

REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

Honneur - Fraternité – Justice

Ministère de l'Emploi, de la Formation Professionnelle et des Technologies de l'Information et de la Communication

Projet de Connectivité Nationale WARCIP-Mauritanie



Rapport relatif à la faisabilité d'un point d'échange Internet (IXP) en Mauritanie

(VERSION FINALE)



marpij associés
Economie - Stratégie - Management



Neo Telecoms
Light your Business



Table des matières

1. Introduction	7
1.1 Vue d'ensemble	7
1.2 Opportunités et difficultés	7
1.3 La situation en Mauritanie.....	8
1.4 Objectifs	9
1.5 Résumé de la méthodologie de l'étude	9
2. Etat des lieux du secteur de l'Internet	10
2.1 Données de marché.....	10
2.2 Données technico-économiques	10
3. Analyse des aspects techniques liés à la mise en place de l'IXP	12
3.1 Rappel de quelques définitions	12
3.2 Analyse d'impacts au niveau technique	13
3.2.1 Trafic local entre FAI (peering)	13
3.2.2 Trafic de transit entre FAI mauritaniens	13
3.2.3 Contenus et réseaux de contenus internationaux	13
3.2.4 Contenus locaux ou services à valeur ajoutée	14
3.2.5 Services offerts par l'IXP à destination des internautes.....	15
3.3 Spécifications techniques de l'IXP	15
3.3.1 Principe de fonctionnement	15
3.3.2 Les services de l'IXP.....	15
3.3.3 Service réseaux	15
3.3.4 Service « annexes ».....	17
4. Architecture technique de l'IXP.....	19
4.1 Les différents scénarios.....	19
4.1.1 Scénario 1 : IXP Layer 2 – Single Site	19
4.1.2 Scénario 2 : IXP Layer 3 – Single Site	20
4.1.3 Scénario 3: IXP Layer 2 – Dual Site	22
4.1.4 Scénario 4 : IXP Layer 3 – Dual Site	25
4.1.5 Synthèse des 4 scénarios	26
4.2 Architecture des différents composants.....	27
4.2.1 Design Layer 2 Single Site	27
4.2.2 Design Layer 2 Dual Site.....	28
4.2.3 Design Layer 3.....	30
4.2.4 Design Réseau OOB / Infra.....	32
4.3 Exploitation de l'IXP	33
4.3.1 Personnel	33

4.3.2	Hébergement, énergie et climatisation.....	34
4.3.3	Procédures d'exploitation	35
4.3.4	Maintenance	35
4.3.5	Support.....	35
4.4	Spécifications techniques de l'IXP	35
4.4.1	Environnement.....	35
4.4.2	Alimentation électrique.....	36
4.4.3	Connectique.....	36
4.4.4	Matériels d'installation, câblage.....	36
4.4.5	Switch Ethernet.....	36
4.4.6	Routeur niveau 3.....	37
4.4.7	DWDM.....	37
4.4.8	Réseau d'administration.....	38
4.4.9	Récapitulatif des équipements nécessaires	39
4.5	Spécifications des services	40
4.5.1	Gestion de projet.....	40
4.5.2	Emballage - assurance - transport - déplacements.....	40
4.5.3	Installation et mise en service.....	40
4.5.4	Réception	41
4.5.5	Garantie.....	42
4.5.6	Documentation.....	43
4.5.7	Formation	43
4.5.8	Plan projet	44
4.6	Synthèse.....	45
5.	Etudes de cas	46
5.1	Introduction.....	46
5.2	Propos généraux	46
5.3	Kenya.....	48
5.4	Afrique du Sud.....	51
5.4.1	Exploitation	51
5.4.2	Business model.....	51
5.4.3	Aspects légaux et réglementaires.....	52
5.5	République démocratique du Congo.....	53
5.5.1	Présentation de l'IXP.....	53
5.5.2	Modèles institutionnels et Opérationnels	54
5.5.3	Coût.....	54
5.5.4	Gouvernance de l'IXP	54
5.5.5	Business model.....	54
5.5.6	Aspects légaux et réglementaires.....	54
5.5.7	Exploitation	55

5.5.8	Bénéfices apportés et perspectives	55
5.6	République du Congo (Congo-Brazzaville).....	56
5.6.1	Présentation de l'IXP.....	56
5.6.2	Gouvernance de l'IXP	57
5.6.3	Exploitation	57
5.6.4	Bénéfices apportés et perspectives	58
5.7	Tunisie	59
5.8	France.....	60
5.8.1	Présentation de France IX.....	60
5.8.2	Gouvernance de France IX	62
5.8.3	France IX - Business model	62
5.8.4	France IX – exploitation.....	65
5.8.5	Aspects légaux et réglementaires.....	66
5.9	Suède - Netnod	68
5.9.1	Présentation de l'IXP Netnode.....	68
5.9.2	Gouvernance	69
5.9.3	Business model.....	69
5.9.4	Exploitation	70
5.9.5	Bénéfices apportés et perspectives	70
5.10	Synthèse.....	71
6.	Analyse du cadre réglementaire du projet IXP.....	72
6.1	Le régime réglementaire appliqué à l'entité qui possédera et exploitera l'IXP .	72
6.1.1	La catégorie de régime applicable	72
6.1.2	Les droits et obligations auxquels sera soumise l'entité qui possédera et exploitera l'IXP .	72
6.1.3	Les droits et obligations auxquels sera soumise l'entité qui possédera et exploitera l'IXP .	72
6.1.4	Les règles d'interconnexion applicables à l'entité en charge de l'IXP	73
6.2	Les règles gouvernant les relations entre les parties ayant installé leurs équipements à l'IXP pour le peering	73
6.3	Les règles gouvernant les relations entre ces parties et l'entité exploitant le bâtiment pour l'accès au bâtiment des équipes techniques, pour les modalités d'accès à la connectivité, etc.	74
6.4	Synthèse.....	75
7.	Analyse des aspects économiques.....	76
7.1	Les avantages directs : la baisse du coût en bande passante internationale ...	76
7.2	Projection des besoins en bande passante internationale	76
7.2.1	Situation à fin 2013 de la demande de bande passante internationale en Mauritanie	76
7.2.2	Projection des parcs.....	78
7.2.3	La demande de bande passante internationale	81
7.2.4	Valorisation du gain en bande passante internationale	84
7.3	Les avantages indirects	85

7.3.1	La baisse des tarifs de détail	85
7.3.2	Les autres avantages indirects	86
8.	<i>Business Plan de l'IXP</i>	88
8.1	Les coûts d'investissement	88
8.2	Les coûts d'exploitation	90
8.2.1	Les coûts de personnel	90
8.2.2	Coûts d'exploitation et de maintenance	91
8.2.3	Coût de l'énergie	91
8.2.4	Assurance et frais de gestion	92
8.2.5	Les locaux	92
8.2.6	Coûts télécom	92
8.2.7	Synthèse des coûts d'exploitation.....	92
8.3	Analyse financière de l'IXP	93
8.3.1	Hypothèses générales	93
8.3.2	Les dépenses d'exploitation et de maintenance.....	93
8.3.3	Les coûts d'investissements	93
8.3.4	Le plan d'investissement	94
8.3.5	Le plan de financement	94
8.3.6	Les revenus de l'IXP	95
8.4	Les résultats de l'analyse financière	96
8.4.1	Scénario 1 : Layer 2	96
8.4.2	Scénario 2a : Layer 2 + Layer 3.....	97
8.4.3	Scénario 2b : Layer 2 + Layer 3 décalé en 2017	98
8.4.4	Scénario 3 : Layer 2 dual site	99
8.4.5	Scénario 4 : Layer 2 dual site + Layer 3.....	100
8.4.6	Synthèse des résultats des scénarios.....	102
8.4.7	Impact d'une sous-traitance à l'IMT des dépenses d'exploitation	102
8.5	Synthèse	103
9.	<i>Analyse des aspects organisationnels</i>	105
9.1	La neutralité de l'IXP	105
9.2	Forme d'organisation retenue	105
9.3	Points importants à faire figurer dans les statuts de la future association	106
9.3.1	Objet social	106
9.3.2	La définition des membres de l'association.....	107
9.3.3	La fixation des tarifs pour l'accès aux services de l'IXP	107
9.3.4	La durée et la dissolution	107
9.3.5	Les autres clauses techniques	107
9.3.6	Gouvernance de l'association	108
9.4	Relation avec les autres entités.....	108

9.4.1	Gestionnaire du .MR	108
9.4.2	GIE IMT	108
9.4.3	SDIN.....	109
9.4.4	Relation avec AFRINIC	109
9.5	Modalités de rémunération	109
10.	<i>Plan d'action</i>	110
10.1	Aspects techniques.....	110
10.2	Aspects juridiques et réglementaires.....	111
10.3	Aspects RH	111
10.4	Aspects commerciaux.....	112
11.	<i>Glossaire</i>.....	113
12.	<i>Annexes</i>	116
12.1	Compte rendu de la visite du groupement de février 2014	116
12.2	PV de l'atelier du 16 juin 2014.....	116
12.3	Proposition de charte pour l'entité IXP	116

1. Introduction

1.1 Vue d'ensemble

Internet est devenu un outil essentiel pour la communication, le commerce et le développement dans un monde de plus en plus globalisé. Les gouvernements ont, dans le monde entier, accordé une forte priorité au développement de l'infrastructure Internet de leur pays et à la réalisation des plus hauts niveaux de pénétration d'Internet au sein de leur population.

Un point d'échange Internet (IXP) est un composant de l'infrastructure Internet qui peut augmenter l'accessibilité et la qualité d'Internet pour les communautés locales. Les IXP permettent aux réseaux locaux d'échanger efficacement de l'information à un point commun dans un pays, plutôt que de les obliger à échanger le trafic Internet local à l'étranger. Dans beaucoup de pays en voie de développement, par exemple, les messages Internet doivent être échangés au-delà de leurs frontières, ajoutant des coûts importants et dégradant la qualité de service, en raison d'un manque de connectivité entre les réseaux intérieurs.

En bref, les IXP permettent à un message sur Internet d'atteindre un destinataire dans le même pays plus facilement et plus efficacement. En outre, les IXP peuvent être établis avec un équipement et à des frais généraux relativement minimes.

1.2 Opportunités et difficultés

Les avantages liés à l'établissement d'un IXP sont nombreux. Les IXP peuvent réduire le coût de l'accès à Internet de façon considérable pour l'utilisateur final en diminuant les coûts d'exploitation des fournisseurs d'accès et de services Internet. Cela peut contribuer à rendre Internet plus accessible à une plus grande partie de la société. Les IXP peuvent réduire les coûts d'exploitation des FSI et garantir que le trafic local (comme celui provenant d'un expéditeur local à un destinataire local) utilise uniquement des connexions locales relativement bon marché plutôt que des liaisons internationales coûteuses. La réduction des coûts peut être substantielle – s'élevant facilement à 20 % ou plus – puisque le trafic local représente souvent une partie importante du trafic complet d'Internet.

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

Parallèlement, les participants aux IXP ont constaté qu'ils peuvent négocier de meilleures conditions avec les fournisseurs en amont (principalement fournisseurs de Transit IP). Les IXP permettent de réduire les coûts de transactions et d'élargir le choix offert à leurs membres. Si un opérateur présent dans un IXP décide de basculer d'un fournisseur de transit IP à un autre, 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. À ce titre, la fluidité rendue possible par l'IXP encourage la concurrence des prix au bénéfice des fournisseurs d'accès et des utilisateurs finaux.

Les IXP peuvent également améliorer la qualité de l'accès à Internet pour les utilisateurs locaux. L'expérience montre que les vitesses d'accès pour le contenu local peuvent s'améliorer jusqu'à dix fois lorsqu'un IXP est en place. La vitesse d'accès pour le contenu international peut également s'améliorer, bien que moins considérablement, puisque avec les IXP, le trafic local n'a plus besoin de transiter par la connexion internationale, réduisant la congestion et libérant la largeur de bande sur la liaison internationale. Le niveau de stabilité et la continuité d'accès peuvent eux aussi s'améliorer puisque, dans le cas d'une panne dans la connectivité internationale, les IXP permettent au trafic local de continuer à couler dans le pays. De plus, grâce à la possibilité de placement de miroirs de serveurs racines aux IXP, même les sites

internationaux majeurs peuvent rester accessibles aux utilisateurs locaux quand la liaison internationale n'est pas disponible, contribuant à la continuité du service et des activités ainsi qu'à une expérience Internet améliorée.

Enfin, **les IXP favorisent le développement d'applications et de contenu locaux**. 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 d'accès à Internet pour les utilisateurs locaux. L'amélioration de la vitesse d'accès pour le contenu local incite souvent les développeurs locaux à produire des applications et du contenu locaux.

De plus, il encourage souvent des fournisseurs de contenu internationaux à s'établir dans le pays. Par exemple, après que le Kenya et l'Argentine ont acquis leur IXP national, Google a commencé à héberger ses services dans ces pays. Cela a non seulement créé des possibilités d'emploi dans ces pays, mais aussi amélioré la vitesse d'accès aux services de Google. Le développement d'applications et de contenu locaux rendra également Internet plus approprié à la population locale, et socialement et économiquement, plus avantageux pour le pays.

1.3 La situation en Mauritanie

La Mauritanie compte aujourd'hui trois opérateurs fournisseurs d'une licence globale (téléphonie mobile, téléphonie fixe, Internet). Les performances du secteur sont très contrastées sur les trois segments du marché des télécommunications. Pour la téléphonie mobile, la phase de forte croissance grâce à la concurrence touche à sa fin car le marché s'approche de la saturation. La téléphonie fixe reste en déclin structurel malgré l'arrivée de la concurrence. Encore balbutiant, le segment de l'Internet Haut Débit constitue le principal potentiel de croissance du secteur pour les années à venir.

Pour développer le segment de l'Internet Haut Débit comme nouvelle source de croissance du secteur, le Gouvernement Mauritanien, dans le cadre de sa stratégie nationale de modernisation de l'administration et des TICs 2012-2016, s'attache tout particulièrement à :

- Mettre en place tous les maillons de la connectivité Haut Débit en stimulant l'investissement du secteur privé et en respectant les principes de l'accès ouvert au réseau ;
- Mettre en place le cadre légal et réglementaire adapté à la convergence et au développement de la société de l'information ;
- Développer les services et les applications de la société de l'information et de l'économie numérique.

Le Gouvernement de la République Islamique de Mauritanie a demandé le soutien de la Banque Mondiale pour financer une partie des actions prévues dans sa stratégie nationale, notamment pour le développement de la connectivité nationale (ou backbone national) permettant de disséminer sur l'ensemble du territoire la connectivité internationale offerte depuis début 2013 via la station d'atterrissage du nouveau câble sous-marin ACE (Africa Coast to Europe) et l'accompagnement dans la mise en place du cadre légal et réglementaire adapté à la convergence et au développement de la société de l'information.

Dans ce cadre, la Mauritanie a intégré le Programme pour une Infrastructure de Communications Régionale en Afrique de l'Ouest (West Africa Regional Communications Infrastructure Program – WARCIP).

La meilleure pratique consiste à mettre en place, en même temps que la connectivité internationale, un point d'échange Internet (« IXP », en anglais) pour permettre aux opérateurs et fournisseurs d'accès à Internet du pays d'échanger leur trafic Internet sans avoir à remonter jusqu'à un point d'échange situé dans un pays développé comme c'est le cas aujourd'hui. Un point d'échange Internet apporte de la qualité (le trafic n'a pas à faire de détours inutiles), permet d'économiser de l'argent (le trafic local n'utilise plus la capacité internationale), crée de la valeur (diminution du temps de latence des transmissions entre les fournisseurs d'accès à Internet) et

ouvre de nouvelles perspectives de croissance et de développement (les serveurs des fournisseurs de services à Internet peuvent être installés dans de bonnes conditions de connectivité au Mauritanie).

1.4 Objectifs

Dans ce contexte, le groupement Marpij-Eric Veve-Neo Telecoms a été retenu pour réaliser une étude de faisabilité sur la mise en place d'un IXP.

