



## Introduction

Internet n'est pas une seule entité. Il s'agit d'un vaste ensemble de réseaux indépendants ayant convenu de partager le trafic avec leurs clients mutuels en ayant recours à un protocole Internet commun (TCP/IP). Sans cet accord, il serait impossible aux utilisateurs de deux réseaux différents d'échanger des courriers électroniques. La tâche clé d'un fournisseur de services Internet est de veiller à ce que ses utilisateurs puissent se connecter de la façon la plus rentable possible à un élément relié à Internet : site Web du réseau local, utilisateur connecté à un autre réseau de la même ville ou à un réseau d'une autre région du monde.

Les points d'échange Internet (IXP) forment une partie essentielle de ce système. Sans eux, Internet ne pourrait pas fonctionner, car les différents réseaux qui le composent ne pourraient échanger de trafic. La forme la plus simple d'un point d'échange est une connexion directe entre deux fournisseurs de services Internet (FSI). Quand plus de deux fournisseurs opèrent dans la même région, il est plus pratique d'avoir un commutateur indépendant servant de point d'interconnexion commun pour l'échange du trafic entre les réseaux locaux. Cette situation s'apparente au fonctionnement des aéroports pivots régionaux qui desservent de nombreuses compagnies aériennes. Les passagers y transfèrent entre des vols de compagnies aériennes différentes de la même façon dont les réseaux échangent le trafic sur un IXP.

Pour les fournisseurs et les utilisateurs d'Internet, le routage local du trafic Internet via un point d'échange commun présente de nombreux avantages :

- il permet de réaliser des économies substantielles en éliminant la nécessité de faire transiter tout le trafic par des liaisons longue distance, plus chères, vers le reste du monde.
- les utilisateurs locaux disposent d'une largeur de bande accrue, en raison des coûts plus faibles de la capacité locale.
- les liaisons locales sont souvent jusqu'à 10 fois plus rapides, en raison des délais d'attente réduits du trafic, qui fait moins de « sauts » jusqu'à sa destination.
- de nouveaux fournisseurs de contenu et services locaux entrent en jeu ; ayant recours à des connexions ultrarapides à bas coût, ils bénéficient d'une base d'utilisateurs plus étendue, que l'IXP a rendue possible.
- les fournisseurs de services Internet ont davantage de choix pour envoyer le trafic amont dans le réseau Internet – il contribue par conséquent à un meilleur fonctionnement et à une compétitivité accrue du marché du transit de masse.

Jusqu'à présent, plus de 300 IXP ont été créés dans le monde – soit une augmentation de plus de 50 % depuis 2006. En termes de régions, l'Amérique latine a connu la croissance la plus rapide ces dernières années, avec 20 IXP à la fin de 2007 – pratiquement le double de l'année précédente. Toutefois, les pays en développement sont généralement en retard sur le reste du monde en termes de création d'IXP. En 2007, la croissance de la région Asie-Pacifique a été la plus lente, à 15 % ; elle ne dispose au total que de 67 IXP. L'Afrique a le moins d'IXP – 17 seulement des 53 nations africaines avaient des IXP en 2007 ; cette croissance n'a été que de 21 % par rapport à l'année précédente.

En raison de la quantité limitée de contenu et de services en ligne locaux dans nombre de pays en développement, le trafic Internet généré par les utilisateurs est pour la plupart international ; cette situation aboutit par conséquent au paiement de capitaux importants aux fournisseurs de services Internet étrangers. Les fournisseurs de contenu local de ces pays tendent à opérer à l'étranger, où leur hébergement est meilleur marché, en raison de l'absence d'une infrastructure locale à bas prix dont un IXP fait partie intégrante. La présence d'un IXP contribue par conséquent à encourager le développement du contenu local et encourage l'hébergement local des services. En effet, le coût diminue et le nombre d'utilisateurs locaux s'élargit, étant donné qu'ils sont en mesure d'accéder plus rapidement et de façon moins coûteuse aux services en ligne.

Du point de vue d'une politique publique, la présence d'IXP locaux devient de plus en plus importante. Elle assure que tous les utilisateurs locaux ont accès aux services en ligne avec le même degré de facilité, elle accroît les op-

portunités de compétitivité, elle améliore la qualité et elle fait baisser le coût des services Internet.

En mai 2007, 88 pays n'avaient toujours pas un seul IXP. Par conséquent, le trafic local sur les réseaux de la plupart de ces pays doit toujours transiter par des liaisons internationales onéreuses et, dans certains cas, les réseaux paient très cher le trafic local, qui transite souvent par un fournisseur ayant le monopole des télécommunications. Cette situation existe malgré le fait que la capacité internationale soit l'un des coûts les plus élevés des opérateurs de réseaux dans les pays en développement et que les IXP soient relativement peu coûteux à mettre en place. Selon une estimation, établir un IXP national ne coûte que 40 000 \$US environ. D'ailleurs, certains opérateurs de réseaux ont réussi à établir des IXP pour une fraction de ce coût grâce à des dons en équipement et installations. Pourtant, de nombreux pays sans IXP paient toutes les quelques semaines des montants beaucoup plus élevés aux opérateurs étrangers pour transporter le trafic local – situation qui accroît inutilement les sortie de capitaux à l'étranger.

La nature des obstacles à l'établissement d'IXP dans les pays où ils n'existent pas encore est en grande partie non financière : les parties prenantes ne réalisent souvent pas les avantages mutuels que ceux-ci présentent et les fournisseurs dominant le marché y résistent. L'établissement d'IXP présente également d'autres difficultés, liées aux qualifications techniques limitées et à l'absence de marchés compétitifs ouverts dans les domaines des télécommunications et des services Internet.

Ce guide présente les IXP en décrivant leur rôle de composants clés de l'infrastructure Internet ; il couvre la politique, la gestion et les questions techniques dont il convient de tenir compte pour leur création. Il donne également quelques exemples d'IXP et contient un glossaire.

### Le rôle des points d'échange Internet

D'un point de vue commercial, Internet est une hiérarchie de fournisseurs mondiaux, régionaux, nationaux et locaux. Ceux-ci, soit vendent des services de transit à d'autres opérateurs pour le trafic qu'ils font transiter sur leurs réseaux, soit ils conviennent d'un accord gratuit appelé peering lorsque deux réseaux ayant une position de marché similaire échangent à peu près le même volume de trafic. Le peering et le transit ont lieu directement entre deux réseaux ou via un point d'échange indépendant.

Le terme point d'échange Internet (IXP ou IX) est souvent utilisé de façon interchangeable pour point d'échange (EP), point de peering Internet (IPP) et point d'accès au réseau (NAP). Il n'y a pas de définitions officielles de ces différents termes, mais IXP, IX et peering point sont utilisés le plus souvent. NAP, un terme plus ancien, était utilisé initialement pour les quatre premiers points d'échange qui, avant le développement mondial d'Internet, fournissaient l'accès à NSFNET, le réseau dorsal exploité par la U.S. National Science Foundation.

À mesure du développement d'Internet, aux NAP initiaux se sont ajoutés des points d'échange, soit commerciaux, soit à but non lucratif, d'abord aux États-Unis, puis dans d'autres pays où plusieurs réseaux opérant dans la même région généraient un trafic local important.

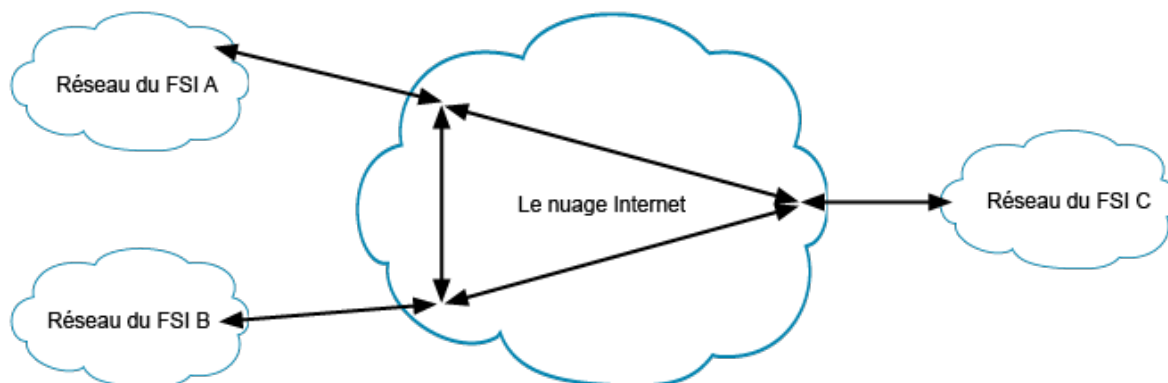


Figure 1.

Comme illustré à la figure 1, un réseau se connecte à Internet via une connexion au nuage Internet. Il peut ainsi faire transiter le trafic entre ses propres utilisateurs et les utilisateurs d'autres réseaux.

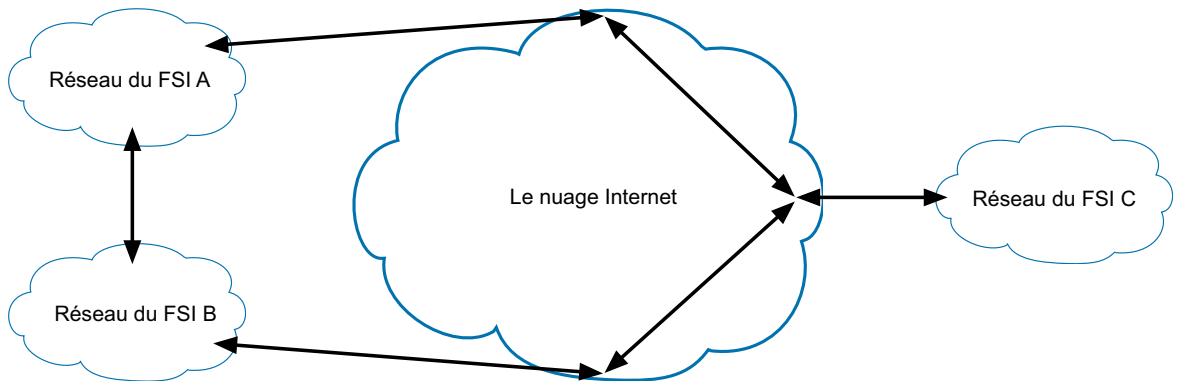


Figure 2.

