payer des pénalités au client en cas de non-respect de ses engagements.

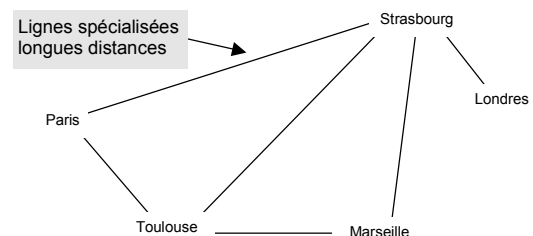
Les choix du client

Pour créer notre réseau étendu, la première question concerne le niveau de service que nous allons demander à l'opérateur. Du point de vue client, nous avons le choix entre deux types de solutions :

- **Solution privée** reposant sur le service de niveau 1. L'entreprise construit son réseau étendu.
- **Solution opérateur** reposant sur les services de niveau 2 et 3. L'entreprise confie tout ou partie de son réseau étendu à un opérateur.

La première solution consiste à suivre le modèle de notre première interconnexion, afin de réaliser notre propre réseau multipoint reposant sur des lignes spécialisées point à point.

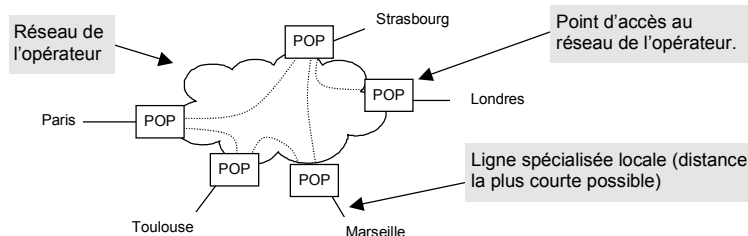
Figure 9-3.
*Réseau privé
reposant sur des LS.*



Le réseau peut être en étoile sur un site principal, distribué selon l'importance relative de chaque site, ou plus ou moins maillé afin de répartir la charge et d'assurer le secours des liaisons.

La seconde solution repose sur l'utilisation d'un réseau opérateur. Elle consiste en des liaisons d'accès aux POP que l'on peut considérer comme étant des lignes spécialisées locales. Pour une interconnexion de réseaux locaux, l'offre VPN est plus appropriée que l'équivalent sur IP.

Figure 9-4.
*Réseau privé virtuel
basé sur un réseau
opérateur.*



L'opérateur installe les liaisons d'accès locales (ou les commande auprès de l'opérateur local s'il n'a pas les licences) entre les sites du client et ses points d'accès.

Le réseau opérateur peut s'engager sur différents services :

- Taux de disponibilité. L'opérateur garantit que son réseau sera disponible 99,9 % du temps (c'est une valeur courante).
- Bande passante. L'opérateur garantit que le client disposera du débit demandé (512 Kbit/s entre deux sites, par exemple) pendant 100 % du temps.
- Temps de transit. L'opérateur garantit le temps mis par un paquet pour aller d'un site à l'autre.

Ces garanties peuvent être valables de POP à POP (c'est-à-dire dans le réseau fédérateur de l'opérateur appelé backbone) ou de bout en bout (c'est-à-dire entre les sites du client), liaisons et équipements d'accès compris. C'est à vous de négocier les engagements en fonction du coût.

L'opérateur exploite son réseau à l'aide d'un ou plusieurs centres de supervision, de centres de support client (*Help Desk*) et d'équipes projet qui lui permettent d'offrir un service de guichet unique (interlocuteur unique) :

- L'opérateur se charge de toutes les commandes de LS d'accès auprès des opérateurs locaux, de l'installation des équipements, de la configuration de son réseau pour accueillir le VPN du client ainsi que de la gestion du projet.
- Quels que soient le site et le pays, le client peut appeler le centre de supervision pour lui signaler un problème, et inversement.
- Il n'y a qu'une facture, et le client choisit le mode de facturation qu'il souhaite : centralisée, répartie par site, etc.

- L'opérateur fournit des statistiques sur le VPN du client et les preuves que ses engagements ont été respectés. Cela n'empêche pas le client de mettre en place son propre système de contrôle.

Critère	Solution privée	Solution opérateur
Investissements	Importants (frais de mise en service et achat des équipements)	Faibles (frais de mise en service) ; pas d'achat d'équipement
Coûts de fonctionnement	Assez faibles en national, élevés à l'international	Assez élevés (coût des LS plus faible et forfait opérateur)
Exploitation	Assurée par la société (vous)	Assurée par l'opérateur (supervision des LS, exploitation, etc.)
Distances des LS	Longues entre les sites	Locales entre les sites et les POP de l'opérateur

Une entreprise a toujours la possibilité de passer d'une solution privée à une solution opérateur, autrement dit d'**externaliser** son réseau (ce que l'on appelle l'**outsourcing**). L'opération inverse (la **réversibilité**) n'est pas dans l'air du temps et est toujours une opération délicate. La réversibilité peut aussi être appliquée pour changer d'opérateur en cas d'insatisfaction.

Le réseau de transport

Les opérateurs utilisent des réseaux spécifiques pour transporter une variété de flux (voix, lignes spécialisées, Frame-Relay, ATM, etc.) à des débits divers (de 64 Kbit/s à plusieurs Mbit/s). Les opérateurs doivent mettre en place une infrastructure pour constituer leur réseau fédérateur (*backbone*) et pour en permettre l'accès à leurs clients (boucle locale).

Qu'est-ce qu'une LS ?

Une LS (ligne spécialisée ou ligne louée) est un terme générique pour désigner une liaison point à point entre deux sites.

Pour l'utilisateur, une LS consiste en deux ou quatre fils (plus rarement six) de cuivre reliant deux de ses sites. Pour l'opérateur, ce n'est qu'une liaison d'accès à son réseau : la liaison cuivre qui part du site du client aboutit à un multiplexeur qui concentre d'autres LS (issues d'autres clients) sur des liaisons haut débit en fibre optique.

