



DIRECTION GÉNÉRALE DES POLITIQUES INTERNES
DÉPARTEMENT THÉMATIQUE A: POLITIQUES ÉCONOMIQUES ET
SCIENTIFIQUES
MARCHÉ INTÉRIEUR ET PROTECTION DES CONSOMMATEURS

Neutralité des réseaux: défis et solutions au sein de l'Union européenne et aux États-Unis d'Amérique

ÉTUDE

Résumé:

La présente étude analytique situe le débat sur la neutralité des réseaux dans son contexte, notamment (1) ses fondements technologiques et économiques, (2) les implications pour les modèles de fonctionnement en progression et (3) les solutions juridiques, réglementaires, politiques et commerciales qui ont été essayées et qui sont actuellement appliquées. L'étude compare les États-Unis d'Amérique, où ces questions ont été intensément débattues, et l'Union européenne.

Ce rapport a été commandé par la commission du marché intérieur et de la protection des consommateurs du Parlement européen.

AUTEUR(S):

M. J. Scott Marcus (WIK)
Dr Pieter Nooren (TNO)
Prof. Jonathan Cave (RAND Europe)
M. Kenneth R. Carter (WIK)

ADMINISTRATRICE RESPONSABLE

Adél Holdampf
Département thématique – Politiques économiques et scientifiques
Parlement européen
B-1047 Bruxelles
Courrier électronique: <mailto:Poldep-Economy-Science@europarl.europa.eu>

VERSIONS LINGUISTIQUES

Original: [EN]
Traductions: [DE, FR]

AU SUJET DE L'ÉDITEUR

Pour contacter le département thématique ou pour vous abonner à son bulletin d'information, contactez:
<mailto:HPoldep-Economy-Science@europarl.europa.eu>

Manuscrit achevé en mai 2011.
Bruxelles, © Parlement européen, 2011.

Le présent document est disponible sur l'internet à l'adresse suivante:
<http://www.europarl.europa.eu/activities/committees/studies.do?language=EN>
<http://www.europarl.europa.eu/activities/committees/studies.do?language=FR>

CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

Les opinions exprimées dans ce document n'engagent que leur auteur et ne reflètent pas nécessairement la position officielle du Parlement européen.

La reproduction et la traduction dans un but non commercial sont autorisées, sous réserve de l'indication de la source, d'une notification préalable et de l'envoi d'une copie à l'éditeur.

TABLE DES MATIERES

Table des matières	3
LISTE D'ABRÉVIATIONS ET GLOSSAIRE	5
LISTE DES ORGANISMES INTERROGÉS	9
LISTE DES TABLEAUX	11
LISTE DES ZONES DE TEXTE «matière À réflexion»	11
liste des figures	12
Synthèse	13
1. Introduction	19
1.1. Définition de la neutralité de l'internet	19
1.2. Les nombreux aspects de la neutralité de l'internet	20
1.3. Structure du présent rapport	22
2. TECHNOLOGIE DE LA DIFFÉRENCIATION PAR LA qualité dans l'internet	23
2.1. La suite IP (Internet Protocol)	23
2.2. La qualité de service (QoS) dans un réseau IP par paquets	25
2.3. La relation entre la qualité de service (QoS) du réseau et la qualité de l'expérience (QoE) de l'utilisateur	26
2.4. L'interconnexion des réseaux IP	30
2.5. La chaîne des réseaux IP dans la distribution de services à haut débit	32
2.6. La hiérarchisation du trafic et le principe du bout en bout	36
3. LES PARAMÈTRES ÉCONOMIQUES DE LA DIFFÉRENCIATION PAR LA QUALITÉ	38
3.1. Différenciation par la qualité	38
3.2. Verrouillage économique	41
3.3. Marchés bifaces	45
3.4. Effets de réseau	46
4. DIFFÉRENCIATION PAR LA QUALITÉ ET MODÈLES DE FONCTIONNEMENT EN ÉVOLUTION	48
4.1. L'émergence du modèle à deux voies	48
4.2. L'ouverture dans la voie Internet publique	54
4.3. Garanties de qualité dans la voie des services gérés	56

4.4. Futurs modèles de fonctionnement combinant garanties de qualité et ouverture	58
4.4.1. Vraisemblance relative	59
4.4.2. Concurrence	60
4.4.3. Innovation	62
4.4.4. Liberté d'expression	62
4.4.5. Sensibilisation des consommateurs	62
4.4.6. Vie privée	64
4.4.7. Évaluation comparative	64
4.4.8. Évaluation comparative	64
5. Différences entre les États-unis et l'union européenne	65
5.1. Marchés de la large bande	66
5.1.1. Marchés de la large bande aux États-Unis	66
5.1.2. Marchés de la large bande en Europe	67
5.2. Réglementation applicable	71
5.2.1. Réglementation applicable aux États-Unis	71
5.2.2. Réglementation applicable dans l'Union européenne	75
5.3. Droit de la concurrence	81
5.4. Comparaison	81
6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	84
6.1. Conclusions essentielles	84
6.2. Recommandations	86
RÉFÉRENCES	89

LISTE D'ABRÉVIATIONS ET GLOSSAIRE

- Accès** L'accès permet à un opérateur d'utiliser les installations d'un autre opérateur dans l'exercice de sa propre activité et au service de ses propres clients.
- Accès à haut débit** L'opérateur historique installe une liaison d'accès à haut débit vers les locaux de l'abonné et met cette liaison à la disposition de tiers (nouveaux arrivants) via une installation d'accès partagé, afin de leur permettre de fournir des services à haut débit aux clients.
- Accès partagé** Permet à l'opérateur historique de continuer à fournir le service de téléphonie, tandis que le nouvel arrivant distribue des services de données à haut débit par l'intermédiaire de la même boucle locale.
- ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line) Technologie la plus couramment utilisée pour offrir aux clients des services à haut débit via des lignes téléphoniques en cuivre.
- ARN** (Autorité réglementaire nationale)
- Bande passante** Capacité d'un canal à transporter des informations, généralement exprimée en bits par seconde.
- Client-serveur** Mise en œuvre technique asymétrique impliquant deux ordinateurs dont les fonctions ne sont pas les mêmes. Le logiciel en cours d'exécution sur l'ordinateur personnel de l'abonné (souvent un simple navigateur Web) peut être client du logiciel en cours d'exécution sur une plate-forme de serveur du fournisseur de services. Un serveur unique peut supporter un grand nombre de clients.
- Délai de mise en file d'attente** Temps d'attente d'un paquet avant sa transmission. Le délai moyen et sa variation (gigue) ont tous deux leur importance, puisqu'ils permettent de donner un intervalle de confiance pour le délai dans lequel un paquet doit arriver à destination.
- Délai de propagation** Temps nécessaire à la lumière ou à l'électricité pour atteindre sa destination dans un réseau. Ce temps est fonction de la distance que le signal doit parcourir et de la vitesse de la lumière dans le support utilisé (généralement du câble ou de la fibre).
- DiffServ** (Différenciation de services) Protocole IP de transmission de données qui permet une gestion du trafic «saut par saut», des paquets sélectionnés pouvant être marqués comme présentant des exigences d'application autres que le «*best effort*» (au mieux). Ce protocole peut être utilisé dans le cadre de la mise en œuvre de la qualité de service (QoS).

Discipline d'élimination de paquets	Ordre dans lequel un routeur élimine des paquets si le nombre de paquets est supérieur à la mémoire disponible pour une mise en file d'attente. Il convient de noter que l'élimination de paquets est un événement normal pour un réseau IP soumis à une charge, et pas nécessairement un mode d'échec.
Échange de trafic entre réseaux homologues	Arrangement par lequel les fournisseurs de services Internet échangent du trafic pour leurs clients respectifs (et pour les clients de leurs clients respectifs), mais pas pour les tiers. L'échange de trafic est une forme essentiellement symétrique d'interconnexion de réseaux.
Effet de réseau	En présence d'effets de réseau, la valeur d'un réseau pour ses utilisateurs finaux peut augmenter à mesure que le nombre des participants au réseau augmente. Ces effets dépassent les simples économies d'échelle.
Élasticité de la demande	Réponse de la demande aux prix. Une hausse des prix entraîne généralement une baisse de la demande, toutes choses étant égales par ailleurs.
FCC	(Commission fédérale de la communication) Autorité nationale de régulation des États-Unis d'Amérique.
Filtrage de paquets	Technique permettant d'éliminer des paquets (c'est-à-dire de ne pas les laisser passer), ou de leur appliquer un autre traitement particulier d'après des critères définis, ce qui peut s'avérer particulièrement complexe. Cette technique est souvent utilisée pour bloquer un contenu préjudiciable.
Fournisseur de réseau	Opérateur de réseau.
FSI	(Fournisseur de services Internet) Un FSI est une société qui permet à d'autres organisations de se connecter à l'internet mondial.
FTTH	Fibre jusqu'à l'abonné.
Gbps	(Gigabit par seconde) Un milliard de bits par seconde.
Gigue	Variation du délai de transfert.
Hiérarchisation des trafics	Dans le contexte d'un réseau IP, processus qui consiste à déterminer l'ordre dans lequel chaque paquet (datagramme IP) est transmis depuis la file d'attente sortante d'un routeur vers un lien de transmission particulier.
Inspection approfondie des paquets	(IAP) Ensemble des techniques destinées à examiner et à catégoriser des paquets dans certains objectifs. À la différence de la plupart des outils IP, l'IAP peut servir à inspecter non seulement les en-têtes des datagrammes IP, mais aussi leur contenu d'application (ce qui soulève en outre d'éventuels problèmes de protection de la vie privée). L'IAP a été utilisée pour supprimer le trafic poste-à-poste.
Interconnexion	L'interconnexion permet aux abonnés d'un opérateur de réseau d'établir et d'entretenir des communications avec les abonnés

d'un autre opérateur de réseau.

IP (Internet Protocol) L'IP est une norme de transmission de données qui permet aux ordinateurs de communiquer entre eux via des réseaux numériques. L'IP et le protocole de contrôle de transmission (TCP) constituent ensemble la base de l'internet.

IPTV (Télévision sur IP) L'IPTV consiste à distribuer (à sens unique) des programmations vidéo au moyen de l'IP.

IPv4 (Internet Protocol, version 4) L'IPv4 est le protocole actuellement utilisé, qui permet de transmettre des datagrammes IP via l'internet à l'aide d'un système d'adressage à 32 bits.

IPv6 (Internet Protocol, version 6) L'IPv6 est le protocole émergent qui permet de transmettre des datagrammes IP via l'internet à l'aide d'un système d'adressage à 128 bits.

ISO (Interconnexion des systèmes ouverts) Modèle de référence: un modèle de protocole de transmission de données par couches.

Kbps (kilobit par seconde) Un millier de bits par seconde.

Latence Délai.

LLU (Dégrouper de la boucle locale) Une paire de cuivre (ou un équivalent) est louée à un tiers pour son usage exclusif.

Marché biface Dans un marché biface, un fournisseur de plate-forme biface se met au service des deux côtés du marché. La structure des prix, et non pas seulement leur niveau, a son importance. (Voir Tirole et Rochet [2004].)

Mbps (Mégabit par seconde) Un million de bits par seconde.

Mise en file d'attente Nécessité pour un paquet de données d'en attendre un autre avant de pouvoir accéder à une installation partagée. Ces délais peuvent être analysés à l'aide d'une branche des mathématiques appelée «théorie des files d'attente».

Modèle de référence TCP/IP Modèle de protocole de transmissions de données par couches utilisé par l'internet.

MPLS (Commutation multiprotocole par étiquette) Protocole de transmission de données développé par l'Internet Engineering Task Force (IETF). La commutation multiprotocole par étiquette vise à réduire la complexité des réseaux IP et à améliorer ainsi la performance des routeurs dans les réseaux fédérateurs des fournisseurs de services Internet. Ce protocole peut être utilisé dans le cadre de la mise en œuvre de la qualité de service (QoS).

Neutralité de l'internet ou neutralité des réseaux Principe réglementaire proposé en vue de limiter la discrimination préjudiciable ou anticoncurrentielle de la part des opérateurs de réseaux et des fournisseurs de services.

réseaux

- NGN** (Réseau de nouvelle génération) L'Union internationale des télécommunications (UIT) définit un réseau de nouvelle génération comme «un réseau par paquets capable de fournir des services, notamment des services de télécommunication, et capable de faire usage de multiples accès large bande, avec des technologies de transmission permettant une qualité de service et dans lesquels les fonctions liées aux services sont indépendantes des fonctions fondamentales de transmission. Le réseau de nouvelle génération offre aux utilisateurs un accès sans restriction à différents fournisseurs de services. Il favorise une mobilité généralisée associée à la fourniture ininterrompue et omniprésente de services aux utilisateurs.»
- NRIC** (Conseil pour la fiabilité et l'interopérabilité du réseau) Le NRIC est un conseil consultatif de l'industrie de l'autorité de régulation des États-Unis, la FCC.
- OCDE** (Organisation pour la coopération et le développement économiques)
- ORECE** (Organe des régulateurs européens des communications électroniques)
- ORM** (Opérateur de réseau mobile)
- Perte de paquets** Probabilité qu'un paquet n'arrive jamais à destination. Cela peut être lié à des erreurs de transmission, mais c'est plutôt rare dans les réseaux fixes en fibre optique modernes. Plus fréquemment, des paquets sont perdus parce que le nombre de paquets en attente de transmission est supérieur à la capacité de stockage disponible (tampons).
- Poste-à-poste** (P2P) Système dans lequel les utilisateurs finaux ont généralement une relation symétrique les uns avec les autres.
- Protocole de contrôle de transmission** (TCP) Protocole de transmission de données qui sert à assurer une transmission des données fiable dans un réseau IP.
- Puissance significative sur le marché (PSM)** Une entreprise est «... considérée comme disposant d'une puissance significative sur le marché si, individuellement ou conjointement avec d'autres, elle se trouve dans une position équivalente à une position dominante, c'est-à-dire qu'elle est en mesure de se comporter, dans une mesure appréciable, de manière indépendante de ses concurrents, de ses clients et, en fin de compte, des consommateurs.» (Directive cadre)
- OoE** (Qualité de l'expérience) Qualité de service perçue par l'utilisateur final au regard de la tâche qu'il cherche à accomplir.
- OoS** (Qualité de service) Dans un environnement IP, la qualité de service désigne souvent les délais mesurés et leur variation, ainsi que la probabilité de perdre des paquets.

Simple revente Un nouvel arrivant reçoit et vend à ses utilisateurs finaux un produit qui est commercialement semblable au produit DSL que l'opérateur historique fournit à ses propres clients de détail.

Tarification de Ramsey-Boiteux Principe de tarification selon lequel le fournisseur de services gonfle davantage les prix des services pour lesquels l'élasticité de la demande est la plus faible, c'est-à-dire pour lesquels des prix élevés ont le moins tendance à entraîner une baisse de la demande.