Si deux réseaux indépendamment connectés à Internet sont proches l'un de l'autre – par exemple dans la même ville ou dans le même pays – il est alors plus rapide et moins coûteux d'utiliser une connexion séparée pour envoyer le trafic local directement entre les deux réseaux. Voir la figure 2.

Quand plus de deux réseaux locaux échangent le trafic, mieux vaut alors établir un commutateur (IXP) auquel chacun d'eux peut se connecter. La figure 3 illustre trois FSI partageant un IXP local pour acheminer tout leur trafic local. Un IXP peut ainsi être considéré comme le centre d'un réseau en étoile permettant au trafic local provenant de n'importe quel réseau local de transiter par une seule connexion au commutateur. Cette méthode réduit les coûts de télécommunications et de gestion de multiples liaisons directes entre chaque réseau et accroît la vitesse du trafic local en minimisant le nombre de sauts de réseau nécessaires pour rejoindre un autre réseau local.

La figure 3 illustre l'exemple le plus simple d'un point d'échange acheminant le trafic ; toutefois, divers facteurs locaux affectent la viabilité d'un IXP et créent de nombreuses permutations dans l'application de ce modèle de base. Voici les facteurs clés de la connexion ou de la mise en place d'un IXP : (1) le volume de trafic susceptible de transiter entre les réseaux locaux et (2) le coût de la connexion physique entre le réseau et l'IXP par rapport au coût de connexion au nuage Internet en amont.

Pour prendre un exemple simple, supposons que chacun des trois réseaux ci-dessus ait une connexion de 10 mbps au nuage Internet en amont ; dans un pays en développement, ceci pourrait leur coûter environ 30 000 \$US par

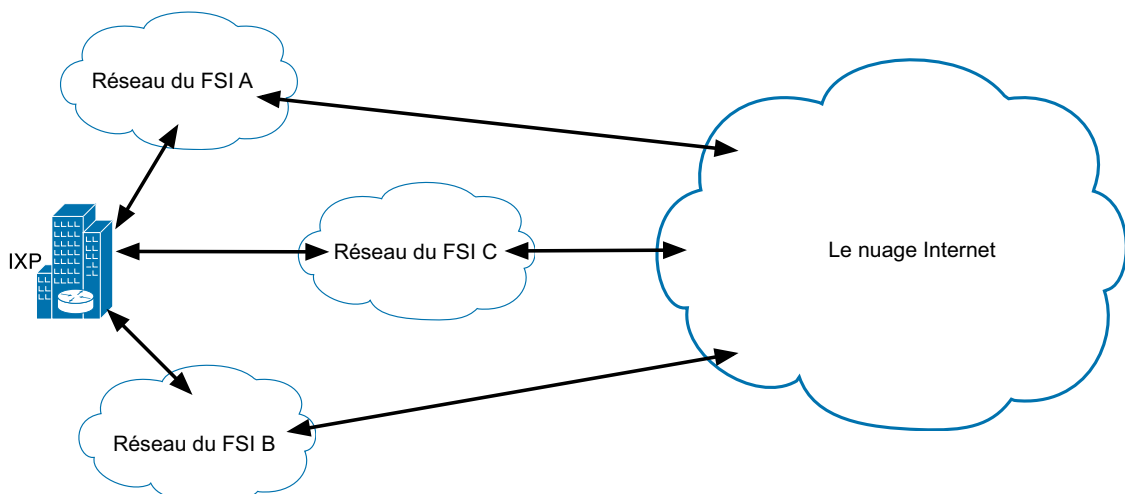


Figure 3.

mois x 12 mois x 3 réseaux = 1 080 000 \$US par année. Supposons que 20 % seulement du trafic soit local ; cela signifie qu'ils dépensent environ 216 000 \$US pour acheminer le trafic local via la liaison Internet en amont. Si les trois réseaux peuvent fournir gratuitement leurs propres liaisons à l'IXP, par exemple via un circuit sans fil ou en partageant des installations situées dans le même bâtiment, un IXP sera rentabilisé en quelques mois.

En pratique, les réseaux auront peut-être besoin, pour se connecter à l'IXP, de louer des connexions à un fournisseur de télécommunications agréé ; dans ce cas, le coût de la largeur de bande locale pourrait atteindre 1 000 \$US par mbps par mois dans un pays en développement. En termes de coût annuel des liaisons locales, le montant serait le suivant : 20 % x 30 mbps x 1 000 \$US par mois x 12 mois = 72 000 \$US — soit une économie annuelle de près de 150 000 \$US (une portion de ce montant devra toutefois être appliquée à l'exploitation de l'IXP). Naturellement, si le nombre de réseaux locaux, la taille de leurs liaisons en amont ou la proportion du trafic local augmente, un IXP permettra de réaliser des économies beaucoup plus importantes.

Dans la plupart des pays, la première étape consiste à établir un point d'échange national pour le trafic du pays. Ensuite, des points d'échange supplémentaires peuvent être établis pour desservir des régions géographiques plus réduites, où il est plus rentable que le trafic reste local. Ceci est le cas, en particulier, des pays en développement où l'infrastructure des télécommunications nationales est peu développée, congestionnée ou particulièrement coûteuse – situation fréquente lorsque les villes sont encore connectées via des liaisons satellitaires et lorsque des tarifs monopolistiques sont en vigueur. C'est pourquoi il est souvent nécessaire d'établir aussi des IXP dans les villes secondaires.

Par contre, les IXP situés dans des régions où existent des liaisons internationales à fibre optique et à prix compétitifs peuvent attirer des membres internationaux. Des réseaux issus d'autres pays peuvent générer un trafic suffisant avec les membres de l'IXP étranger pour justifier le coût d'une liaison internationale directe au lieu de payer un autre réseau pour le transit. Par exemple, le London Internet Exchange (LINX), un IXP du Royaume-Uni, rassemble des membres de 40 pays (voir London Internet Exchange ci-dessous).

Réduire les coûts d'exploitation en établissant un IXP local diminue le prix d'accès à Internet pour l'utilisateur final et assure des délais de réponse plus rapides depuis les sites Web et autres services interactifs locaux. Ceci est le cas, en particulier, lorsque les liaisons internationales sont congestionnées et que le trafic international transite par des liaisons satellitaires. En effet, la latence (les retards) causée par l'acheminement du trafic local via satellite peut être ramenée de quelques secondes à quelques millisecondes quand deux réseaux locaux sont connectés directement. Les délais de réponse au niveau des sites Web locaux sont par conséquent beaucoup plus rapides et les autres services locaux plus avancés, qui exigent des connexions à faibles latences (RPV, diffusion multimédia en continu et Voix sur IP), deviennent alors viables. Lorsque les liaisons entre réseaux passent par des connexions satellitaires, bon nombre de ces services ne peuvent être fournis avec une qualité acceptable ; certains ne fonctionnent d'ailleurs pas du tout. Il est capital d'avoir un point d'interconnexion local pour les mettre véritablement à la disposition des utilisateurs.

La création d'un IXP présente également des avantages indirects, ayant trait au prix de la capacité en télécommunications. Au Nigeria, l'IXP a négocié des tarifs plus bas pour la connectivité internationale de ses membres. En juillet 2007, le prix de 1 mbps de capacité sur le câble international à fibre (SAT3) est passé de 6 300 \$US à 2 800 \$US par mois pour les réseaux participant au Internet Exchange Point of Nigeria (IXPN). Cette réduction aurait pu être négociée indépendamment de l'IXP, mais on peut arguer que la création de l'IXP a eu un effet catalyseur et qu'en ayant un groupe de réseaux au même endroit, l'IXPN a pu négocier de meilleures conditions avec le fournisseur en amont.

Autre avantage d'un IXP : il permet de réduire les coûts des transactions et il élargit les choix offerts à ses membres. Si un réseau décide de commuter les fournisseurs de transit à un IXP, il peut le faire en quelques heures et sans intervention physique. Autrefois, il aurait fallu installer un nouveau circuit, attendre très longtemps et payer très cher. La fluidité rendue possible par l'IXP favorise la coopération des fournisseurs et encourage la concurrence en matière de prix – tout en abaissant les coûts pour les fournisseurs d'accès et les utilisateurs. Certains IXP n'autorisent pas encore des accords de transit ; aujourd'hui, toutefois, cette position est considérée en général comme n'étant pas rentable et ces restrictions deviennent moins courantes.

Une fois qu'un IXP est établi, il devient l'emplacement naturel d'hébergement d'une foison d'autres services qui réduisent les exigences en largeur de bande tout en améliorant la vitesse et la fiabilité pour les utilisateurs locaux. Ils comprennent en particulier les serveurs de noms de domaines, les miroirs de serveurs racines, les serveurs temporels, les caches Web et les serveurs de nouvelles. En outre, un IXP héberge souvent différents dispositifs pour les opérateurs de réseaux, par exemple des connexions miroirs (ou « looking glass ») et des dispositifs de mesure du trafic. Certains IXP n'autorisent comme membres que les fournisseurs d'accès, mais dans nombre de cas les fournisseurs de contenu peuvent se connecter aux IXP.

La présence d'un IXP peut intéresser les opérateurs de télécommunications, qui peuvent y établir un point de présence pour vendre plus facilement des services aux clients potentiels situés à l'échange, puisque toutes les parties peuvent être jointes à bas coût. À cet égard, les IXP contribuent à encourager le développement d'une infrastructure de télécommunications (par exemple des câbles nationaux et internationaux à fibre).

Il a été suggéré, comme moyen possible de réduire les coûts et de localiser le trafic, d'utiliser un IXP pour fournir à ses membres une seule connexion partagée au nuage Internet et pour interconnecter les IXP nationaux. En général, ces stratégies n'ont pas eu de succès – elles ont un impact négatif sur les affaires des membres de l'IXP qui vendent ces liaisons à des clients. Cela ne signifie pas que des interconnexions entre IXP ou que le partage du transit ne peuvent être mis en place. Dans certains cas spécifiques, si les membres des IXP sont d'accord et que des modèles de fonctionnement peuvent être trouvés, la mise en place est possible. En outre, pour améliorer la fiabilité, des accords préalables peuvent être conclus de façon à ce que l'IXP puisse servir de moyen d'acheminement temporaire vers le nuage Internet via un autre membre, en cas d'interruption de la liaison Internet amont d'un réseau.