Les LS reposent sur deux technologies :

- T1 (États-Unis, Canada et Japon) et E1 (reste du monde), qui date des années 60.
- HDSL (*High bit rate Digital Subscriber Line*), qui date des années 80.

Dénomination	Technologie	Codage en ligne	Distance
E1	MIC (<i>modulation par impulsions codées</i>) 32 canaux de 64 Kbit/s	Bipolar AMI (<i>Alternate Mark inversion</i>)	De 1 à 2 km sans répéteur 2 paires
T1	PCM (<i>Pulse Code Modulation</i>) 24 canaux de 64 Kbit/s	Codage bipolar AMI	De 1 à 2 km sans répéteur 2 paires
HDSL	DSL Trames transmises en 6 ms	2B1Q (2 bits / 1 signal quaternaire)	De 3,7 à 7,9 km sans répéteur 1, 2 ou 3 paires

Le débit offert par une E1/T1 est un multiple de 64 Kbit/s. Cette unité correspond à un canal dans un lien E1 à 2,048 Mbit/s (32 canaux à 64 Kbit/s) ou T1 (*Trunk-carrier, level 1 multiplexing*) à 1,544 Mbit/s (24 canaux à 64 Kbit/s + 8 Kbit/s de signalisation).

Les ondes sonores de la voix sont converties en signaux numériques à un débit de 64 Kbit/s, tout comme le mouvement est converti en 24 images/seconde par une caméra. Ce débit est lié aux limitations technologiques des années 60, et demeure encore l'unité de référence. Les progrès font que, aujourd'hui, on peut se contenter de 8 Kbit/s, voire moins.

L'unité de base est donc constituée d'un **canal** de 64 Kbit/s (dénommé DS0, *Digital Signaling 0*). Étant donné qu'il est plus pratique et plus économique de transporter plusieurs canaux en même temps, ces derniers sont multiplexés au sein d'une liaison composite (*trunk*). Et, comme dans toutes les couches réseaux (nous sommes ici au niveau physique), un protocole est nécessaire pour gérer ces canaux (début et fin du canal, synchronisation des horloges, etc.). Un canal est donc dédié à ce protocole souvent appelé canal de **signalisation**.

Liaison	Canaux de données utiles	Canaux de signalisation
RNIS (réseau téléphonique numérique)	2 canaux à 64 Kbit/s	1 canal à 16 Kbit/s
E1 en Europe : 2 048 Kbit/s	30 canaux à 64 Kbit/s	2 canaux à 64 Kbit/s
T1 aux États-Unis : 1 544 Kbit/s	24 canaux à 64 Kbit/s	1 canal à 8 Kbit/s

Ces échanges point à point sont réalisés entre deux multiplexeurs qui dialoguent *via* le canal de signalisation (des bits prélevés sur le débit global).

Un multiplexeur prend ainsi n canaux à 64 Kbit/s en entrée, et génère un signal de 2 048 Mbit/s en sortie pour une E1. Un autre type de multiplexeur prend quatre canaux à 2 Mbit/s en entrée, et génère un signal à 8 Mbit/s en sortie, et ainsi de suite. On définit ainsi une hiérarchie de débits **plésiochrones** (plusieurs horloges, une pour chaque type de multiplexeur) jusqu'à 34 Mbit/s en Europe et 45 Mbit/s aux États-Unis.

Aujourd'hui, cette cascade de multiplexage a été remplacée par des multiplexeurs permettant d'extraire directement la bande passante souhaitée. On définit ainsi une hiérarchie de débits **synchrones** (une seule horloge pour transporter plusieurs débits). La structure des trames et le protocole associé sont **SONET** (*Synchronous Optical Network*) aux États-Unis, et **SDH**

(*Synchronous Digital Hierarchy*) en Europe. Ces réseaux forment le cœur des infrastructures réseau haut débit des opérateurs (de 51,84 Mbit/s à plus de 9 Gbit/s).

L'opérateur installe dans les locaux du client un **CSU/DSU** (*Channel Service Unit/Data Service Unit*) qui génère et reçoit les signaux sur la LS. Le CSU/DSU est l'équivalent numérique du modem : alors que ce dernier convertit les signaux analogiques en signaux numériques et inversement, le CSU/DSU convertit les signaux numériques des interfaces locales (V.35, X21/V11, etc.) en signaux numériques adaptés aux longues distances, xDSL par exemple.

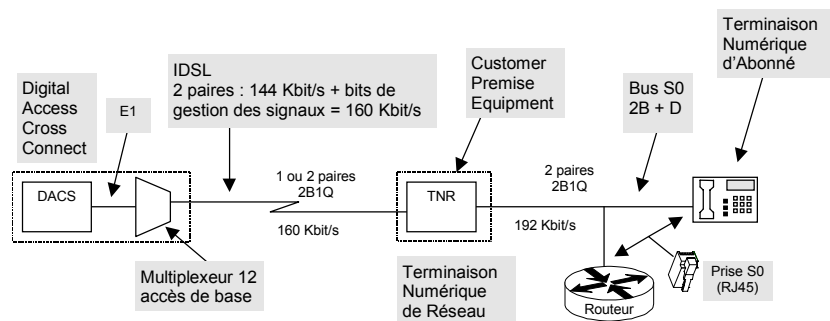
Le **CPE** (*Customer Premises Equipment*) est le terme générique désignant un équipement de raccordement installé chez le client. Il s'agit d'un CSU/DSU (équipement de base), d'un commutateur ATM ou Frame-Relay, d'un FRAD ou d'un routeur. Ces derniers peuvent ou non intégrer un CSU/DSU.

La boucle locale

Les technologies PCM/MIC utilisées par les liaisons T1 et E1 depuis les années 60 sont aujourd'hui dépassées. Les lignes spécialisées offrent toujours une interface E1 ou T1 à leurs clients, mais le PCM a fait place aux technologies DSL (*Digital Subscriber Line*). Celles-ci utilisent des codages plus performants et des processeurs spécialisés dans le traitement du signal, les DSP (*Digital Signaling Processing*).