Théorie des files d'attente Branche des mathématiques qui étudie les files d'attente.

Transit Arrangement selon lequel un FSI achemine le trafic d'un client (et, si le client est un FSI et non un utilisateur final, le trafic des clients de son client). Le transit inclut généralement l'acheminement d'un trafic destiné à des tiers, et pas seulement aux clients du FSI. Le transit est une forme essentiellement asymétrique d'interconnexion de réseaux.

Verrouillage économique Un verrouillage se produit lorsqu'une société qui dispose d'une puissance sur le marché dans un segment tente de projeter cette puissance sur le marché sur des segments de marché liés verticalement, où la concurrence produirait autrement des résultats efficaces.

VoD (Vidéo à la demande) La vidéo à la demande permet aux utilisateurs finaux de choisir et de regarder des contenus vidéo par l'intermédiaire d'un réseau.

VoIP (Voix sur IP) Ensemble de protocoles et de technologies de transmission de données qui permet de transmettre une communication vocale par le biais de réseaux IP individuels ou de l'internet.

VPN Réseau privé virtuel.

LISTE DES ORGANISMES INTERROGÉS

À la lumière de la récente consultation de la Commission, nous avons uniquement procédé à un nombre restreint d'entretiens dans le but d'effectuer une vérification croisée. Les parties que nous avons formellement ou informellement interrogées sont les suivantes:

Deutsche Telekom / T-Mobile	Opérateur de réseau
Telecom Italia	Opérateur de réseau
European Competitive Telecoms Association (ECTA)	Groupe commercial des opérateurs compétitifs
UPC / Liberty Global	Câblo-opérateur
Skype	Fournisseur de services de VoIP
Electronic Frontier Foundation (EFF)	Organisation de défense de la vie privée

BEUC
consommateurs

Organisation de défense des

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques de la voie Internet publique et de la voie des services gérés	52
Tableau 2: Avantages relatifs de différents scénarios d'évolution de 'l'internet	64
Tableau 3: Connexions à large bande aux États-Unis	67
Tableau 4: Comparaison entre l'Union européenne et les États-Unis	83

LISTE DES ZONES DE TEXTE «MATIÈRE À RÉFLEXION»

Matière à réflexion 1: La visualisation des délais dans un réseau IP	26
Matière à réflexion 2: L'affaire Madison River	43
Matière à réflexion 3: L'affaire Comcast - BitTorrent	43
Matière à réflexion 5: Les outils de gestion du trafic des FSI	49
Matière à réflexion 6: La démarche de l'ARCEP, autorité française, à l'égard de la neutralité des réseaux	78
Matière à réflexion 7: La démarche de la PTS, agence suédoise, à l'égard de la neutralité des réseaux	80

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Architecture du protocole Internet	24
Figure 2: Prévisions Cisco VNI relatives au trafic Internet mondial des consommateurs	28
Figure 3: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final fixe	32
Figure 4: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final mobile	35
Figure 5: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux	42
Figure 6: Modèle à deux voies sur un accès à large bande unique	51
Figure 7: Rôle de l'accès et de l'interconnexion dans la voie Internet publique	54
Figure 8: Prévisions Cisco VNI relatives au trafic Internet global mondial	59
Figure 9: Statistiques de l'OCDE sur le nombre d'abonnements au haut débit fixe (câblé) par centaine d'habitants, par technologie, juin 2010	67
Figure 10: Lignes d'accès DSL des opérateurs historiques contre celles des nouveaux arrivants dans l'Union européenne	69

SYNTHÈSE

L'internet jouant un rôle de plus en plus important dans l'économie européenne et mondiale, la crainte que les entreprises (en particulier les opérateurs de réseau à large bande verticalement intégrés disposant d'une puissance sur le marché) ne puissent exploiter leur contrôle sur le réseau pour établir une discrimination injustifiée entre les différents types de trafic a été exprimée. L'argument avancé est que cette discrimination peut permettre aux entreprises d'entraver le choix des consommateurs et de s'approprier injustement les avantages qui devraient autrement revenir à ces derniers. Ces préoccupations ont donné lieu à un débat, en Europe et ailleurs, sur la neutralité des réseaux.

Contexte

Il existe un grand nombre de définitions de la neutralité des réseaux. La différenciation par le prix et la différenciation par la qualité peuvent avoir des conséquences tant positives que négatives. Selon nous, les préoccupations doivent donc se concentrer sur une *discrimination excessive, anticoncurrentielle ou dommageable au niveau social*.

Entre juin et septembre 2010, la Commission européenne a réalisé une consultation publique sur la neutralité des réseaux.¹ Elle a constaté que «... les opérateurs de réseaux, les fournisseurs de services Internet (FSI) et les fabricants d'infrastructures s'accordent à dire que l'ouverture et la neutralité de l'internet ne posent actuellement pas de problème au sein de l'Union européenne... Ces acteurs maintiennent qu'il n'est pas prouvé que les opérateurs se livrent à une discrimination injuste, d'une façon qui porte préjudice aux consommateurs ou à la concurrence. Cet avis général est partagé par plusieurs États membres.»²

Il y a eu des plaintes diffuses, dont certaines étaient crédibles, concernant (1) le blocage ou la surfacturation de communications vocales sur l'internet par des opérateurs de réseaux mobiles (ORM) et (2) le blocage ou le ralentissement de trafics tels que le partage de fichiers.³ Dans sa réponse à la consultation publique de la Commission,⁴ l'organe des régulateurs européens des communications électroniques (ORECE) remarque que, jusqu'à présent, les incidents sont significatifs mais «ne constituent pas nécessairement des infractions à la neutralité des réseaux». En outre, nombre d'entre eux ont fini par être résolus «sans procédure formelle». Par ailleurs, les incidents «n'ont fait l'objet que d'un petit nombre d'enquêtes de la part des autorités réglementaires nationales (ARN)». Tout compte fait, à ce jour, il semble qu'il n'existe en Europe que peu, voire pas d'incidents clairement problématiques documentés, et aucun modèle durable de discrimination systématique et abusive.⁵ Malgré tout cela, d'éventuelles préoccupations vis-à-vis de

¹ Questionnaire de la consultation publique sur l'internet ouvert et la neutralité des réseaux en Europe, Commission européenne, direction générale de la société de l'information et des médias, politique des communications électroniques, le 30 juin 2010, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/library/public_consult/net_neutrality/nn_questionnaire.pdf

² Ibid., page 2.

³ Dans sa réponse, l'ORECE rapporte des cas i) de blocage ou de surfacturation de services de VoIP (voix sur l'internet) dans les réseaux mobiles par certains opérateurs mobiles ; et ii) de ralentissement du partage de fichiers poste-à-poste (P2P) ou de la lecture vidéo en transit. Les fournisseurs de VoIP et le BEUC (une organisation de défense des consommateurs) ont également exprimé des préoccupations, tant dans leurs commentaires que lors de nos entretiens.

⁴ Voir

http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/library/public_consult/net_neutrality/comments/04eu_national_regional_ministries_authorities_incl_berec/berec_x.pdf

l'avenir demeurent. La neutralité des réseaux de l'internet affronte des questions complexes, au niveau technique comme au niveau économique.

⁵ Dans sa communication intitulée «L'internet ouvert et la neutralité de l'internet en Europe», COM(2011)222 final, la Commission a adopté une position légèrement plus nuancée au sujet des incidents identifiés, entre autres, par l'ORECE. «La Commission ne dispose pas d'éléments lui permettant de conclure, à ce stade, que ces inquiétudes sont fondées, mais cela doit être gardé à l'esprit dans le cadre d'une enquête plus complète.»

Aspect technologique de la neutralité des réseaux

La performance des réseaux joue un rôle complexe au sein de l'internet. Certaines utilisations de l'internet⁶ sont bien plus sensibles à la performance des réseaux (délai de transfert, variation du délai de transfert et probabilité de perdre des paquets) que d'autres. Ces aspects techniques, souvent communément appelés *qualité de service (QoS)*, influencent fortement la *qualité de l'expérience (QoE) de l'utilisateur*. Les opérateurs de réseaux peuvent avoir des raisons techniques et commerciales saines de prioriser un trafic destiné à des utilisations sensibles aux délais (par exemple, des communications vocales sur l'internet en temps réel ou des lectures vidéo en transit) par rapport à un trafic moins sensible (par exemple, les courriers électroniques ou le partage de fichiers). La technologie de hiérarchisation est relativement bien établie depuis dix à quinze ans, et elle est plutôt courante dans les réseaux individuels. Cependant, la maintenance de la qualité de service *entre* des réseaux interconnectés est très rare.

Aspect économique de la neutralité des réseaux

Il existe plusieurs aspects économiques de la neutralité des réseaux.

Certaines différenciations par le prix et par la qualité sont favorables, voire même indispensables. En revanche, d'autres formes de différenciation sont préjudiciables. La *différenciation par la qualité* et la *différenciation par le prix* sont des pratiques bien comprises qui, en l'absence de discrimination anticoncurrentielle, profitent généralement tant aux producteurs qu'aux consommateurs. Cependant, la différenciation peut être utilisée de manière préjudiciable si une entreprise dispose d'une puissance sur le marché. En effet, un producteur qui dispose d'une *puissance significative sur le marché (PSM)* dans un segment peut tenter de projeter cette puissance sur le marché sur des segments en amont ou en aval, qui seraient autrement concurrentiels (pratique connue sous le nom de *verrouillage économique*). Le verrouillage économique nuit aux consommateurs et peut faire subir une perte d'efficacité socio-économique générale à la société.

Selon un autre avis tout aussi pertinent, on peut considérer l'internet comme un *marché biface*, où les opérateurs de réseaux fonctionnent généralement comme une *plate-forme* qui relie les fournisseurs de contenus (par exemple, les sites Web) aux utilisateurs finaux (qui fonctionnent essentiellement comme des consommateurs de contenus).⁷ De ce point de vue, certains litiges concernent simplement le partage des revenus et des bénéfices entre les fournisseurs de plates-formes (c'est-à-dire les opérateurs de réseaux) et les deux côtés du marché.

Différenciation par le prix, différenciation par la qualité et modèles de fonctionnement en évolution

Au niveau technique et commercial, l'évolution vers un modèle à deux voies (coexistence de l'internet public et de services gérés) est concevable, et il est probable qu'elle profite à de nombreux opérateurs de réseaux et utilisateurs finaux (mais peut-être pas à tous). Les fournisseurs de services Internet qui proposent une connexion à large bande individuelle illustrent déjà le modèle à deux voies. Cependant, on n'observe pas encore de modèle à deux voies mondial qui couvrirait les réseaux et/ou les fournisseurs. Comme on l'a remarqué précédemment, l'interconnexion compatible avec la qualité de service, bien que techniquement réalisable, n'est presque jamais mise en œuvre.

⁶ Il en va de même pour d'autres réseaux qui sont basés sur la famille IP (*Internet Protocol*), qui constitue le fondement technologique de l'internet.

⁷ On peut dire qu'il s'agit d'une simplification excessive d'un marché qui est en réalité *multiface*.

Voici d'autres scénarios possibles pour l'évolution de l'internet:

- **Peu de changement par rapport à aujourd'hui:** Cela fait au moins dix ans qu'un internet à deux voies est techniquement réalisable. Le fait qu'il ne soit que très peu mis en œuvre peut signifier que les consommateurs n'en veulent pas, ou du moins que les incitations commerciales ne sont pas suffisamment fortes pour garantir le modèle de fonctionnement et l'évolution concurrentielle nécessaires. La voie des services gérés existe déjà, mais elle est essentiellement utilisée pour les éléments de téléphonie et de télévision sensibles à la qualité de service du «triple jeu».
- **Poursuite et développement supplémentaire du modèle à deux voies:** Si le trafic sur la voie des services gérés augmentait considérablement, du fait de nouvelles applications ou d'une utilisation accrue de la voie des services gérés pour des formes de vidéo qui utilisent actuellement la voie publique, quel effet cela aurait-il sur les services de la voie Internet publique? Ce scénario suppose que les mesures correctives en matière d'accès préservent l'ouverture des services traditionnels, mais que la voie des services gérés soit exclusivement réservée aux FSI basés sur les installations, pour leur propre «domaine privé» de services.
- **Les FSI ouvrent la voie des services gérés à d'autres fournisseurs:** Dans ce scénario, non seulement la voie des services gérés prend de l'ampleur, mais elle est également mise à la disposition de concurrents des opérateurs de réseaux basés sur les installations. La planification des capacités devient potentiellement plus complexe qu'elle ne l'est aujourd'hui.
- **Des garanties de service de bout en bout deviennent possibles dans l'internet public:** S'il était possible de surmonter les obstacles pratiques considérables qui s'opposent à l'interconnexion compatible avec la qualité de service, de nouvelles utilisations de l'internet pourraient être rendues possibles.

Il est difficile d'évaluer la probabilité relative de ces scénarios. D'après les tendances actuelles du trafic, une certaine croissance des services gérés et une expansion associée de la capacité sont à prévoir, mais il reste à voir si cela suffira à développer le modèle à deux voies.

Ces scénarios ont des incidences quelque peu différentes sur la concurrence, l'innovation, la liberté d'expression, la sensibilisation des consommateurs et la vie privée.

Marchés et réglementation aux États-Unis et dans l'Union européenne

Dans le cadre de la révision du cadre réglementaire qui est entré en vigueur en 2009, l'Union a mis en place des mesures destinées (1) à garantir que les consommateurs sont informés des pratiques significatives de leurs opérateurs de réseaux et qu'ils peuvent changer d'opérateur de réseau sans pénalité directe s'ils sont mécontents d'une modification de ces pratiques, (2) à donner aux autorités de réglementation le pouvoir d'imposer des normes minimales de qualité de service aux opérateurs de réseaux qui disposent d'une puissance significative sur le marché si cela s'avère nécessaire, et (3) à faire du droit des utilisateurs finaux à accéder au contenu, aux applications ou aux services de leur choix un objectif explicite de la politique européenne.

On dispose aujourd'hui de peu d'expérience sur la façon dont ces dispositions fonctionneront dans la pratique. Ces exigences ne sont même pas encore en vigueur dans de nombreux États membres, ceux-ci étant tenus de les transposer dans le droit national au plus tard le 25 mai 2011.

En Europe, la réglementation efficace de l'accès au dernier kilomètre du réseau fixe garantit qu'un grand nombre d'utilisateurs finaux européens disposent d'un choix significatif d'opérateurs de réseau à large bande. Cette concurrence a probablement réduit l'intérêt des opérateurs de réseaux à s'écarter de manière préjudiciable de la neutralité des réseaux. Puisque peu ou pas de problèmes de neutralité des réseaux en Europe ont nécessité des actions formelles de la part de l'ARN, il est tout à fait possible que les dispositions déjà en vigueur s'avèrent suffisantes.