### **Modèles institutionnels et opérationnels pour les IXP**

Différents modèles institutionnels ont été adoptés pour exploiter les IXP. Ils se répartissent en quatre catégories :

1. associations de FSI à but non lucratif
2. sociétés commerciales indépendantes des opérateurs et sociétés à but lucratif
3. universités et agences gouvernementales
4. associations informelles de réseaux

Les plus courants de ces modèles sont ceux où les IXP sont exploités par une association de FSI à but non lucratif. C'est le cas en Europe, où de nombreux IXP sont en général des organisations mutuelles à but non lucratif dans lesquelles les membres ou l'association de FSI possèdent collectivement l'installation. Leurs coûts d'exploitation sont répartis entre les membres, qui paient un droit d'inscription unique et un droit d'exploitation mensuel, trimestriel ou annuel. Le droit est normalement établi en fonction de la vitesse (largeur de bande) de leurs connexions à l'IXP ou, moins souvent, en fonction du volume de trafic transitant par l'échange. Aux États-Unis, les IXP commerciaux sont plus courants ; ils sont exploités par des compagnies spécialisées, par exemple CIX, Any2 et Equinex. Ils sont presque toujours indépendants des fournisseurs et ne concurrencent pas les FSI en fournissant des services aux utilisateurs.

Il convient de noter la présence de faux IXP, où l'opérateur Internet dominant fournit des points d'échange locaux dans une ou deux grandes villes. Dans ce cas, le fournisseur de transit commercial utilise surtout le sigle IXP à des fins de marketing, alors qu'il n'est en fait qu'un routeur offrant le peering BGP4 pour la vente du transit local ou international.

Les IXP sont en général créés par un groupe fondateur d'opérateurs de réseaux qui décident du meilleur modèle à adopter pour l'environnement local. Voici les principales questions dont il convient de tenir compte :

1. l'IXP aura-t-il un personnel permanent ou sera-t-il exploité par des bénévoles ?
2. l'IXP sera-t-il une organisation à but lucratif ou non lucratif ?
3. l'IXP sera-t-il détenu par l'ensemble de ses membres ou par une entité externe ?

4. où l'IXP sera-t-il hébergé ?
5. quelle sera la méthode utilisée pour recouvrer les coûts ?

Différents choix devront être faits pour élaborer les politiques institutionnelles d'un IXP. La connexion d'un réseau à un IXP est en général sujette à une condition préalable : l'opérateur doit être une personne morale reconnue et il doit avoir une licence d'exploitation d'un réseau (s'il y a lieu). Dans certains cas, une politique exige que les activités du réseau de membres doivent inclure la transmission de contenu ou de services provenant de tiers. Dans d'autres cas, cette condition n'existe pas et n'importe quelle entité ayant besoin d'échanger le trafic avec les membres de l'IXP peut s'y joindre. Cette option permet aux opérateurs des grands réseaux privés fournissant des services au public – fournisseurs d'hébergement, ministères des gouvernements ou banques – de n'avoir à établir qu'une seule liaison pour joindre les utilisateurs d'autres réseaux locaux.

Techniquement parlant, il existe deux principaux modèles techniques de fonctionnement d'un IXP. Le plus simple est un IXP couche 3, dans lequel les IXP échangent tout le trafic entre réseaux membres via un seul routeur. L'autre est un IXP couche 2, dans lequel chaque réseau fournit son propre routeur et l'échange de trafic s'effectue via un simple commutateur Ethernet. Dans l'ensemble, le modèle couche 3 est initialement moins coûteux et plus simple à établir, mais il limite l'autonomie de ses membres ; il a en général été remplacé par le modèle couche 2. Le modèle couche 3 n'offre pas autant de contrôle aux fournisseurs pour ce qui est des entités avec lesquelles ils peuvent conclure un accord de peering ; ils dépendent alors d'un tiers pour configurer correctement et gérer les routages – tâche exigeant du personnel de l'IXP des compétences techniques plus avancées. Par contre, avec le modèle couche 2, le personnel n'a pas besoin d'avoir des connaissances en routage.

En termes d'accords de routage du trafic entre membres de l'IXP, les exigences varient en fonction du modèle institutionnel de celui-ci et d'autres règlements locaux. Nombre d'entre eux exigent un accord de peering multilatéral obligatoire (MMLPA), selon lequel les membres se connectant à l'IXP doivent avoir un accord de peering avec tous les autres membres connectés. Ce facteur n'incite pas les FSI de grande taille à s'interconnecter et peut les dissuader de garder l'IXP en bon état de fonctionnement.

D'autres IXP peuvent exiger que chaque réseau conclue des accords de peering bilatéral (BLP) avec les autres membres du réseau. Certains peuvent aussi limiter l'utilisation de l'installation pour le transit du trafic.

Bien que les MMLPA soient courants parmi nombre d'IXP, des politiques de peering flexibles permettant la coexistence d'accords multilatéraux et bilatéraux permettront aux membres d'un IXP de conclure des accords de transit ou de peering bilatéraux séparés. Il est en général acceptable que les membres d'IXP restreignent (filtrent) le trafic en provenance ou à destination du réseau d'un membre, conformément aux politiques du membre ; celles-ci sont normalement précisées dans le Registre du routage Internet (IRR).

Voici d'autres politiques et stratégies importantes que les IXP et leurs réseaux membres adoptent normalement :

1. le coût et la gestion de la liaison entre le réseau et l'IXP (y compris une liaison redondante s'il y a lieu) sont en général à la charge du membre. Toutefois, certains IXP ont adopté des politiques aplanissant ces coûts afin que chaque membre paie le même montant pour accéder à l'IXP. Par conséquent, les opérateurs commerciaux situés dans le même bâtiment que l'IXP ne bénéficient pas d'un avantage inégal.
2. il n'est en général pas acceptable de faire transiter vers l'IXP le trafic destiné aux réseaux non membres de l'IXP, sauf si le transit est autorisé et si des accords spécifiques existent entre l'IXP et les membres assurant le transit.
3. le suivi ou la capture du contenu du trafic de données d'un membre est limité aux données nécessaires à l'analyse et au contrôle du trafic. Les membres conviennent habituellement que ces données doivent rester confidentielles.
4. les IXP peuvent rendre obligatoires les informations sur le routage et les sites miroirs.
5. les informations sur le routage et les ports de commutation peuvent être portées à la connaissance du public ou être limitées aux membres.

6. des dispositions sont prévues pour intervenir en cas de problèmes de sécurité, de défaut d'infrastructures, de panne de l'équipement de routage et d'erreurs de configuration logicielle.

### Considérations pratiques concernant la création des IXP

Au départ, comme décrit ci-dessus, la première étape de la création d'un IXP est d'en déterminer la nécessité. Celle-ci doit être basée sur une évaluation provisoire du nombre de fournisseurs (au moins trois) désireux de soutenir et d'utiliser l'IXP, sur le volume de trafic susceptible d'être échangé et sur le coût probable de la connexion à l'IXP. Une réunion entre les opérateurs de réseaux locaux et les conseillers techniques devrait permettre d'établir ces points.

Si le résultat de l'évaluation s'avère positif, l'étape suivante consiste à créer un soutien pour le projet auprès de toutes les parties prenantes, ainsi qu'à identifier les problèmes potentiels en matière de politiques ou les obstacles possibles sur le marché à la création d'un IXP. Ceux-ci sont généralement attribuables aux membres potentiels eux-mêmes ou à des politiques gouvernementales incompatibles.

La création d'un IXP local est souvent perçue comme une menace par les fournisseurs commerciaux concurrents, qui ne sont pas nécessairement au fait de tous les avantages présentés par une collaboration et par l'échange local du trafic. Ils n'ont pas nécessairement confiance ou craignent que les opérations soient moins chères (voire subventionnées) pour les concurrents et que l'interconnexion leur « vole » des clients. Il est sans doute utile de passer du temps à parler de ces questions et il convient de sensibiliser l'opinion sur le rôle des IXP afin que toutes les parties pertinentes soutiennent totalement l'IXP.

Des questions sur la participation à l'IXP peuvent également se poser lorsqu'un fournisseur de services Internet commercial domine le marché. De tels fournisseurs peuvent hésiter à participer ou ne participer qu'en limitant fortement la liaison à l'IXP. Ce phénomène est désigné par l'expression « stratagème du tube mince ». Il désigne l'idée que, lorsque les clients des concurrents éprouvent des problèmes de connexion, généralement des connexions lentes, vers des clients du fournisseur dominant, ils blâment généralement le concurrent, ce qui est compréhensible. Cette situation incite les utilisateurs à aller au fournisseur de services dominant. Si ce problème est insoluble par d'autres moyens, il peut nécessiter l'intervention réglementaire.

Certains fournisseurs de réseaux peuvent craindre que les IXP soient trop complexes pour leurs besoins. C'est souvent le cas pour les petits FSI n'ayant qu'une seule connexion vers le reste d'Internet et ne disposant pas d'une expertise technique suffisante pour mettre en place un routage multivoies. La situation peut être aggravée par les contacts avec les IXP de grande taille des pays développés, dont les commutateurs sont plus sophistiqués et les routeurs plus puissants. Les fournisseurs d'équipement peuvent contribuer à cette façon de voir en essayant de vendre de l'équipement trop sophistiqué pour les besoins d'un petit IXP. Pour résoudre ces problèmes, il pourra être nécessaire de sensibiliser l'opinion et d'organiser des sessions de formation. Au minimum, les membres potentiels devront être familiarisés avec le Border Gateway Protocol (BGP), utilisé pour le routage entre réseaux ; chaque réseau devra également avoir un numéro de système autonome (ASN) public (obtenu auprès du Registre Internet régional pertinent) pour ses communications par échange. L'utilisation des systèmes logiciels de routage à source ouverte, notamment Quagga routing suite, est une option de déploiement abordable pour les FSI et les IXP de petite taille.