L'étude a pour but d'aider la Mauritanie à :

- analyser le cadre légal et réglementaire mauritanien et proposer les projets de textes pour que la réalisation de l'IXP en Mauritanie se fasse dans le respect des principes de l'accès ouvert;
- évaluer les impacts économique et techniques attendus de la mise en place de cet IXP et élaborer un plan d'affaires (Business Plan) sur 5 ans de l'IXP (format Excel), y compris une analyse des sensibilités des principales variables du modèle économique de l'IXP;
- définir les aspects techniques et organisationnels de l'IXP;
- proposer un plan d'action pour la réalisation effective de l'IXP y compris le calendrier associé

Les termes techniques utilisés dans cette étude sont définis dans le glossaire.

1.5 Résumé de la méthodologie de l'étude

L'étude de faisabilité a été menée par le groupement Marpij-Neo Telecom-Eric Veve au cours du 1^{er} semestre 2014.

Cette étude s'est appuyée sur les travaux menés par le projet AXIS, notamment sur les aspects benchmarking (proposition d'IXP à examiner), organisationnels et mise en œuvre. De nombreux échanges ont eu lieu avec les représentants du projet AXIS (Michuki Mwangi) et les intervenants aux ateliers organisés (Franck Simon de France IX).

Les consultants se sont déplacés à deux reprises en Mauritanie :

- En Février 2014. A cette occasion, ils ont réalisé un état des lieux technique, réglementaire et juridique en rencontrant les principales parties prenantes : opérateurs, gestionnaire du.MR, exploitant de la station d'atterrissage du câble ACE, autorité de régulation, ministère. Le compte-rendu de ce déplacement est joint en annexe.
- En Juin 2014. A cette occasion, ils ont présenté les conclusions de leur étude au cours du séminaire AXIS qui s'est tenu à Nouakchott. Ils ont ensuite présenté leurs recommandations à l'ensemble des parties prenantes mauritaniennes lors d'un atelier de restitution, dont le PV est joint en annexe.

2. Etat des lieux du secteur de l'Internet

2.1 Données de marché

Les acteurs intervenant sur le marché de l'Internet sont les opérateurs disposant aujourd'hui d'une ou plusieurs licences d'opérateur de télécommunications, les fournisseurs de services internet indépendants n'ayant pas réussi à se maintenir en Mauritanie :

- Mauritel, opérateur historique fournit des services fixes (téléphone, Internet, liaisons louées) et mobiles (2G et 3G, voix, SMS et data) au grand public et aux entreprises. Il bénéficie d'une licence GSM depuis juillet 2000 et d'une licence d'opérateur 3G et 3,5 G depuis 2006 ;
- Mattel, opérateur présent sur le marché depuis l'année 2000, année d'obtention de sa licence 2G en mars. Il dispose également d'une licence globale depuis 2009, et fournit aujourd'hui à ce titre des services mobiles (3G, 3,5G pour les services de voix, SMS et data) ainsi que des services fixes au grand public et aux entreprises ;
- Chinguitel, opérateur présent sur le marché depuis 2006, date d'obtention de deux licences, la première pour la fourniture de services de voix sur un réseau 2G, la seconde globale pour fournir des services fixes et mobiles, ces derniers 3G et 3,5 G, au grand public et aux entreprises ;
- IMT, opérateur de gros présent sur le marché depuis 2011, fournisseur d'une licence lui permettant de fournir des services de gros de capacités internationales aux autres opérateurs et d'exploiter la station d'atterrissage du câble sous-marin ACE.

Le parc Internet compte près de 140 000 abonnés. La croissance exponentielle du parc est due principalement au développement de l'accès radio, dédié (kits, clés USB) ou par smartphone CDMA et 3G.

Figure 1 : évolution du parc abonnés Internet

	2008	2009	2010	2011	2012
RTC	2 198	790	977	596	317
LS	255	245	54	54	253
ADSL	5 876	6 530	5 593	6 066	6 444
Internet Mobile	1 364	13 041	17 971	76 915	131 510
Total	9 693	20 606	24 595	83 631	138 524

Source : rapport annuel ARE 2012

2.2 Données technico-économiques

Les 3 opérateurs disposent d'un n°AS en tant que Fournisseurs d'Accès à Internet (AS29544 pour Mauritel , AS37508 pour Mattel, AS37541 pour Chinguitel). Selon nos entretiens avec les opérateurs, il ressort que :

Mauritel dispose d'un réseau international dense avec des connexions vers :

- l'Europe (ACE) : 3,1Gbps ;
- le Sénégal (via le CGFO sur lequel elle est propriétaire de 2 fibres mais paie la maintenance à SOGEM) : 600 Mbps en partage de charge avec ACE (multihoming). Mauritel vend également 1 STM-1 à Chinguitel sur ce lien ;
- le Mali (potentiellement le Burkina) : prestation de connectivité pour le compte de Sotelma Mali à hauteur d'un STM-4 dans les 3,1 Gbps acheté à ACE ;
- potentiellement vers le Maroc (lien à compléter à la frontière Mauritanie-Maroc).

Chinguitel consomme environ 350 Mbps de bande passante vers Internet. Le raccordement en circuit data se compose de :

- 1 chemin vers ACE : 3 STM1 data + 1 STM1 voix
- 1 chemin de backup vers Sonatel : 1 STM1

Mattel dispose d'une capacité de 2 STM1 pour Internet mais 1 STM1 seulement est activé.

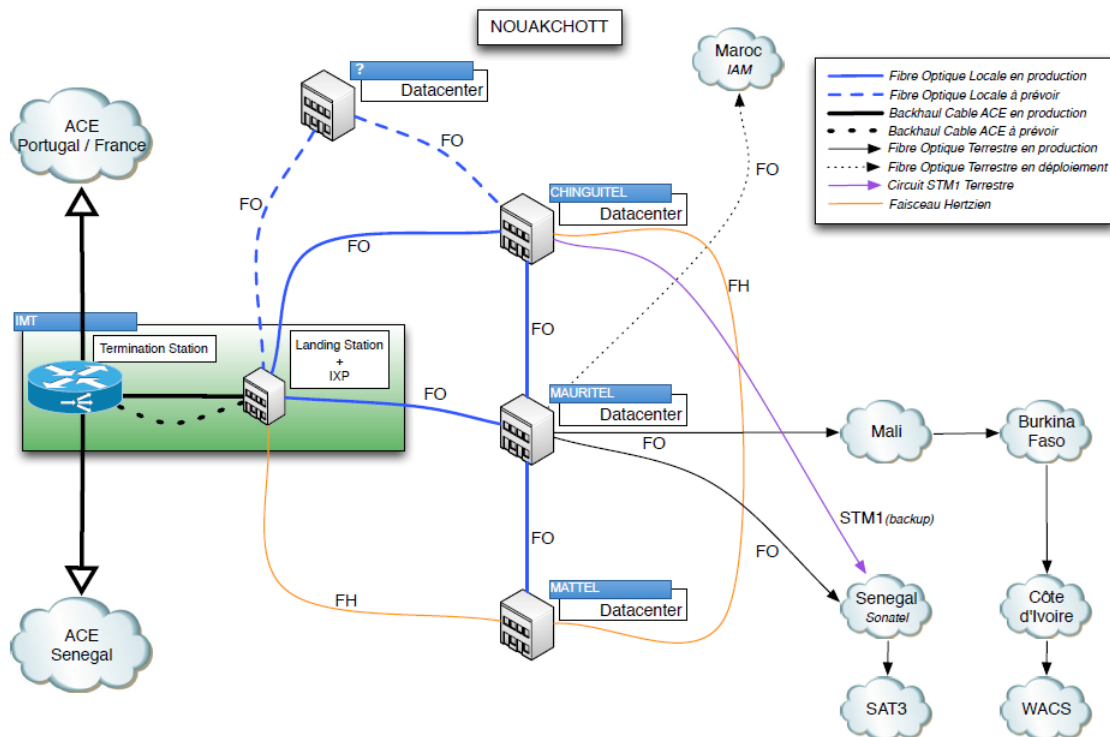
S'agissant d'ACE, la capacité totale disponible est de 1,9 Tbps extensibles à 5 Tbps. Dans le cadre de l'arrivée d'ACE à Nouakchott, l'investissement initial a été de 25 M\$ (station d'atterrissage incluse) et correspond à 190 840 MIU.

A date, la capacité achetée par les opérateurs est la suivante :

- Mauritel : 2 STM1, 1 STM4 et 1 STM16
- Chinguitel : 4 STM1
- Mattel : 3 STM1

Mauritel et Chinguitel ont déployé leurs propres FO tandis que Mattel utilise le FH installé par IMT pour relier ses équipements. Ce FH a été initialement installé pour secourir en cas de rupture de la FO, mais Mattel l'utilise pour l'instant à titre gratuit.

Figure 2 : architecture de la connectivité Internet en Mauritanie



Source : entretiens opérateurs

Les 3 opérateurs achètent de la bande passante internationale à IMT. La tarification de la bande passante vise à assurer d'une part le recouvrement des frais d'exploitation et maintenance de IMT et d'autre part à assurer le versement de dividendes rémunérant l'investissement des actionnaires non opérateurs.

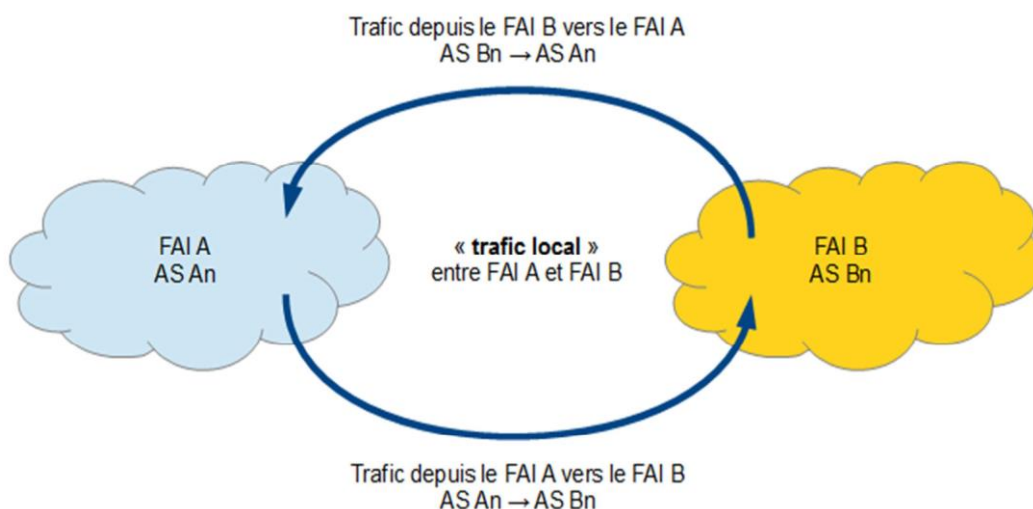
A noter que ces tarifs sont provisoires et qu'une étude est menée pour redéfinir le business plan de IMT et donc de nouveaux tarifs.

3. Analyse des aspects techniques liés à la mise en place de l'IXP

3.1 Rappel de quelques définitions

Flux de transit et trafic local

On entend par « trafic local » entre deux FAI tout trafic initié depuis le réseau du premier ayant pour destination « finale » le réseau du second.



De même, dans le cadre de ce document, on entend par « trafic de transit » le trafic d'un FAI acheminé par un acteur (également appelé « opérateur de transit ») à destination d'un réseau tiers.

En particulier, le trafic initié par le premier FAI qui « transite » sur le réseau d'un second FAI à destination d'un tiers, par exemple de l'international, n'est pas du « trafic local ». Fort de cette précision, il est possible, voire courant, que des FAI puissent « échanger » du trafic sans pour autant que ce trafic soit un trafic local.

Par exemple, le trafic envoyé par Chinguitel sur le réseau de Mauritel qui est ensuite écoulé par Mauritel vers le Sénégal via ses différentes liaisons n'est pas du trafic local mais du trafic de transit.

Dans le cas mauritanien, les entretiens conduits dans le cadre de cette étude montrent que la quasi-totalité du trafic échangé à ce jour entre les FAI nationaux n'est pas un échange de « trafic local » mais incontestablement du « trafic de transit ».

De même, il semble qu'aujourd'hui Dakar fait office d'IXP pour les opérateurs mauritaniens : le trafic mauritanien entre Mauritel et Chinguitel étant échangé à Dakar.

Le « peering »

Le « peering » est un accord d'acheminement généralement « gratuit » du « trafic local » entre deux réseaux/acteurs. Il ne doit pas être confondu avec un accord de transit. L'échange de flux peut se faire au niveau d'une liaison privée entre les deux acteurs (parfois dénommé « peering privé ») ou au niveau d'un point d'échange (IXP). Le « peering » n'a de sens que si les acteurs ont besoin d'échanger du « trafic local » entre eux.

3.2 Analyse d'impacts au niveau technique

Notre analyse se base sur les hypothèses que la réglementation mise en œuvre permettra de développer facilement et à moindre coût les activités de l'IXP et des acteurs qui y sont rattachés.

Nous précisons, dans la mesure du possible, les prérequis réglementaires pour le développement d'activités liées à l'activité d'IXP.

3.2.1 Trafic local entre FAI (peering)

Environnement réglementaire

Autorisation du trafic de « peering » entre FAI mauritaniens.

Contexte mauritanien et analyse d'impacts

Comme indiqué ci-dessus, les opérateurs n'ont pas vraiment besoin à ce jour d'échanger du trafic local. La mise en place d'un IXP en Mauritanie dans le seul but de permettre l'échange de trafic local entre opérateurs ne répond pas dans la situation actuelle à un besoin.

En d'autres termes, nous pensons que le trafic de peering (i.e. « trafic local ») entre opérateurs mauritaniens qui pourrait transiter via l'IXP restera marginal à court et moyen terme.

3.2.2 Trafic de transit entre FAI mauritaniens

Environnement réglementaire

Trafic international ouvert à la concurrence et autorisation du trafic de transit entre FAI.

Contexte mauritanien et analyse d'impacts

L'IXP sera installé dans un 1^{er} temps dans le même bâtiment (et même dans la même salle technique) que celui hébergeant le point d'atterrissage de ACE. Les opérateurs mauritaniens présents sur ce site pourront donc se raccorder directement entre eux.

Dans un 2^{ème} temps, une 2^{ème} plateforme IXP sera installée dans le bâtiment technique «Datacenter » situé au nord du campus de Nouakchott et raccordé par fibre optique au bâtiment hébergeant le point d'atterrissage de ACE.

3.2.3 Contenus et réseaux de contenus internationaux

Environnement réglementaire

Favorable aux déploiements des contenus et des réseaux de contenus internationaux.

Définitions, contexte mauritanien et analyse d'impacts

Dans le cadre de ce document, on entend par réseaux de contenus (Content Delivery Network) un ensemble d'équipements (principalement des serveurs informatiques) interconnectés sur Internet dont l'objectif est de fournir du contenu aux utilisateurs finaux (i.e. les utilisateurs de l'Internet).

A titre d'exemple, Google, Akamai mais également Amazon et OVH peuvent être considérés comme des réseaux de contenus (i.e. Amazon et OVH pour leurs offres de « Cloud »).

Force est de constater que ces opérateurs sont encore peu présents en Afrique en général et à notre connaissance, totalement absents de la Mauritanie. En d'autres termes, pour accéder à leurs services (i.e. les contenus qu'ils proposent) les flux doivent transiter par l'interconnexion internationale du FAI.

Sans être une condition suffisante, l'existence d'une structure d'IXP est pratiquement une condition nécessaire au développement d'une présence locale de ces acteurs. Ainsi, avec une

législation favorable et des conditions financières acceptables au niveau de l'IXP mais également en fonction du coût du Mbps sur la bande passante internationale (point sur lequel l'IXP n'a pas de contrôle) certains de ces acteurs pourraient venir s'implanter sur l'IXP.