La première de ces technologies est **IDSL** (*Integrated Service Digital Network DSL*), couramment appelée RNIS (*réseau numérique à intégration de service*) et commercialisée sous le nom de Numéris par France Télécom. Le RNIS est la base du réseau téléphonique numérique ; il a été la première technologie numérique à être proposée aux particuliers. L'accès de base T0 offre deux canaux B de 64 Kbit/s chacun pouvant être utilisés séparément (deux communications) ou agrégés pour offrir un débit de 128 Kbit/s. Un canal D de 16 Kbit/s est réservé à la signalisation (numérotation, réveil du terminal, etc.). Des bits supplémentaires permettent de gérer les signaux transmis sur le câble.

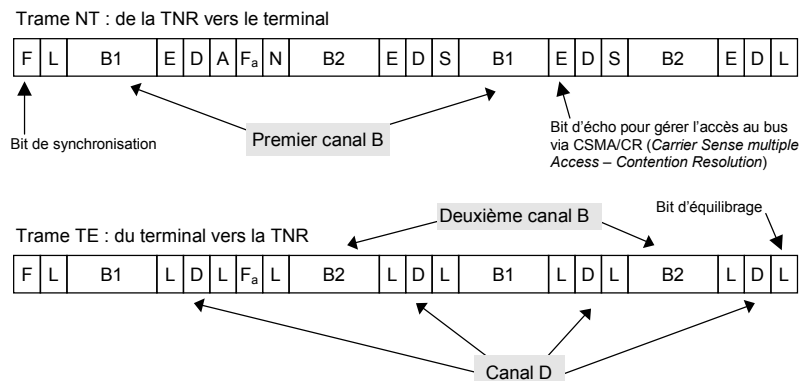
Figure 9-5.
L'accès
de base IDSL.



Côté client, le RNIS se présente sous la forme d'un bus, appelé bus S0, sur lequel plusieurs équipements peuvent être connectés (téléphones, télécopieurs, routeurs, etc.).

Figure 9-6.

Les trames IDSL
(accès de base S0).



La seconde technologie qui est apparue est **HDSL (High bit rate DSL)** sur laquelle reposent quasiment toutes les liaisons d'accès (LS notamment). La raison est qu'une liaison E1/T1 nécessite de coûteux répéteurs tous les 1 à 2 km, alors que la portée du HDSL est d'au moins 3,7 km (jusqu'à 7,9 km sans répéteur). La réduction du nombre de répéteurs permet ainsi de réduire les coûts des LS de 30 à 50 % par rapport aux E1/T1.

La vraie révolution des technologies xDSL est que cette baisse de prix permet aux opérateurs de proposer des liaisons xDSL aux particuliers pour leurs connexions téléphonique et Internet.

Figure 9-7.

Accès E1
via HDSL.

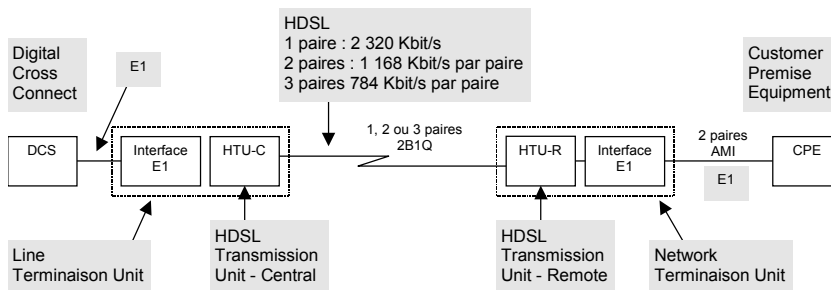
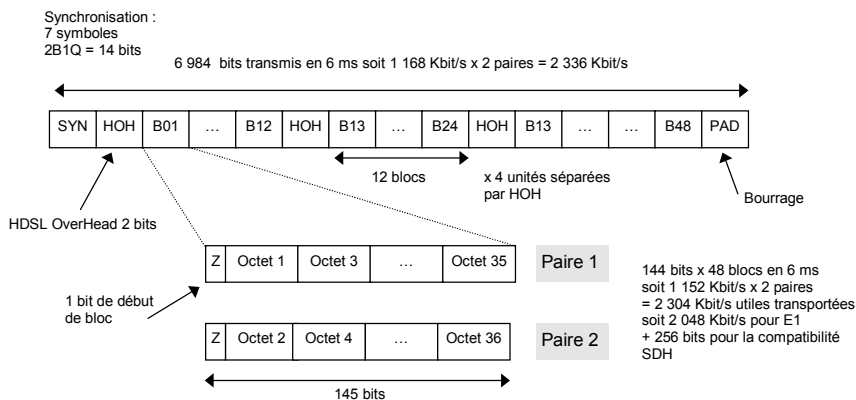


Figure 9-8.

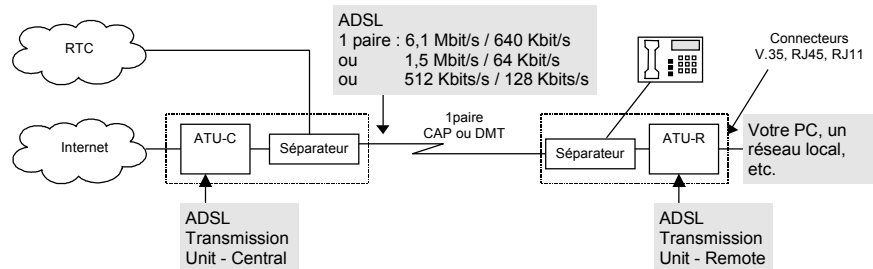
Trames HDSL
sur deux paires.



S-HDSL (*Single pair HDSL*) et **SDSL** (*Symmetric DSL*) sont des versions simplifiées de HDSL.

La norme DSL la plus avancée est **ADSL** (*Asymmetric DSL*). Sa particularité est de présenter des débits différents selon le sens de la transmission : le débit à destination du client est plus important que celui offert à ce dernier en émission. Ce type d'accès est associé à un séparateur offrant un accès analogique pour les téléphones classiques en plus de l'accès numérique. Cela en fait une utilisation appropriée pour les particuliers.