Sur la plupart des marchés, les points d'échange ne sont pas réglementés par une politique gouvernementale ; en outre, étant donné que la plupart des activités d'un échange sont considérées comme étant totalement privées entre les parties, elles devraient être exemptées d'une tutelle réglementaire gouvernementale. Dans nombre de pays en développement, toutefois, les politiques gouvernementales peuvent faire obstacle par divers moyens directs et indirects à la création d'un IXP. Étant donné que les IXP n'existent que lorsque plusieurs fournisseurs doivent échanger le trafic intérieur, la présence d'un fournisseur de services monopolistique est probablement la principale raison de l'absence d'un IXP dans bien des pays. Ou encore, l'absence d'un IXP peut indiquer qu'un seul acteur a le monopole sur certaines infrastructures ou certains droits de passage, par exemple les passerelles internationales. Si la concurrence est faible, les réseaux n'ont pas d'autre choix que d'échanger le trafic intérieur via l'acteur dominant au lieu de l'échanger directement entre eux. Dans l'immédiat, les membres potentiels d'IXP ne

peuvent pas grand-chose pour résoudre ce problème. Le lobbying constant des décideurs gouvernementaux et des organismes de réglementation devrait en définitive contribuer à ouvrir les marchés et à assouplir les restrictions pour les nouveaux venus.

Même lorsque le marché est plus ouvert, les opérateurs de télécommunications en place peuvent résister à la création d'un IXP. Leurs vues influencent souvent les organismes de réglementation, pour différentes raisons allant de relations personnelles étroites à la corruption. Elles reflètent également les préoccupations des décideurs des pays en développement, dont les gouvernements, qui dépendent souvent très fortement des recettes de l'opérateur de télécommunications détenu par l'État, sont réticents à sanctionner des activités susceptibles de limiter les profits. Certains décideurs peuvent même voir les IXP comme une manœuvre anticoncurrentielle de l'industrie. Il existe souvent des conditions de droit ou autres conditions relatives aux licences qui sont susceptibles de s'appliquer aux IXP et, dans la plupart des cas, l'organisme de réglementation ne connaît pas, au moins initialement, les aspects techniques et économiques des installations Internet et de l'échange de trafic des FSI.

Les fondateurs de l'IXP doivent veiller à ce que les décideurs, les organismes de réglementation et les opérateurs en place comprennent que réduire le coût de la connectivité Internet pour les consommateurs intérieurs générera des investissements beaucoup plus importants, un nombre accru d'utilisateurs et, par conséquent, plus de recettes provenant des lignes louées internationales. En fait, il est fort probable que l'utilisation intérieure accrue d'Internet renforce davantage l'utilisation de la téléphonie internationale à composition automatique et favorise les relations commerciales et personnelles internationales grâce à Internet.

Face à ces facteurs, certains gouvernements comme celui du Chili ont penché vers l'autre extrême en exigeant que les réseaux établissent un point de peering. De prime abord, cette politique semble bonne, mais elle pourrait en fait freiner la croissance en dissuadant un FSI de s'étendre de façon concurrentielle à plusieurs échanges.

D'autres politiques gouvernementales ayant un impact sur les stratégies d'établissement d'un IXP incluent l'instauration de limites sur les propres liaisons des membres du réseau à l'IXP. Il peut s'agir de limites sur l'usage des radiofréquences, sur l'usage de l'espace sur les poteaux téléphoniques ou encore sur les droits de creusement des rues et de pose des câbles (droits de passage).

Une fois que les membres fondateurs de l'IXP auront résolu ces problèmes, ils devront décider de la structure et des politiques de gestion, comme décrit ci-dessus. Ensuite, il conviendra d'identifier l'expertise technique requise et d'établir un comité technique qui concevra l'IXP, en préparera le budget et trouvera le lieu le plus approprié pour l'héberger. Ces tâches peuvent inclure l'évaluation des installations existantes et la comparaison de leur utilisation au coût et aux efforts intervenant dans l'établissement d'une nouvelle installation indépendante. Dans nombre de pays, les coûts associés à la location d'un espace, au pouvoir d'achat et à l'embauche de personnel peuvent être élevés. Héberger l'IXP dans une installation de données existante peut réduire substantiellement ces coûts d'exploitation. Certaines installations existantes peuvent être envisagées : locaux d'opérateurs de télécommunications, réseaux universitaires, centres d'hébergement de données et services municipaux d'urgence.

Voici les critères les plus importants qu'il convient de prendre en compte pour les sites potentiels :

- proximité des réseaux des membres potentiels. Ce critère peut également varier, selon que l'IXP sera centralisé dans une pièce, situé sur un campus avec bâtiments voisins ou dispersé sur une zone plus vaste, en utilisant notamment un réseau commuté Fiber Channel.
- disponibilité de l'alimentation électrique, y compris une alimentation ou un générateur de secours
- disponibilité de la climatisation
- disponibilité, capacité et fiabilité des liaisons de télécommunications vers le site
- accès aux installations à fibre optique ou droits de passage
- possibilité de construire des tours d'antennes ou de creuser des tranchées pour la fibre
- facilité d'accès (l'accès indépendant 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an du personnel des membres de l'IXP est vivement recommandé)

- qualité de la sécurité (un circuit CCTV, une surveillance 24 heures sur 24, une détection des incendies et des intrusions sont vivement recommandés)
- disponibilité de l'équipement et des services auxiliaires, notamment armoires d'équipement et téléphones

Une fois que la conception de l'IXP est achevée et que la structure ainsi que le(s) site(s) institutionnel(s) auront été identifiés, un plan opérationnel détaillé peut être développé, où figurent les coûts d'établissement et de maintenance, les recettes proposées et les projections de recouvrement des coûts.

Des agences de développement ou des donateurs pourront fournir une aide financière pour créer des IXP dans les pays où il n'en existe pas. Étant donné que l'aide financière nécessaire pour engager les coûts de démarrage d'un IXP est relativement modeste par rapport aux avantages économiques potentiels à long terme, il est fort probable qu'une aide au développement peut être fournie. La majorité des IXP étant des entités à but non lucratif, une aide financière, au lieu de déformer le développement naturel du marché, contribuera à sa croissance. Par ailleurs, étant donné que les dépenses seront allouées en majorité à la formation initiale du personnel qui établira et gèrera l'installation, ce facteur répond aux objectifs de nombreux donateurs, à savoir la création de capacités locales.

### **Sommaire général et conclusions**

Le rôle principal d'un IXP est de garder le trafic intérieur localement et de réduire les coûts associés à l'échange de trafic entre fournisseurs Internet. L'avantage présenté par les IXP est évident et les obstacles relativement clairs et bien compris. Pour déployer des IXP dans les pays en développement, il convient de se pencher sur les nécessités clés suivantes :

- réforme et libéralisation de la réglementation. Les organismes de réglementation et les concurrents doivent être convaincus des avantages énormes présentés par l'échange du trafic Internet intérieur et par la proposition élargie réduisant les coûts des concurrents, qui peuvent aboutir à une croissance des recettes des opérateurs existants
- surmonter la résistance et le manque de compréhension des membres potentiels, notamment les services de télécommunications ayant le monopole et autres services dominant le marché
- l'organisation de FSI concurrents en associations capables d'administrer de façon neutre, au nom de leurs membres, les installations partagées

Les gouvernements ne devraient pas exiger de licences IXP, d'accords de peering ou d'autres politiques concernant l'exploitation des IXP. Ils peuvent jouer un rôle positif en encourageant les réseaux à localiser le trafic intérieur. En particulier, des politiques visant à encourager l'accès des concurrents à l'infrastructure Internet peuvent contribuer à abaisser les coûts associés à la connexion à un IXP. Les gouvernements peuvent également jouer un rôle positif en limitant le comportement anticoncurrentiel des sociétés en place, notamment les grandes sociétés de télécommunications qui tentent de bloquer le développement des IXP.

### **Quelques exemples d'IXP**

Les IXP décrits ci-dessous illustrent les différentes approches ayant présidé à leur établissement et à leur fonctionnement. Les exemples tirent parti des informations tirées des sites Web des IXP et, pour certains, des études de cas (voir les autres sources à la fin de la section). Le premier exemple, KIXP au Kenya, est présenté de façon plus détaillée que les autres, en raison de la plus grande disponibilité d'informations sur l'étude de cas.

#### **L'IXP du Kenya (KIXP)**

KIXP à Nairobi est exploité par la Telecommunication Service Providers Association of Kenya (TESPOK), une organisation professionnelle à but non lucratif représentant les intérêts des FSI et des autres fournisseurs de services de télécommunications au Kenya. L'un des ingénieurs Internet kényans, après avoir assisté à l'Atelier sur les réseaux des pays en développement organisé par l'Internet Society en 1999 en Californie, a acquis les connaissances nécessaires pour concevoir, mettre en place et gérer un IXP. Il a fait part de ces informations à d'autres opérateurs de réseaux kényans qui souhaitaient créer un IXP local. Au bout d'environ un an de travaux préparatoires, notam-

ment la conception et la mise en place du fonctionnement technique, du modèle de financement et du cadre juridique, KIXP a été lancé en novembre 2000. KIXP n'a pas une structure de gouvernance séparée ; les politiques sont établies par les comités de TESPOK.

Presque immédiatement après le lancement, l'opérateur de télécommunications en place, Telkom Kenya, a déposé une plainte auprès de l'organisme de réglementation national, la Communications Commission of Kenya (CCK). Telkom Kenya a soutenu que KIXP violait son monopole exclusif sur l'acheminement du trafic international. En deux semaines, la CCK a conclu que KIXP devait avoir une licence et a ordonné sa fermeture, au motif qu'il était un service de télécommunication illégal.

En réponse à l'ordonnance de fermeture, le dossier a été déposé devant la Cour d'appel des communications en faisant valoir un solide argument technique prouvant que KIXP n'était qu'un commutateur Ethernet standard disponible sur le marché. Si KIXP devait fermer, la CCK devrait alors fermer tous les réseaux informatisés du pays, dont l'architecture technique et les composants étaient similaires. L'opposition de Telkom Kenya à KIXP, féroce, a été attisée par la crainte de perdre une portion substantielle des recettes provenant de ses lignes internationales louées ; mais les fournisseurs Internet kényans ont également affirmé que KIXP était un groupe d'utilisateurs fermé et était par conséquent légal aux termes de la loi kényane sur les télécommunications. Ils ont en outre signalé que l'échange local du trafic Internet intérieur n'enfreignait pas le monopole international de Telkom Kenya, puisque tout le trafic international continuerait à transiter par ses liaisons internationales.