Les États-Unis, en revanche, ont récemment imposé des obligations explicites en matière de neutralité des réseaux. Cependant, nous ne recommandons pas à l'Europe de suivre aveuglément l'exemple américain. En effet, les États-Unis diffèrent beaucoup de l'Europe pour ce qui est des principaux aspects de la structure du marché, du cadre réglementaire et du droit de la concurrence. Les marchés américains des réseaux fixes à large bande constituent une série de duopoles *de facto*, sans aucune concurrence effective fondée sur l'octroi aux concurrents de l'accès aux utilisateurs finaux, par le biais d'un dégroupage de la boucle locale (LLU), d'un accès partagé ou d'un accès à haut débit. Les consommateurs sont donc fortement limités dans leur choix. Sans les règles qui ont récemment été imposées, les autorités américaines de réglementation ne seraient pas du tout capables d'empêcher les atteintes à la neutralité des réseaux, ni d'y remédier. En outre, le droit de la concurrence américain a été jugé inefficace dans les affaires qui relèvent également du droit des télécommunications, ce qui est le cas ici.

Recommandations

À la lumière de la situation actuelle, nous pensons qu'il est important d'éviter des actions inadéquates, disproportionnées ou prématurées. Il est très probable que la concurrence réglementée en évolution facilite l'innovation et l'évolution de formes utiles de différenciation, tout en réduisant au minimum les risques d'abus anticoncurrentiels.

La communication d'avril 2011 par la Commission signale que les amendements de 2009 au cadre réglementaire n'ont pas encore été transposés, et remarque qu'«il importe de prévoir un délai suffisant pour l'application de ces dispositions et d'analyser comment elles seront mises en œuvre dans la pratique.» Nous sommes d'accord. Nous pensons qu'il serait mal avisé d'imposer des obligations supplémentaires importantes à l'heure qu'il est.

En gardant cela à l'esprit, nos principales recommandations sont les suivantes:

- ne pas imposer d'obligations supplémentaires en matière de neutralité des réseaux avant d'avoir accumulé suffisamment d'expérience dans le cadre des obligations déjà imposées par les amendements de 2009 au cadre réglementaire pour pouvoir raisonnablement juger de leur efficacité.
- soutenir tant la recherche technique que la recherche sur les politiques pour améliorer l'efficacité des obligations de transparence vis-à-vis des consommateurs et pour garantir que les obligations minimales de qualité de service peuvent efficacement être imposées si cela s'avère nécessaire;
- continuer à étudier les aspects de la neutralité des réseaux associés à des plaintes qui paraissent fondées, notamment (1) les tarifs et conditions imposés par les opérateurs mobiles à leurs fournisseurs de VoIP (voix sur IP) et (2) la dégradation du trafic poste-à-poste, et
- attendre, pour décider d'éventuelles obligations supplémentaires, d'avoir une vision plus claire des éventuels éléments préjudiciables pour le bien-être de la société et/ou des consommateurs qui seront observables une fois que les dispositions de 2009 seront pleinement appliquées.

1. INTRODUCTION

QUESTIONS-CLÉS

- Il existe un grand nombre de définitions de la neutralité des réseaux. Devons-nous nous préoccuper de la *discrimination*, ou seulement de la *discrimination excessive* ou *anticoncurrentielle*?
- La neutralité de l'internet représente un large éventail de menaces potentielles pour le bien-être des consommateurs. Lesquelles sont les plus probables? Lesquelles sont potentiellement les plus préjudiciables?
- Étant donné qu'il n'y a pas eu d'incident clairement problématique jusqu'à présent, sur quoi les institutions européennes doivent-elles, le cas échéant, concentrer leur attention?

La commission du marché intérieur et de la protection des consommateurs (IMCO) du Parlement européen a commandé une étude sur la neutralité de l'internet, dans le but d'obtenir l'avis d'experts sur les défis liés à la neutralité de l'internet, en tenant compte des plus récents développements et en particulier des questions suivantes:

«I. Les nouveaux modèles de fonctionnement de l'internet:

- Explorer les options pour le développement futur de modèles de fonctionnement fondés sur le «*best effort*» et/ou les «services gérés». Comment ces options peuvent-elles affecter la concurrence à différents niveaux de la chaîne de valeur et influencer le comportement des consommateurs en ligne?

II. L'Union européenne et les États-Unis d'Amérique, même principe, différentes approches:

- mise à jour, évaluation et évolution possible de la situation américaine en matière de neutralité de l'internet, en tenant compte des développements les plus récents (y compris du procès attendu).»

La présente étude analytique vise à situer le débat sur la neutralité des réseaux dans son contexte: ses fondements technologiques et économiques, les implications pour les modèles de fonctionnement en progression, et les solutions juridiques, réglementaires, politiques et commerciales qui ont été essayées et qui sont actuellement appliquées.

La présente brève introduction examine la définition de la neutralité des réseaux et les nombreux domaines de politique publique avec lesquels celle-ci s'entremêle, et présente la structure générale du rapport.

1.1. Définition de la neutralité de l'internet

Qu'entend-on par «neutralité des réseaux»? Plusieurs définitions sont actuellement utilisées:

- La capacité de tous les utilisateurs de l'internet d'accéder au contenu ou aux applications de leur choix.
- L'assurance que tout trafic sur l'internet est traité équitablement, indépendamment de sa source, de son contenu ou de sa destination.

- L'absence d'une *discrimination excessive* de la part des opérateurs de réseaux dans le cadre de la transmission du trafic Internet.⁸

Ces différences de définitions ne sont pas une simple affaire de sémantique. En effet, elles diffèrent (1) dans le degré de l'accent qu'elles mettent sur l'accès, la *qualité* de l'accès ou le *prix* de l'accès au contenu et aux applications et (2) dans la question de savoir s'il est utile de se préoccuper de toutes les formes de différenciation, ou seulement de celles qui sont anticoncurrentielles, discriminatoires ou autrement excessives.⁹

À ce stade, il convient de noter que l'on ne se préoccupe ici pas uniquement des contenus textuels et audiovisuels classiques, mais aussi des services tels que les moteurs de recherche (par exemple, Yahoo, Google et Bing) et les services de VoIP (par exemple, Skype et Viber).

L'utilisation de diverses formes de *différenciation par la qualité* en matière de trafic Internet est un processus normal depuis des décennies. Comme nous l'expliquerons plus tard dans ce rapport, cette différenciation est le plus souvent (mais pas nécessairement toujours) à l'avantage des consommateurs.

Une question essentielle est donc de savoir si les décideurs politiques européens doivent se préoccuper de toutes les formes de discrimination par la qualité, ou s'ils doivent plutôt se concentrer sur une éventuelle différenciation par la qualité *injuste* ou *excessive*. Tant pour des raisons technologiques que pour des raisons économiques (voir les sections 1.3 et 3, respectivement), nous pensons que cette dernière approche est la mieux adaptée.¹⁰

1.2. Les nombreux aspects de la neutralité de l'internet

Le non-respect de la neutralité des réseaux (c'est-à-dire la discrimination excessive) peut engendrer plusieurs problèmes de bien-être social spécifiques, entre autres:

- **Comportement anticoncurrentiel:** Y-a-t-il un risque qu'un opérateur de réseau disposant d'une puissance significative sur le marché (PSM) projette sa puissance sur le marché sur des segments de marché situés en amont ou en aval, qui seraient autrement concurrentiels?
- **Innovation:** Un opérateur de réseau (notamment un opérateur de réseau intégré verticalement qui possède une forme de puissance sur le marché) peut-il faire office de gardien, empêchant les fournisseurs de contenus ou les fournisseurs de services d'application avec lesquels il est en concurrence d'offrir de nouveaux produits ou services innovants?

⁸ Voir, par exemple, le premier paragraphe du document de la FCC américaine intitulé «Preserving the Open Internet (GN Docket No. 09-191) / Broadband Industry Practices (WC Docket No. 07-52)», FCC 10-201, publié le 23 décembre 2010, que nous appellerons dorénavant «l'ordonnance de la FCC relative à la neutralité des réseaux». Voir également le «rapport sur la consultation publique sur 'l'internet ouvert et la neutralité de l'internet en Europe'» de la Commission, qui tient compte de la mesure dans laquelle il peut y avoir un problème de la manière suivante «... discrimination excessive d'une manière qui porte préjudice aux consommateurs ou à la concurrence.»

⁹ Distinguer une discrimination raisonnable et une discrimination excessive constitue bien sûr un défi considérable à part entière.

¹⁰ Les personnes que nous avons interrogées dans le cadre de cette étude partageaient généralement aussi cet avis. Ce point de vue est également celui que l'ORECE a exprimé dans le cadre de la consultation publique effectuée par la Commission: «Il y a eu et il continuera d'y avoir des écarts du [principe strict selon lequel tous les trafics doivent être traités de façon équitable.] Certains de ces écarts peuvent être justifiés et servir les intérêts des utilisateurs finaux, mais d'autres [posent des] problèmes pour la concurrence et la société.»

- **Liberté d'expression:** Un opérateur de réseau peut-il interférer avec la capacité de ses abonnés à exprimer des opinions qu'il désapprouve?¹¹
- **Sensibilisation des consommateurs:** Les consommateurs comprennent-ils les services qui leur sont proposés, et reçoivent-ils les services convenus?¹²
- **Vie privée:** Un opérateur de réseau qui traite certains trafics Internet différemment des autres creuse-t-il nécessairement plus profondément qu'il ne le devrait dans les affaires personnelles de l'utilisateur (par exemple au moyen d'une *inspection approfondie des paquets [IAP]*)?

¹¹ Comme un exemple possible, il a été allégué en 2004 qu'un grand fournisseur de large bande américain avait systématiquement filtré tous les courriers électroniques contenant l'adresse URL d'une coalition d'activistes opposés à la guerre en Irak adressés à ses abonnés. Les détails et motivations possibles de l'incident restent flous.

¹² La recherche par des consommateurs informés est souvent un moyen plus efficace de garantir des résultats et une concurrence efficaces pour les consommateurs, et pour mieux protéger leurs meilleurs intérêts qu'une réglementation statique. Cependant, il n'est pas toujours utile que les consommateurs comprennent tous les détails techniques des services puisque cela peut donner lieu à une concurrence inefficace et commerciale qui peut ne pas augmenter le bien-être des consommateurs ni leur être plus utile. Cela est confirmé par la littérature sur la commercialisation: lorsqu'on leur propose deux biens ou services qui sont fonctionnellement équivalents pour ce qui est de leur utilisation réelle, les consommateurs seront généralement plus disposés à acheter celui qui présente les caractéristiques les plus nombreuses ou les plus récentes.

Ces questions sont plus subtiles et complexes qu'on pourrait le supposer au départ. De prime abord, les réponses à certaines de ces questions peuvent paraître toutes noires ou toutes blanches, mais dans la pratique elles sont toutes plutôt nuancées, à des degrés divers.

Par sa nature même, le réseau sert à héberger des applications et des interactions pour un large éventail d'acteurs. Certes, une discrimination problématique peut nuire au potentiel de production de valeur des autres, mais on peut en dire autant des règles uniformes et simplistes qui se fondent uniquement sur un sous-ensemble de ces interactions ou flux de trafic.

1.3. Structure du présent rapport

La section 2 décrit le contexte technique de la neutralité des réseaux, tandis que la section 3 décrit son contexte économique. La section 4 examine les modèles de fonctionnement actuels et futurs en évolution. La section 5 donne une comparaison détaillée du marché, de l'environnement réglementaire et de l'environnement en matière de droit de la concurrence en Europe et aux États-Unis (où le débat sur ces questions a été plus intense qu'en Europe). Cette section comporte un examen détaillé des solutions de politique publique en matière de neutralité des réseaux qui ont été essayées ou qui sont en cours d'essai. La section 6 renferme des conclusions et des recommandations.

2. TECHNOLOGIE DE LA DIFFÉRENCIATION PAR LA QUALITE DANS 'L'INTERNET

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- La discrimination par la qualité n'était pas un problème majeur pour les réseaux vocaux classiques, mais c'est un problème bien réel pour les réseaux IP.
- Dans un réseau IP, la qualité de service (QoS) reflète de nombreuses variables, notamment la moyenne et la variation du délai de mise en file d'attente; le délai de propagation et la probabilité de perdre des paquets.
- La qualité de l'expérience (QoE) de l'utilisateur est largement fonction de ces paramètres, mais elle dépend fortement de l'usage précis que l'utilisateur fait du réseau. En effet, certaines applications sont bien plus sensibles aux délais ou aux pertes que d'autres.
- 'L'internet est un système complexe de réseaux interconnectés. La plupart de ces interconnexions ont lieu au moyen de variantes de *l'échange de trafic entre réseaux homologues* et du *transit*.
- La qualité de service est monnaie courante depuis des années au sein des réseaux de FSI, mais l'échange de trafic entre réseaux homologues adapté au service de qualité reste extrêmement rare.
- La qualité de service a des implications quelque peu différentes pour les réseaux fixes et les réseaux mobiles, du fait de leurs capacités et de leurs exigences différentes en matière de bande passante.
- On prétend parfois que la qualité de service différenciée enfreint les principes fondamentaux de 'l'internet (tels que le principe du bout en bout). En fait, la qualité de service différenciée a toujours été envisagée lors de la conception de 'l'internet (bien qu'elle n'ait pas été pleinement appliquée). Sa riche histoire remonte à des décennies, aux balbutiements de 'l'internet et des réseaux qui l'ont précédé.

Dans le réseau téléphonique vocal classique, on se préoccupait peu de la neutralité du réseau: soit un appel réussissait (avec une qualité variable), soit il échouait. Il était généralement dans l'intérêt commun des opérateurs de réseaux et de leurs clients d'obtenir la meilleure qualité vocale possible à un coût et à un prix donnés. Dans tous les cas, si un opérateur historique disposant d'une puissance significative sur le marché (PSM) avait volontairement bloqué un appel à un service ou à un client d'un concurrent, il aurait généralement fait l'objet de poursuites devant l'autorité réglementaire nationale (ARN).

Dans l'univers de 'l'internet, de nombreuses formes d'interférences volontaires sont possibles, depuis la dégradation subtile jusqu'au blocage pur et simple. Certaines sont évidentes, mais d'autres sont difficiles à détecter.