Bien que ces services soient généralement « invisibles » pour le client final (i.e. dans le sens où il ne connaît pas leur existence), l'impact sur sa connexion Internet est important. Parmi les principaux impacts, nous pouvons citer :

- Un accès effectif aux services proposés par les réseaux de contenus présents sur l'IXP (i.e. sans la présence locale de ces acteurs, les contenus/services qu'ils proposent ne sont pas toujours accessibles faute de capacité du FAI sur son interconnexion internationale)
- Un meilleur débit sur les connexions internationales. En effet, une partie du trafic qui transitait sur l'interconnexion internationale de l'ISP devient grâce à l'IXP du trafic local. Cette part de trafic local représente autant de trafic que l'ISP peut allouer en plus pour ses clients sur les accès internationaux ;
- L'accès à des services qui aujourd'hui n'existent pas (faute de débits suffisants sur l'interconnexion internationale). Le fait que ces acteurs soient raccordés sur l'IXP et non rattachés à un FAI local permet également de garantir l'accès et l'équité de cet accès à l'ensemble des clients des différents FAI (la qualité de l'accès reste dépendante du réseau du FAI et bien sûr de sa présence sur l'IXP). Nous pensons que dans un premier temps et compte tenu du contexte mauritanien, le principal apport de l'IXP à l'Internet local sera de permettre le développement de réseaux de contenus. Dans un certain sens, le raccordement de ces réseaux de contenus à l'IXP constitue, plus que l'IXP en lui-même, l'objectif à court/moyen termes de ce projet.

3.2.4 Contenus locaux ou services à valeur ajoutée

La mise en place d'un IXP peut permettre l'émergence de nouveaux services. Ces services peuvent être développés sur des plateformes locales ou dans le cadre de réseaux de contenus en utilisant les offres dites « cloud » de ces acteurs.

Les services qui peuvent être amenés à se développer peuvent être de nature publique ou privée. La liste ci-dessous, donne à titre d'exemple des services qui pourraient être proposés par de (nouveaux) acteurs grâce à la mise en œuvre d'un IXP :

- Portail web e-gouvernementaux
- e-banking (privé et/ou public)
- Portail sur la santé (privé et/ou public)
- Portail privés
- Vidéo à la demande (privé)
- Jeux en ligne (privé)
- e-commerce (privé)
- Hébergement de site web (privé)
- Cloud (privé)
- Opérateur de voix sur IP (privé)
- etc.

Sans l'existence d'un IXP, la majorité de ces services ne sont pas techniquement envisageables. Au mieux, les clients accèdent à ces services via une interconnexion internationale (ce qui en limite fortement la qualité d'accès et les fonctionnalités qu'ils peuvent offrir).

Remarque : Tout ou une partie de ces services pourraient être fournis par les FAI. Dans ce cas, faute d'IXP l'accès aux services dans de bonnes conditions sera limité aux clients du FAI. Par exemple, dans le cas où un opérateur développerait une offre de jeux en ligne sur ses plateformes locales, les clients des autres FAI devront obligatoirement utiliser le lien avec ce FAI pour accéder à ce service.

3.2.5 Services offerts par l'IXP à destination des internautes

L'activité « cœur » d'un IXP est de permettre à ses membres de mettre en œuvre des relations dites de « peering » pour échanger du « trafic local ».

En particulier, l'IXP est un acteur neutre qui en dehors d'établir les règles qui s'appliquent à ses membres n'intervient pas dans le routage et/ou l'acheminement du trafic.

Cependant, étant donné sa position d'acteur central (i.e. point d'échange) il est fréquent que ces structures offrent tout ou une partie des services « réseaux » ci-dessous :

- Hébergement d'une instance « root » du système DNS (opéré pour le compte de l'IANA)
- Hébergement d'une instance répliquée du système DNS pour la zone du ccTLD dans lequel est situé l'IXP (i.e. zone mr. dans le cas de la Mauritanie)
- Mise à disposition d'un serveur de temps (NTP) de strate 2 (public ou non) Généralement invisible du grand public, ces services peuvent être utilisés par les FAI raccordés sur l'IXP pour optimiser (i.e. à savoir limiter) les accès via l'interconnexion internationale à ces services.

3.3 Spécifications techniques de l'IXP

Dans cette section nous présentons différents aspects techniques directement ou indirectement liés à un IXP.

3.3.1 Principe de fonctionnement

Rappelons la définition d'un IXP proposée par le plus important IXP du monde l'AMS-IX (Amsterdam IX):

Définition (rappel) : Un IXP c'est un point physique où le trafic Internet peut être échangé. La structure peut être aussi simple qu'un commutateur dans un sous-sol ou être constituée d'un vaste réseau couvrant plusieurs datacenters. Un IXP fournit l'infrastructure physique où les ISP, les universités, les « incumbents » (i.e. Telcos), les fournisseurs de contenu et bien d'autres entités peuvent se connecter les unes aux autres, via la mise en place de relations de peering afin de s'échanger du trafic.

Techniquement, les acteurs connectés sur un IXP (également appelés membre de l'IXP) utilisent le protocole BGP pour définir des routes qui seront utilisées pour échanger du trafic IP (local) entre eux. Les acteurs peuvent définir ces routes via des accords de gré à gré entre eux ou bien utiliser le(s) serveur(s) de routes (voir ci-dessous) que l'IXP met à leur disposition. Il nous semble important d'insister sur le fait que le transport du trafic IP jusqu'à l'IXP n'est en aucun cas du ressort et/ou responsabilité de l'IXP. En d'autres termes, chaque membre de l'IXP doit prendre à sa charge les moyens qui lui sont nécessaires pour lui permettre de se raccorder à l'IXP.

3.3.2 Les services de l'IXP

Dans le cadre de ce document, nous avons distingué les services dits réseaux qui correspondent à l'activité « cœur » d'un IXP, des services dits connexes qui correspondent à des services « annexes » qui sont généralement proposés par les structures d'IXP (une partie de ces services sont déjà présentés ci-dessus).

3.3.3 Service réseaux

Le raccordement à l'IXP

C'est LE service de l'IXP. Ce service consiste à proposer des « ports » sur le commutateur (ou l'un des commutateurs s'il y en a plusieurs) de l'IXP. En fonction de l'IXP ces ports peuvent être

des interfaces cuivre (RJ45) ou fibre (SX et LX pour le Gbps, ou autre pour les plus hauts débits) et les débits offerts varient de 10Mbps à 100Gbps.

Ce service est facturé aux membres de l'IXP ; le plus souvent en fonction du type de port et du débit acquis.

A titre d'exemple, le tableau ci-dessous présente les interfaces, débits et tarifs disponibles sur l'IXP SPINX du réseau français RENATER (réseau national de télécommunications pour la technologie, l'enseignement et la recherche) au 17/12/2013.

Tableau 1 : Exemples de tarifs de raccordement à un IXP (SPINX)

	Débit	Tarif (annuel) en MRO
100BASE-TX (Fast Ethernet)	10 Mbps	Gratuit
100BASE-TX (Fast Ethernet)	100 Mbps	Gratuit
Gigabit Ethernet LX ou SX	< 200 Mbps	6 530
Gigabit Ethernet LX ou SX	1 Gbps	13 041
10 Gigabit EthernetXENPARK-LR	10 Gbps	20 606

Chaque membre utilise ensuite le ou les ports qu'il possède sur l'IXP pour échanger du trafic IP en mettant en œuvre des relations de « peering » avec les autres membres de l'IXP.

L'IXP n'est généralement pas partie prenante dans les accords que passent ses membres entre eux. Il peut, dans certains et en fonction de ses statuts imposer des contraintes et/ou restrictions sur les conditions de peering.

A titre d'exemple nous donnons ci-dessous une liste (non exhaustive) de fonctionnalités et restrictions techniques qui peuvent être présentes sur un IXP (pour les flux IP) :

- peering pour des flux ipv4
- peering pour des flux ipv6
- peering pour des flux multicast
- peering pour des flux anycast
- restriction sur les MAC des trames Ethernet
- interdiction des flux broadcast
- restrictions au niveau de certains protocoles (ARP, etc.)

Serveur(s) de routes BGP :

Le ou les serveurs dits « serveurs de routes » sont un service offert par la plupart des IXP pour faciliter la maintenance et la mise à jour des routes BGP des membres de l'IXP. Sans entrer dans les détails, ces serveurs publient la liste des routes BGP annoncées par les membres de l'IXP (charge à chaque membre de maintenir à jour sur ce serveur les routes qu'il souhaite publier). Chaque membre peut utiliser les informations de routage sur ces serveurs pour définir sa politique de routage BGP (en fonction des accords qu'il a conclus) plutôt que de se coordonner avec chaque acteur avec lequel il souhaite échanger du trafic via une relation de « peering ». A notre connaissance, ce service est généralement gratuit.

Routage BGP (IXP niveau 3) :

Dans certains cas, l'IXP peut vouloir assurer le routage BGP pour ses membres qui en font la demande. Cette situation peut se produire dans un contexte où les membres potentiels de l'IXP ne disposent pas des compétences ou des moyens nécessaires pour assurer leur propre routage BGP ou bien qu'ils ne souhaitent pas le faire. Pour offrir ce service, l'IXP doit acquérir les routeurs nécessaires et dimensionner ses équipes techniques en conséquence.

Ce service a été abandonné par la plupart des IXP et **nous ne recommandons pas** sa mise en œuvre dans le cadre de ce projet d'IXP en Mauritanie.

Ce service est généralement optionnel (i.e. il n'est pas nécessaire aux membres de l'IXP qui assurent leur routage BGP). Etant donné le coût induit par les ressources matérielles et humaines nécessaires à la mise en place de ce service il est généralement facturé, en plus des coûts de raccordement, aux membres qui souhaitent en bénéficier.

VLAN privé :

L'IXP peut mettre à disposition de ses membres des VLAN dits « privés » pour permettre à deux (voire plus) membres d'établir des relations de peering entre eux sur ces VLAN spécifiques (i.e. seuls les membres qui disposent d'un port dans ce VLAN peuvent échanger du trafic entre eux ; raison pour laquelle on parle de « VLAN privé » ou de « peering privé »).

Ce service est généralement facturé (i.e. en plus du raccordement) aux membres de l'IXP qui en font la demande.

Agrégation de ports :

L'IXP peut offrir à ses membres la possibilité d'agréger deux (ou plus) ports Ethernet qu'ils possèdent sur l'IXP. Cette fonctionnalité peut être demandée pour augmenter les débits sur une liaison (i.e. 2x1Gbps) ou offrir de la redondance (i.e. 1+1 dans le cas de l'agrégation de deux ports) voire les deux. Cette fonctionnalité est généralement offerte via le protocole IEEE 802.3ad (Link Aggregation Control Protocol (LACP)) ou EtherChannel.

Ce service est parfois facturé (mais pas toujours) aux membres de l'IXP qui en font la demande.

Fourniture de transit IP :

L'IXP pourrait également fournir du transit IP aux opérateurs membres de l'IXP. Dans ce cas deux options sont possibles :

- soit l'IXP est un opérateur avec un n° AS et peut donc négocier pour revendre localement du Transit IP ;
- soit l'IXP est juste une terminaison d'un transitaire IP. Cette solution semble préférable et dans ce cas l'IXP pourrait acheter un circuit vers un transitaire IP en Europe.

3.3.4 Service « annexes »

Sauf exception, les services présentés ci-dessous ne sont pas facturés aux membres de l'IXP.

Support technique (NOC) :

Tous les IXP offrent à leurs membres un service de support technique. Les missions de ce support est d'assurer le bon fonctionnement du service et d'apporter les réponses adéquates en cas d'incidents sur les équipements de l'IXP. Il peut, dans une limite raisonnable (i.e. il ne se substitue pas aux équipes techniques des membres de l'IXP), apporter un support technique (aide au routage BGP, etc.) aux membres de l'IXP.

Pour les IXP importants et qui peuvent se le permettre, ce service est de type 24/24, 7/7/, 365/365. Pour les plus petites structures l'accessibilité/disponibilité de ce service est un équilibre entre les ressources disponibles, la fréquence des interventions, la criticité du service offert et les coûts.

Liste de diffusion :

Traditionnellement, les IXP mettent à disposition une liste de diffusion pour ses membres. Cette liste de diffusion permet aux membres d'échanger facilement sur tous les points concernant l'IXP.

Elle est aussi utilisée par l'IXP pour informer ses membres des incidents, des interventions futures et en cours ainsi que des problèmes de sécurité et/ou attaques sur le réseau.

Statistiques :

Les IXP fournissent à chaque membre les statistiques (souvent sous la forme de graphes/données RRD) quotidiennes des flux associés à chacun de ses ports.

Service DNS :

Compte-tenu de leur rôle de nœud au niveau du réseau Internet, il est courant que les IXP hébergent des serveurs DNS. Ils peuvent héberger :

- Une (voire plusieurs) instance « root » du système DNS (opéré pour le compte de l'IANA)
- une ou plusieurs instances répliquées du système DNS pour la zone du ccTLD dans lequel est situé l'IXP (i.e. zone mr. dans le cas de la Mauritanie) Service NTP : Un serveur de temps (protocole NTP) de strate 2 (ou 3) est souvent mis à disposition des membres de l'IXP (et parfois également du public). Ceci est à l'étude en Mauritanie, voir 9.4.1)

4. Architecture technique de l'IXP

Il s'agit ici de présenter les différentes options techniques et les différentes architectures techniques pour :

- La mise en place d'un Internet Exchange Point (IXP) sur un LAN Ethernet Switché :
 - Déployé sur 1 site : IMT
 - Déployé sur 2 sites : IMT + Datacenter
- La mise en place d'un cœur de Réseau IPv4 et IPv6 entre les sites, incluant :
 - Un Autonomous System (AS) le cas échéant (scénarios Layer 3)
 - Le design d'un Interior Routing Protocol (IGP) : ISIS
 - Le design d'un Internal Border Gateway Protocol : BGPv4
- Le design IP pour fournir de la connectivité Internet depuis tous les sites :
 - Un Autonomous System (AS)
 - De la connectivité vers des fournisseurs de transit
- La mise en place d'une infrastructure d'administration et de supervision, incluant :
 - Un réseau d'administration
 - Un réseau d'Out Of Band (OOB)
 - Des serveurs de supervision des réseaux
 - Des serveurs d'administration
 - Des serveurs de collecte de routes

Il faut préciser que le déploiement de l'IXP sur 2 sites géographiques distants revient à déployer de la fibre noire et à définir une architecture pour exploiter celle-ci.

Il est important de préciser que mettre en place une simple architecture Layer 2 (LAN Ethernet) entre ces 2 sites est fortement déconseillé en raison de la distance entre les 2 sites pouvant entraîner une dégradation des performances (notamment sur la latence). Une architecture reposant sur du WAN (Wide Area Network) serait plus appropriée et moins sensible aux erreurs.