Au bout de près d'un an d'efforts intenses, soutenus par la pression publique, les menaces de procès et la diplomatie privée, TESPOK a reçu l'autorisation de CCK, à savoir une licence, qui lui a été octroyée en novembre 2001. Au dire des observateurs de l'industrie, Telkom Kenya n'avait pas représenté fidèlement la situation ; l'affaire étant devenue publique et ayant fait l'objet d'une attention et d'une couverture considérables dans les médias locaux et internationaux, il a été nécessaire de trouver une solution qui sauverait la face. L'approche adoptée a été de créer une société appelée KIXP Limited ; celle-ci a adressé une demande de licence IXP, qui lui a été dûment accordée par CCK. Le Kenya a donc été le premier pays au monde à avoir une licence IXP.

KIXP a repris ses activités à la mi-février 2002, ayant interconnecté cinq FSI kényans. En 2004, les membres de TESPOK ont décidé que les politiques régissant l'appartenance à KIXP et son utilisation étaient restrictives, car elles autorisaient uniquement les FSI munis d'une licence à être membres de l'IXP et à s'y connecter. Cette décision a entraîné une révision des politiques, qui a levé toutes les restrictions d'appartenance et a abaissé substantiellement les droits d'inscription. Les cotisations coûtent 20 000 Ksh (environ 330 \$US) par mois ; 25 membres ont actuellement un accord de peering avec KIXP : 16 FSI, un réseau du gouvernement (Kenya Revenue Authority), un opérateur de réseau d'enseignement, un opérateur de ccTLD, trois opérateurs de passerelle d'un réseau dorsal, un fournisseur de services de télécommunications à valeur ajoutée et deux opérateurs de GSM.

Le lieu d'hébergement de KIXP a été l'un des plus grands problèmes de son établissement. Un certain nombre d'options ont été évaluées.

- Telkom Kenya était la meilleure option, puisqu'il était l'opérateur de télécommunications national en place. Parmi les raisons citées en sa faveur, mentionnons le fait que tous les fournisseurs Internet avaient des liaisons existantes à son réseau de données, puisqu'il était l'opérateur national. En outre, en raison de son emplacement central, les membres auraient plus facilement accès à l'IXP, où qu'ils soient situés. Cette option s'est toutefois révélée irréalisable : ainsi que décrit ci-dessus, Telkom Kenya considérait l'IXP comme une menace à ses opérations et a refusé la demande des FSI, à savoir qu'il héberge KIXP.
- L'université de Nairobi a été envisagée comme autre lieu d'hébergement, en raison principalement du dynamisme de sa faculté d'études informatiques et de son emplacement central. La principale préoccupation portait toutefois sur les nombreuses manifestations d'étudiants. Comme KIXP devait avoir un objectif avec mission-critique, l'option de l'université a été éliminée.
- Deux fournisseurs de services Internet dont les bureaux étaient situés dans le quartier d'affaires central de Nairobi ont proposé d'héberger l'IXP. Les problèmes étaient les suivants : (1) comment choisir

entre les deux FSI et (2) le degré élevé de mécontentement exprimé par les autres FSI à l'idée qu'en hébergeant l'IXP, le concurrent chercherait à obtenir des avantages indus.

Pour faire accepter le concept de l'IXP au Kenya, il a été capital de faire ressortir la neutralité de l'installation et d'obtenir l'autorisation des membres potentiels concernant son emplacement. Après avoir évalué toutes les options existantes sans en trouver une satisfaisant tous les membres potentiels, l'idée de louer un espace dans un bâtiment neutre, bien situé, d'un fournisseur a été proposée. Cette option a apaisé pratiquement toutes les craintes et préoccupations exprimées ; une surface de 140 mètres carrés a été louée au dernier étage d'un immeuble de bureaux stratégiquement situé au centre-ville de Nairobi.

Les coûts étaient la principale considération opérationnelle. Comme pour tout autre type d'infrastructure de réseau de données ou de communications, les coûts se divisaient en deux grandes catégories : coûts d'installation et coûts opérationnels. Les coûts d'installation incluaient les coûts d'équipement pour l'IXP proprement dit et les coûts d'aménagement de la salle où il allait être situé, avec alimentation électrique de secours, climatisation, armoires d'équipement et aménagements de sécurité pertinents. L'équipement initial a été financé à la fois par un don de Cisco Systems et par une modeste subvention du ministère britannique du Développement international. D'autres frais d'installation ont été couverts par des fonds de TESPOK. Étant donné que l'espace où était situé KIXP n'était pas gratuit, il a été nécessaire de trouver un moyen pour payer les coûts d'exploitation : notamment le loyer, l'électricité et l'assurance. À cette fin, un droit d'abonnement mensuel a été instauré pour tous les membres se connectant à KIXP.

Il a été convenu que KIXP suivrait le même modèle que le Hong Kong Internet Exchange – un IXP réflecteur de routage couche 2. L'installation de KIXP se compose par conséquent de deux commutateurs Ethernet haute vitesse et chaque membre de KIXP peut connecter son équipement de routage aux deux commutateurs. Si l'un des commutateurs tombe en panne, l'autre prend la relève automatiquement. L'IXP proprement dit est supplémenté par deux réflecteurs de routage spécialement configurés, qui renvoient la logique de routage à tous les membres de KIXP jusqu'à ce que tous les routeurs aient la même vue du réseau. Cette caractéristique de conception permet de mettre la politique en place rapidement et facilement au point d'échange ; celui-ci est capable de prendre en charge jusqu'à 48 réseaux. La prise en charge peut être étendue à un maximum de 200 réseaux.

Avant la création de KIXP, tout le trafic Internet était échangé au niveau international, bien que la destination de 30 % environ du trafic amont ait été intérieure. La largeur de bande internationale coûte environ 5 000 \$US par mégaoctet ; le prix local se situe entre 500 et 1 000 \$US. Au cours des deux premières semaines de fonctionnement de KIXP, les mesures ont indiqué que la latence a été ramenée de 1 200–2 000 millisecondes en moyenne (via satellite) à 60–80 millisecondes (via KIXP).

Le trafic local s'est également amélioré, grâce à l'augmentation du contenu local, facilité par la numérisation de certains services gouvernementaux et par l'arrivée d'entreprises internationales, notamment Google, qui ont hébergé leurs services localement. Tout le trafic Google (recherche, courrier, cartes, applications et documents) passe par KIXP. Les FSI paient pour le trafic local et Google paie pour la capacité allant du Kenya à son réseau aux États-Unis.

En raison de la capacité limitée des lignes louées de l'opérateur de télécommunications en place, la plupart des fournisseurs de services Internet sont passés à la fibre terrestre pour se connecter à KIXP – ils disposent désormais de liaisons de multiples mégabits par seconde avec les échanges.

KIXP a mis en place des instances locales des serveurs racines F et J d'Internet, en plus des services de résolution local .com et .net. Par conséquent, les demandes locales de consultation de ces services n'ont plus besoin de transiter par des liaisons internationales pour obtenir une réponse.

En 2005, le Kenya Network Information Centre (KENIC), conformément à son objectif de favoriser l'accès à Internet au Kenya, a installé à KIXP un serveur NTP avec fonctionnalité GPSafin de fournir la date et l'heure aux ordinateurs. La plupart des fournisseurs de services avaient mis en place une synchronisation temporelle sur leurs systèmes au moyen de serveurs temporels de réseau situés dans des pays étrangers. Ces services n'avaient toutefois pas été étendus à leurs clients, du fait de la connectivité médiocre et des coûts prohibitifs associés aux liaisons internatio-

nales. Parmi les organisations utilisant les services NTP locaux, mentionnons des organismes gouvernementaux, des FSI, des banques, des entreprises, ainsi que certains établissements d'enseignement ; elles font ainsi des économies sur les coûts organisationnels résultant des pannes opérationnelles et réduisent les pertes de données dues aux incohérences temporelles.

KIXP a conclu un MLPA aux termes duquel chaque membre doit avoir une session de peering avec tous les autres membres.

Le trafic est actuellement de 44 mbps pendant les heures de pointe ; il devrait atteindre 50 mbps. KIXP publie des informations sur les habitudes d'utilisation d'Internet afin de souligner les opportunités de marchés potentielles. Les données révèlent que les flux de trafic sont les plus denses pendant les heures de bureau en semaine, indiquant que les services des FSI sont concentrés sur les utilisateurs au sein des entreprises et soulignant l'opportunité de maximiser l'utilisation en période creuse via des produits et du contenu plaisant aux utilisateurs privés d'Internet.

*Pour un supplément d'informations, visitez <http://www.kixp.or.ke>.*

### **L'Internet Xchange of Nigeria (IXPN)**

Au Nigeria, le premier projet d'IXP a commencé en 2003, à l'extérieur de la capitale, dans la ville d'Ibadan, quand deux membres se sont connectés à un commutateur Ethernet de 10/100 mbps et à un serveur de routage. Le trafic maximum enregistré entre les deux FSI a été de 102 kbps. Au début de 2005, l'Association des FSI du Nigeria (ISPAN) a entamé des discussions sur la création d'un IXP à Lagos, qui devait être géré par une entité indépendante qu'ISPAN mettrait en place. En novembre 2005, le président Olusegun Obasanjo a ordonné à l'organisme national de réglementation, la Nigerian Communications Commission (NCC), de veiller à ce qu'un IXP national soit créé dès que possible. Une Commission intérimaire a été inaugurée en mars 2007 et IXPN a été créé avec 15 membres initiaux.

Depuis lors, 14 membres sont en cours d'inscription et IXPN a créé trois sites d'exploitation à Lagos, en partenariat avec deux opérateurs situés sur les mêmes sites, qui sont connectés par un réseau de commutation à fibre optique. Chaque emplacement a deux commutateurs Foundry connectant des LAN avec peering séparé pour assurer la fiabilité. Le premier réseau LAN avec peering est interconnecté sur un circuit de 1 Gbps (fibre) ; le deuxième est interconnecté sur une liaison secondaire sans fil de 450 mégabits. Des serveurs de routage sont en place dans deux des trois emplacements opérationnels. Tous les commutateurs procurent une connexion commutée Ethernet 10/100BaseTX et d'Ethernet 1000BaseSX Gigabit sur des systèmes multimodes à fibre. On prévoit étendre prochainement IXPN à six autres villes.