2.1. La suite IP (Internet Protocol)

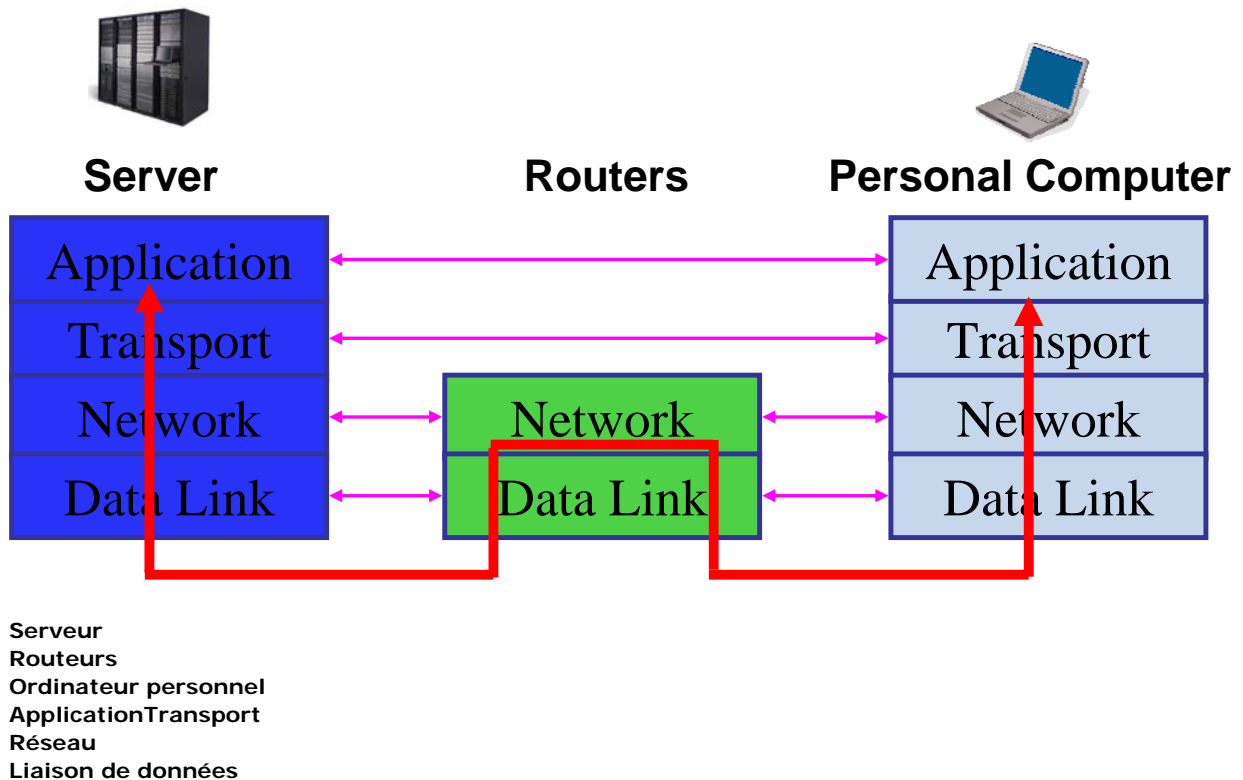
'L'internet est basé sur une suite de normes techniques communément appelées «famille IP» ou «*suite de protocoles IP*». Les réseaux classiques de communication utilisent une *commutation de circuits*, où un circuit (virtuel) reste en place du moment où un appel est lancé (composition du numéro) jusqu'au moment où l'appel est terminé. Le circuit transmet les informations sous la forme d'un flux séquencé stable et (idéalement) fiable. Au lieu de

cela, l'IP utilise la *commutation de paquets*: de grands flux de données sont divisés en petits paquets de données et chaque paquet (ou *datagramme IP*) est indépendamment dirigé (*acheminé*) jusqu'à sa destination finale. Intrinsèquement, un réseau IP ne garantit pas que tous les paquets seront distribués, ni qu'ils seront distribués dans l'ordre. Cependant, des services de livraison par ordre chronologiques fiables peuvent facilement être stratifiés sur le dessus (notamment par le protocole de contrôle de transmission [TCP]), pour les applications qui le requièrent. La commutation de paquets basée sur l'IP s'est avérée être plus souple et plus efficace que la commutation de paquets classique pour une très large gamme d'utilisations.

La suite de protocoles IP est construite sous la forme d'une *architecture de réseau en couches*, de telle sorte que les différentes couches du réseau communiquent avec les couches qui leur correspondent dans d'autres dispositifs, sans avoir besoin de connaître en détail les couches qui se trouvent au-dessus ou au-dessous.

L'application – qu'il s'agisse de navigation sur le Web, de VoIP (voix sur l'internet) ou d'IPTV (télévision sur l'internet) – *utilise* les couches représentées ci-dessous, mais ne se préoccupe pas de la façon dont celles-ci fonctionnent. La *couche de liaison de données* gère le dispositif de transmission sous-jacent qui peut tout aussi bien être un service sans fil, tel qu'un service UMTS qu'un service Ethernet câblé, un service ADSL ou un service GPON à base de fibre optique. L'IP lui-même inclut la *couche de réseau*, qui est chargée de transmettre le trafic d'un bout à l'autre de la connexion, généralement par le biais de *routeurs* (dispositifs de transmission de paquets IP) multiples. C'est la couche de transport (et notamment le protocole de contrôle de transmission) qui est chargée d'établir des communications fiables (si nécessaire) à partir des services par paquets les plus primitifs qui s'offrent à elle.

Figure 2: Architecture du protocole Internet



2.2. La qualité de service (QoS) dans un réseau IP par paquets

Dans un réseau IP par paquets, la qualité de service (QoS) est plus complexe que dans les réseaux classiques. Les réseaux IP ne sont pas conçus pour pouvoir transporter chaque paquet IP (ou *datagramme*) que chaque utilisateur peut tenter d'envoyer ou de recevoir, mais plutôt pour mettre les paquets excédentaires en attente jusqu'à ce que la capacité nécessaire soit disponible. Si la quantité de paquets en attente dépasse la capacité de stockage, certains paquets doivent être éliminés; cela n'occasionne généralement aucun préjudice puisque les protocoles de réseau (nommant le *TCP*) s'assurent généralement que les paquets manquants sont retransmis.

Cette approche fonctionne extrêmement bien pour des applications telles que le courrier électronique ou le partage de fichiers, où de petits délais sont parfaitement acceptables. Comme nous allons l'expliquer brièvement, elle est cependant moins adaptée aux applications en temps réel, telles que la voix sur l'internet (VoIP).

Dans un réseau IP, chaque paquet IP (datagramme) effectue de nombreux «sauts» d'un point à un autre, depuis son point de départ jusqu'à sa destination. Chaque saut contribue au temps total (délai) que le paquet met pour traverser le réseau. Les paramètres de performance essentiels pour chaque saut d'un réseau IP incluent:

- **La bande passante:** le nombre maximal de bits qu'une voie de transmission peut transporter.
- **Le délai de propagation:** le temps nécessaire à un paquet, en tant que fonction de la longueur de toutes les voies de transmission et de la vitesse de la lumière à travers cette voie de transmission particulière.
- **Le délai de mise en file d'attente** Le temps pendant lequel un paquet *attend* avant d'être transmis. Le *délai moyen* et la *variation du délai (gigue)* ont tous deux leur importance, puisqu'ils permettent de donner un intervalle de confiance pour le délai dans lequel un paquet doit arriver à destination.
- **La perte de paquets:** La probabilité qu'un paquet n'arrive jamais à destination. Cela peut être lié à des erreurs de transmission, mais les erreurs sont plutôt rares dans les réseaux fixes en fibre optique modernes. Plus fréquemment, des paquets sont perdus parce que le nombre de paquets en attente de transmission est supérieur à la capacité de stockage disponible (*tampons*).

Toutes les applications ne sont pas fortement dépendantes de la qualité de service. Comme mentionné précédemment, le courrier électronique tolère des délais prolongés ou des pertes importantes, les utilisateurs ne s'attendant pas à une distribution immédiate. Ce n'est pas le cas de la voix sur l'internet (VoIP). Nous reviendrons à ce point à la section 2.3.

Le délai de mise en file d'attente et la perte de paquets dépendent de la quantité de trafic qui tente d'entrer dans un saut du réseau, par rapport à la quantité de trafic que le réseau peut supporter. *La théorie des files d'attente*, une branche des mathématiques qui traite des files d'attente, peut être utilisée pour analyser ces caractéristiques.

Matière à réflexion: La visualisation des délais dans un réseau IP

Du point de vue des mathématiques de la théorie des files d'attente, la file d'attente d'un «saut» IP n'est pas très différente de la file d'attente d'un remonte-pente. Le temps d'attente est fonction du nombre moyen de skieurs qui se présentent par unité de temps, et du degré auquel leur arrivée se produit par rafales, par rapport à la capacité portante (pensez *bande passante*) du remonte-pente. Ce délai est très variable.

Une fois qu'un skieur a emprunté le remonte-pente, le temps nécessaire pour atteindre le sommet (pensez *délai de propagation*) est fonction de la vitesse du remonte-pente et de la distance à parcourir, mais il est indépendant du nombre de skieurs.

2.3. La relation entre la qualité de service (QoS) du réseau et la qualité de l'expérience (QoE) de l'utilisateur

2: Architecture du protocole Internet

Les paramètres et mécanismes de la qualité de service qui sont définis dans la section 2.2 concernent le transport de paquets au niveau de la couche de réseau (IP) de la pile de protocoles (voir Fig. 1 2: Architecture du protocole Internet

). Ces paramètres et mécanismes sont importants pour permettre aux opérateurs de réseaux de concevoir, construire et gérer leurs réseaux. Cependant, ils ne sont pas directement observables par la plupart des utilisateurs finaux/consommateurs. Ce qui compte pour les utilisateurs finaux est leur propre expérience de la qualité pendant l'utilisation des services et des applications. La relation entre la qualité de service au niveau du réseau IP et la qualité de l'expérience (QoE) de l'utilisateur est très dépendante de l'application.^{13,}

14

Voici quelques exemples importants:

- Comme mentionné précédemment, le courrier électronique tolère des délais prolongés et des pertes importantes, les utilisateurs ne s'attendant pas à une distribution immédiate.
- Pour les conversations vocales, par exemple dans le cadre de la téléphonie IP, la qualité de l'expérience dépend du délai de transfert des paquets, de la variation des délais et de la perte de paquets. Selon un critère bien connu, pour offrir une expérience convenable, le temps aller à travers le réseau ne doit pas dépasser 150 millisecondes.¹⁵ Des délais prolongés peuvent amener les utilisateurs des deux côtés de la connexion à commencer à parler en même temps (ce qui est également typique des téléphones par satellite, où le temps aller-retour est d'au moins 270 millisecondes).
- Pour les jeux interactifs, le délai de transfert et sa variation ont également leur importance, mais d'une manière légèrement différente. Par exemple, pour Quake IV,

¹³ Pour l'utilisateur final, la qualité de l'expérience peut également dépendre de facteurs autres que la qualité de service du réseau, tels que les codecs utilisés pour coder et décoder la voix et la vidéo de la couche d'application.

¹⁴ Techniques for Measuring Quality of Experience, Kuipers, F.A., R.E. Kooij, D. De Vleeschauwer et K. Brunnstrom, Proc. of the 8th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010), Luleå, Suède, du 1^{er} au 3 juin 2010, LCNS 6074, p. 216-227, 2010.

¹⁵ ITU-T G.114 General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection (05/2003).

un «jeu vidéo de tir subjectif», on a établi que la qualité de l'expérience est essentiellement déterminée par le temps de ping et ses variations.¹⁶ Ici, le temps de ping est ce que l'on appelle un temps aller-retour: le temps nécessaire à un paquet IP pour effectuer un aller-retour entre l'ordinateur de l'utilisateur final et le serveur de jeu central.

- Dans le cadre de la lecture vidéo en transit, les paramètres qui déterminent la qualité de l'expérience n'incluent pas seulement les paramètres de la conversation vocale (c'est-à-dire le délai de transfert, la variation du délai de transfert [gigue] et la perte de paquets), mais aussi d'autres paramètres.¹⁷ Pour les utilisateurs qui regardent du contenu vidéo dans un environnement de télévision classique, avec un ensemble défini de chaînes entre lesquelles on peut choisir à l'aide d'une télécommande, ce que l'on appelle le *temps de zapping* est important. Le temps de zapping est le temps qui s'écoule entre la sélection d'une nouvelle chaîne sur la télécommande et l'apparition effective de la nouvelle chaîne à l'écran.

Il serait prohibitif pour un réseau IP d'offrir en permanence la qualité de l'expérience requise par les applications les plus exigeantes. Cependant, il est possible pour les fournisseurs de services d'accroître la qualité de l'expérience dans le cadre d'applications spécifiques, en appliquant des mesures techniques personnalisées à ces applications. Un exemple en est la distribution de vidéos en transit par le biais de réseaux de distribution de contenu (CDN).^{18, 19} Dans les CDN, des copies de vidéos populaires sont placées sur des serveurs vidéo, à de nombreux endroits où la connectivité Internet est bonne et à proximité du public intéressé, par exemple au niveau de points d'échange Internet choisis. En faisant jouer la vidéo à partir d'un serveur plus proche des utilisateurs finaux, on raccourcit la chaîne de transport IP, ce qui peut se traduire par de meilleures caractéristiques de qualité de service IP, et donc par une qualité de l'expérience améliorée. En outre, cela réduit également la charge du trafic IP sur le noyau Internet. Les serveurs vidéo peuvent également être placés à l'intérieur du réseau IP d'un fournisseur de service Internet (FSI) particulier, ce qui raccourcit la chaîne de transport IP et offre des possibilités supplémentaires d'améliorer la qualité de l'expérience.

Un autre exemple de l'application de méthodes spécifiques en vue d'améliorer la qualité d'applications spécifiques est l'introduction d'une voie de services gérés dans les réseaux de FSI. Comme étudié plus en détails dans la section 4.1, il est possible de choisir et de gérer soigneusement les caractéristiques de la qualité de service IP dans la voie des services gérés, de façon à optimiser la qualité de l'expérience offerte par les services que les FSI distribuent par le biais de cette voie. La faisabilité technique des CDN et du concept de voie des services gérés ressort clairement de nombreuses mises en œuvre opérationnelles.

D'aucuns expriment la crainte que l'offre d'une qualité de service différente pour différentes applications ne s'accorde pas avec le principe du bout en bout. Nous reviendrons à ce point à la section **Error! Reference source not found.**

¹⁶ Predicting the perceived quality of a first person shooter: the Quake IV G-model, A. F. Wattimena, R. E. Kooij, J. M. van Vugt, O. K. Ahmed, Proceedings of 5th ACM SIGCOMM workshop on Network and system support for games, Singapour, 2006, ISBN:1-59593-589-4.

¹⁷ Takahashi, A.; Hands, D. et Barriac, V.: Standardization activities in the ITU for a QoE assessment of IPTV, *Communications Magazine, IEEE*, vol. 46, n° 2, p.78-84, février 2008, DOI: 10.1109/MCOM.2008.4473087.