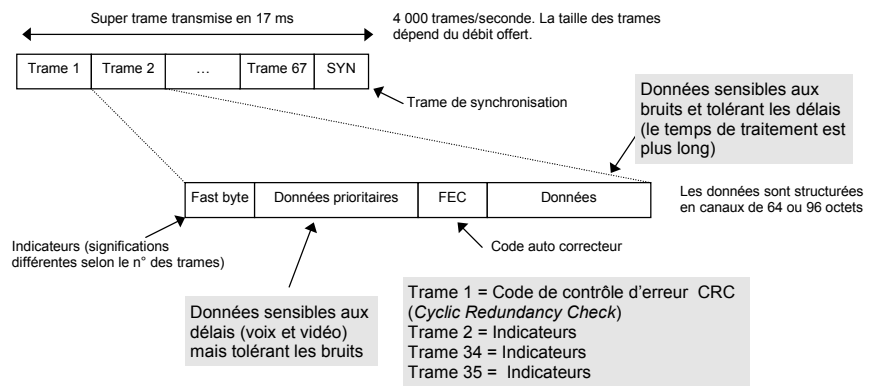
Figure 9-9.
*Accès ADSL
pour
les particuliers.*



Le séparateur peut être inclus ou non dans l'ATU.

Il est à noter que les TNR, HTU et ATU qui viennent d'être évoqués aux figures précédentes sont des modems numériques (CSU/DSU).

Figure 9-10.
*Format
d'une trame
ADSL.*



RADSL (*Rate Adaptive DSL*) est une version d'ADSL qui permet d'augmenter ou de diminuer le débit selon ce que permet la qualité de la ligne. C'est en fait une évolution naturelle d'ADSL.

CDSL (*Customer DSL*) est l'équivalent d'ADSL sans le séparateur (ou séparateur intégré, le draft n'est pas clair à ce sujet). L'objectif est de diminuer les coûts en simplifiant l'installation de l'abonné (suppression du séparateur) ainsi que l'exploitation pour l'opérateur. Les fonctionnalités sont les mêmes que celles fournies par ADSL/RADSL (connexion Internet + téléphone).

La dernière technologie en date est le **VDSL** (*Very high speed DSL*) qui utilise les paires torsadées en cuivre mais surtout la fibre optique. L'objectif premier de VDSL est de transporter des cellules ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). La norme repose sur un multiplexage temporel (TDM, *Time Division Multiplexing*) aux débits normalisés STM (*Synchronous Transfer Mode*), ceux utilisés par SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*).

Technologie	Débit descendant / Montant en Kbit/s	Distance maximale sans répéteur	Nombre de paires	Codage
HDSL <i>High bit rate DSL</i>	De 1 544 / 1 544 à 2 048 / 2 048	3,7 km (24 AWG) 2,7 km (26 AWG)	2 1 à 3	2B1Q
ADSL <i>Asymetric DSL</i>	1 544 De 6 144 / 640 à 1 544 / 176	5,5 km 3,7 km 5,5 km	1 1 1	CAP CAP/DMT DMT
RADSL <i>Rate Adaptative DSL</i>	De 1 544 / 64 à 6 144 / 640	5,5 km 3,7 km	1	DMT
CDSL <i>Consumer DSL</i>	1 024 / 128	5,5 km	1	CAP/DMT
VDSL <i>Very high speed DSL</i>	De 13 000 / 1 500 à 52 000 / 6 000	1,3 km 0,304 km	1 ou FO	DWMT / SLC
S-HDSL <i>Symetric HDSL</i>	768 / 768	3,7 km	1	2B1Q
SDSL <i>Single pair HDSL</i>	De 128 / 128 à 1 024 / 1 024	De 3,5 km à 6,7 km	1	
IDSL <i>ISDN DSL</i>	160 / 160		2	2B1Q

Le débit descendant correspond aux flux allant du réseau (par exemple l'Internet) vers le client (vous), tandis que le débit montant correspond au flux allant du client vers le réseau.

Au sein d'une même norme, les débits et distances varient en fonction du diamètre des fils utilisés (norme AWG, *American Wire Gauge*).

Diamètre des fils	Distance maximale
22 AWG = 0,63 mm	7,9 km (26 000 pieds)
24 AWG = 0,5 mm	5,5 km (18 000 pieds)
26 AWG = 0,4 mm	3,7 km (12 000 pieds)

Les débits peuvent, par ailleurs, être augmentés si les distances sont raccourcies.

Codage utilisé par xDSL	Brève description
DMT (Discrete Multi-Tone)	Repose sur les transformations de Fourier pour gérer et démoduler 256 sous-canaux (sous-porteuses).
DWMT (Discrete Wavelet Multi-Tone)	Repose sur une fonction mathématique, les ondelettes, plus performante que les transformations du Fourier.
SLC (Simple Line Code)	Codage en bande de base à quatre niveaux.
QAM – 16 (Quadrature Amplitude Modulation)	Deux amplitudes et douze changements de phase permettent d'obtenir seize signaux différents représentant 4 bits de données.
CAP (Carrierless Amplitude Phase)	Analogue à QAM, mais sans générer de porteuse.
PAM (Pulse Amplitude Modulation)	2B1Q est un exemple de code PAM à quatre niveaux : 2 bits de données sont codés en un signal quaternaire (quatre niveaux électriques).

Les applications xDSL

Suite à la libéralisation du marché des télécoms, l'enjeu commercial qui aiguise le plus les appétits est celui de la **boucle locale**, c'est-à-dire la liaison d'accès aux réseaux des opérateurs. HDSL couvre les besoins des entreprises en matière de réseau étendu, tandis que les besoins des particuliers (téléphone, télévision, accès à l'Internet – c'est-à-dire les services résidentiels) sont couverts par ADSL/RADSL/CDSL.