IXPN est supervisé par un conseil d'administration composé du président-directeur général et de six administrateurs. Un comité technique assiste le personnel et fournit des conseils au conseil d'administration sur les questions techniques relatives aux opérations d'IXPN.

*Pour un supplément d'informations, visitez <http://www.nixp.net>.*

### **Le London Internet Exchange (LINX)**

LINX est l'un des échanges Internet les plus importants et les plus anciens du monde. Association d'opérateurs Internet détenue par ses membres, elle représente également les intérêts de ceux-ci en matière de politiques publiques.

LINX a plus de 280 membres dans 40 pays ; 47 nouveaux membres s'y sont inscrits en 2007. La plupart d'entre eux viennent d'Europe et près d'un quart viennent de l'extérieur ; les membres d'Amérique du Nord représentent 15 % et 7,5 % viennent d'Afrique, du Moyen-Orient, d'Asie et d'Océanie.

Initialement, l'inscription à LINX était réservée aux opérateurs des FSI traditionnels. En 2000, cette restriction a été assouplie et aujourd'hui de nombreux réseaux ont des accords de peering avec les échanges de LINX, entre autres Google, Akamai, Yahoo et la BBC. Les fournisseurs de services ayant des accords de peering avec LINX deviennent de plus en plus diversifiés ; ils comprennent des spécialistes de jeux vidéo et de jeux de hasard, des fournisseurs de transmissions multimédias en continu, des spécialistes d'atténuation de déni de service distribué (DDoS), des fournisseurs de logiciels comme services et des réseaux publicitaires.

Le réseau LINX se compose de deux plates-formes de commutation Ethernet installées dans sept lieux en Grande-Bretagne. Les installations LINX ont plus de 575 ports de membres connectés, avec 100 ports 10GigE et une capacité de plus de 256 Gbps de trafic de pointe. Pour la tolérance aux pannes, au moins deux commutateurs provenant de différents fournisseurs sont installés à chaque emplacement LINX; les emplacements sont connectés via plusieurs circuits Ethernet 10 gigabits reliés par fibre optique et formant deux réseaux de base en anneaux physiquement séparés. Le réseau en fibre noire est protégé grâce à l'utilisation de différents chemins le cas échéant.

La redondance logique du réseau est gérée par des mécanismes de protection par basculement rapide (EAPS ou MRP). En cas de perte d'un segment de réseau, les liaisons redondantes sont activées en quelques dixièmes de seconde pour rétablir la connectivité.

LINX offre des serveurs à double routage (exploitant Quagga) sur chacun des deux LAN avec peering. Ces serveurs ont des sessions avec environ 120 membres et offrent près de 20 000 routages. Ce service est optionnel et gratuit. Les membres préférant les accords bilatéraux peuvent continuer à les utiliser.

*Pour un supplément d'informations, visitez <http://www.linx.net>.*

### **Le Johannesburg Internet Exchange (JINX)**

La plus grande ville d'Afrique du Sud héberge le Johannesburg Internet Exchange, exploité par l'Internet Service Providers' Association (ISPA), un organisme à but non lucratif de l'industrie Internet. L'ISPA regroupe plus de 145 membres comprenant des fournisseurs d'accès et de services Internet de petite, moyenne et grande taille. L'ISPA facilite également le dialogue entre les fournisseurs de services Internet indépendants, le ministère des Communications du gouvernement d'Afrique du Sud, l'organisme national de réglementation (ICASA), les opérateurs de télécommunications et d'autres fournisseurs de services.

Tous les membres d'ISPA peuvent se connecter à JINX, les connexions des membres de taille moyenne étant limitées à 512 kbps et celles des membres de petite taille à 128 kbps. L'ISPA n'exige pas des utilisateurs de JINX qu'ils soient interconnectés avec tous les autres utilisateurs de JINX. Chaque organisation se connectant à JINX est censée établir sa propre politique d'interconnexion. Chaque nouveau participant doit négocier des accords d'interconnexion avec les autres membres, de préférence avant de mettre en place une connexion physique à JINX. Les membres ne publiant pas leur propre politique d'interconnexion conviennent d'échanger gratuitement le trafic avec tous les autres participants. Les membres de JINX peuvent également offrir des services de transit à d'autres membres. Ils doivent donner à l'ISPA les noms des autres membres avec lesquels ils ont conclu un accord d'interconnexion, mais ils ne sont pas obligés de dévoiler la nature exacte de cet accord. L'ISPA se réserve le droit de déconnecter les lignes d'un participant à JINX qui n'a pas conclu d'accord d'interconnexion avec au moins deux autres participants à JINX.

L'hébergement du serveur de contenu n'est pas disponible à l'emplacement de l'échange. La politique de l'ISPA est de ne pas concurrencer ses propres membres qui fournissent des services d'hébergement. Héberger un serveur dans un lieu central peut sembler intéressant, mais l'ISPA a fait remarquer que la différence de performance est négligeable si le serveur est hébergé sur le réseau d'un membre de l'ISPA ayant une connexion haute vitesse à JINX.

Un échange a fonctionné quelque temps dans la ville du Cap, mais il a dû être fermé en raison d'un manque de soutien. Les efforts entrepris pour installer un échange à Durban n'ont pas encore été couronnés de succès, pour la même raison.

Les utilisateurs de JINX doivent payer l'abonnement approprié à l'ISPA, ainsi qu'un droit d'inscription unique à JINX, allant de 25 000 ZAR (environ 3 000 \$US) pour les membres de grande taille à 2 500 ZAR (300 \$US) pour les membres de petite taille (les membres choisissent leur catégorie).

Les utilisateurs se connectant à JINX via d'autres moyens que des circuits loués à un opérateur de télécommunications muni d'une licence peuvent avoir à payer des frais d'utilisation de lignes équivalentes. Plus d'un an de discussions et de négociations entre les membres de l'ISPA ont été nécessaires pour aboutir au modèle de frais d'utilisation de lignes équivalentes. Avant l'introduction de ce modèle, certaines entreprises se connectant à JINX jouissaient d'un avantage inégal sur d'autres. Même si la plupart des participants doivent louer des lignes de don-

nées pour se connecter à JINX, les membres de l'ISPA situés dans le même bâtiment peuvent s'y connecter à un coût minimal. Les frais d'utilisation de lignes équivalentes assurent que les participants à JINX jouissent d'un accès équitable et juste. Ils sont basés sur le trafic mesuré au(x) port(s) de commutation d'un membre de l'ISPA qui ne loue pas de circuit à un opérateur de télécommunications muni d'une licence pour se connecter à l'échange. Le trafic échangé directement entre les participants à JINX (via un câble direct au lieu du commutateur) n'est pas facturé. Cela signifie que les membres de l'ISPA sont libres de négocier d'autres accords avec leurs homologues pour éviter les frais d'utilisation de lignes équivalentes. Les frais sont basés en gros sur les coûts estimés pour la transmission de données sur des lignes capables de transporter les niveaux de trafic surveillés.

Le fournisseur d'accès Internet Storm fournit un exemple d'une politique d'interconnexion d'un FSI ; il déclare échanger gratuitement le trafic avec tous les autres participants, à condition que ceux-ci :

- fournissent l'accès Internet à plus d'une organisation ou d'un groupe d'entreprises ayant un actionnariat commun ;
- agissent de bonne foi et coopèrent sur des questions d'interconnexion ;
- respectent la politique d'usage acceptable de Storm et les pratiques Internet généralement acceptées ;
- aient recours à l'interconnexion de telle sorte que celle-ci réduise les coûts d'échange du trafic entre les parties et améliore la connectivité entre les parties ;
- prennent toutes les mesures raisonnables pour ne pas nuire à l'intégrité ou à la stabilité du réseau de Storm ; et
- respectent toutes les conditions techniques requises pour faciliter l'interconnexion, en veillant notamment à ce qu'une largeur de bande suffisante soit toujours disponible sur les liaisons d'interconnexion.

Pour un supplément d'informations, visitez <http://www.ispa.org.za/jinx>.

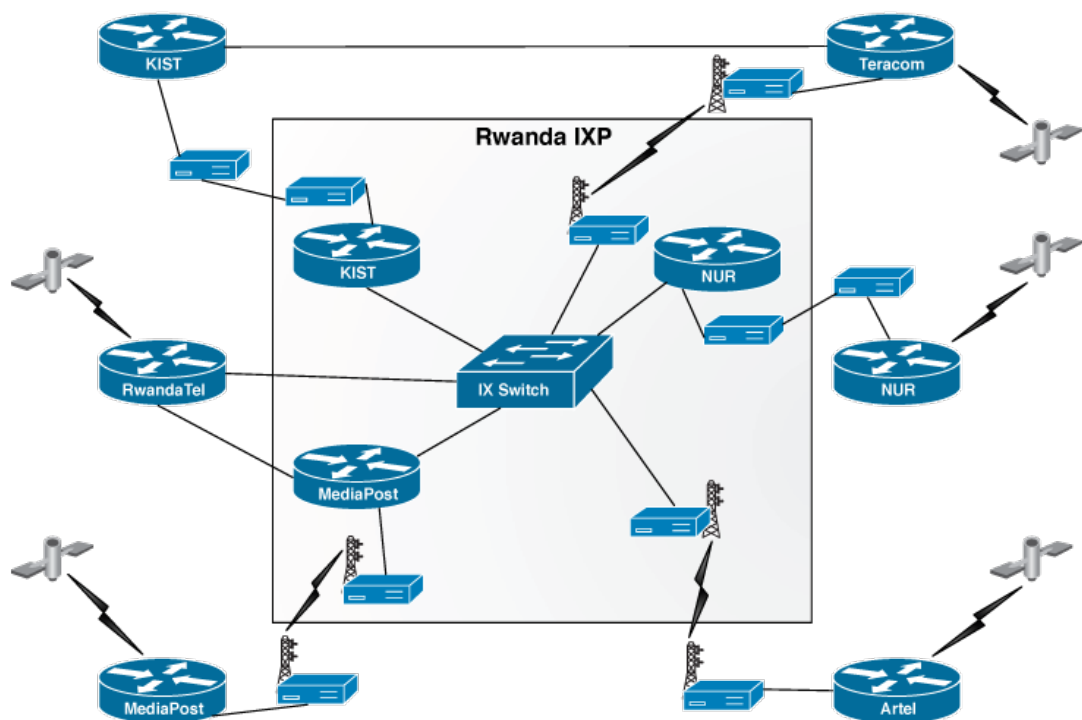


Figure 4.