¹⁸ Vakali, A.; Pallis, G.: «Content delivery networks: status and trends,» *Internet Computing, IEEE*, vol.7, n° 6, p. 68-74, novembre - décembre 2003, DOI: 10.1109/MIC.2003.1250586

¹⁹ Pathan, M., Buyya, R., Vakali, A, Content Delivery Networks: State of the Art, Insights, and Imperatives, Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, 2008, volume 9, partie I, 3-32.

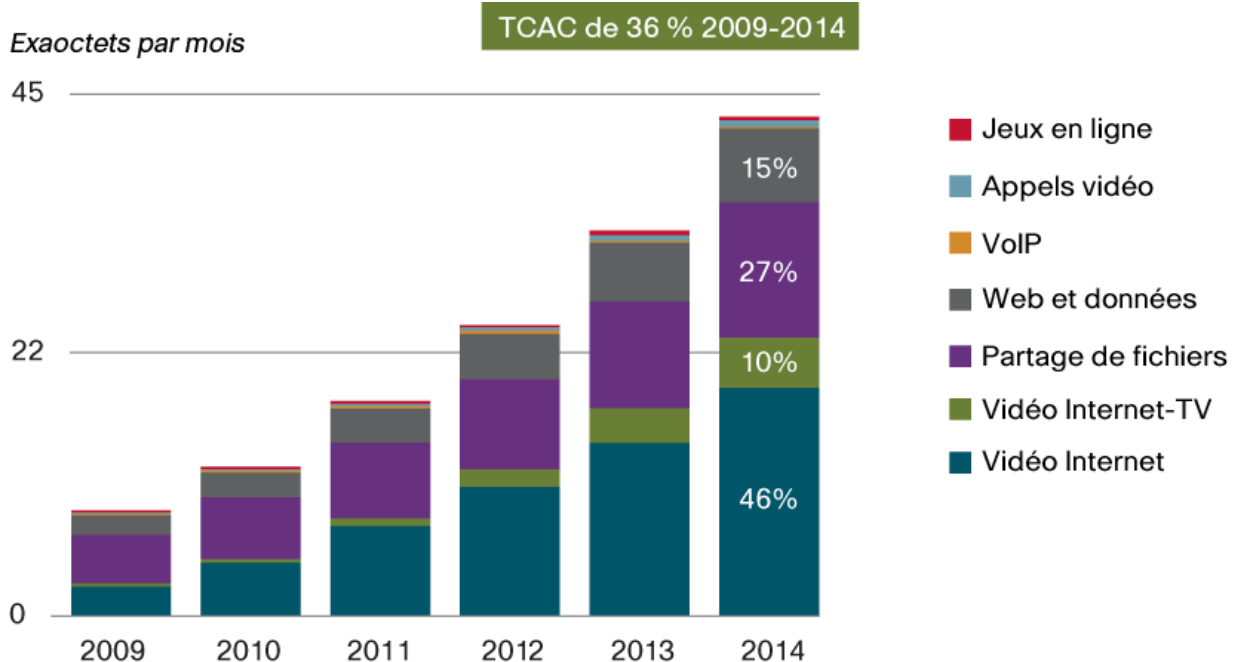
Une question essentielle relative au débat sur la neutralité des réseaux a trait à la fraction du trafic Internet qui nécessite une gestion explicite de la qualité de l'expérience. D'aucuns expriment la crainte que l'offre d'une qualité de service différente pour différentes applications ne s'accorde pas avec le principe du bout en bout. reviendrons à ce point à la section **Error! Reference source not found.**

Selon des prévisions plausibles élaborées par Cisco systems (voir la D'aucuns expriment la crainte que l'offre d'une qualité de service différente pour différentes applications ne s'accorde pas avec le principe du bout en bout. reviendrons à ce point à la section **Error! Reference source not found.**

), les services de VoIP représentent une part négligeable du trafic Internet total et cette tendance va se maintenir.²⁰ En revanche, les services de vidéo sur l'Internet représentent une part importante et croissante de tout le trafic Internet. La voix sur l'Internet est intrinsèquement un service à faible bande passante, tandis que la vidéo est intrinsèquement un service à haute bande passante. 16: prévisions Cisco VNI relatives au trafic Internet global mondial

Dans le même temps, une part relativement petite de toutes les vidéos nécessite une gestion explicite de la qualité de l'expérience.²¹ En tenant compte de la VoIP, de la vidéo et d'un éventail d'autres applications, Cisco estime qu'en 2014, le trafic IP géré grand public représentera 17 % de tout le trafic Internet, contre 4% pour le trafic IP géré de l'entreprise (voir la 15Figure 16: prévisions Cisco VNI relatives au trafic Internet global mondial).

Figure 4: prévisions Cisco VNI relatives au trafic Internet mondial des consommateurs



Source : Cisco VNI, 2010

²⁰ Cisco VNI, «L'hyperconnectivité et l'ère prochaine du zettaoctet», 2 juin 2010.

²¹ D'ailleurs, pour la lecture vidéo en transit (telle que YouTube), où l'utilisateur peut tolérer une seconde ou deux de délai au départ (c'est-à-dire que le temps de zappage acceptable est long), le système terminal receveur peut faire beaucoup, au moyen d'un tampon de gigue, pour offrir une qualité de l'expérience convenable. Tout ne dépend pas seulement du réseau sous-jacent.

Source: Cisco VNI, 2010.²²

²² Ibid.

2.4. L'interconnexion des réseaux IP

L'Internet est l'ensemble des opérateurs de réseaux, ou fournisseurs de services Internet (FSI) qui le composent. Beaucoup de gens définissent l'Internet comme incluant également chaque système IP d'utilisateur final qui y est relié, incluant ainsi les ordinateurs personnels, les «téléphones intelligents» et un large éventail de dispositifs intelligents qui communiquent essentiellement avec d'autres dispositifs.

Qu'une communication Internet se déroule de bout en bout au sein d'un seul réseau de FSI est l'exception plutôt que la règle. Il est plus fréquent que la communication se déroule entre plusieurs réseaux, et souvent entre un très grand nombre de réseaux.

L'interconnexion entre les FSI est complexe et en cours d'évolution, mais la grande majorité des interconnexions se font à l'aide de l'un de deux mécanismes: l'échange de trafic entre réseaux homologues et le transit. La définition la plus claire de ces formes d'interconnexion a été donnée par la NRIC, un panel consultatif de la FCC américaine:

L'échange de trafic entre réseaux homologues est un accord passé entre des FSI qui s'engagent à acheminer le trafic l'un de l'autre, ainsi que le trafic de leurs clients respectifs. L'échange de trafic entre réseaux homologues n'inclut pas d'obligation d'acheminer le trafic de tiers. Il s'agit généralement d'un accord commercial et technique bilatéral, dans le cadre duquel deux fournisseurs conviennent d'accepter le trafic de l'autre et le trafic des clients de l'autre (et donc des clients de ses clients). ...

Le transit est généralement un accord commercial et technique par lequel un fournisseur (le fournisseur du transit) accepte d'acheminer le trafic à des tiers pour le compte d'un autre fournisseur ou d'un utilisateur final (l'abonné). La plupart du temps, le fournisseur de transit achemine du trafic depuis et vers toute destination de l'Internet, dans le cadre de l'accord de transit.

L'échange de trafic entre réseaux homologues permet donc uniquement à un fournisseur d'accéder aux clients d'un seul fournisseur. En revanche, le transit permet généralement d'accéder à tout l'Internet à un prix prévisible. Historiquement, dans le cadre de l'échange de trafic entre réseaux homologues, les partenaires ont généralement gardé pour eux les montants facturés, sans versement de trésorerie.²³

L'échange de trafic entre réseaux homologues représente l'échange de trafic entre les clients d'un FSI et les clients de ses clients (qui peuvent également être des FSI), avec les clients d'un autre FSI. Cela implique que le trafic Internet traverse généralement tout au plus une connexion d'échange de trafic sur son trajet, depuis sa source jusqu'à sa destination. Il doit ensuite exister une chaîne complète de relations de transit entre les éventuels systèmes des utilisateurs finaux, de source et de destination, et les deux systèmes d'échange de trafic.

²³ NRIC V, Focus Group 4; Interoperability: «Service Provider Interconnection for Internet Protocol Best Effort Service». Il convient de noter que ces définitions incluent les échanges de trafic entre réseaux homologues rémunérés et non rémunérés, ainsi que le transit global et partiel. Cependant, elles omettent quelques formes exotiques d'interconnexion, telles que le transit réciproque.

À l'aide de ces deux pierres angulaires, l'internet peut fournir une connectivité au monde de l'IP tout entier.

Dans une relation de transit, le fournisseur de transit peut proposer une assurance de qualité de service à ses abonnés – du moins, il peut leur offrir des garanties allant jusqu'aux frontières de son propre réseau. Cependant, l'acheteur de transit ne donne normalement aucune garantie au fournisseur de transit.

Dans les relations d'échange de transit entre réseaux homologues, des efforts visant à ce que les homologues se fournissent des garanties de qualité ont été réalisés pendant des années. Les obstacles pratiques sont nombreux – par exemple, il est peu probable que deux réseaux qui se font concurrence sur un plan d'égalité se réjouissent à l'idée de partager des informations qui indiquent les performances de leurs réseaux respectifs. Or, c'est exactement ce qui est nécessaire pour rendre les garanties de qualité de service exécutables. Entre autre, les assurances de qualité de service n'auront que peu de valeur tant qu'elles ne seront pas pleinement intégrées par un groupe de fournisseurs qui représentent ensemble une part importante de 'l'internet total. Jusqu'à présent, le coût des transactions économiques liées à l'obtention d'un consensus aussi important a constitué un obstacle insurmontable.

Ainsi, il est aisé d'effectuer des contrôles de qualité de service au sein d'un réseau de FSI, mais la qualité de service n'est que rarement proposée de bout en bout, à travers de multiples réseaux de FSI.²⁴

2.5. La chaîne des réseaux IP dans la distribution de services à haut débit

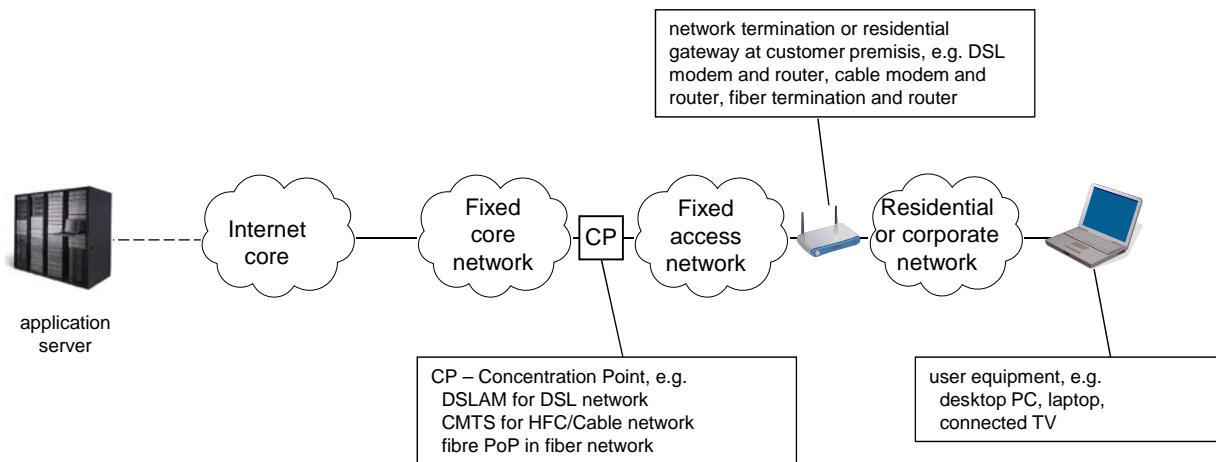
6: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final fixe

Dans 'l'internet d'aujourd'hui, une chaîne de réseaux IP est chargée de distribuer des services fixes et mobiles à large bande aux utilisateurs finaux. La 5Figure 6: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final fixe

représente la chaîne des services fixes à large bande, qui fournit une connectivité IP entre un utilisateur final (à droite) et un serveur d'application (à gauche). Le serveur d'application peut être un serveur Web, un magasin d'applications, un serveur de VoIP ou un serveur de lecture vidéo en transit, en fonction de l'application fournie. L'utilisateur final peut disposer d'un nombre indéfini de dispositifs et de terminaux, tels qu'un ordinateur de bureau, un ordinateur portable ou une tablette Internet.

Figure 6: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final fixe

²⁴ Voir J. Scott Marcus, Dieter Elixmann, Kenneth R. Carter et les experts confirmés Scott Bradner, Klaus Hackbarth, Bruno Jullien, Gabriele Kulenkampff, Karl-Heinz Neumann, Antonio Portilla, Patrick Rey et Ingo Vogelsang, *The Future of IP Interconnection: Technical, Economic, and Public Policy Aspects*, mars 2008, une étude préparée pour la Commission européenne disponible à l'adresse: http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecom/doc/library/ext_studies/future_ip_intercon/ip_intercon_study_final.pdf



serveur d'application

Noyau Internet

Réseau fédérateur fixe

CP

CP – Concentration Point (point de concentration), par exemple DSLAM pour le réseau DSL, CMTS pour le réseau HFC/câblé, fibre PoP pour le réseau de fibre

Réseau d'accès fixe

Terminaison du réseau ou passerelle résidentielle dans les locaux de l'abonné, par exemple, modem et routeur DSL, modem et routeur par câble, terminaison et routeur de fibre

Réseau résidentiel ou professionnel

Équipement de l'utilisateur, par exemple, ordinateur de bureau, ordinateur portable ou télévision connectée

Source: TNO

La chaîne de réseaux IP qui existe entre le serveur d'application et l'utilisateur final fixe permet de transporter des paquets IP dans les deux sens. On peut considérer qu'elle se compose de trois éléments: le noyau Internet, un réseau fédérateur fixe et un réseau d'accès fixe. Un quatrième élément, souvent ignoré, est le réseau privé qui se trouve au domicile ou au travail de l'utilisateur final.

- Le noyau Internet est composé de multiples réseaux de FSI régionaux et mondiaux interconnectés qui offrent une connectivité entre eux au moyen d'un type (généralement bilatéral) d'accord d'échange de trafic entre réseaux homologues IP ou d'accord de transit (voir la Section **Error! Reference source not found.**).
- On peut considérer qu'un réseau de FSI est composé d'éléments de réseau fédérateur fixe et d'éléments de réseau d'accès fixe²⁵. Ces éléments ont tendance à ne pas utiliser les mêmes technologies et à présenter des topologies différentes. Le réseau fédérateur fixe achemine le trafic et le concentre sur la zone géographique desservie par le FSI.²⁶
- Le réseau d'accès fixe d'un FSI peut être composé de l'une des différentes technologies d'accès ou de toutes celles-ci, notamment:
 - Les réseaux classiques de téléphonie basés sur la paire de cuivre torsadée, utilisant des technologies d'ADSL (*Digital Subscriber Line - ligne d'abonné numérique*) telles que: ADSL²⁷, ADSL2+²⁸ et VDSL2.²⁹
 - Les réseaux de câbles télévisuels HFC (Hybrid Fiber-Coax) avec technologie DOCSIS³⁰
 - La fibre optique en association avec les technologies Ethernet point à point³¹ ou GPON (*Gigabit-capable passive optical networks*)³².