Technologie	Applications / Marché visé
IDSL (accès de base RNIS, 2B+D)	Pour les entreprises : Téléphonie numérique, accès à l'Internet et à l'intranet Interconnexion des réseaux locaux : accès principal si les temps d'utilisation sont faibles, secours d'une liaison principale et débordement en cas de surcharge de la ligne principale
HDSL	Accès primaire RNIS (2 Mbit/s) Liaison d'accès E1/T1 de 64 Kbit/s à 2 Mbit/s
ADSL, RADSL, CDSL	Services résidentiels : téléphone, télévision, vidéo à la demande, connexion à l'Internet
VDSL	Réseaux haut débit ATM sur cuivre et surtout sur fibre optique

Concernant nos réseaux locaux, PPP fonctionne directement au-dessus des LS (donc de HDSL) et de RNIS (IDSL) grâce aux routeurs qui prennent en compte les interfaces E1/T1 et S0.

Quant à ADSL, quatre modes d'accès aux canaux de données sont possibles :

- Mode **synchrone**. Canaux accessibles sous forme d'un train de bits aux débits STM.
- Mode **adaptation de paquet**. Permet à plusieurs applications d'utiliser les canaux pour transporter leurs données selon leurs propres formats.
- Mode **paquet de bout en bout**. Les paquets IP sont envoyés directement dans les trames (sans se soucier de l'affectation des canaux), et la commutation est effectuée au niveau d'ADSL sur la base des adresses IP contenues dans les paquets.
- Mode **ATM**. Permet de transporter les cellules ATM qui contiennent les trames PPP (qui transportent IP, et ainsi de suite)

Actuellement, aucune tendance n'est perceptible, car le marché est naissant et les équipements peu nombreux. En France, France Télécom promeut le mode ATM.

Dimensionner les liaisons

Le choix du débit est important, car il influe directement sur le coût des liaisons. Celui-ci est d'ailleurs d'autant plus élevé que la distance entre les deux sites est grande. Par exemple, une simple liaison 64 Kbit/s entre la France et la Chine coûte plusieurs dizaines de milliers de francs par mois. S'il s'agit d'une liaison locale vers un POP de l'opérateur, le coût est moindre, mais ce dernier facturera de toute façon en fonction du débit.

Il ne faut donc pas surévaluer le débit par rapport à nos besoins, afin d'éviter de payer un surcoût inutile. Il ne faut pas non plus le sous-évaluer, car les utilisateurs exigent des temps de réponse corrects. La conception d'un **réseau intersite** (réseau d'interconnexion de réseaux locaux) résulte donc d'un compromis coûts/performances.

La démarche proposée pour dimensionner les liens repose sur trois étapes :

- Identifier les flux générés par les applications.
- Estimer la volumétrie, soit à partir de statistiques existantes (facturation, traces relevées sur les équipements, etc.), soit à partir d'hypothèses.
- Déterminer une formule permettant de calculer le débit nécessaire.

Identifier les flux

Nos utilisateurs sont répartis sur six sites (le siège — Paris — et les directions régionales : Orléans, Toulouse, Marseille, Strasbourg et Londres). Ils veulent utiliser les mêmes applications et accéder aux mêmes données.

Le but de cette phase est de caractériser les flux de chaque application (type, périodicité) et d'identifier les acteurs qui émettent et reçoivent les données.

Étape 1 — Identifier les flux

Application	De ↔ vers	Objet	Type de flux	Système	Périodicité
Base de données	Directions régionales ↔ siège	Comptabilité, logistique	Client-serveur	Unix	Mise à jour : TLN* Consultation : TLJ*
Datawarehouse	Directions régionales ↔ siège	Activité commerciale	Transfert de gros fichiers	Unix	Mise à jour : TLN Consultation : TLJ
Messagerie	Intrasite et intersite		Transfert de fichiers (Word, Excel, appli- cations métier)	Exchange SMTP	Toutes les 10 minutes entre MTA (un MTA par site)
Télécopie via la messagerie	Tous les sites	Échanges externes	Messagerie	Exchange	TLJ
Serveur web	Tous les sites	Informations, DRH, accès aux bases de données	Transactionnel Client-serveur	Unix, NT	TLJ
Connexions internet	Directions régionales ↔ Siège	Consultation web messagerie	Transactionnel, transfert de fichiers	Accès Internet situé au siège	TLJ

*TLJ = tous les jours

*TLN = toutes les nuits

Cette vision synthétique est une étape vers la traduction du langage utilisateur en langage informatique. C'est aussi un bon moyen de décrire les flux circulant au sein de la société (*workflow*) afin de bâtir le réseau qui lui soit le mieux adapté.

Les flux recensés peuvent être classés en trois catégories :

- les flux conversationnels ;
- les flux transactionnels ;
- les flux de type transfert de fichiers.

Il faut ajouter à cela les applications client-serveur qui peuvent, selon les cas, s'apparenter à la deuxième ou à la troisième catégorie.

Quel type de flux ?	Quelles caractéristiques ?	Quelles applications ?
Conversationnel	Trames courtes, fréquence soutenue	Connexions Telnet
Transactionnel	Trames moyennes (trafic montant) et longues par rafales (trafic descendant)	Serveurs web Connexions aux sites centraux (via des passerelles)
Transfert de fichiers	Trames longues, trafic soutenu	Serveurs bureautique (FTP ou moniteur spécialisé sur TCP/ IP)
Client-serveur	Dépend de la position de la base de données et du module client	Requêtes SQL sous Unix, Windows NT, etc.

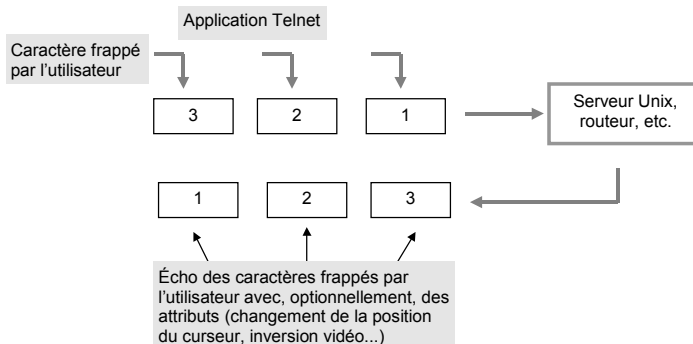
Ces flux doivent cohabiter au sein d'un même réseau intersite et être transportés simultanément sur une même liaison.