### **Le Rwanda Internet Exchange (RINEX)**

RINEX est opérationnel depuis le milieu de 2004. En octobre 2003, la SIDA (Agence suédoise de la coopération internationale au développement), en collaboration avec le Swedish Royal Technical Institute (KTH), a lancé une initiative pour aider le Rwanda à créer un IXP national. Avant cette époque, les fournisseurs de services Internet au Rwanda avaient déjà parlé de la nécessité d'établir un IXP, mais la question du financement posait problème. Du point de vue de la SIDA, le Rwanda remplissait les conditions requises pour obtenir une aide, entre autres la présence d'un organisme neutre pour héberger le point de peering, l'existence d'au moins deux FSI indépendants dans le pays et une équipe de techniciens des différents fournisseurs de services Internet formés aux techniques d'installation et de gestion d'un point de peering. Le projet a été confié à l'organisme gouvernemental Rwanda Information Technology Authority (RITA) avec l'aide de quatre personnes issues des deux principaux établissements d'enseignement (qui étaient également des FSI commerciaux) : la National University of Rwanda (NUR) et le Kigali Institute of Science and Technology (KIST).

Un problème majeur existait pour la création de RINEX : le pays n'avait pas d'association de FSI qui était en mesure de contrôler sa gestion. RITA continue par conséquent à gérer l'échange jusqu'à ce que ses membres puissent créer une structure de gestion appropriée et une organisation à but non lucratif pour l'héberger. Dans l'intervalle, un modèle administratif simple a été adopté, selon lequel tous les membres sont égaux, quelle que soit leur taille. La structure de gestion se compose de deux entités : le conseil de RINEX et le comité exécutif. Le conseil de RINEX est une unité de gestion officielle chargée de prendre des décisions concernant RINEX ; elle se compose d'un représentant de chaque organisation ou membre connecté et d'un président. Pour les six premiers mois, le président est RITA. À l'issue de cette période d'essai initiale, RITA transférera la présidence au conseil de RINEX. Tous les membres assureront ensuite la présidence tour à tour.

Pour créer RINEX, il a également fallu trouver un lieu approprié pour héberger l'IXP. Il s'est révélé impossible de trouver des locaux indépendants disposant d'une alimentation électrique, d'un générateur de secours, d'un système de sécurité, de téléphones, d'un espace de bureau et de la climatisation. Les établissements universitaires au Rwanda n'avaient pas d'installations physiques et les FSI privés avaient une capacité limitée. Il a donc été décidé que l'IXP serait hébergé dans les locaux de l'opérateur de télécommunications en place, Rwandatel, qui avait déjà des connexions existantes avec la plupart des fournisseurs de services Internet.

Les parties prenantes ont convenu d'un modèle IXP de couche 2 en raison de sa simplicité d'installation et d'administration, de sa fiabilité et de son caractère indépendant. Chaque opérateur de réseau fournit un circuit de son réseau dorsal et un routeur qui se connecte au commutateur de l'IXP. Comme illustré à la figure 4, la case intérieure représente l'équipement situé dans les locaux de l'IXP. Il se compose de l'IXP proprement dit, des routeurs membres et de l'équipement de communications.

### **L'IXP Mongol (MIX)**

Le cas de la Mongolie prouve qu'avec la coopération des FSI et le soutien tacite des autorités gouvernementales, un IXP peut être créé rapidement dans un pays en développement. En janvier 2001, un groupe d'importants opérateurs de réseaux mongols s'est réuni à Oulan-Bator pour explorer la possibilité de créer un IXP national. Tous les FSI mongols étaient interconnectés à cette époque via des fournisseurs situés aux États-Unis ou à Hong Kong. Les latences par satellite représentaient un minimum de 650 millisecondes (plus d'une demi-seconde) pour chaque paquet de données dans chaque sens. Les coûts étaient élevés et très peu de services commerciaux Internet mongols étaient hébergés dans le pays.

Les trois principaux opérateurs de réseaux mongols ont réalisé la planification d'un échange indépendant en moins de trois mois, sans intervention du gouvernement mongol. MIX a été lancé en avril 2001 avec trois FSI membres. En mars 2002, MIX avait six FSI membres et le trafic a augmenté progressivement entre eux. Aujourd'hui, la latence locale est inférieure à 10 millisecondes par transaction ; 377 gigaoctets de données en moyenne sont transférés chaque jour à l'intérieur du pays entre les membres de MIX. Par ailleurs, chaque transaction échangée à l'échelon local libère une quantité équivalente de largeur de bande internationale, améliorant par conséquent les vitesses de connexion et réduisant la latence sur les liaisons internationales de la Mongolie.

## Références

1. Consultez la page <https://prefix.pch.net/applications/ixpdir/summary> afin d'obtenir la liste des pays sans IXP.
2. Quagga est un progiciel de routage fournissant des services de routage TCP/IP avec prise en charge de protocoles de routage tels que RIP, OSPF et BGP pour plates-formes Unix. Il prend également en charge un comportement de serveur de routage et de réflecteur de route BGP spécial dans les protocoles de routage IPv4 et IPv6. Pour un supplément d'informations, visitez <http://www.quagga.net>.

## Pour un supplément d'informations

*Atelier des décideurs d'AFIX : Session 1*, African Internet Exchange Point, [http://afix.afrispa.org/decisionmakers/D1/D1\\_handout.doc](http://afix.afrispa.org/decisionmakers/D1/D1_handout.doc)

Huston, G, *Interconnection, Peering and Settlements*, Internet Society, [http://www.isoc.org/inet99/proceedings/1e/1e\\_1.htm](http://www.isoc.org/inet99/proceedings/1e/1e_1.htm)

*Internet Traffic Exchange in Less Developed Internet Markets and the Role of Internet Exchange Points (IXPs)*, 2008, rapport de la session sur les bonnes pratiques de l'IGF, The Internet Society, <http://www.isoc.org/educpillar/resources/igf-ixp-report-2007.shtml>

McLaughlin, A, Mai 2004, *Internet Exchange Points: Their Importance to Development of the Internet and Strategies for their Deployment: The African Example*, <http://www.gigiproject.org/practices/ixp.pdf>

McLaughlin, A & Zuckerman, E, *Introduction to Internet Architecture and Institutions*, Berkman Center for Internet and Society, <http://cyber.law.harvard.edu/digitaldemocracy/internetarchitecture.html#Notes>

Walubengo, J, Msiska, K, & Kasonde Kasolo, T, *Internet eXchange Points (IXPs) and Continental Backbone for Africa: Means to an End?* Internet Governance Research Project, DiploFoundation, <http://www.diplomacy.edu/poolbin.asp?IDPool=127>

## Glossaire

AMRT	Accès multiple à répartition temporelle. Un protocole de communications souvent utilisé sur les réseaux de télécommunications commutés traditionnels.
ASN	Numéro de système autonome. Des ASN uniques sont attribués aux opérateurs Internet par les registres Internet régionaux (RIR) pour le routage multivoies. Un ASN n'est attribué que lorsqu'une institution prouve qu'elle a les moyens de maintenir une politique de routage indépendante. Elle doit pour ce faire avoir des interconnexions directes avec au moins deux autres entités de réseau externes jouissant d'une indépendance similaire. Au sens le plus large, un système autonome est un groupe connecté d'un ou de plusieurs préfixes IP exploités par un ou plusieurs opérateurs de réseaux, avec une politique de routage unique, clairement définie.
BGP	Border gateway protocol. La norme de protocole utilisée pour assurer qu'il y a plus d'une route vers le réseau d'un fournisseur de services Internet. Il prend en charge à la fois l'agrégation des routes et le classless interdomain routing (CIDR).
BLPA	Accord de peering bilatéral. Un accord entre deux réseaux pour l'échange de trafic.
Bps	Bits par seconde. Le nombre de bits passant un point chaque seconde. La vitesse de transmission des informations numériques, à savoir la mesure de la vitesse d'envoi ou de réception des données. Elle est souvent exprimée en mégabits par seconde (mbps) pour les liaisons à large bande.
Câble à fibre optique	Une technologie utilisant la fibre de verre pour la transmission des données. Un signal est transmis à la fibre via des impulsions lumineuses (modulation) provenant d'un laser ou d'une diode électroluminescente (DEL). En raison de sa largeur de

bande élevée et de son insensibilité aux interférences, le câble à fibre optique est utilisé dans les applications longue distance ou bruyantes. Grâce aux avancées de la technologie de modulation, les câbles internationaux à fibre optique sont aujourd'hui déployés en général avec des capacités en téraoctets.