8: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final mobile

- À son domicile, un utilisateur final peut disposer de son propre réseau, qui assure la connectivité entre ses dispositifs et le réseau du FSI au moyen d'un modem et d'un routeur DSL ou par câble. La 7Figure 8: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final mobile

²⁵ Les réseaux fédérateurs et les réseaux d'accès sont liés en un «point de concentration» (CP). En fonction de la technologie d'accès fixe, le point de concentration peut être un DSLAM (multiplexeur d'accès DSL, pour DSL) ou un CMTS (système de terminaison de modem par câble, pour DOCSIS).

²⁶ Les réseaux fédérateurs et les réseaux d'accès sont liés en un «point de concentration» (CP). En fonction de la technologie d'accès fixe, le point de concentration peut être un DSLAM (multiplexeur d'accès DSL, pour DSL) ou un CMTS (système de terminaison de modem par câble, pour DOCSIS).²⁶ Ces réseaux reposent de plus en plus sur la technologie Ethernet optique. Voir les spécifications du Metro Ethernet Forum, disponibles à l'adresse: www.metroethernetforum.org.

²⁷ ITU-T G.992.1 (06/99) Émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique asymétrique

²⁸ ITU-T G.992.5 (01/2009) Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus)

²⁹ ITU-T G.993.2 (02/2006) Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)

³⁰ Spécifications de DOCSIS - DOCSIS 3.0 Interface, CableLabs, disponibles via <http://www.cablelabs.com/cablemodem/specifications/index.html>

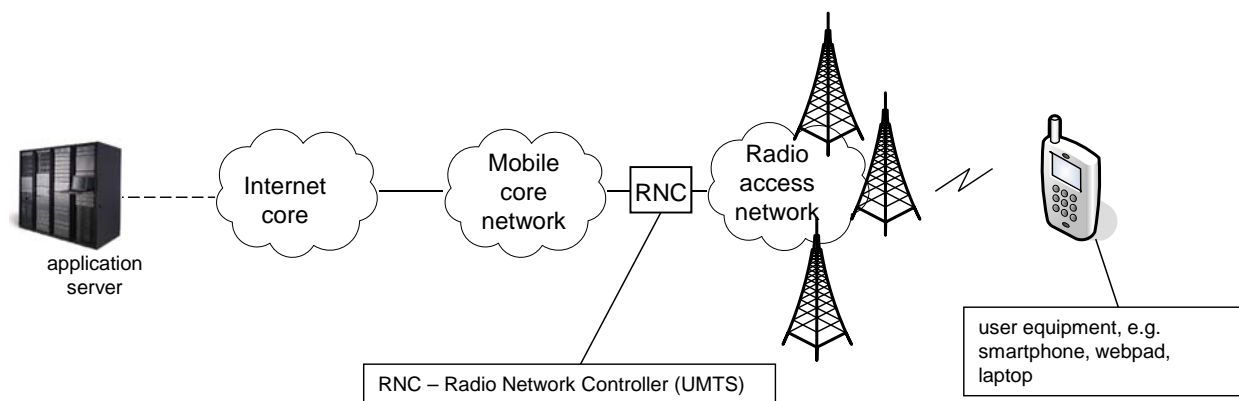
³¹ G.985 (03/03) 100 Système d'accès optique point à point à 100 Mbit/s à base Ethernet

³² G.984.1 (03/08) Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics

représente une chaîne analogique typique de réseaux IP chargée de distribuer des services à haut débit par le biais d'un accès mobile. 6: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final fixe

- La différence évidente par rapport à la chaîne fixe de la 5Figure 6: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final fixe
- est le réseau d'accès radio et l'équipement de l'utilisateur, qui est aujourd'hui couramment basé sur les technologies UMTS³³ et HSPA³⁴.

Figure 8: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final mobile



serveur d'application

Noyau Internet

RNC – Contrôleur de réseau de radiocommunication (UMTS)

équipement de l'utilisateur, par exemple téléphone intelligent, tablette Internet ou ordinateur portable

Source: TNO

Dans le même temps, une partie considérable de la chaîne de connectivité IP de bout en bout est identique ou similaire dans les réseaux fixes et mobiles. Tous deux utilisent le même noyau Internet. En outre, les fonctions de mise en réseau IP du réseau fédérateur mobile sont semblables à celles du réseau fédérateur fixe. Les différences entre les technologies fixes et mobiles ne concernent généralement que la périphérie du réseau, et principalement les couches du réseau qui se trouvent en-dessous de la couche IP (voir la Section 0).

6: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final fixe

8: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final mobile

Dans les chaînes de la 5Figure 6: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final fixe

et de la 7Figure 8: Voie Internet de bout en bout, de l'application jusqu'à un utilisateur final mobile

³³ 3GPP, version 99 et au-delà, disponibles via www.3gpp.org

³⁴ 3GPP, version 7 et au-delà, disponibles via www.3gpp.org

, chaque réseau IP individuel influence les caractéristiques de la qualité de service IP de bout en bout, telles que la bande passante, le délai de transfert et la gigue (voir la Section 2.2). Dès lors, chaque partie de la chaîne constitue un goulet d'étranglement potentiel, limitant les caractéristiques générales de la qualité de service IP. Les caractéristiques de qualité de service IP des réseaux individuels de la chaîne varient d'un réseau à un autre, du fait des différences de technologie sous-jacente, de topologie du réseau, de capacité du réseau et de gestion du trafic. Comme on l'a fait remarquer précédemment, les plus grandes différences de supports physiques et de technologies se trouvent dans les réseaux d'accès. Il existe de nombreuses différences, petites et grandes, entre les réseaux d'accès. Ces différences affectent les caractéristiques de la qualité de service IP et peuvent, de ce fait, limiter la qualité de l'expérience de l'utilisateur.

2.6. La hiérarchisation du trafic et le principe du bout en bout

Dès le départ, la famille IP a été optimisée pour des applications ne nécessitant pas de manipulation particulière pour ce qui est des préférences ou de la hiérarchisation. En outre, la mise en œuvre de la hiérarchisation comporte des difficultés pratiques. La hiérarchisation ne doit cependant pas être considérée comme portant atteinte à l'architecture fondamentale de l'internet.

Dans l'internet, les applications communiquent conceptuellement les unes avec les autres, de bout en bout. (La voie d'un routeur à un autre, ou d'un routeur à un point final tel que le serveur ou l'ordinateur personnel représenté sur la figure, est davantage une communication de *point à point* qu'une communication de *bout en bout*.) On a reconnu dès le départ qu'il valait mieux que de nombreuses fonctions soient accomplies par les applications elles-mêmes, de *bout en bout*.³⁵ D'aucuns en ont déduit que ce *principe du bout en bout* constituait un principe fondamental de l'internet³⁶ et ont avancé qu'une forme extrême de neutralité des réseaux, sans aucune hiérarchisation, était nécessaire pour y adhérer. Cependant, c'est probablement accorder bien trop de poids à ce principe. En réalité, le principe du bout en bout n'était destiné qu'à refléter des compromis pragmatiques d'ingénierie, qui étaient d'actualité à l'époque.

D'aucuns ont notamment avancé que la suite IP avait toujours été destinée à traiter tous les trafics de la même manière, sans préférence ni hiérarchisation. Cela est tout simplement incorrect: une distribution hiérarchisée a toujours été envisagée dans le cadre de l'IP (même si les détails n'étaient pas pleinement spécifiés dès le départ).³⁷ Les travaux relatifs à une distribution hiérarchisée du trafic par le biais de l'IP possèdent une riche

³⁵ Saltzer, J., Reed, D. et Clark, D.D. End-to-End Arguments in System Design. Second International Conference on Distributed Computing Systems, pages 509-512, avril 1981. ACM Transactions on Computer Systems, 2(4), pages 277-288, 1984.

³⁶ Cf. Isenberg, David (1^{er} août 1996). «The Rise of the Stupid Network», disponible à l'adresse: <http://www.rageboy.com/stupidnet.html> (consulté le 10 avril 2011).

³⁷ Voir la RFC 791, de septembre 1981, qui définit l'Internet Protocol (IPv4): «Le type de service indique les paramètres abstraits de la qualité de service souhaitée. Ces paramètres doivent être utilisés pour guider le choix des paramètres de service effectifs lors de la transmission d'un datagramme dans un réseau particulier. Plusieurs réseaux offrent un mécanisme de priorité, qui traite préférentiellement un trafic hautement prioritaire par rapport à un autre trafic (en général en acceptant seulement d'acheminer des paquets d'un niveau de priorité dépassant un certain seuil lors d'une surcharge momentanée). Principalement, le choix offert est un compromis entre les trois options suivantes: un délai court, un degré élevé de fiabilité et un haut débit.»

tradition dont les racines remontent aux balbutiements de l'internet et de ses réseaux précurseurs, dans les années soixante-dix, quatre-vingt et quatre-vingt-dix.³⁸

³⁸ Voir par exemple C. Topolcic, RFC 1190, Experimental Internet Stream Protocol, Version 2 (ST-II), 1990; et L. Delgrossi et L. Berger, RFC 1819, Internet Stream Protocol Version 2 (ST2), 1995.

3. LES PARAMÈTRES ÉCONOMIQUES DE LA DIFFÉRENCIATION PAR LA QUALITÉ

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- Il existe plusieurs aspects économiques de la neutralité des réseaux. Dans la plupart des cas, les différences de qualité et de prix sont favorables. Néanmoins, certaines formes de différenciation sont préjudiciables.
- La différenciation par la qualité est une pratique bien comprise qui, en l'absence de discrimination anticoncurrentielle, profite généralement tant aux producteurs qu'aux consommateurs.
- Lorsqu'un producteur disposant d'une puissance sur le marché dans un segment de marché tente de projeter cette puissance sur des segments en amont ou en aval qui seraient autrement concurrentiels, cela constitue un verrouillage économique. Le verrouillage nuit aux consommateurs et fait subir une perte d'efficacité socio-économique générale à la société.
- On peut considérer l'internet comme un marché biface, où les opérateurs de réseaux servent de plate-forme reliant les fournisseurs de contenus (par exemple, les sites Web) et les consommateurs. Selon ce point de vue, certains conflits sont simplement liés à la façon dont les coûts et les bénéfices doivent être divisés entre les opérateurs de réseaux et les (au moins) deux côtés du marché.
- Le nombre de spectateurs/clients dont dispose un fournisseur peut lui conférer une forme particulière de puissance sur le marché, associée à des effets de réseau. Les effets de réseau interagissent de façon compliquée avec d'autres aspects économiques.

De nombreux instruments économiques différents peuvent aider à comprendre le débat sur la neutralité des réseaux. Dans cette section, nous examinons la discrimination par la qualité en général (Section 0), le verrouillage économique (Section □), les marchés bifaces (Section 3.3) et les effets de réseau (Section 0).

3.1. Différenciation par la qualité

Ces vingt dernières années, les réseaux ont été privatisés et ouverts à la concurrence. Dans un environnement pleinement concurrentiel, les concurrents pourraient être tentés de baisser leurs prix pour obtenir des contrats, la seule limite inférieure de ce processus étant les coûts marginaux à court terme. Cependant, à ce niveau de prix, l'opérateur de réseau ne pourrait pas récupérer son investissement initial dans le réseau et ne serait pas incité à entretenir ou à améliorer le réseau.

Les opérateurs de réseaux peuvent relever ce défi de différentes façons, principalement au moyen:

- **d'une tarification de Ramsey-Boiteux**, où l'opérateur de réseau prend une marge commerciale supérieure sur les services pour lesquels le volume acheté par l'utilisateur final n'est pas très dépendant du prix (c'est-à-dire des services qui sont relativement *inélastiques*), et une marge commerciale inférieure sur les services sensibles aux prix;^{fn} ou

- **d'une différenciation par la qualité**, l'opérateur de réseau offrant différentes qualités de service à différents prix. La différenciation par la qualité peut permettre à l'opérateur de réseau de conserver un certain pouvoir de fixation des prix.³⁹Ces deux méthodes s'écartent des prix purement axés sur les coûts. Dans certaines conditions, ces deux méthodes sont susceptibles d'améliorer le bien-être social.

Les opérateurs de réseaux (comme les autres entreprises) s'efforcent de différencier leurs offres afin de réduire la concurrence par les prix. Cette différenciation peut s'accompagner d'accords de tarification différenciée ou non linéaire. En effet, si les préférences des clients sont hétérogènes, des prix différenciés peuvent être nécessaires à l'obtention de résultats efficaces.

Selon la mesure dans laquelle différents utilisateurs ont des préférences distinctes en faveur d'un aspect du service par rapport à un autre, cela peut avoir des effets positifs: couvrir les coûts fixes des infrastructures des réseaux, augmenter la capacité générale (et donc réduire les pertes d'efficacité) et, si les différences de qualité s'alignent sur les différentes préférences des utilisateurs, mieux faire correspondre les besoins des utilisateurs et les niveaux de service. Dans le même temps, cela peut également avoir des effets négatifs, notamment: une fausse différenciation, des rentes de monopoles excessives, une innovation faussée (par exemple, une concurrence par les caractéristiques qui n'apporte pas d'amélioration de la fonctionnalité), et des accords collusoires de partage du marché.

Nous connaissons tous ce principe dans le contexte des billets d'avion ou de train: nous ne considérons pas comme anticoncurrentiel que les compagnies aériennes proposent des billets de classe économique, de classe affaires ou de première classe. En outre, nous admettons instinctivement que les différences de *prix* ne sont que faiblement liées à des différences de *coût*. Au XIX^{ème} siècle, les chemins de fer français proposaient des wagons de troisième classe (leur service le moins onéreux) sans toit et équipés de bancs de bois, «pas pour les quelques milliers de francs qu'il serait nécessaire de dépenser pour mettre un toit sur les wagons de troisième classe ou pour mettre des coussins sur les sièges que telle ou telle compagnie a des wagons ouverts avec des bancs de bois, [mais plutôt pour] empêcher les passagers pouvant se payer un billet de seconde de voyager en troisième».⁴⁰

Dans les marchés concurrentiels, cette discrimination par la qualité et par le prix améliore le bien-être.