4.1 Les différents scénarios

4.1.1 Scénario 1 : IXP Layer 2 – Single Site

Ce scénario présente l'IXP sous la forme la plus simple, avec une redondance minimale. Le design de ce scénario comprend les éléments suivants :

- L'IXP est hébergé dans 1 seul site (celui de la station ACE exploitée par l'IMT)
 - Avantages : Opérations, Déploiement et Maintenances simplifiées par un seul site géographique
 - Inconvénients : aucun Plan de Reprise d'Activité (PRA) ne sera possible en cas de panne technique majeure sur le Datacenter
 - Le Datacenter doit assurer un taux de disponibilité supérieur à 99,671%
- Tous les équipements sont installés dans 2 Baies 42U côte à côte avec 2 circuits électriques distincts
- L'IXP se compose de 3 Switchs Layer 2¹ (dont 1 en backup) comportant des ports Giga Ethernet Fibre et d'uplink 10Giga Ethernet rassemblés en un seul cluster
- Les clients de l'IXP se raccordent physiquement sur ce cluster en Fibre Optique²
- Les clients peerent entre eux en BGP via ce cluster, mais ne pourront pas acheter du transit IP ou sortir sur Internet via cet IXP
- Installation de 2 servers de route pour collecter les routes BGP des clients

¹ 32 ports par switch donc potentiellement 64 raccords, le Switch de backup n'étant pas connecté

² Les opérateurs pourraient éventuellement installer leurs routeurs à côté de l'IXP mais cela présente peu d'intérêt

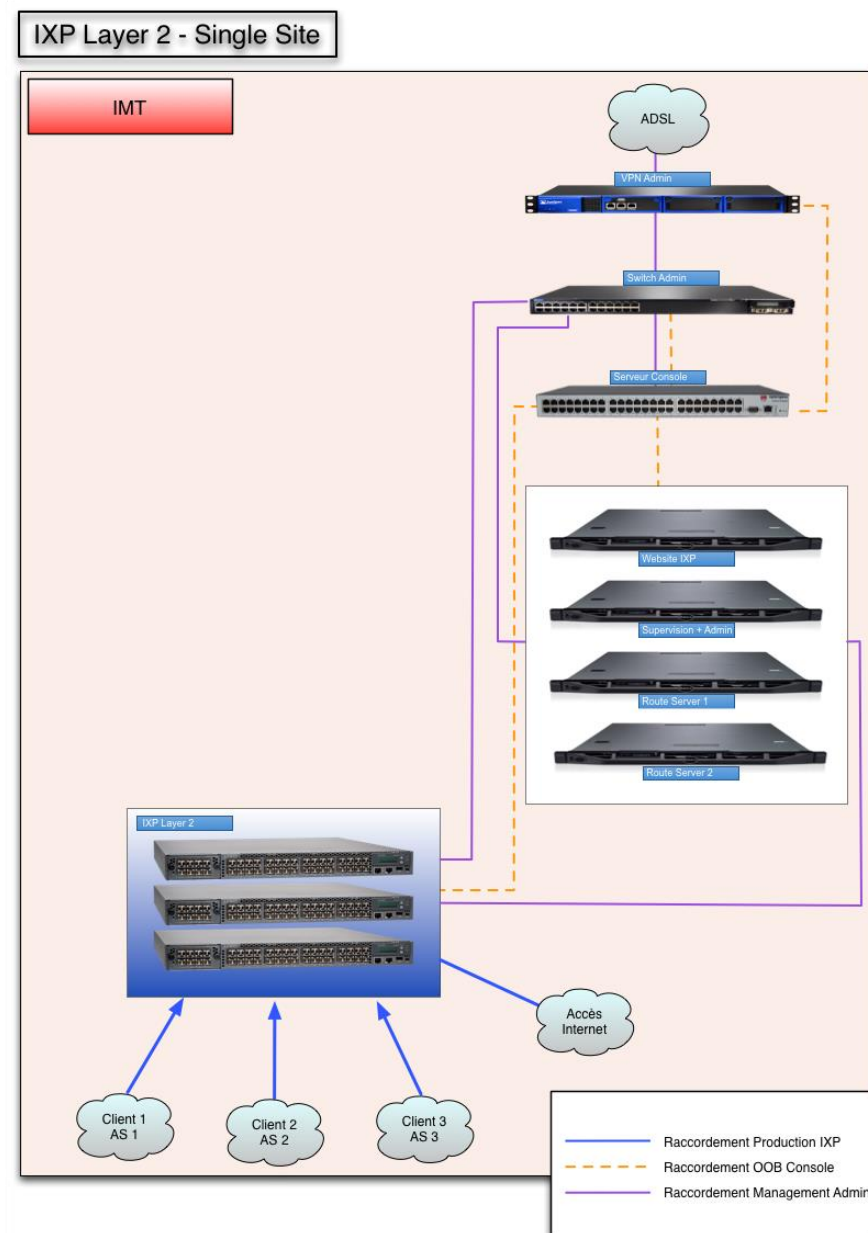
- 1 accès Internet (à définir) pour les besoins internes – non disponible pour les clients –

Il est important de rappeler que ce scénario implique un design plus simple, mais comprend un Point Unique de Défaillance (SPOF, Single Point Of Failure, en anglais) du fait du choix d'un unique Datacenter.

Le cluster des 3 switches accepte des pannes telles que :

- perte d'une des 2 arrivées électriques : chaque Switch est composé de 2 alimentations électriques
- perte d'un des switches du cluster : les autres membres du cluster resteront connectés

Figure 3 : Synoptique IXP Layer 2 – Single Site



4.1.2 Scénario 2 : IXP Layer 3 – Single Site

Ce scénario présente l'IXP avec une couche Layer 2 et une couche de routage Layer 3, avec une redondance minimale. Le design de ce scénario comprend les éléments suivants :

- L'IXP est hébergé dans 1 seul site (celui de la station ACE exploitée par l'IMT)
 - Avantages : Opérations, Déploiement et Maintenances simplifiées par un seul site géographique
 - Inconvénients : aucun Plan de Reprise d'Activité (PRA) ne sera possible en cas de panne technique majeure sur le Datacenter
 - Le Datacenter doit assurer un taux de disponibilité supérieur à 99,671%
- Tous les équipements sont installés dans 2 Baies cote à cote avec 2 circuits électriques distincts
- L'IXP se compose de 3 switchs Layer 2 (dont un de backup) comportant des ports Giga Ethernet Fibre et d'uplink 10Giga Ethernet rassemblés en un seul cluster
- L'ajout d'un routeur Layer 3 supportant la table de routage d'Internet (~490000 routes)
- La mise en place de 1 ou 2 Transitaires raccordés au routeur pour du BGP Multihoming
- La possibilité de revendre du Transit IP aux clients de l'IXP
- Les clients de l'IXP se raccordent physiquement sur ce cluster en Fibre Optique
- Installation de 2 route servers pour collecter les routes BGP des clients
- 1 accès Internet (à définir) pour les besoins internes – non disponible pour les clients –

Il est important de rappeler que ce scénario implique un design plus simple, mais comprend un Point Unique de Défaillance (SPOF, Single Point Of Failure, en anglais) du fait du choix d'un unique Datacenter.

S'agissant du Transit IP, 2 options sont envisageables :

- soit l'IXP est un opérateur avec un n° AS et peut donc négocier pour revendre localement du Transit IP ;
- soit l'IXP est juste une terminaison d'un transitaire IP, solution recommandée : l'IXP pourrait plutôt acheter un circuit vers un transitaire IP en Europe.

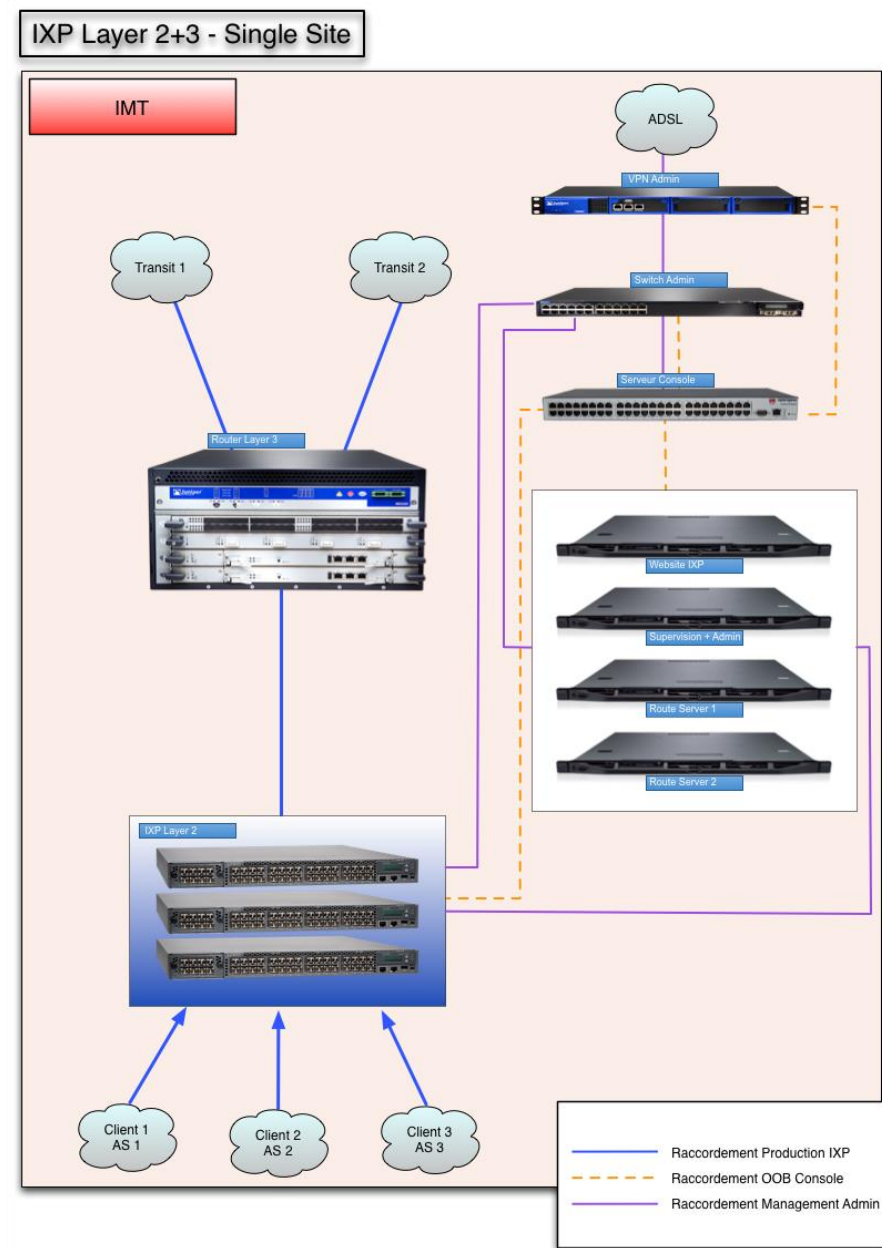
Le cluster des 3 switchs accepte des pannes telles que :

- perte d'une des 2 arrivées électriques : chaque Switch est composé de 2 alimentations électriques
- perte d'un des switchs du cluster : les autres membres du cluster resteront connectés

Le routeur accepte des pannes telles que :

- perte d'une des 2 arrivées électriques
- perte d'une des 2 Routing Engines

Figure 4 : Synoptique IXP Layer 3 – Single Site



4.1.3 Scénario 3: IXP Layer 2 – Dual Site

Ce scénario présente l'IXP avec une couche Layer 2 sous sa forme redondée. Le design de ce scénario comprend les éléments suivants :

- L'IXP est hébergé dans 2 datacenters (celui de l'IMT et un autre à définir)
 - Avantages : Plan de Reprise d'Activité (PRA) possible
 - Inconvénients : Opérations, Déploiement et Maintenances plus complexes
 - Les datacenters doivent assurer un taux de disponibilité supérieur à 99,671%
- Dans chaque datacenter, tous les équipements sont installés dans 2 Baies cote à cote avec 2 circuits électriques distincts
- L'IXP se compose de 3 switchs Layer 2 (dont un de backup) comportant des ports Giga Ethernet Fibre et d'uplink 10Giga Ethernet rassemblés en un seul cluster dans chaque site

- Les clients de l'IXP se raccordent physiquement sur un des deux sites au choix, en Fibre Optique
- Les clients d'un site peuvent peeler en BGP à un autre client présent sur l'autre site
- Installation de 1 route server pour collecter les routes BGP des clients par site
- Déploiement de 2 fibres noires raccordant les 2 sites pour réaliser une boucle Metro
- Installation d'un équipement de transmission DWDM passif par site pour allumer les fibres noires. Selon nos calculs (cf. 7.2.3), le trafic géré par l'IXP ne devrait pas dépasser 500 Mbps avant 2020.
- La mise en place d'un cœur de réseau MPLS pour déployer du Layer 2 VPN entre les sites
- 1 accès Internet (à définir) pour les besoins internes – non disponible pour les clients –

Le cluster des 3 switchs accepte des pannes telles que :

- perte d'une des 2 arrivées électriques : chaque Switch est composé de 2 alimentations électriques
- perte d'un des switchs du cluster : les autres membres du cluster resteront connectés

L'IXP Dual site peut accepter la coupure d'une des 2 fibres noires :

- tout le trafic est intégralement rerouté vers la seconde fibre noire

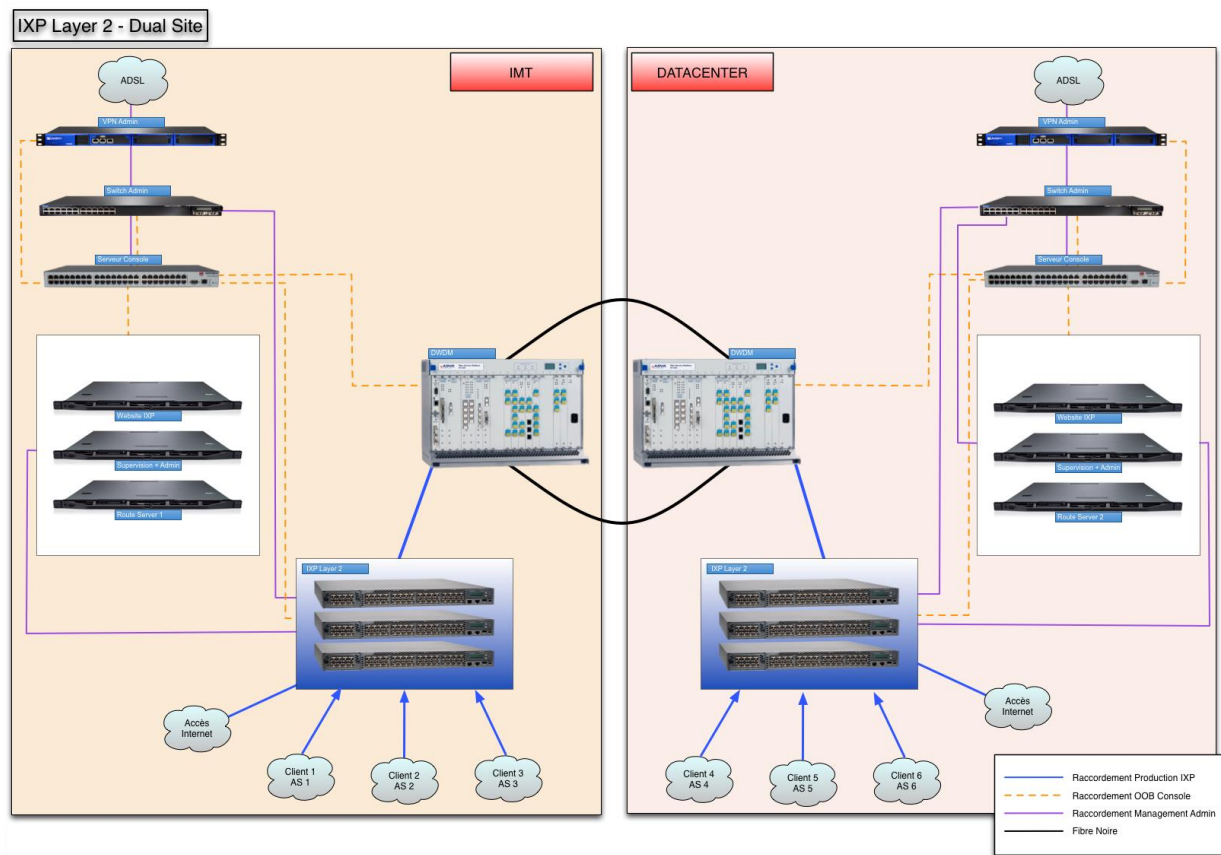
En cas de coupure sur les 2 fibres noires :

- les clusters de chaque site continueront de fonctionner en mode dégradé et pourront traiter le trafic local
- le trafic entre des clients d'un même site continuera d'être acheminé
- le trafic entre des clients de différents sites ne pourra pas être acheminé

En cas de perte complète d'un des deux sites (lié à des coupures fibres ou coupures électriques) :

- le cluster du site restant continuera de fonctionner en mode dégradé et pourra traiter le trafic local
- le trafic entre des clients du site restant continuera d'être acheminé

Figure 5 : Synoptique IXP Layer 2 – Dual Site



4.1.4 Scénario 4 : IXP Layer 3 – Dual Site

Ce scénario présente l'IXP sous sa forme redondée avec une couche Layer 2 et une couche de routage Layer 3. Le design de ce scénario comprend les éléments suivants :