Les flux de type conversationnel

Les applications conversationnelles sont les plus courantes dans les mondes Unix et TCP/IP. Le protocole utilisé est *Telnet*. Le principe repose sur l'envoi d'un caractère avec écho distant. Une session étant établie entre un poste de travail et une machine, tout caractère frappé sur le clavier est envoyé à la machine, traité par cette dernière, et enfin renvoyé tel quel pour affichage, éventuellement avec d'autres attributs. Chaque caractère peut en effet déclencher une action comme l'affichage d'une fenêtre.

Figure 9-11.

*Types de flux
générés
par des applications
conversationnelles.*



Le type de flux qui en résulte est par conséquent irrégulier car il dépend de l'activité de l'utilisateur et est composé de trames courtes.

Le temps de réponse est donc primordial pour ce type d'application. Il se doit d'être le plus régulier possible, le principe étant qu'un utilisateur s'habitue à un temps de réponse, même mauvais, pourvu qu'il soit régulier. Un maximum de 300 à 500 ms est généralement toléré. Quand plusieurs caractères sont saisis à la suite, ce temps est généralement réduit du fait de leur encapsulation dans le même paquet TCP (algorithme de Nagle — RFC 896).

! Activation de l'algorithme nagle sur un routeur Cisco

! Utile pour les connexions Telnet

! A désactiver pour X-Windows

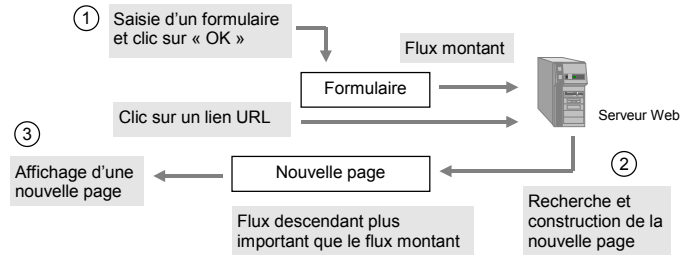
service nagle

Les flux de type transactionnel

Le mode transactionnel est le fonctionnement le plus courant pour les applications critiques sur les systèmes centraux. La technique consiste à envoyer un écran de saisie vers un terminal, à réaliser localement les modifications, puis à renvoyer les données modifiées vers le site central. Ces opérations sont contrôlées par un logiciel appelé moniteur transactionnel (CICS sous IBM et Tuxedo sous Unix).

Les flux générés entre serveurs web et navigateurs peuvent être assimilés au mode transactionnel, bien que le volume des pages web soit beaucoup plus important.

Figure 9-12.
*Types de flux générés
par des applications web.*

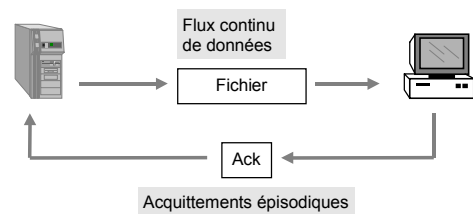


Les flux générés sont caractérisés par un trafic descendant (serveur web vers navigateur) plus important que le trafic montant (les données du formulaire ou un clic sur une URL). La ligne est rarement mobilisée (deux à quatre transactions par minute) tandis que le transfert d'une page (de 4 à 50 Ko, voire plus) requiert la presque totalité de la bande passante pendant quelques secondes. Le débit instantané requis est donc une donnée importante dans le calcul de la bande passante requise par ce type de flux.

Les flux de type transfert de fichiers

Ces flux sont caractérisés par des échanges soutenus et des trames longues. Leurs occurrences peuvent être prévisibles, dans la mesure où la majorité des transferts de fichiers est souvent associée à des traitements automatiques qui ont lieu en dehors des heures ouvrées, par exemple lors de la sauvegarde ou de la synchronisation de bases de données.

Figure 9-13.
*Types de flux générés
par des applications
transactionnelles.*



Pendant les heures ouvrées, ce type de flux peut dégrader les temps de réponse des flux transactionnels et surtout des flux conversationnels. Cette interférence peut être contrôlée par des mécanismes de priorité positionnés sur les équipements d'interconnexion tels que les routeurs.

Les flux client-serveur

Le concept client-serveur se décline en réalité en plusieurs modèles :

- La base de données et la logique applicative sont situées sur le serveur. Le poste client soumet une requête puis attend les résultats qui, seuls, transitent par le réseau.
- Le serveur héberge la base de données ; la logique applicative réside sur le poste client. La puissance de traitement est donc reportée sur les postes client. Les échanges sur le réseau sont aussi fréquents que les manipulations de la base.
- La logique applicative et les données sont réparties entre le serveur et le client. La procédure d'interrogation consiste à extraire tout ou partie de la base de données centrale, puis à opérer des traitements spécifiques sur la base de données locale. Le réseau n'est sollicité que lors des extractions depuis la base de données. La synchronisation des bases peut intervenir en dehors des heures ouvrées.

Modèle	Application	Flux réseau
1. Base de données et application sur le serveur	Comptabilité, gestion commerciale, logistique, gestion des ressources humaines	Type transactionnel
2. Base de données sur le serveur et applications sur le client	Gestion commerciale Serveur web	Type transactionnel (volumétrie faible) ou transfert de fichiers (volumétrie élevée)
3. Base de données et applications réparties entre le serveur et le client	Datawarehouse Architectures 3 tiers	Transfert de fichiers Transactionnel

L'architecture 3 tiers (client, serveur applicatif, serveur de base de données) génère des flux de type transactionnel côté client et de type transfert de fichiers côté base de données.