Les fournisseurs de services Internet (FSI) peuvent, ou pourraient, utiliser la différenciation par le prix de façons très diverses⁴¹ et à de nombreuses fins. Certaines sont en fin de compte probablement positives ou neutres pour le bien-être sociétal, tandis que d'autres ne le sont pas. Voici d'éventuelles raisons d'établir une différenciation:

- obtenir davantage d'argent des clients existants;

³⁹ Pour une introduction à la tarification de Ramsey-Boiteux, voir Laffont et Tirole (2001), *Competition in Telecommunications*. Les auteurs remarquent qu'un monopolisateur social et un planificateur social bien intentionnés ont des motivations similaires pour refléter l'élasticité de la demande dans la tarification, et que cette méthode est efficace.³⁹ Voir notamment Harold Hotelling, «Stability in Competition», *The Economic Journal*, mars 1929, pages 41-57.

⁴⁰ «Ayant refusé aux pauvres ce qui était nécessaire, elles offrent aux riches ce qui est superflu.» Emile Dupuit, cité par Andrew Odlyzko (2004) dans: The evolution of price discrimination in transportation and its implications for the Internet, *Review of Network Economics*, vol. 3, n° 3, septembre 2004, p. 323-346.

⁴¹ La qualité ressentie par les utilisateurs finaux de l'internet peut être liée non seulement à la capacité et aux délais, mais aussi au prix, à la sécurité, à la fiabilité ou à l'ubiquité, tandis qu'il est possible que les FSI et les autres acteurs de la chaîne de valeur n'envisagent pas la qualité de la même manière.

- tenter d'obtenir de l'argent des fournisseurs de contenus qui se trouvent de l'autre côté du marché biface (voir la Section 3.3);
- fidéliser la clientèle existante par le biais de services personnalisés;
- attirer les clients des concurrents;
- faire passer les clients coûteux à la concurrence;
- pousser les clients à révéler implicitement des informations privées et/ou des caractéristiques de la demande, par le biais de leur choix d'abonnement ou des modifications de leur schéma d'utilisation des services;
- modifier les préférences des clients;
- modifier le comportement des clients afin de réduire la congestion et les autres retombées négatives (par exemple, en tarifant la congestion).

3.2. Verrouillage économique

Une préoccupation essentielle concernant la neutralité des réseaux a été le *verrouillage économique*. Un tel verrouillage se produit lorsqu'une société disposant d'une puissance sur le marché dans un segment tente de projeter cette puissance sur des segments de marché liés verticalement, où la concurrence produirait autrement des résultats efficaces.

Il peut être utile de travailler avec un exemple impliquant l'accès de l'utilisateur final à des moteurs de recherche tels que Google, Yahoo ou Bing. Le moteur de recherche ne facture pas l'utilisateur final. Au lieu de cela, il traduit l'attention de l'utilisateur final en valeur monétaire, en vendant des espaces publicitaires et un placement préférentiel en tête de liste aux commerçants. 10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux

On peut supposer que chaque utilisateur final choisit indépendamment son FSI (le «FSI à large bande» de la 9Figure 10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux

), et qu'il paie pour que ce FSI achemine du trafic dans tout 'l'internet. 10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux

Chaque fournisseur de services ou d'applications Internet (dans cet exemple, chaque moteur de recherche) choisit également indépendamment un ou plusieurs FSI (le «FSI commercial» de la 9Figure 10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux

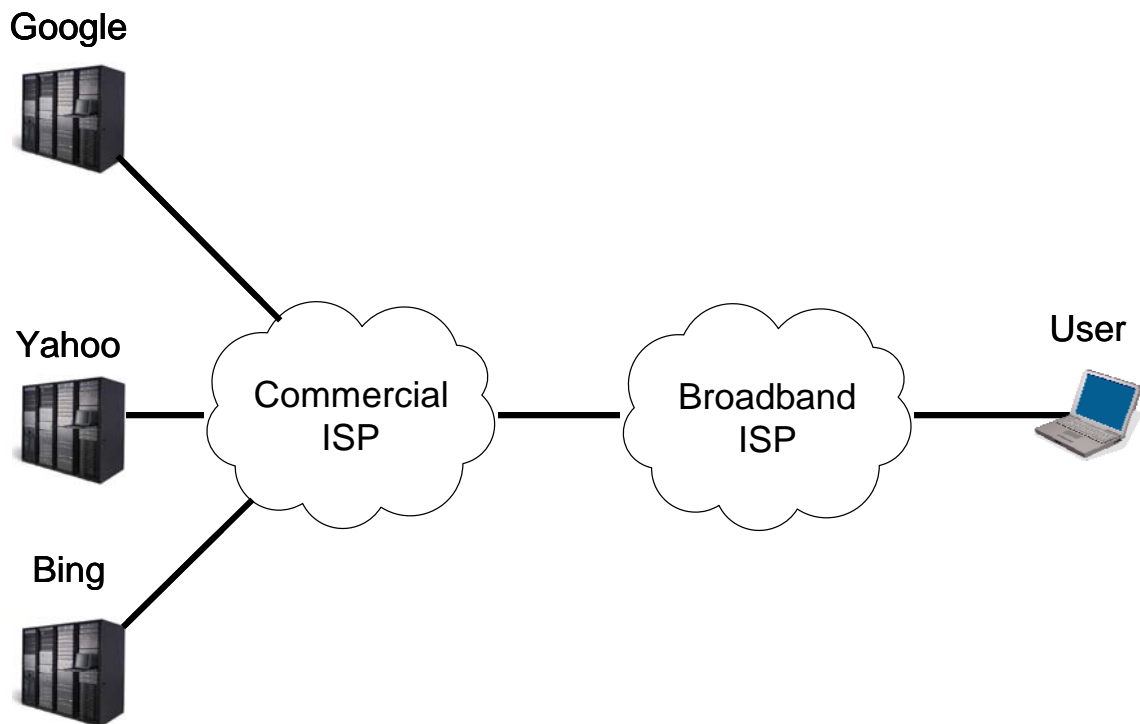
), qu'il paie pour acheminer du trafic dans tout 'l'internet. Rien ne garantit que le FSI à large bande d'un utilisateur final donné fasse partie des FSI commerciaux utilisés par les applications préférées de l'utilisateur final. Néanmoins, le système fonctionne et le trafic est acheminé entre le service et l'utilisateur final.

10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux

Dans le cours normal des choses, l'utilisateur final peut choisir librement entre les moteurs de recherche tels que Google, Yahoo et Bing (voir la 9Figure 10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux

). Supposons, cependant, que le FSI à large bande de l'utilisateur soit acquis par Google (pour donner un exemple), ou qu'il soit autrement affilié à Google. Le FSI à large bande pourrait-il alors favoriser Google, au détriment de ses concurrents (Yahoo et Bing dans cet exemple) et au détriment du choix du consommateur?

Figure 10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux



Google
Yahoo
Bing
FSI commercial
FSI à large bande
Utilisateur

Source: WIK

Quant à savoir si cela serait avantageux pour le FSI à large bande, cela dépend de nombreux facteurs. À quel point l'utilisateur final souhaite-t-il accéder à des moteurs de recherche autres que Google? L'utilisateur final a-t-il le choix entre d'autres FSI à large bande, dont certains ne restreignent pas l'accès à Yahoo ou à Bing? Les coûts engendrés par un changement de fournisseur sont-ils prohibitifs?

Matière à réflexion: L'affaire Madison River

En mars 2005, la FCC américaine a annoncé qu'elle avait trouvé un terrain d'entente avec une petite entreprise de télécommunications locale appelée Madison River, à la suite d'allégations selon lesquelles Madison River bloquait l'accès des utilisateurs finaux aux applications de VoIP. La FCC n'a jamais expliqué précisément quelles règles avaient éventuellement été enfreintes. Madison River a néanmoins accepté de mettre fin à cette pratique et a apporté une contribution «volontaire» de 15 000 dollars américains au Trésor américain.

On peut présumer que Madison River a considéré que la VoIP faisait concurrence à ses propres services vocaux traditionnels. La société avait un motif pour bloquer la VoIP, elle en avait la possibilité et, apparemment, c'est ce qu'elle a fait. Cela semble représenter un exemple évident de verrouillage économique.

Si l'utilisateur souhaite fortement pouvoir accéder à d'autres moteurs de recherche, qu'il existe des fournisseurs de large bande compétitifs et que les coûts engendrés par un changement de fournisseur sont bas, il est probable qu'il ne soit pas avantageux pour le FSI à large bande de restreindre l'accès à Yahoo et Bing. Trop d'utilisateurs passeraient alors à la concurrence. Or, il est improbable que le FSI à large bande tente une stratégie peu rentable.

Inversement, si le choix de FSI à large bande est limité, que les coûts engendrés par un changement de fournisseur sont élevés ou que les préférences du consommateur ne sont pas suffisamment fortes pour l'encourager à changer de fournisseur, le FSI à large bande peut être tenté de bloquer ou d'entraver l'accès aux services non affiliés.

Or, le verrouillage économique *réduit* généralement le *bien-être sociétal*. Non seulement il transfère le bien-être des consommateurs aux fournisseurs (dans le cas présent, au FSI à large bande et éventuellement aussi au moteur de recherche affilié) mais, dans la mesure où il entraîne une hausse des prix et une réduction du choix des consommateurs, il a également pour résultat que des services qui auraient été consommés dans un marché concurrentiel ne le sont pas dans un tel marché verrouillé. Cette perte de consommation représente une *perte d'efficacité* pour la société dans son ensemble.⁴²

Matière à réflexion: L'affaire Comcast - BitTorrent

En novembre 2007, la FCC américaine a reçu une plainte de la part de Rob Topolski, un ingénieur de réseau, musicien amateur et abonné à la large bande de Comcast (le plus grand FSI à large bande des États-Unis). Topolski avait découvert, à sa surprise, que personne ne pouvait télécharger sa musique non protégée par le droit d'auteur depuis BitTorrent.

Selon la plainte, Comcast interférait activement avec l'utilisation de BitTorrent par Topolski, en se faisant passer pour un autre ordinateur et en utilisant des paquets de réinitialisation pour arrêter la transmission de fichiers dans divers réseaux poste-à-poste, dont BitTorrent. Techniquement, les paquets de réinitialisation ne bloquaient pas l'application, mais ils la retardaient suffisamment pour qu'elle soit effectivement bloquée.

La FCC a demandé à Comcast de divulguer précisément ses pratiques actuelles et futures en matière de gestion du réseau, et de soumettre un plan d'exécution.

⁴² Ces relations sont souvent exprimées sous la forme d'un *triangle de Harberger*.

Le comportement de Comcast a-t-il été inspiré par la croyance que l'utilisation d'applications de poste-à-poste par ses clients interférerait avec sa propre capacité à vendre du contenu? Ou d'autres considérations ont-elles été primordiales?

L'action en justice ultérieure est examinée dans la Section 0.

3.3. Marchés bifaces

Une branche relativement nouvelle de l'économie traite des marchés bifaces.⁴³ Dans un marché biface, un fournisseur de plate-forme obtient des gains en réunissant les deux côtés du marché. Le paiement peut provenir de l'un ou l'autre des côtés du marché. Ainsi, des relations entre le prix et le coût qui seraient irrationnelles dans un marché classique peuvent être raisonnables dans un marché biface.

La radiodiffusion télévisuelle en est un exemple courant et pertinent. Le paiement provient des programmeurs/diffuseurs et, finalement, des annonceurs; le consommateur ne paie généralement que peu ou rien. Dans un marché classique, il serait étrange que les consommateurs versent un paiement inférieur au coût du service mais, dans un marché biface, cela peut être rationnel.

La télévision câblée donne une démonstration plus complexe de la dynamique des marchés bifaces (ou multifaces). Les fournisseurs de contenus de haute qualité, tels que la retransmission d'événements sportifs en première exclusivité, peuvent généralement exiger des paiements élevés de la part de l'opérateur du câble, c'est-à-dire du fournisseur de la plate-forme biface. En revanche, les fournisseurs de contenus moins appréciés, ou appréciés par un nombre inférieur d'utilisateurs finaux, risquent de ne pas pouvoir exiger de paiements élevés, voire même de devoir payer l'opérateur du câble pour que celui-ci transmette leurs contenus. Les résultats de la négociation dépendent fortement du pouvoir de négociation relatif des parties. Dans certains cas, le paiement peut remonter depuis l'utilisateur final jusqu'au fournisseur de contenus, généralement par le biais de l'opérateur du câble. D'un point de vue économique, le fait qu'un jeu de négociation soit impliqué n'est pas nécessairement un problème, pas plus que la pertinence du pouvoir de négociation. Le résultat des négociations peut être économiquement rationnel et effectif.

10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux

Le marché biface (ou multifaces) de la télévision câblée diffère essentiellement de celui décrit dans la Figure 10: Services d'application, FSI et utilisateurs finaux en ce qu'au lieu d'une plate-forme unique de télévision câblée, au moins deux FSI (représentés sur la figure en tant que «FSI commercial» et «FSI à large bande») sont impliqués, et qu'il s'agit généralement de sociétés distinctes.⁴⁴

⁴³ Rochet, Jean-Charles/ Tirole, Jean (2004): Two Sided Markets: An Overview, mars 2004, disponible à l'adresse: http://faculty.haas.berkeley.edu/hermalin/rochet_tirole.pdf.

⁴⁴ Une analyse complète de la situation, avec des sites Web et des consommateurs servis par différents FSI, apparaît dans Laffont, J.-J., Marcus, J.S., Rey, P. et Tirole, J., «Internet interconnection and the off-net-cost pricing principle», *RAND Journal of Economics*, Vol. 34, N° 2, été 2003. Le document conclut que «les frais d'accès déterminent l'allocation de coûts de communication entre les expéditeurs (essentiellement les sites Web) et les destinataires (essentiellement les consommateurs), et affectent donc le niveau de trafic. [Non seulement] les frais d'accès socialement optimaux tiennent compte de l'élasticité de la demande sur les deux segments, mais aussi de l'ampleur de l'effet de réseau que chaque segment génère sur l'autre segment.» Le document remarque également que, si les FSI disposent d'une puissance sur le marché, leurs intérêts ne sont plus alignés sur le bien-être social.

Matière à réflexion 8: Le conflit BBC - iPlayer

En décembre 2007, la BBC a lancé le iPlayer. Le iPlayer est une application de poste-à-poste (P2P) qui permet aux abonnés de visionner gratuitement des programmes récents, par voie de lecture vidéo en transit ou de téléchargement sur leur ordinateur. Le succès du iPlayer a donné lieu à une demande considérable de bande passante, imposant ainsi un coût considérable aux réseaux de FSI d'accès. Plusieurs FSI ont exprimé des préoccupations, et certains ont reconnu appliquer des techniques de modélisation du trafic afin de gérer le trafic sur le réseau en accordant une faible priorité aux utilisateurs qui téléchargent de gros fichiers aux heures de pointe.

Cela est au cœur d'un conflit sur le marché biface. Les actions de la BBC ont donné lieu au conflit, mais on peut tout aussi bien considérer que celui-ci était lié aux clients/utilisateurs finaux des FSI qui souhaitaient visionner les contenus de la BBC. La question de savoir quel côté du marché devait supporter ces coûts importants s'est inévitablement posée.