- L'IXP est hébergé dans 2 datacenters (celui de l'IMT et un autre à définir)
 - Avantages : Plan de Reprise d'Activité (PRA) possible
 - Inconvénients : Opérations, Déploiement et Maintenances plus complexes
 - Les datacenters doivent assurer un taux de disponibilité supérieur à 99,671%
- Dans chaque datacenter, tous les équipements sont installés dans 2 Baies cote à cote avec 2 circuits électriques distincts
- L'IXP se compose de 3 switches Layer 2 comportant des ports Giga Ethernet Fibre et d'uplink 10Giga Ethernet rassemblés en un seul cluster dans chaque site
- Les clients de l'IXP se raccordent physiquement sur un des deux sites au choix en Fibre Optique
- Les clients d'un site peuvent peeler en BGP à un autre client présent sur l'autre site
- L'ajout d'un routeur Layer 3 supportant la table de routage d'Internet (~490000 routes) dans un seul des deux sites
- La mise en place de 2 Transitaires raccordés au routeur pour du BGP Multihoming, raccordés au routeur
- La possibilité de revendre du Transit IP aux clients de l'IXP depuis les 2 sites
- Installation de 1 route server pour collecter les routes BGP des clients par site
- Déploiement de 2 fibres noires raccordant les 2 sites pour réaliser une boucle Metro
- Installation d'un équipement de transmission DWDM par site pour allumer les fibres noires
- La mise en place d'un cœur de réseau MPLS pour déployer du Layer 2 VPN entre les sites

Le cluster des 3 switches accepte des pannes telles que :

- perte d'une des 2 arrivées électriques : chaque Switch est composé de 2 alimentations électriques
- perte d'un des switches du cluster : les autres membres du cluster resteront connectés

Le routeur accepte des pannes telles que :

- perte d'une des 2 arrivées électriques
- perte d'une des 2 Routing Engines

L'IXP Dual site peut accepter la coupure d'une des 2 fibres noires :

- tout le trafic est intégralement rerouté vers la seconde fibre noire

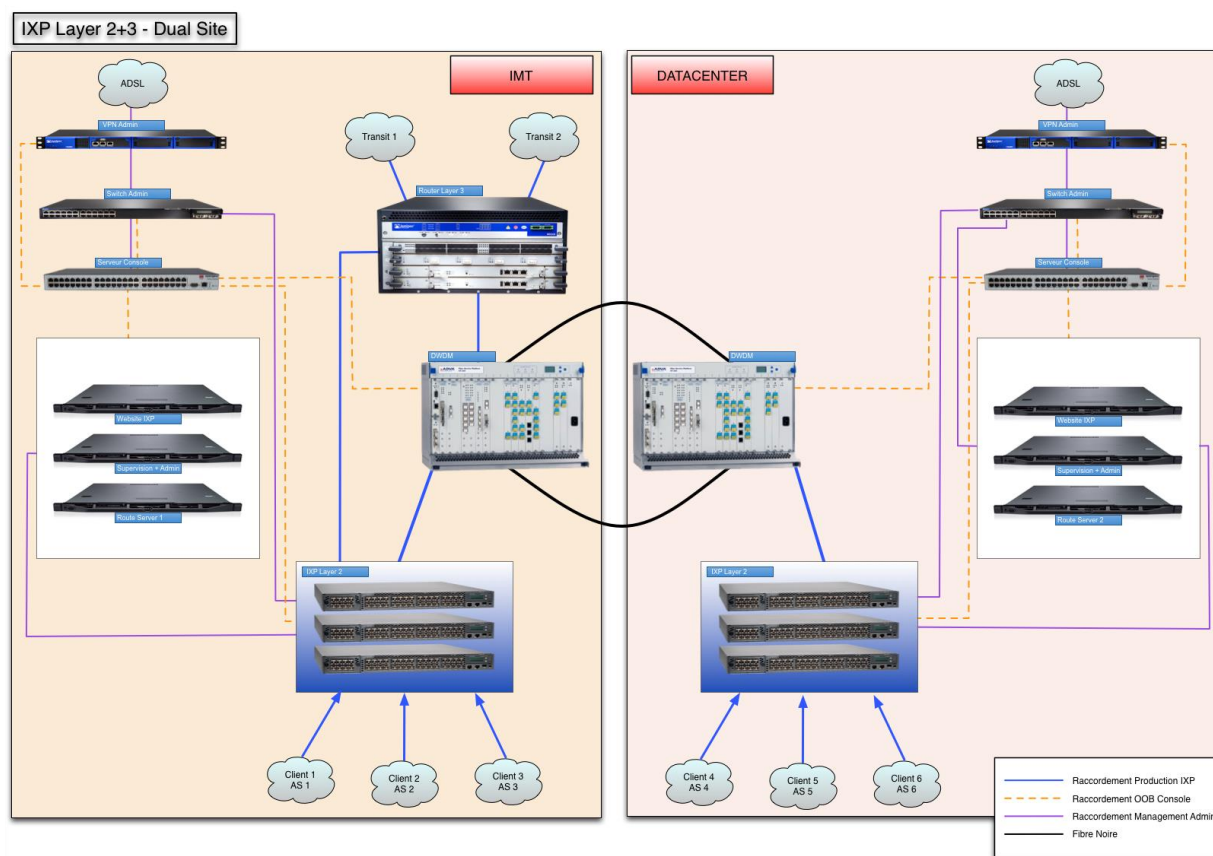
En cas de coupure sur les 2 fibres noires :

- les clusters de chaque site continueront de fonctionner en mode dégradé et pourront traiter le trafic Layer 2 local
- le trafic Layer 2 entre des clients d'un même site continuera d'être acheminé
- le trafic Layer 2 entre des clients de différents sites ne pourra pas être acheminé
- le transit IP (trafic Layer 3) ne pourra être acheminé que pour les clients présents sur le site du routeur

En cas de perte complète d'un des deux sites (lié à des coupures fibres ou coupures électriques) :

- le cluster du site restant continuera de fonctionner en mode dégradé et pourra traiter le trafic local Layer 2
- le trafic entre des clients du site restant continuera d'être acheminé
- le transit (trafic Layer 3) ne pourra être acheminé uniquement :
 - si le routeur est présent dans le site encore en production
 - si les clients du transit sont présents dans le même site du routeur

Figure 6 : Synoptique IXP Layer 2+3 – Dual Site



4.1.5 Synthèse des 4 scénarios

Pour résumer les 4 scénarios proposés pour la mise en place de l'IXP peuvent être synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Synthèse des scénarios

Scénario	Peering	PRA	Transit IP	Contenu
IXP Layer 2 Single Site	X			
IXP Layer 3 Single Site	X		X	X
IXP Layer 2 Dual Site	X	X		
IXP Layer 3 Dual Site	X	X	X	X

4.2 Architecture des différents composants

4.2.1 Design Layer 2 Single Site

Le Design Layer 2 Single Site se repose sur une architecture composée de plusieurs switchs physiques, réunis sous une seule entité logique (ou cluster) que nous appellerons Virtual Chassis.

Virtual Chassis

Le cluster de 3 switchs Layer 2 est vu comme une seule entité logique grâce à la technologie Virtual Chassis.

La technologie Virtual Chassis présente dans ces switchs permet d'interconnecter jusqu'à une dizaine d'équipements, de les gérer comme un seul équipement logique.

Le Virtual Chassis garantit une plus grande fiabilité et une meilleure redondance grâce aux fonctions ISSU (In Service Software Update) ainsi qu'une résistance au facteur d'échelle.

Le plan de contrôle distribue la même information à tous les switchs. Ainsi l'entité logique appelée « Virtual Chassis » dispose de la même information comme si c'était une seule entité physique unique.

De ce fait, les 3 switchs de ce Virtual Chassis sont raccordés via des câbles PCI Express d'une capacité de 128Gbps entre chacun.

Figure 7 : Schéma de raccordement des switch dans le Virtual Chassis



VLAN Unique

Un Vlan unique sera dédié pour tous les clients raccordés sur l'IXP. Ce Vlan est tagué sur tous les ports Ethernet où sont raccordés les clients.

Sur chacun des ports Ethernet, un filtre sera placé pour n'accepter que la Adresse Mac Source du client, afin d'éviter de tricher sur son Adresse Mac (Spoofing).

Une fois raccordé – en Gigabit Ethernet Fibre – à l'IXP, l'équipement de chaque client peut voir les Adresses Mac des autres clients raccordés.

Une adresse IP unique est attribuée à chaque client.

Une fois le port Ethernet du client en production, celui peut joindre les adresses IP des autres clients de l'IXP et monter une session BGP avec ces derniers.

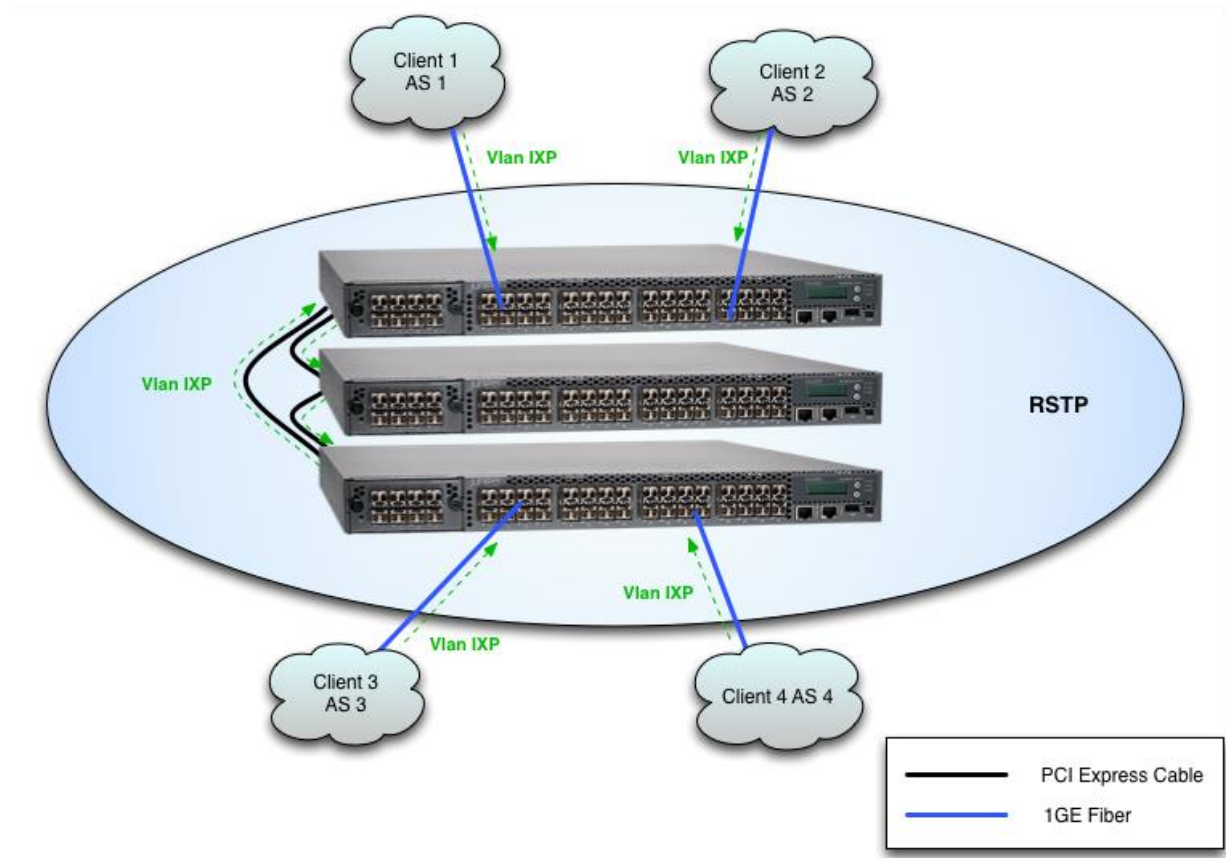
RSTP

Enfin le protocole RSTP 801.w IEEE (Rapid Spanning Tree Protocol) est activé sur tous les ports du Virtual-Chassis afin de maintenir une topologie sans boucle. Plus en détail, cela permet de

bloquer tout port non « désigné » qui souhaiterait émettre des paquets BPDU (Bridge Protocol Data Units).

En effet, la présence de boucles génère des tempêtes Broadcast qui peuvent paralyser tout l'IXP.

Figure 8 : Schéma de Design Layer 2 Single Site



4.2.2 Design Layer 2 Dual Site

L'intérêt majeur du Design Layer 2 Dual Site est de mettre en place un PRA / PCA (plan de reprise d'activité/ plan de continuité d'activité) pour permettre de faire face aux problèmes majeurs auxquels peuvent être confronté l'IXP :

- Catastrophe naturelle
- Piratage informatique
- Crash informatique

Le PCA/PRA requiert obligatoirement un lien entre 2 Datacenter distants.

Le Design Layer 2 Dual Site se base sur le Design Layer 2 Single Site, rajoutant les problématiques d'interconnexion des 2 sites (Datacenters) au travers :

- d'un déploiement de 2 paires de fibre noire pour une boucle
- d'un déploiement d'équipements DWDM pour allumer les fibres noires
- d'un réseau MPLS

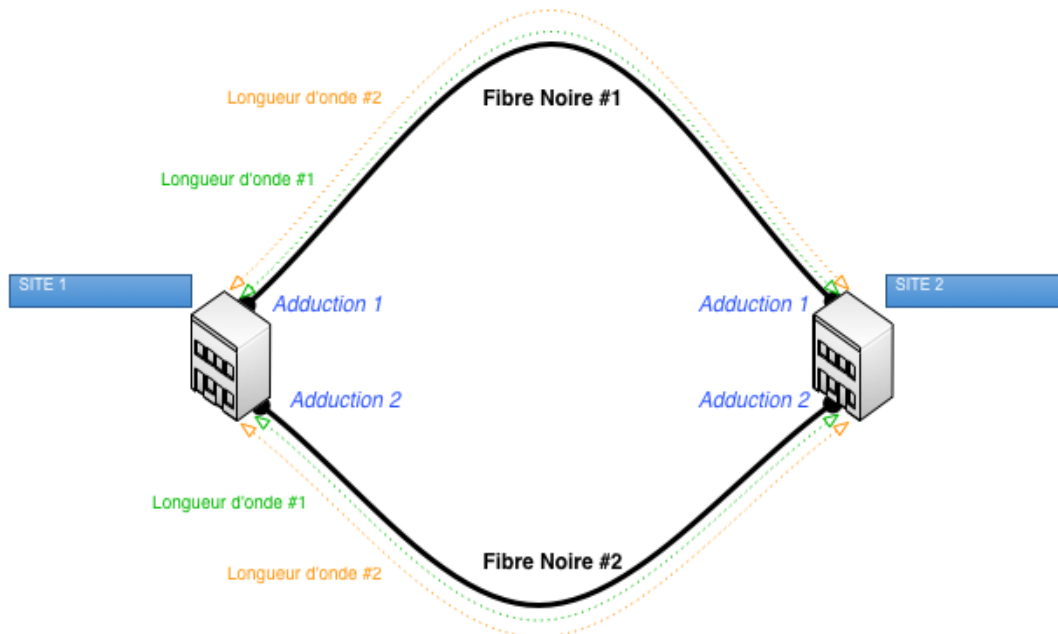
Boucle en Fibre noire

Afin d'assurer une redondance optimale entre les 2 sites, il est fortement conseillé de les raccorder au travers de 2 paires de Fibres noires distinctes passant par des chemins différents.

Le raccordement aux bâtiments se fait grâce aux Adductions via des fourreaux.

Chaque paire de fibre sortant du bâtiment doit emprunter une Adduction différente.

Figure 9 : Schéma de raccordement des sites



Ces fibres noires sont déployées jusqu'aux 2 baies où sont présents les équipements de l'IXP.

DWDM

Compte tenu de la capacité de transmission des fibres optiques entre les sites et afin de d'anticiper une croissance de trafic sur l'IXP, le Multiplexage en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing) permet de transmettre plusieurs signaux de "couleurs" différentes (ou canaux) en même temps.

L'ensemble des répéteurs-régénérateurs d'un site géographique a été remplacé par un seul équipement : l'amplificateur optique. Le WDM évite ainsi tous les coûts de génie civil de repose de fibre optique.