Estimer la volumétrie

Les flux doivent ensuite être quantifiés, soit à partir de données existantes, soit sur la base d'hypothèses. Si on part d'un réseau existant, soit pour l'optimiser, soit pour le faire évoluer, on peut s'appuyer sur des statistiques indiquant les volumes échangés entre deux sites. Ces données peuvent être issues de facturations détaillées ou d'une phase d'audit consistant en une campagne de mesure sur le terrain.

La volumétrie est calculée différemment selon le type de flux. Souvent, elle doit être extrapolée à partir d'informations partielles. Ce travail doit donc être réalisé indépendamment pour chaque application que le réseau intersite sera susceptible de véhiculer. Les résultats doivent ensuite être consolidés sous forme de matrice de flux présentant les volumes échangés entre chaque site. L'échelle de temps généralement utilisée est une journée de travail ; cette périodicité permet en effet de lisser les variations.

La volumétrie globale pour un site est généralement issue d'une volumétrie unitaire estimée pour un utilisateur et calculée selon la formule suivante :

$$V_j = V_u \times U$$

V_j est le volume journalier à calculer pour un site.

V_u est le volume journalier estimé pour un utilisateur.

U est le nombre d'utilisateurs pour un site donné.

Les sections suivantes décrivent les manières d'estimer les volumétries lorsque l'existant est peu ou pas connu.

Étape 2 — Estimer la volumétrie

Applications	Exemples d'estimation de la volumétrie
Messagerie SMTP ou Exchange	10 messages par utilisateur et par jour x 100 Ko Synchronisation des annuaires
Transfert de fichiers FTP	N % des utilisateurs (ou des applications batch) = X Ko par jour
Transactionnelles sites centraux	100 à 200 écrans de 2 ou 4 Ko par utilisateur et par jour
Transactionnelles web	20 à 50 écrans de 4 à 50 Ko par utilisateur et par jour
Conversationnelles Telnet	Dépend des applications (faire des tests avec un analyseur réseau) ; un écran = 2 à 4 Ko
Services réseaux (vidéotex, télécopie, etc.)	3 sessions vidéotex par jour et par utilisateur Un fax de 10 Ko par jour
Administration du réseau	0 à 10 sessions Telnet sur chaque routeur Configuration SNMP de 1 Ko par équipement et par jour 1 à 50 trap SNMP de 1Ko par jour Sondes RMON : 1 à 10 transferts de fichiers par jour (plusieurs centaines de Ko)

Volumétrie liée à la messagerie

Les volumes de données générés par une messagerie bureautique peuvent être modélisés sur la base des hypothèses suivantes :

- Environ dix messages par jour et par utilisateur à destination d'un autre site (20 % des messages sont à destination d'un site extérieur, 80 % restent locaux).
- Environ 100 Ko par message. Cette valeur dépend beaucoup de l'utilisation qui est faite de la messagerie au sein de la société. Plus celle-ci est utilisée, plus les messages ont tendance à être importants (pièces jointes).
- La taille de l'annuaire est basée sur 100 octets par utilisateur.
- Synchronisation hebdomadaire (voire toutes les nuits) de l'annuaire : transfert depuis les sites distants vers le siège (si la gestion est décentralisée), consolidation de l'annuaire, puis transfert depuis le siège vers les sites distants.

Les messageries bureautique transportent les messages sous forme de copies de fichiers entre les serveurs bureautique. La périodicité des échanges dépend du paramétrage ; elle est généralement comprise entre 5 et 15 minutes. Ces transferts de fichiers occupent donc régulièrement la bande passante des liens.

Volumétrie liée aux transferts de fichiers

La volumétrie liée aux transferts de fichiers dépend des applications présentes au sein de la société. Son évaluation repose donc sur une analyse précise de l'existant et/ou des besoins. Elle peut être modélisée sous la forme $N\%$ des utilisateurs réalisant l'équivalent d'un transfert de X Ko par jour à destination d'un site distant.

Volumétrie liée aux applications transactionnelles site central

Dans la plupart des cas, on peut estimer qu'un utilisateur échange 100 à 200 écrans de 2 Ko à 4 Ko par jour avec le site central. Cette évaluation est bien sûr éminemment variable selon le contexte à considérer. La taille des écrans varie, par exemple, en fonction des applications, et la fréquence des échanges en fonction du type de travail de l'utilisateur (saisie intensive, consultation, etc.). Il convient donc d'estimer la volumétrie moyenne à partir de tests.

Volumétrie liée aux applications transactionnelles web

Même remarque que pour les applications transactionnelles, sauf que la taille des pages varie entre 4 Ko et 50 Ko, une page pouvant contenir des images GIF (fixes ou animées).

En prenant en compte les fichiers GIF, JPG et HTML, la moyenne constatée est de 4 Ko. Si on prend en compte les transferts de fichiers réalisés à partir de l'Internet (documents .pdf, .txt ou .doc), la moyenne constatée est de 100 Ko. La moyenne peut atteindre plusieurs mégaoctets si le téléchargement des exécutables (.exe) est autorisé.



Vous pouvez vérifier les valeurs propres à votre contexte en visualisant le contenu du cache de votre navigateur (recherchez un répertoire appelé "cache" situé dans le répertoire d'installation du navigateur).

Volumétrie liée à d'autres services

Différents services peuvent emprunter le réseau intersite, notamment en provenance de sites rattachés dans le cas où les passerelles de communication sont centralisées. Les hypothèses de travail qui peuvent être retenues sont les suivantes (il ne s'agit ici que d'indications, la volumétrie réelle étant liée à la nature des travaux réalisés par les utilisateurs) :

- Service de télécopie. Chaque utilisateur expédie en moyenne un fax de 10 Ko par jour.
- Service d'accès au vidéotex. Un quart des utilisateurs effectuent trois connexions vidéotex de 2 minutes par jour. Chaque connexion génère un flux de 5 Ko.
- Etc.

L'utilisation des applications multimédias pose d'autres problèmes, qui sont abordés au chapitre 14.

Rassembler toutes les données

Ayant ces abaques en tête, nous pouvons maintenant calculer les volumes pour notre cas. La première chose à faire est d'établir la matrice des flux qui présente les types de flux et le nombre d'utilisateurs qui les génèrent.