ccTLD	Domaine de premier niveau des codes de pays. Les codes de deux lettres représentant l'origine du trafic Internet en langage évolué. Par exemple, .es pour l'Espagne et .br pour le Brésil.
Connexion miroir	Une connexion Web à un routeur permettant aux administrateurs d'autres réseaux de voir les informations de routage d'un réseau. Les informations recueillies ne sont pas nécessairement à la disposition du grand public.
DNS	Système de noms de domaines. Correspondance entre les noms en langage évolué et les adresses IP. Une structure arborescente divise Internet en une structure hiérarchique de domaines et sous-domaines : les domaines de premier niveau (TLD) comprennent les domaines génériques comme .com, .edu et .org et les domaines de codes de pays (ccTLD) comme .uk, .za, .gh et .ke. Les administrateurs d'un TLD peuvent créer autant de sous-domaines qu'ils le désirent. Un réseau international de serveurs DNS gère les données grâce auxquelles les noms de domaines correspondent à leurs adresses IP. Les changements peuvent être apportés sur n'importe quel serveur ; ils sont propagés sur tout le réseau.
FSI	Fournisseur de services Internet. Un terme générique pour les organisations fournissant des services Internet, par exemple l'hébergement des sites Web et l'accès à Internet. Les FSI achètent une largeur de bande aux sociétés ayant des liaisons directes à Internet ; ils la vendent ensuite aux consommateurs et aux entreprises en plus petits fragments. Par exemple, un FSI peut prendre la largeur de bande d'une connexion 45 mbps à Internet, puis la revendre à des milliers d'utilisateurs qui se connectent à Internet au moyen de modems commutés à 56 kbps.
Gbps	Gigabits par seconde.
Gigabit	Un milliard de bits.
Interconnexion	Une connexion directe entre deux réseaux — réseaux privés, réseaux Internet exploités à des fins commerciales ou réseaux de télécommunications avec opérateurs fixes ou mobiles. Le coût d'interconnexion est habituellement payé par les parties situées à l'une ou l'autre extrémité de la connexion.
Internet	Un maillage mondial de réseaux informatiques utilisant TCP/IP. Les réseaux de base nationaux et internationaux d'Internet sont des lignes haute vitesse à fibre optique détenues par les sociétés de télécommunications. Les fournisseurs de services nationaux de niveau 1 rassemblent le trafic des données, le transmettent sur les réseaux de base et collaborent avec les fournisseurs de services locaux, qui se connectent aux clients via des liaisons numériques ou des modems.
IRR	Registre du routage Internet. Une base de données d'informations de routage distribuée à l'échelon mondial, assurant la stabilité et la cohérence du routage sur Internet en partageant l'information entre les opérateurs de réseaux. L'IRR comprend plusieurs bases de données dans lesquelles les opérateurs de réseaux publient leurs politiques et leurs annonces de routage. Outre le fait qu'il rend visible la topologie d'Internet, l'IRR est utilisé par les opérateurs de réseaux pour consulter les accords de peering, établir les politiques optimales et configurer leurs routeurs.
IXP	Point d'échange Internet. Également appelé IX, EP, NAP ou point de peering. À

	la fois un emplacement physique de réseau et une stratégie logique de mise en réseau facilitant l'interconnexion entre des réseaux Internet.
Large bande	Une connexion de données haute vitesse (multimégabits).
Largeur de bande	La taille ou la capacité d'un canal de communications servant à transférer des données ; elle est en général mesurée par la vitesse de transfert des données en bits par seconde (bps), bien qu'elle soit souvent référencée par la plage de fréquences assignée au canal et mesurée en hertz (Hz).
Ligne louée	Un circuit de télécommunications habituellement loué à un opérateur de télécommunications pour connecter deux emplacements ou plus. Lorsque la réglementation en place et l'emplacement physique des deux points à connecter le rendent possible, les fournisseurs de services Internet peuvent établir leurs propres liaisons sans fil, à câble ou à fibre, éliminant par conséquent la nécessité de louer un circuit à un tiers.
MAN	Réseau métropolitain. Habituellement un anneau à fibre optique couvrant une grande ville.
Mbps	Mégabits par seconde. Une unité de mesure du trafic.
Mégabit	Un million de bits.
MLPA	Accord de peering multilatéral. Un accord conclu par les réseaux se connectant à un IXP pour échanger des données avec tous les autres réseaux connectés au point de peering. Il est souvent obligatoire pour faire partie d'un IXP.
Passerelle internationale	Techniquement parlant, une installation permettant de consolider et de partager le coût des liaisons et des points de terminaison internationaux. En pratique, un terme de licence utilisé par les gouvernements de plusieurs pays en développement, qui permet uniquement à l'opérateur de télécommunications détenu par l'État et à un petit nombre d'autres opérateurs de télécommunications munis d'une licence d'acheminer le trafic international. Ce sont le plus souvent les opérateurs de téléphonie mobile munis d'une licence.
Peering	Un accord aux termes duquel les opérateurs de réseaux conviennent d'échanger gratuitement le trafic. Cette pratique est courante quand les réseaux en question ont à peu près les mêmes caractéristiques et volumes de trafic ; cela signifie que les coûts financiers nets du flux de trafic échangé entre eux sont probablement faibles. Un accord de peering ne prévoit pas l'obligation de transporter le trafic à des tiers. Le processus par lequel un réseau a droit au peering est habituellement négocié en privé, en fonction de la position sur le marché, de la couverture du réseau, du volume de trafic, de la gamme des services fournis et de la fiabilité du réseau. En général, un accord de peering n'est conclu que lorsque l'un des deux réseaux ne serait pas substantiellement défavorisé si la liaison cessait entre eux.
Pétabit	Mille térabits.
PTO	Opérateur public de télécommunications. L'opérateur de télécommunications en place, détenu par l'État. Techniquement parlant, la distinction entre les opérateurs de lignes fixes, de lignes cellulaires et les FSI devient de plus en plus floue.
Redondance de connexion	Deux connexions ou plus séparées physiquement via différents fournisseurs de réseaux. La redondance assure des liaisons constantes à Internet en cas de panne d'une connexion.
Réseau	Une série de dispositifs interconnectés via TCP/IP. Les réseaux peuvent être ex-

	<p>ploités commercialement par un FSI ou exploités par une organisation à des fins internes, par exemple les réseaux d'entreprises et les réseaux universitaires. Le terme peut également faire référence à l'infrastructure de télécommunications sous-jacente, mais cet usage est moins courant dans le domaine d'Internet.</p>
Réseau dorsal	<p>Les circuits principaux d'un réseau servant à transporter le trafic entre différents réseaux. Les réseaux de base peuvent être l'infrastructure de télécommunications physique ou les circuits Internet établis sur eux par un opérateur Internet particulier.</p>
RIR	<p>Registre Internet régional. Les cinq organisations chargées d'allouer les adresses IP et les ressources numériques connexes aux opérateurs de réseaux dans leurs régions respectives : AfriNIC – Afrique ; ARIN – Canada, un grand nombre d'îles des Caraïbes et de l'Atlantique Nord, ainsi que les États-Unis ; APNIC – Asie-Pacifique ; LACNIC – Amérique du Sud et Caraïbes ; RIPE NCC – Europe, Asie Centrale et Moyen-Orient.</p>
RPV	<p>Réseau privé virtuel. Un canal crypté entre deux points sur Internet et assurant des communications sécurisées.</p>
RTPC	<p>Réseau téléphonique public commuté. Système téléphonique vocal traditionnel, fonctionnant grâce à des protocoles de réseau commutés (et non par paquets) ; il est basé en général sur l'AMRT.</p>
Serveur de routage	<p>Un ou plusieurs homologues des serveurs de routage IXP BGP collectant et redistribuant les routes des membres de l'IXP.</p>
TCP/IP	<p>Protocole de contrôle de transmission et protocole Internet. Les deux protocoles formant la base des communications sur Internet. À l'heure actuelle, la plus grande partie d'Internet est basée sur la version 4 du protocole IP ; mais, à mesure que l'ensemble d'adresses IPv4 gratuites approche sa limite de capacité, la demande d'accélérer le déploiement de IPv6 se fait de plus en plus pressante.</p>
Technologie WiFi	<p>Fidélité sans fil. Une série de normes souvent utilisées pour les réseaux sans fil.</p>
Térait	<p>Mille gigabits.</p>
Transit	<p>Un accord selon lequel un réseau vend l'accès à un autre réseau pour lui permettre de se connecter à un réseau tiers. Les tarifs de transit sont fixés par négociation ; ils ne sont souvent pas révélés au public. Les accords de transit permettent habituellement de fournir l'accès à une série de réseaux non limités à un pays. Dans nombre de cas, un accord de transit Internet conclu avec un réseau important peut assurer à un petit réseau distant l'accès au reste du monde.</p>
Voix sur IP	<p>Protocole de système vocal sur Internet. Une méthode utilisant TCP/IP pour acheminer les appels vocaux.</p>
WiMax	<p>Interopérabilité mondiale d'accès aux micro-ondes. Une technologie sans fil pour l'accès du dernier kilomètre à la large bande.</p>

### Autres ressources

Une session du prochain Forum sur la Gouvernance d'Internet (IGF) 2008 est prévue en Inde ; elle sera consacrée aux stratégies permettant d'encourager la création d'autres IXP. <http://www.intgovforum.org>

Différentes organisations dans le monde s'efforcent de soutenir la création de nouveaux IXP et d'aider les FSI et les IXP existants à en améliorer l'accès, les fonctionnalités et les coûts. Elles comprennent :

L'Asia Pacific Operators' Forum (APOPS), <http://www.apops.net>

APRICOT (Asia Pacific Regional Internet Conference on Operational Technology), <http://www.apricot.net>

L'African Internet Exchange Point Task Force (AFIX-TF), <http://afix.afrispa.org>

L'African ISP Association (AfrISPA), <http://www.afrispa.org>

L'Association for Progressive Communications (APC), <http://www.apc.org>

EPNET, LLC, <http://www.ep.net>

L'European Internet Exchange Association (Euro-IX), <http://www.euro-ix.net>

L'European Internet Services Providers Association (EuroISPA), <http://www.euroispa.org>

L'European Operators Forum WG (EOF), <http://www.ripe.net/ripe/wg/eof>

L'International Telecommunication Union (ITU), <http://www.itu.int>

L'Internet Society (ISOC), <http://www.isoc.org>

Le Latin American and Caribbean Region Network Operators' Group (LACNOG),  
<https://mail.lacnic.net/mailman/listinfo/lacnog>

Le London Internet Exchange (LINX), <http://www.linx.net>

Le Middle East Network Operators' Group (MENOG), <http://www.menog.net>

Le Network Startup Resource Centre (NSRC), <http://www.nsrc.org>

Le North American Network Operators' Group (NANOG), <http://www.nanog.net>

L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), <http://www.oecd.org>

Le Packet Clearing House (PCH), <http://www.pch.net>; PCH Directory of IXPs, <http://www.pch.net/ixpdir>

Le South Asian Network Operators' Group (SANOG), <http://www.sanog.org>

Le World Bank's InfoDev unit's ICT Toolkit, <http://icttoolkit.infodev.org>

Le World Information Technology and Services Alliance (WITSA), <http://www.witsa.org>