Le principe du WDM est très simple en soit : il s'agit de faire circuler plusieurs longueurs d'ondes sur une même fibre optique. Chaque longueur d'onde est représentée par une couleur. Chaque couleur est retransmise sur un canal différent.

Réseau MPLS

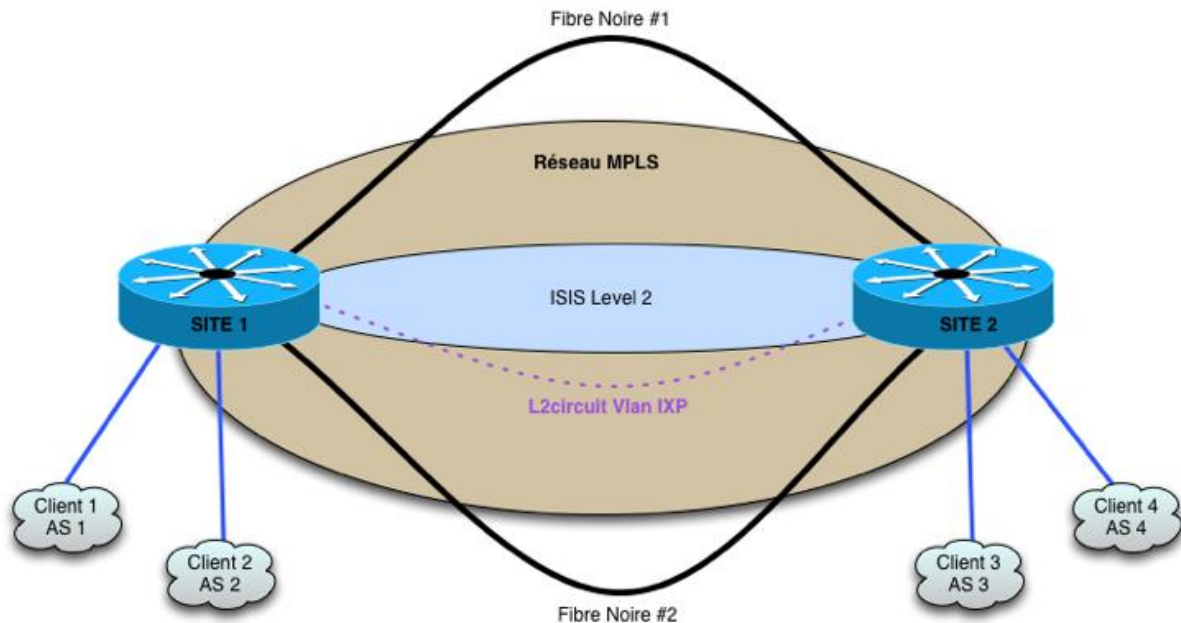
Comme précisé en introduction de ce document, mettre en place une simple architecture Layer 2 (LAN Ethernet) entre ces 2 sites est fortement déconseillé. Une architecture reposant sur du WAN (Wide Area Network) serait plus appropriée.

Pour ce faire, il est nécessaire que le cluster Virtual Chassis puisse intégrer dans l'ordre :

- le routage d'un IGP (OSFP ou ISIS)
- un mécanisme de transport de données basé sur la commutation de labels tel que MPLS (Multi Protocol Label Switching)

- un protocole de signalisation tel que LDP (Label Distribution Protocol) pour établir automatiquement les chemins entre PE (Provider Edge)
- un VPN Layer 2 du type L2circuit / VLL / Pseudowire pour transporter le (ou les) Vlan de l'IXP entre les différents sites.

Figure 10 : Schéma du réseau MPLS



4.2.3 Design Layer 3

Le Design Layer 3 se repose sur une architecture composée du Design Layer 2 Single Site auquel est rajouté un équipement de routage Layer 3, appelé communément routeur.

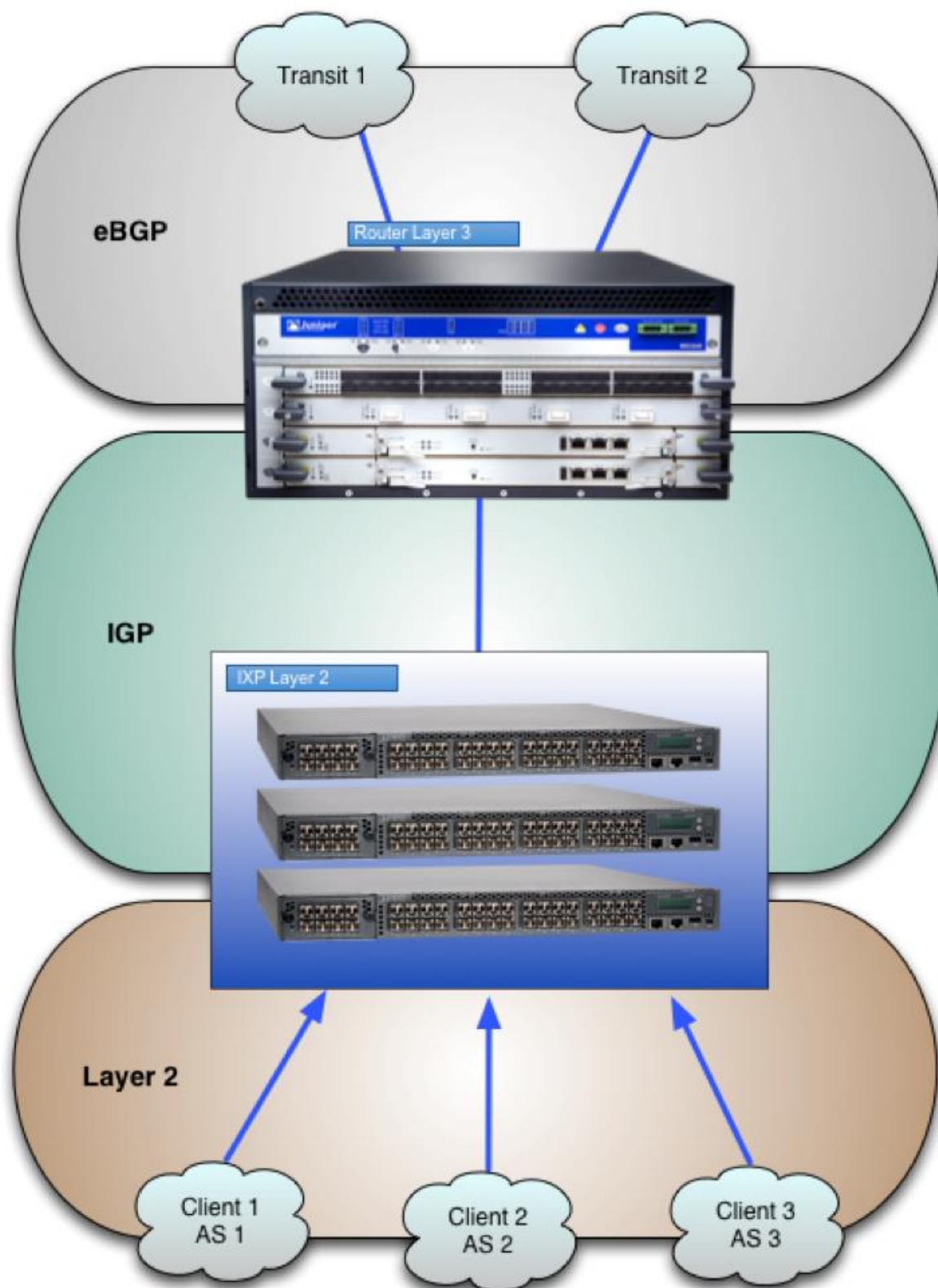
L'objectif de ce design est de pouvoir fournir une capacité de routage reposant sur le protocole BGP pour tout l'IXP ainsi que ses membres.

Le routeur sera la passerelle par défaut de tous les équipements réseau de l'IXP.

Un IGP est mis en place entre les équipements Layer 2 (Switchs Virtual Chassis) et le routeur, afin d'assurer le routage interne.

Enfin le routeur a des sessions eBGP montée avec des fournisseurs de Transit Internet, afin :

- de recevoir la table de routage Internet complète
- d'annoncer les préfixes IP provenant de l'IXP à Internet



4.2.4 Design Reseau OOB / Infra

Pour mener à bien les différentes tâches d'administration et de supervision des systèmes installés, l'IXP doit disposer d'un système de supervision unifié et des outils logiciels nécessaires à l'analyse des flux IP qui transitent sur ses équipements.

Le système de supervision repose dans la mesure du possible sur des technologies web. Il permet l'accès sécurisé aux différentes interfaces depuis Internet. Ce système propose des fonctionnalités de métrologie en plus des fonctionnalités classiques d'un système de supervision.

La configuration du système de supervision permet d'identifier rapidement et précisément toute anomalie sur les différents composants du système. En particulier, la configuration permet de faire ressortir, au niveau de chaque équipement, le dysfonctionnement d'un de ses composants (i.e. panne d'alimentation, température, service arrêté, charge CPU, anomalie sur un disque d'un système RAID, etc.).

Figure 11 : exemple de monitoring du switch

Host ▾	Service ▾	Status ▾	Last Check ▾	Duration ▾	Attempt ▾	Status Information ▾
192.168.24.10	memory	OK	10:58:26	15d 19h 45m 58s	1/4	Driver text:0%,Processor:23%,I/O:64% : 26% : OK
	processor	OK	10:56:39	1d 4h 51m 42s	1/4	CPU : 7 8 8 : OK
	status	OK	10:58:48	29d 19h 1m 9s	1/4	2 Fan OK, 1 ps OK, 1 temp OK : OK
	uptime	OK	10:56:29	1d 17h 59m 52s	1/4	OK: Systemuptime 319 days, 17:41:57.85.

Source CGIX

L'infrastructure d'administration est un réseau comprenant

- 1 serveur de supervision
- 1 serveur de services pour héberger potentiellement le site web de l'IXP
- 1 serveur de console pour administrer tous les équipements en cas d'incident majeur
- 1 serveur VPN pour un accès à distance pour les exploitants avec un firewall
- 1 switch d'administration sur lequel est raccordée l'interface d'administration des serveurs
- 1 station de travail et 1 ligne ADSL de backup

Les flux qui transitent sur le réseau d'administration seront isolés des flux échangés entre les différents membres de l'IXP via leur relation de peering et/ou de transit.

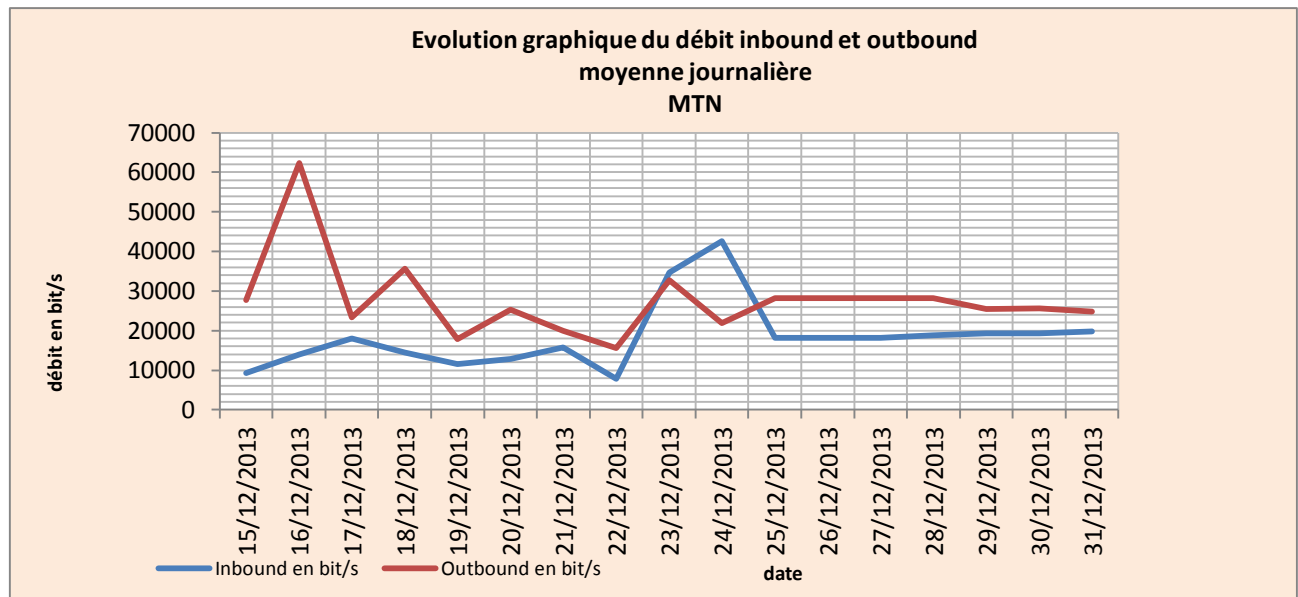
L'ensemble des équipements du réseau d'administration est installé dans la même baie que l'équipement de production.

Les logiciels de supervision et d'administration sont en open source.

Serveur de supervision et d'administration

Le système de supervision permet, sans connaissance approfondie du fonctionnement du système, d'ajouter les paramètres à superviser associés à un nouveau membre de l'IXP. Les fonctionnalités de métrologie du système permettent de produire les graphes associés aux trafics des différents membres de l'IXP.

Figure 12 : exemple de suivi du trafic



Source CGIX

Serveur de services

Le serveur offre les fonctionnalités suivantes :

- Site web public (liste non exhaustive de fonctionnalités)
 - Informations générales sur l'IXP
 - Formulaires
 - Publication de certaines données de trafic qui seront importées depuis le serveur de supervision et administration.
- Extranet (liste non exhaustive de fonctionnalités)
 - Espace personnalisé pour chaque membre (publication de certaines données de trafic importées depuis le serveur de supervision et administration Suivi d'incident
 - Forum
- Serveur DNS public référent pour la zone de l'IXP (serveur web, champ MX, etc.)
- Serveur DNS interne pour permettre d'identifier et d'accéder aux différents équipements de l'infrastructure de l'IXP par leur nom.

4.3 Exploitation de l'IXP

4.3.1 Personnel

Plusieurs options sont possibles : mise à disposition de personnel par les utilisateurs de l'IXP, contrat de sous-traitance avec IMT, mise à disposition de personnel par le projet WARCIP, par l'administration.

Pour le scénario 1, il est prévu :

- une prestation d'un technicien à hauteur d'1/2 jour par semaine, soit 26 jours par an et
- une prestation administrative pour la gestion des contrats avec les opérateurs (facturation, ...) - à hauteur de 15 jours par an.

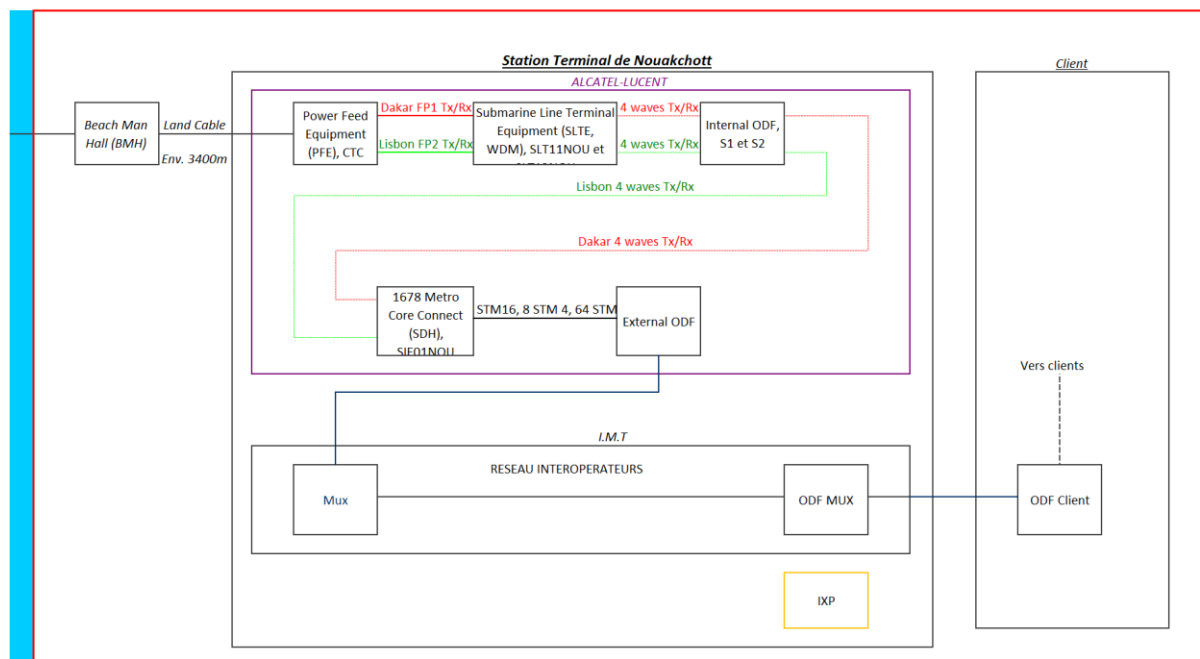
Les 3 autres scénarios se basent sur ces temps en les majorant respectivement pour ce qui concerne le personnel technique de 15% pour la prise en compte du Layer 3 et de 50% pour la prise en compte du multi site. Le personnel administratif demeure identique dans les 4 scénarios.