Étape 3 — Matrice de flux

Depuis \ vers	Toulouse	Paris	Strasbourg	Etc.
Toulouse	---	400 web 40 Telnet	100 Telnet	
Paris		---		
Strasbourg	50 web		---	
Etc.				---

La volumétrie doit être calculée entre chaque site et dans les deux sens. Les liaisons étant de type *full duplex*, il convient de prendre la valeur la plus haute, ce qui permet de calculer le débit instantané nécessaire.

Étape 4 — Matrice volumétrique

	De → vers				
	P → T	T → P	T → S	S → T	etc.
Flux transactionnels web					
Nombre d'utilisateurs	400	400	50	50	...
Volumétrie unitaire (en Ko)	50	0,5	50	0,5	...
Pages par jour et par utilisateur	10	10	10	10	...
Quantité / utilisateur / jour (en Ko)	500	5	500	5	...
Total journalier en Mo	200	2	25	0,25	...
Flux conversationnels Telnet					
Nombre d'utilisateurs	40	40	100	100	...
Volumétrie unitaire (en Ko)	4	0,5	0,5	4	...
Écrans par jour et par utilisateur	100	100	50	50	...
Quantité / utilisateur / jour (en Ko)	400	50	25	200	...
Total journalier en Mo	16	2	2,5	20	...
Etc.	...	...	...	...	...
Volume total en Mo	960	320	240	190	

Selon le sens de la connexion client-serveur, les flux montants (depuis le client vers le serveur) et descendants (depuis le serveur vers le client) apparaîtront dans la première colonne ou la deuxième.

Au final, seul le maximum des deux flux doit être pris en compte. C'est lui qui déterminera la bande passante maximale requise.

Calculer les débits

Pour dimensionner une liaison, il convient d'estimer les besoins en termes de débit instantané. La formule de calcul généralement admise est la suivante :

$$Bp = Vj \times Th \times Ov \times \frac{1}{Tu} \times \frac{1}{3600} \times (8 \times 1,024)$$

La signification des paramètres est la suivante :

- Bp** est la bande passante instantanée calculée pour une liaison exprimée en Kbit/s.
- Vj** est le volume journalier, estimé en Ko. Cette valeur représente la somme des flux devant circuler sur le lien considéré (le maximum pris entre les flux montants et descendants)
- Th** est un coefficient permettant de calculer le trafic ramené à l'heure chargée. On considère généralement que le trafic journalier est concentré sur une heure chargée. Cette hypothèse part du constat que, sur 8 heures de travail, les utilisateurs sont le plus actifs sur deux périodes de pointe, entre 10 h et 11 h, et entre 15 h et 16 h. Les valeurs généralement admises sont comprises entre 20 % et 30 % du trafic journalier concentré sur une heure.
- Ov** est l'*overhead* généré par les protocoles de transport (TCP, IP, PPP). Ce coefficient est généralement affecté d'une valeur de 20 %. Il tient compte des en-têtes et des paquets de service (acquitements, etc.).
- Tu** est le taux maximal d'utilisation de la bande passante du lien. Cette correction permet de prendre en compte le fait que l'on utilise rarement 100 % du débit nominal d'un lien. Ce taux est généralement fixé à 80 % de la bande passante, ce qui donne un surdimensionnement du lien de l'ordre de 25 %. Pour des liaisons à haut débit, ce taux peut atteindre 90 %.

Le rapport 1/3600 permet de ramener la volumétrie sur une heure en secondes, tandis que le rapport 8*1,024 permet de convertir les kilo-octets en kilobits (1 octet = 8 bits, 1 Ko = 1 024 octets et 1 000 bits = 1 kilobit).

Si on prend les valeurs standard pour ces paramètres, la formule devient :

$$B_p = V_j \times 0,30 \times 1,2 \times \frac{1}{0,8} \times \frac{1}{3600} \times (8 \times 1024)$$

soit, par exemple, une bande passante de 1 Mbit/s pour un volume journalier estimé à 1 Go.

Si la liaison doit servir de secours pour n autres liaisons de débit D_N sans que les performances ne soient dégradées, la bande passante du lien doit être augmentée de la somme de ces débits D_N . Dans notre cas, nous choisirons un mode dégradé, afin de limiter les coûts.

Liaison	Volume en Ko V_j	30 % à l'heure chargée T_h	Overhead protocole O_v	Taux d'occupation du lien T_u	Débit du lien en Kbit/s
P ↔ T	960 000	0,3	1,2	0,8	984
T ↔ S	240 000	0,3	1,2	0,8	246
Etc.	...	...	...	...	...

Le débit du lien doit être arrondi à la valeur supérieure des débits proposés par les opérateurs, soit, dans notre cas, 1 Mbit/s entre Paris et Toulouse et 256 Kbit/s entre Toulouse et Strasbourg.

Tenir compte des temps de réponse

Pour des applications client-serveur reposant sur des extractions de données et assimilables à des transferts de fichiers, le critère performance se pose en termes de délai maximal de transfert des données. Il convient donc de calculer les débits nécessaires en fonction des délais acceptables et des volumes estimés :

$$B_p = \frac{V_o}{T_{ps}}$$

B_p est la bande passante nécessaire.

V_o est le volume moyen (converti en kilobits) des données extraites suite à une requête.

T_{ps} est le temps de réponse souhaité.

Cette démarche est à combiner avec une étude de coût, car il faut trouver un compromis avec la performance. Il faut donc recourir à une simulation des temps de réponse obtenus en fonction des débits des liens, et éventuellement les mesurer pour différentes tailles de requêtes.

Par exemple, le tableau suivant compare les temps de transfert de données de différentes tailles en fonction du débit de la ligne.

Volume en Ko	64 Kbit/s	128 Kbit/s
10	1,25 s	0,62 s
20	2,50 s	1,25 s
30	3,75 s	1,87 s
50	6,25 s	3,12 s
Coût mensuel HT	7 844 F	14 264 F

Il vous appartient alors de mettre en balance le coût et les performances souhaitées.