Finalement, la BBC a désamorcé le conflit en plaçant des serveurs de contenus en différents points du serveur de BT. La BBC est également en train de développer un système simple destiné à sensibiliser les utilisateurs du iPlayer à leur consommation de bande passante.

Ces dernières années, les opérateurs de réseaux avancent souvent qu'ils doivent exploiter l'autre côté du marché biface pour couvrir la hausse explosive des coûts de la bande passante. Il convient peut-être de noter que la hausse explosive des besoins de bande passante n'est absolument pas un phénomène nouveau. D'aucuns expriment la crainte que l'offre d'une qualité de service différente pour différentes applications ne s'accorde pas avec le principe du bout en bout. reviendrons à ce point à la section **Error! Reference source not found.**

Aujourd'hui, les taux de croissance du trafic sur le réseau fixe sont bien inférieurs, en pourcentage, à ce qu'ils étaient à la fin des années quatre-vingt-dix (bien que cette croissance en pourcentage concerne une base d'une taille extrêmement supérieure, comme on peut facilement le constater sur la D'aucuns expriment la crainte que l'offre d'une qualité de service différente pour différentes applications ne s'accorde pas avec le principe du bout en bout. reviendrons à ce point à la section **Error! Reference source not found.**

). On s'est toujours demandé si la réduction des coûts unitaires liée aux améliorations technologiques serait plus rapide que la hausse du trafic. Le déclin de la hausse annuelle du trafic en pourcentage permet d'espérer qu'il est en train de devenir plus facile, et non plus difficile, pour les opérateurs de réseaux fixes de suivre le rythme de la croissance du trafic.

3.4. Effets de réseau

Dans de nombreux secteurs, le fait de disposer d'un grand nombre de clients présente des avantages qui vont bien au-delà des pures économies d'échelle.⁴⁵ Par exemple, le système postal est précieux parce qu'il permet d'envoyer une lettre à essentiellement n'importe qui.

⁴⁵ Rohlfs, Jeffrey H. (2003): Bandwagon Effects in High Technology Industries, MIT Press, 2003.

De la même manière, chaque fois qu'un nouvel utilisateur rejoint l'internet, on peut considérer que cela accroît la valeur de celui-ci pour tous les utilisateurs.⁴⁶

Ces effets de réseau peuvent conférer une forme de puissance sur le marché à des sociétés qui contrôlent l'accès à un grand nombre d'utilisateurs. Les aspects économiques de la puissance sur le marché dans les secteurs soumis à des effets de réseau ont été largement analysés au fil des ans,⁴⁷ particulièrement en liaison avec le respect des normes. Plus récemment, ces travaux ont été étendus pour tenir compte des implications en matière d'interconnexion, et notamment d'interconnexion Internet.⁴⁸ En général, si aucun acteur ne dispose d'une part de marché dominante (en pourcentage global, mais aussi par rapport aux autres grands acteurs) qui lui permette de contrôler l'accès aux consommateurs, tous les acteurs seront motivés pour disposer d'une interopérabilité et d'une interconnexion satisfaisantes. Au contraire, un acteur disposant d'une part de marché suffisamment grande sera motivé pour disposer d'une interopérabilité et/ou d'une interconnexion imparfaites, puisqu'une interconnexion parfaite l'empêcherait d'exploiter sa puissance sur le marché.⁴⁹

⁴⁶ Cela n'est évidemment pas vrai pour tous les utilisateurs potentiels. Les polluposteurs, par exemple, imposent des effets de réseau qui réduisent la valeur de l'internet pour les autres utilisateurs.

⁴⁷ Voir M. Katz et C. Shapiro (1985), «Network externalities, competition, and compatibility», *American Economic Review* 75, 424-440.; et J. Farrell et G. Saloner (1985), «Standardization, compatibility and innovation», *RAND Journal of Economics* 16, 70-83.

⁴⁸ Jacques Cremer, Patrick Rey et Jean Tirole, «Connectivity in the Commercial Internet», mai 1999.

⁴⁹ *Ibid.*

4. DIFFÉRENCIATION PAR LA QUALITÉ ET MODÈLES DE FONCTIONNEMENT EN ÉVOLUTION

PRINCIPALES CONCLUSIONS

- Au niveau technique et commercial, une évolution vers un modèle à deux voies (Internet public contre services gérés) est concevable et apparemment souhaitable.
- Au niveau du FSI à large bande, on peut déjà observer des exemples du modèle à deux voies.
- En revanche, on n'observe pas encore de modèle à deux voies entre les opérateurs de réseaux au niveau mondial. Bien que techniquement réalisable, l'interconnexion compatible avec la qualité de service n'est presque jamais mise en œuvre.
- Différents scénarios sont possibles au regard de l'évolution de la qualité de service dans l'Internet, avec différentes implications pour la politique publique.

4.1. L'émergence du modèle à deux voies

Au départ, les discussions sur la neutralité de l'Internet se concentraient sur le traitement différent des flux de trafic dans l'Internet public. Comme cela a été expliqué dans la Section 1.3, l'Internet public est un système global de réseaux interconnectés qui utilisent le protocole IP pour transporter des données entre les points d'extrémité connectés. L'adjectif «public» du terme «Internet public» met l'accent sur le fait que les utilisateurs finaux peuvent accéder à toutes les informations et applications de l'Internet global depuis leur propre point d'extrémité. Ces informations et les applications sont proposées soit gratuitement soit contre paiement par des fournisseurs de contenus qui sont eux-mêmes également connectés à un point d'extrémité Internet. Le rôle de l'Internet public est essentiellement celui d'un réseau de transport, qui connecte les utilisateurs et les fournisseurs d'applications du monde entier (voir également l'examen des plates-formes bifaces dans la Section 3.3). En principe, l'Internet peut accepter tous les services et applications IP et transporter le trafic IP entre les fournisseurs d'applications ou de contenus et les utilisateurs du monde entier. Puisqu'ils fournissent des services d'accès à l'Internet, les FSI à large bande jouent un rôle important dans l'Internet public: ils constituent la partie de la chaîne de transport Internet qui se trouve entre le réseau d'origine ou le terminal mobile de l'utilisateur et les FSI plus importants qui constituent ensemble le noyau Internet (voir la Section 1.3).

En général, les services d'accès à l'Internet sont soumis à une obligation de moyens. Par exemple, il n'est pas garanti que les paquets IP envoyés par le biais du réseau atteignent leur point d'extrémité de destination dans un certain délai. Ce type de service d'accès à l'Internet soumis à une obligation de moyens correspond aux caractéristiques du noyau Internet.

Il est de plus en plus fréquent que les fournisseurs des services d'accès à l'Internet proposent d'autres services IP, parallèlement aux services d'accès à l'Internet, par le biais de la même infrastructure. Deux exemples célèbres en sont les services de télévision sur IP et de téléphonie sur IP fournis par un éventail de FSI européens par le

biais de leurs réseaux d'accès DSL, par câble ou en fibre optique. Même si ces services sont distribués par le biais de la même infrastructure de réseau que le service d'accès à l'internet, ils peuvent être distincts de celui-ci à certains égards. Ces services sont souvent proposés sous la forme de «services gérés».⁵⁰ Les termes de «services gérés ou spécialisés»⁵¹ ou «services en ligne supplémentaires et différenciés» sont également utilisés.⁵² Ici, l'adjectif «gérés» peut être quelque peu trompeur, puisqu'il n'établit pas de limite claire entre ces nouvelles formes de services et le service d'accès à l'internet classique.

Bien que le service d'accès à l'internet et le noyau Internet soient caractérisés par un fonctionnement en «*best effort*», ils font tous deux l'objet de divers types de gestion visant à assurer leur fonctionnement efficace et fiable. En outre, les fournisseurs d'applications et de services Internet surveillent et gèrent activement leurs serveurs Web, leurs magasins d'applications et leurs autres ressources. Néanmoins, le degré de gestion et les garanties des services gérés sont généralement supérieurs à ceux du trafic «best-effort» (au mieux) de l'internet public.

Matière à réflexion: Les outils de gestion du trafic des FSI

Les FSI peuvent utiliser plusieurs techniques et outils, distinct mais interreliés, pour gérer leur trafic. Chacun de ces outils trouve de nombreuses applications positives et utiles.

- *La hiérarchisation du trafic* détermine l'ordre dans lequel chaque paquet (datagramme IP) est transmis, depuis la file d'attente sortante d'un routeur, vers un lien de transmission particulier.
- *La discipline d'élimination de paquets* détermine quels paquets un routeur élimine si le nombre de paquets est supérieur à la mémoire disponible pour une mise en file d'attente. Il convient de noter que l'élimination de paquets est un événement normal pour un réseau IP soumis à une charge, et pas nécessairement un mode d'échec.
- *Le filtrage de paquets* permet d'éliminer des paquets (c'est-à-dire de ne pas les laisser passer), ou de leur appliquer un autre traitement particulier d'après des critères définis, ce qui peut s'avérer particulièrement complexe. Cette technique est souvent utilisée pour bloquer un contenu préjudiciable.
- *Le routage* est le moyen qui permet à un réseau IP de déterminer vers où chaque paquet (datagramme IP) doit être dirigé à l'étape suivante. Le routage Internet *ne* tient *pas* systématiquement compte de la congestion de chaque lien. Cependant, certains services et applications sensibles aux délais peuvent utiliser plusieurs techniques en vue de choisir intelligemment une voie peu encombrée, ou envoyer les données plus d'une fois afin d'accroître la probabilité qu'elles arrivent rapidement à destination.

⁵⁰ Questionnaire de la consultation publique sur l'internet ouvert et la neutralité des réseaux en Europe, Commission européenne, direction générale de la société de l'information et des médias, politique des communications électroniques, le 30 juin 2010, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/library/public_consult/net_neutrality/nn_questionnaire.pdf

⁵¹ FCC, In the Matter of Preserving the Open Internet, Broadband Industry Practices, GN Docket No. 09-191, WC Docket No. 07-52, 22 octobre 2009, http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-09-93A1.doc

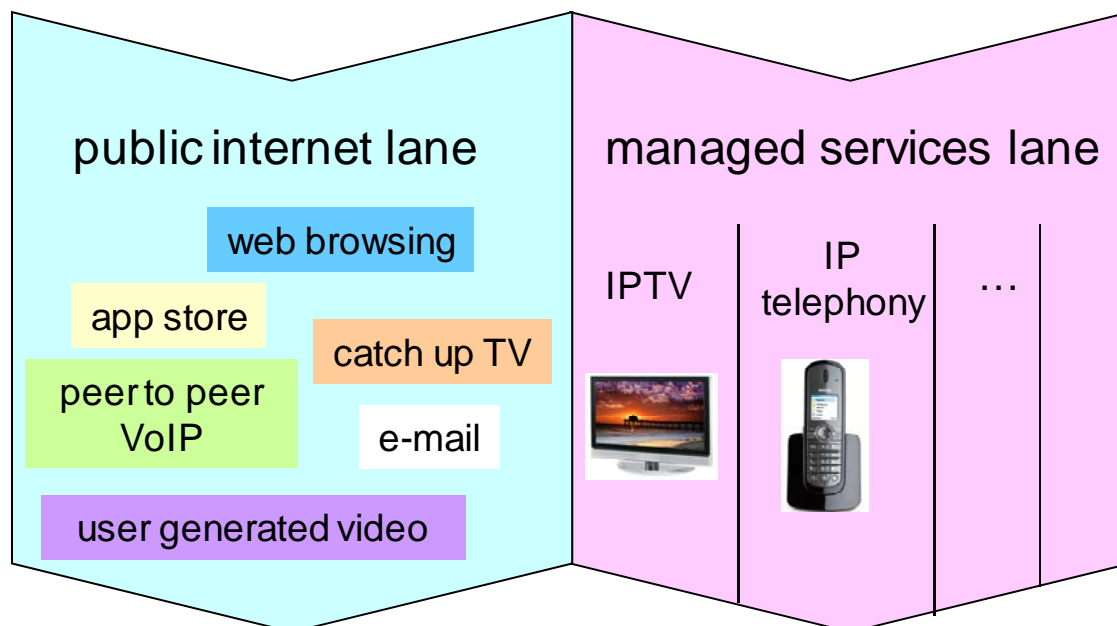
⁵² Verizon-Google Legislative Framework Proposal, 9 août 2010, via <http://googlepublicpolicy.blogspot.com/2010/08/joint-policy-proposal-for-open-Internet.html>

L'inspection approfondie des paquets (IAP) est un ensemble de techniques destinées à examiner et à catégoriser des paquets dans certains objectifs. À la différence de la plupart des outils IP, l'IAP peut servir à inspecter non seulement les *en-têtes* des datagrammes IP, mais aussi leur *contenu* d'application (ce qui soulève en outre d'éventuels problèmes de protection de la vie privée). Inversement, si le choix de FSI à large bande est limité, que les coûts engendrés par un changement de fournisseur sont élevés ou que les préférences du consommateur ne sont pas suffisamment fortes pour l'encourager à changer de fournisseur, le FSI à large bande peut être tenté de bloquer ou d'entraver l'accès aux services non affiliés.

- L'IAP a été utilisée pour supprimer le trafic poste-à-poste (voir Matière à réflexion 3).

La coexistence de (services et applications) dans le domaine de l'internet public et des services gérés entraîne l'émergence de ce que l'on appelle le modèle à deux voies.⁵³ Dans le modèle à deux voies, la connexion d'accès à large bande d'un utilisateur final sert à fournir à ce dernier un service d'accès à l'internet et plusieurs services gérés.

Figure 12: modèle à deux voies sur un accès à large bande unique



voie Internet publique
 navigation sur l'internet
 magasin d'applications
 télévision de rattrapage (*catch up TV*)
 VoIP de poste-à-poste
 courrier électronique
 vidéo générée par l'utilisateur
 voie des services gérés
 IPTV
 téléphonie IP

Source: TNO

Dans la voie Internet publique, le FSI fournit un service d'accès à l'internet à l'utilisateur final. Ce service d'accès permet à l'utilisateur d'accéder aux informations et applications de l'internet public. Ainsi, l'utilisateur peut accéder à une très grande diversité d'informations et d'applications sur l'internet, alors qu'il achète uniquement un service d'accès à l'internet auprès de son FSI. Dans plusieurs cas, il est probable que l'utilisateur final conclue un accord ou un contrat avec un fournisseur de contenus de l'internet public. Ces accords n'impliquent pas le FSI et ne requièrent aucune action de la part de ce dernier. Dans la voie des services gérés, le FSI conclut un accord avec l'utilisateur final, s'engageant à fournir à ce dernier des services spécifiques. Il peut s'agir d'un accord unique, conclu directement entre le FSI et l'utilisateur final. Il peut également exister plusieurs accords interreliés, par