L'exploitation de l'IXP n'étant pas critique, les horaires de travail seront les horaires de bureau. Cependant un renvoi d'alarme pourra être envisagé vers les techniciens d'astreinte de la station.

4.3.2 Hébergement, énergie et climatisation

Le site survey que nous avons mené nous a permis de constater que les équipements de production de l'IXP peuvent être hébergés dans la salle des machines du bâtiment hébergeant le point d'atterrissage de ACE (environ 2 m²).

Figure 13 : localisation de la baie IXP dans le bâtiment hébergeant le point d'atterrissage de ACE



L'énergie et la climatisation seront fournies par la station. Le site survey indique que les capacités actuelles de la station permettent d'absorber sans difficulté les consommations additionnelles qui sont estimées selon le tableau suivant :

Tableau 3 : Puissance électrique des équipements de l'IXP

Type d'équipement	Puissance en Watt
Switch Ethernet	650
Serveurs	205
Station de travail/mini PC + Ecran + périphériques	205
Routeurs Niveau 3	650
Eclairage	100

4.3.3 Procédures d'exploitation

Le manuel de procédures, les indicateurs suivis, etc seront fournis par le fournisseur des équipements et sera affiné pendant la phase de recette et formation.

Notons que les opérateurs n'installeront pas de matériel actif (routeurs) dans les locaux de l'IXP :

- d'une part, ils ont déjà des routeurs dans leurs locaux et ils auraient donc à réinvestir dans du nouveau matériel ;
- d'autre part, installer ces équipements dans la station impliquerait de créer une salle de colocalisation et de mettre en place un contrôle d'accès pour un gain opérationnel extrêmement faible.

4.3.4 Maintenance

Pour la période suivant la fin de la période de garantie, le fournisseur proposera un tarif de maintenance annuelle de tous les matériels fournis comprenant au moins :

- La réparation ou l'échange standard de chaque type de matériel fourni
- L'accès à une "hot line" aux heures et jours ouvrables pour accéder à un support technique.
- Le recours à la télémaintenance pourra être la première opération menée pour identifier la cause de la défaillance de l'équipement avant toute expédition de matériel.

Si les opérations de télé-diagnostic ne s'avèrent pas efficaces, à la demande de l'IXP, les actions nécessaires à l'identification du défaut de l'équipement devront être prises par le fournisseur.

En cas de défaillance constaté d'un équipement, à la demande de l'IXP, le fournisseur devra pouvoir assurer sa réparation ou son remplacement. Ce service fera l'objet d'une commande entre l'IXP et le fournisseur (réparation et/ou échange standard). Le fournisseur devra s'engager à remplacer et configurer l'équipement réparé ou le remplacement dans les meilleurs délais possibles.

4.3.5 Support

Après la mise en exploitation du système, une prestation d'assistance technique à distance qui couvrira les opérations d'exploitation et de maintenance des systèmes installés devra être assurée. En particulier, cette assistance devra inclure la réalisation des opérations de raccordement effectif d'un nouvel acteur à l'IXP.

Les missions d'assistance technique seront confiées à des experts du fournisseur ayant une bonne compétence pour l'ensemble des matériels et logiciels livrés ainsi qu'une connaissance du projet Mauritanien.

4.4 Spécifications techniques de l'IXP

4.4.1 Environnement

Les équipements informatiques seront installés dans un environnement climatisé. Néanmoins, en cas de panne prolongée de la climatisation, les conditions environnementales peuvent perturber le bon fonctionnement des systèmes informatiques voire entraîner des dommages plus ou moins importants sur les équipements.

Il faut prévoir un système (basculement en mode dégradé, arrêt des équipements, etc.) qui permettra de prémunir automatiquement les systèmes et équipements de tels effets si cette situation devait se produire.

4.4.2 Alimentation électrique

L'architecture prend en compte que l'énergie est apportée par deux circuits indépendants. Les équipements devront avoir des alimentations électriques compatibles avec le réseau public d'électricité de la Mauritanie.

4.4.3 Connectique

La connectique des équipements doit être compatible avec les standards couramment utilisés en Mauritanie (prises électriques, informatiques, etc.)

4.4.4 Matériels d'installation, câblage

Tous les équipements sont fournis avec les lots d'installation et de câblage requis pour la fixation mécanique et l'interconnexion du matériel conformément aux règles de l'art en la matière.

Tout outillage ou accessoire spécifique nécessaire à l'installation, la maintenance ou l'exploitation du système sont livrés avec les équipements.

4.4.5 Switch Ethernet

Type d'équipement	Caractéristiques physiques	Fonctionnalités
Switch Ethernet Layer 3 - production	<p>Taille 1U</p> <p>32 ports 1Gbit/s fibre (SFP);</p> <p>4 ports uplink 1 Gbit/s fibre (SFP) ou 2 ports 10 Gbit/s fibre (SFP+)</p> <p>Double alimentation extractible à chaud</p> <p>Stackable en un seul équipement logique type Virtual Chassis</p> <p>MTBF 166 k-Heures</p>	<p>Administrable</p> <p>VLAN (802.1Q)</p> <p>Mirroring de port</p> <p>Accès distants sécurisés type ssh (mode console)</p> <p>Support des ACL pour la sécurisation des accès pour l'administration</p> <p>SNMP v1, v2 et v3</p> <p>NTP</p> <p>IS-IS</p> <p>MPLS (avec licence si besoin)</p> <p>Agrégation de ports (LACP)</p> <p>Fonctionnalité de type « Syslog »</p> <p>Support du spanning-tree</p> <p>Fonctionnalités de sécurisation du niveau 2 (BPDU guard, ...)</p> <p>Support Radius ou Tacacs</p>
Switch Ethernet Layer 3 - spare	Idem	Idem
Stocks pièces de rechanges Switch (alimentation, ventilateur, connectique)	Alimentation externe et optique de rechange	Lot de rechange pour les pièces les plus à même de faire défaut

Interface cuivre	SFP cuivre RJ45	Compatible 10/100/1000 Mbit/s
Interface optique	SFP SX / LX	1 Gbit/s
Serveurs de route	<p>Serveur 1U rackable de marque reconnue</p> <p>2 Interfaces Gbit/s Ethernet</p>	<p>Linux</p> <p>Support du protocole BGP (Bird ou OpenBGPD)</p> <p>Support des communautés BGP par les route-policy</p> <p>Accès distants sécurisés type ssh (mode console)</p> <p>Gestion ACL</p> <p>SNMP v1, v2 et v3</p> <p>NTP</p> <p>Fonctionnalité de type « Syslog »</p>
Panneau de brassage	24 ports	

4.4.6 Routeur niveau 3

Type d'équipement	Caractéristiques physiques	Fonctionnalités
Routeur Niveau 3	<p>Taille 3U</p> <p>Rackable</p> <p>2 ports 1-Gbit/s ou 2 ports 10-Gbit/s</p> <p>Double alimentation extractible à chaud</p> <p>2 cartes de routage (actif/passif)</p>	<p>Routage externe via le protocole BGP</p> <p>Routage interne via le protocole IS-IS ou OSPF</p> <p>Mécanisme pour assurer la redondance sur les liens/ports du routeur</p> <p>Accès distants sécurisés type ssh (mode console)</p> <p>Gestion ACL</p> <p>SNMP v1, v2 et v3</p> <p>NTP</p> <p>MPLS</p> <p>Fonctionnalité de type « Syslog »</p>
Stocks pièces de rechanges Routeur (alimentation, carte routage, ventilateur)		Lot de rechange pour les pièces les plus à même de faire défaut avec a minima 2 alimentations externes
Interface optique 1 Gbit/s	SFP SX / LX	1 Gbit/s
Interface optique 10 Gbit/s	SFP+ SR / LR	10 Gbit/s

4.4.7 DWDM

Type d'équipement	Caractéristiques physiques	Fonctionnalités
DWDM passif - production	<p>19" rackable</p> <p>Multiplexeur 16 canaux</p>	Mux/demux DWDM passif

	interface Gbit Ethernet	
DWDM passif - spare	Idem	Idem
Interface optique DWDM	SFP coloré (4 paires d'optiques sur différentes longueurs DWDM + 1 paire de spare)	

4.4.8 Réseau d'administration

Type d'équipement	Caractéristiques physiques	Fonctionnalités
Switch Ethernet	24 ports 1Gbit/s Ethernet cuivre Du même fournisseur que le switch Layer 3	Administrable VLAN (802.1Q) Accès distants sécurisés type ssh (mode console) Support des ACL pour la sécurisation des accès pour l'administration SNMP v1, v2 et v3 NTP Support du spanning-tree Fonctionnalités de sécurisation du niveau 2 (BPDU guard, ...)
Station de travail PC + Ecran + périphériques	PC de marque reconnue	
Serveur de supervision	Serveur 1U rackable de marque reconnue 2 interfaces Gbit/s Double alimentation Disques en mode RAID1 (mirroring)	suite LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) Fournis avec les logiciels de supervision Nagios + Observium + Rancid Pare-feu intégré Serveur syslog Un outil de ticketing web pour l'ouverture /suivi des tickets par les clients de l'IXP Request Tracker. NTP DNS interne Accès distants sécurisés type ssh (mode console) Serveur web Apache Serveur de mail (Postfix)
Serveur de console	Serveur 1U rackable de marque reconnue 16 ports console 1 port Fast Ethernet	Accès sécurisés type ssh (mode console) Plusieurs connexions console simultanées
Serveur VPN	Serveur 1U rackable 2 interfaces Gbit/s	Parefeu intégré IPSec

		Accès distants sécurisés type ssh (mode console) Client compatible avec PC Windows/Linux/ Apple Ios Pouvant supporter 10 connexions simultanées
Serveur de service	Serveur 1U rackable de marque reconnue 2 interfaces Gbit/s Double alimentation Disques en mode RAID1 (mirroring).	suite LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) Accès distants sécurisés type ssh (mode console) Serveur DNS interne (Bind ou PowerDNS) NTP Radius TFTP Serveur SVN serveur de mail (Postfix) Anti-spam et anti-virus

4.4.9 Récapitulatif des équipements nécessaires

Tableau 4 : Nombre d'équipements dans chaque scénario

Type d'équipement	Scénario 1 :	Scénario 2 :	Scénario 3 :	Scénario 4 :
	Layer 2	Layer 2+3	Layer 2	Layer 2+3
	Mono site	Mono site	dual site	dual site
Switch Ethernet - production	2	2	4	4
Switch Ethernet - spare	1	1	2	2
Stocks pièces de rechanges Switch (alimentation, ventilateur, connectique)	1	1	2	2
Interface cuivre / Fibre optique	1	1	2	2
Interface optique Switch SX / LX (20) et SR/LR (8)	1	1	1	1
Serveurs de route	2	2	2	2
Panneau de brassage	1	1	2	2
Routeur Niveau 3		1		1
Stocks pièces de rechanges Routeur (alimentation, ventilateur)		1		1
Interface optique SX/LX (20) et SR/LR (8)		1		1
DWDM passif - production			4	4
DWDM passif - spare			1	1
Interface optique DWDM			10	10
Serveur de supervision	1	1	2	2
Serveurs de console	1	1	2	2
Serveurs VPN	1	1	2	2
Serveurs de service	1	1	1	1
Switch VPN	1	1	2	2
Station de travail/mini PC + Ecran + périphériques	1	1	1	1

4.5 Spécifications des services

Les services suivants devront être fournis par le fournisseur des équipements :

4.5.1 Gestion de projet

Le fournisseur désignera dans un délai maximum de 30 jours après la signature du marché un chef de projet qui sera l'interlocuteur du projet WARCIP maître d'ouvrage pour tous les aspects liés à la réalisation du marché et ce jusqu'à sa recette définitive.

Le chef de projet outre ses attributions de suivi de la bonne marche des opérations, sera disponible pour répondre à toute demande de renseignements de la part du maître d'ouvrage, en particulier sur les points suivants :

- Respect du chronogramme de réalisation du marché
- Difficultés rencontrées pouvant mettre en cause la date de mise en service
- Procédures mises en œuvre pour la réalisation, nombre et identification du personnel présent sur les chantiers, actions en cours et prévues, etc.

Une réunion de démarrage de projet à laquelle participera le fournisseur sera organisée par le maître d'ouvrage. Le fournisseur pourra y participer physiquement ou par télé ou audio conférence

Le projet WARCIP désignera également un chef de projet qui sera l'interlocuteur du fournisseur.

4.5.2 Emballage - assurance - transport - déplacements

Dans son offre, le fournisseur prendra en compte les éléments suivants :

- Tous les équipements seront livrés CIP/DDP Mauritanie Nouakchott (Incoterm 2010)
- Le déplacement de son personnel sur les différents sites concernés par le projet (réunion de suivi de projet, installations, réceptions, formations, etc.).

5.3 Sites d'hébergements des systèmes

Le fournisseur précisera dans son offre les contraintes environnementales (espaces au sol, espace de travail, sources d'alimentation, etc.) liées à l'installation de ses différents équipements.

Une visite du site destiné à héberger l'IXP est possible et n'est pas obligatoire. Le projet WARCIP fournira toutes les informations concernant le site sur lequel seront installés les équipements.

Le fournisseur sera supposé avoir pris connaissance des lieux et des locaux techniques avant l'installation de ses systèmes afin qu'aucune difficulté ne soit ignorée.

Le fournisseur devra informer le projet WARCIP des travaux qu'il estime nécessaire (génie civil, etc.) pour la mise en conformité du site avec les prérequis et les contraintes environnementales tels que exprimés par le fournisseur dans sa réponse.

4.5.3 Installation et mise en service

L'installation comprendra les tâches suivantes sans que cette liste soit exhaustive :

Placement ou fixation mécanique de tous les matériels fournis y compris la station de travail

- Câblage électrique et informatique

- Interconnexion aux réseaux électrique et informatique, etc.
- Chargement et paramétrage complet des systèmes.

L'installation des équipements devra être conforme aux règles de l'art en la matière pour les environnements dans lesquels ils seront installés (bureaux, salle informatique, etc.) et respecter les normes en vigueur en Mauritanie.

Les tests consisteront à effectuer les essais et contrôles nécessaires pour démontrer le parfait état de fonctionnement de tout le système conformément aux spécifications contractuelles.

Les travaux résultant de l'application du marché seront tous effectués en accord avec le maître d'ouvrage.

Toutes les précautions nécessaires pour assurer la sécurité du personnel, des locaux et du matériel, sont prises par le fournisseur dans le cadre de ses interventions ou de celles de ses sous-traitants éventuels.

Toutes les dégradations constatées sont portées à la charge du fournisseur, sans qu'il ne puisse invoquer un cas de force majeure, à charge pour lui de se retourner contre le responsable éventuel des dommages.

En conséquence, le fournisseur ou ses sous-traitants éventuels prennent à leur compte la mise en place des protections nécessaires, afin de protéger leurs travaux, les installations et matériels du projet WARCIP ou de tiers contre les chocs, détériorations quelconques, poussières, etc., jusqu'à la réception des travaux, ainsi que les remises en état.

Si le fournisseur dégrade des équipements dont il n'assure pas lui-même le remplacement ou la réparation, ceux-ci pourront être effectués par les entreprises compétentes désignées par le maître d'ouvrage, et ceci à la charge du fournisseur.

Le fournisseur ou ses sous-traitants éventuels assurent un nettoyage journalier de leur chantier. Les emballages, etc. sont régulièrement évacués à l'extérieur des sites, immédiatement s'ils présentent une entrave à la circulation ou à la sécurité.

La réception provisoire n'est réalisée qu'après constatation par le projet WARCIP du nettoyage complet des sites et locaux concernés.

Avant tout commencement des travaux, le fournisseur se renseigne afin de connaître toutes les servitudes imposées par la réalisation de l'ensemble des prestations.

Les travaux susceptibles de créer des nuisances (bruit, poussière, interruption de l'alimentation électrique, etc.) sont planifiés avec le maître d'ouvrage. Ils peuvent avoir lieu en dehors des heures ouvrées ou ouvrables, sans que cela ne puisse occasionner de plus-value ou de supplément de prix.

Le fournisseur effectuera les tests et configurations nécessaires et démontrera le parfait état de fonctionnement de tout le système y compris ses interconnexions conformément aux performances contractuelles en présence du personnel du projet WARCIP ou de ses représentants.

4.5.4 Réception

La réception des installations se décomposera en deux temps :

- La réception provisoire en Mauritanie
- La réception définitive en Mauritanie.

Les prestations de réception provisoire et définitive seront réalisées sur le site concerné et seront prises en compte dans le chiffrage de la proposition.

Tout équipement spécifique nécessaire aux phases de réception des installations doit être fourni par le fournisseur.

Réception provisoire

La réception provisoire portera sur l'ensemble des travaux, équipements et logiciels fournis par le fournisseur et leur intégration dans l'environnement local - sans que cette liste soit exhaustive : équipements d'infrastructure et équipements actifs, réseaux locaux, câblage, matériels et logiciels de supervision, station de travail, etc...

Les tests et contrôles effectués devront démontrer que :

- Tous les travaux sont réalisés dans les règles de l'art et conformément au marché
- Tous les équipements et logiciels proposés sont fournis et installés sur le site
- Tous les équipements sont opérationnels et connectés
- Tous les équipements et systèmes fonctionnent correctement selon les spécifications techniques et le marché (inspection visuelle, tests techniques, etc.)
- Tous les services contractuels sont fournis (documentation, formation, etc.)

Ces vérifications seront effectuées par le projet WARCIP et/ou ses représentants en présence et avec le support du fournisseur.

Le fournisseur proposera au maître d'ouvrage, au moins six semaines avant le début de la réception, le cahier de réception provisoire composé de fiches d'essais, fiches elles-mêmes déclinées en pas de test, correspondant aux différents sous- systèmes objet de la recette provisoire.

Les fiches d'essais sont répertoriées selon une nomenclature laissée au libre choix du fournisseur. Le projet WARCIP aura toute latitude pour amender le cahier de fiches d'essai et proposer les essais complémentaires qu'il juge nécessaire. Ces modifications sont intégrées par le fournisseur dans les cahiers de fiches d'essais.

La réception provisoire sera réalisée sur la base de ce cahier de fiches d'essais. Le projet WARCIP pourra réaliser tout ou partie des essais qu'il juge pertinents parmi ceux contenus dans le cahier de fiches d'essais.

Les constatations faites par le projet WARCIP seront consignées dans un procès- verbal mentionnant, s'il y a lieu, les réserves du fournisseur et signé des deux parties.

Suite à la signature de l'ensemble des différents certificats de recettes provisoires signés par les deux parties, le procès-verbal de recette provisoire du système complet pourra être prononcé.

En cas de défauts majeurs ou trop nombreux, le projet WARCIP peut prendre une décision d'ajournement ou de rejet des prestations.

Le fournisseur réalise les mises en conformité des différentes réserves qui ont été consignées sur le procès-verbal de recette. La levée des réserves est réalisée par le projet WARCIP en présence du fournisseur, et sans supplément de prix.

Réception définitive

La réception définitive est prononcée un an après la recette provisoire à la condition que les réserves vues pendant la recette provisoire et les éventuels dysfonctionnements détectés pendant l'année qui suit cette recette provisoire soient levés.

4.5.5 Garantie

La période de garantie démarre à la date de signature du procès-verbal de recette provisoire du système complet.

Le fournisseur prévoira une période de garantie de 12 mois minimum pour les fournitures matérielles et logicielles.

Le fournisseur proposera en option une extension de garantie sur les sous-systèmes suivants et avec les options suivantes :

Pendant la période de garantie le fournisseur assure gratuitement (matériel, logiciel, main d'œuvre, déplacements et frais compris), les prestations suivantes :

- Le remplacement, la mise à niveau, la réparation de tout type de travaux ou équipements fournis et constaté défectueux (sauf en cas de détérioration consécutive au non-respect des conditions normales d'utilisation)
- La mise à disposition des nouvelles versions des matériels ou logiciels ayant évolué suite à correction de défauts ou bugs entraînant un dysfonctionnement majeur du système considéré.
- L'accès à une "hot line" aux heures et jours ouvrées pour accéder à un support technique.

Tout équipement réparé ou échangé pendant la période de garantie sera garanti sur une nouvelle période de 12 mois à compter de sa remise en service.

Modalités de mise en œuvre des mises à niveau : avant toute mise à niveau, le fournisseur aura informé, par écrit et de façon détaillée le responsable de l'exploitation des incidences de la mise à niveau (impacts potentiels sur les fonctions, pour l'exploitation, etc.).

Pour chaque mise à niveau, le fournisseur remettra les modificatifs de la documentation et assurera, si les impacts des changements le nécessitent, la formation des exploitants. Les mises à niveau ne pourront avoir lieu qu'après accord écrit et dans les conditions définies par le maître d'ouvrage.

4.5.6 Documentation

Tous les systèmes seront proposés avec un jeu de documentation. La documentation devra permettre :

- De connaître sans ambiguïté les caractéristiques des produits livrés
- De connaître l'architecture physique et logique des systèmes installés
- D'exploiter et de superviser le système / sous-système / etc.
- De déterminer l'élément défectueux en cas de panne ou problème
- De procéder à son remplacement
- D'identifier les constituants et de permettre la traçabilité des équipements.

Les documents de type manuels utilisateur, fiches et procédures de maintenance, etc. seront en langue française ou anglaise.

La documentation fait partie de la fourniture et reste en totalité la propriété du maître d'ouvrage. Aucune réserve ne sera admise au sujet de sa reproduction par le projet WARCIP pour les besoins de l'exploitation.

4.5.7 Formation

L'exploitation et la maintenance de niveau 1 du système seront assurées par les agents du maître d'ouvrage. Ceci étant, le fournisseur proposera une formation en Mauritanie. Il proposera avec son offre un plan de formation qu'il jugera approprié aux équipements et logiciels proposés en détaillant la durée des sessions et le contenu des formations. Ce plan de formation sera discuté pour approbation avec le maître d'ouvrage. Le fournisseur indiquera quelles sont les connaissances pré-requises qu'il considère nécessaires à une participation fructueuse au plan de formation proposé.

Les coûts de formation devront intégrer l'ensemble des prestations et moyens nécessaires au bon déroulement de cette formation.

Chaque session de formation sera animée par un formateur professionnel, ayant une bonne compétence sur l'ensemble des logiciels et matériels livrés ainsi qu'une bonne connaissance du projet Mauritanien.

Le fournisseur proposera dans sa réponse un contenu et un chronogramme de formation qui permettront de réaliser les formations dans un temps raisonnable et aux agents de maîtriser les fonctionnalités des systèmes proposés.

La formation sera dispensée en langue française ou anglaise et les supports de cours seront rédigés en français ou en anglais. Tous les supports de formation et documents remis aux stagiaires seront à jour et correspondront aux versions matérielles et logicielles des systèmes fournis.

Le fournisseur indiquera dans son offre quels sont les pré-requis demandés aux stagiaires pour le suivi des formations prodiguées.

Formation en Mauritanie

La formation en Mauritanie se fera sur le système préalablement installé par le fournisseur dans une configuration correspondant à une véritable activité d'échange. Elle consistera à former les ingénieurs et techniciens du maître d'ouvrage. La formation sera dispensée sur les équipements du système IXP installé.

Le fournisseur prendra à sa charge les frais de voyage, d'hébergement et de logistique de son formateur pour la formation en Mauritanie.

4.5.8 Plan projet

Le fournisseur devra fournir un chronogramme des travaux et prestations associés à la mise en œuvre du système IXP. Ce chronogramme indiquera clairement les différentes étapes de réalisation du marché en identifiant toutes les principales activités soit au moins :

- Date d'entrée en vigueur du marché
- Ingénierie du système
- Période d'approvisionnement des équipements
- Transport
- Livraison sur le site
- Installation, configuration, tests
- Recette provisoire
- Formation
- Recette définitive

Le fournisseur devra préciser dans son offre de quelle manière il envisage le partage des principales responsabilités entre lui-même, le projet WARCIP et toutes autres tierces parties associées (sous-traitance en Mauritanie par exemple) à la fourniture et à l'installation du système, et indiquer les moyens que le fournisseur se propose d'employer pour coordonner les activités de chacune des parties concernées, afin d'éviter les retards ou les chevauchements. Il joindra à son offre une matrice de responsabilité indiquant clairement les responsabilités qui lui incombent et celles incombant au projet WARCIP ou aux autres.

4.6 Synthèse

Différents scénarios sont donc possibles pour la mise en œuvre de l'IXP. Nous recommandons une démarche en 2 étapes :

- Une 1^{ère} étape court terme (avant fin 2014), avec une plateforme IXP mono site Layer 2, localisée dans le bâtiment hébergeant le point d'atterrissage de ACE. L'objectif de cette phase est de rapatrier sur Nouakchott l'échange de trafic fait entre les opérateurs à Dakar.
- Une 2^{ème} étape, à plus longue échéance, avec une plateforme IXP dual site Layer 3 (station ACE et datacentre). Les 2 sites seront raccordés via une architecture WAN (Wide Area Network) plus résiliente qu'une simple architecture LAN Ethernet. L'objectif de cette étape est de sécuriser la plateforme et de pouvoir proposer des services aux hébergeurs de contenus/applications et peut être des FAI indépendants qui seront présents au niveau du datacentre.

5. Etudes de cas

5.1 Introduction

L'étude de faisabilité d'un point d'échange Internet (IXP) dans le cadre du projet WARCIP Mauritanie inclut un benchmark international portant sur les aspects réglementaires et juridiques, organisationnels, techniques et tarifaires des IXP.

Notre proposition technique retenait cinq pays pouvant servir de référence dans le cadre de ce benchmark : Belgique, Canada, France, Tunisie et RDC. Nous avons finalement écarté l'exemple du Canada et de la Belgique, très proches de celui de la France. Nous y avons ajouté le Kenya, l'Afrique du Sud et la Suède.

Nous avons donc procédé à une analyse des conditions légales et réglementaires dans ces Etats en mettant l'accent, en particulier, sur le régime réglementaire appliqué à l'entité qui possède et exploite l'IXP (autorisation/déclaration/liberté, interconnexion).

Par ailleurs, afin de réaliser ce benchmark, un questionnaire a été envoyé à certains intervenants du secteur.

Le questionnaire abordait les thèmes suivants :

- La description du contexte pays en matière d'accès Internet
- Présentation de l'IXP
- La gouvernance de l'IXP
- Business model
- Aspects légaux et réglementaires
- Les modalités d'exploitation
- Les bénéfices apportés et les perspectives

Ont répondu Charles Kikunda, de la société Afrinet congolaise (RDC), Pierre Baume de l'IXP Netnod (Suède). Nous avons également eu un entretien avec M. Franck Simon en charge de France IX.

Avant d'aborder chacun des pays, nous présenterons le contexte général des aspects réglementaires.

5.2 Propos généraux

Concernant les modèles institutionnels et opérationnels pour les IXP, il ressort d'un rapport de l'Internet Society de 2009, rédigé par Mike Jensen, que 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.

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 doivent 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.

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.

5.3 Kenya³

Comme le mentionne l'étude de Mike Jensen, KIXP à Nairobi est exploité par la Télécommunication 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.

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,

³ Les développements qui suivent sont tirés du rapport de l'Internet Society de 2009 « favoriser l'utilisation des points d'échange Internet », rédigé par Mike Jensen.

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 supplémente 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 GPS afin 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 internationales. 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.

5.4 Afrique du Sud⁴

La plus grande ville d'Afrique du Sud héberge le Johannesburg Internet Exchange (JINX), exploité par l'Internet Service Providers' Association (ISPA), un organisme à but non lucratif de l'industrie Internet. L'ISPA regroupe à ce jour 169 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.

5.4.1 Exploitation

Tous les membres de l'ISPA sont liés par le code de conduite de l'Association. Ce code exige de tous les membres le respect de certaines normes en matière de vie privée, de protection des consommateurs, de spam et de protection des mineurs.

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.

5.4.2 Business model

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

⁴ Les développements qui suivent ont comme source le rapport de l'Internet Society de 2009 « favoriser l'utilisation des points d'échange Internet », rédigé par Mike Jensen et la section INX du site de l'ISPA <http://ispa.org.za/inx/>

inégal sur d'autres. Même si la plupart des participants doivent louer des lignes de données 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.

La grille tarifaire pour l'interconnexion pour les membres de l'ISPA est la suivante⁵ :

Débit	Statut membre	Tarif mensuel
10 Gbps	Large	466 USD
1 Gbps	Large	233 UD
100 Mbps	Medium	116 USD
10 Mbps	Small	58 USD

La grille pour les non-membres de l'ISPA est la suivante⁶ :

Débit	Tarif mensuel
10 Gbps	1 170 USD
1 Gbps	935 USD
100 Mbps	303 USD
10 Mbps	Pas disponible

5.4.3 Aspects légaux et réglementaires

Si l'on se réfère au Telecoms Act, du 30 mai 2000 et à l'Electronic Communications Act, du 18 avril 2005, l'exploitation des IXP semble entrer dans ces catégories d'exemption de licence.

Quant au régime d'interconnexion applicable, 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 actionariat 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 ;

⁵ <http://ispa.org.za/inx/inx-policy/>, un ZAR = 0,0936 USD

⁶ <http://ispa.org.za/inx/inx-policy/>

- 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.

5.5 République démocratique du Congo

5.5.1 Présentation de l'IXP

Concernant le paysage local en matière d'accès à Internet, 10 FAI actifs se partagent le marché, 6 ont une couverture nationale et 4 des couvertures régionales ou locales.

Le débit moyen par abonné Internet est de 64/128 kbps. Les technologies utilisées sont la fibre, la BLR et les FH. Les FAI possèdent leurs propres backbones et n'utilisent pas l'infrastructure de l'opérateur historique.

Presque tous les ISP disposent de serveurs caches mais les acteurs majeurs (ex : Google, Facebook...) n'ont pas installé des caches/CDN. Des démarches seraient en cours.

La connectivité internationale est réalisée par le câble sous-marin VSAT, et le câble sous-marin à utiliser dans un avenir proche est le WACS. Le tarif au Mbit/s pour l'accès à la bande passante internationale est de 2 000 dollars en moyenne.

Les équipements ont été mis en service en novembre 2011, dans le cadre d'un projet visant à conserver le caractère local du trafic, porté et monté par des acteurs privés, en l'occurrence l'Association des fournisseurs d'accès Internet (ISPA-DRC⁷)

L'Internet Service Provider Association Democratic Republic of Congo (ISPA-DRC) est une organisation non gouvernementale de droit congolais, résultant de la volonté manifestée par les opérateurs du secteur Internet désireux de contribuer, par leurs connaissances et expériences dans le domaine Internet, au développement des technologies de l'information et de la communication (TIC) en République Démocratique du Congo. Les résultats poursuivis par ISPA-DRC se résument en l'augmentation de la productivité du travail, grâce à la maîtrise et la vulgarisation de l'outil informatique, avec comme conséquence le développement socioéconomique du pays. ISPA-DRC a pour rôle la défense des intérêts des entreprises vendant les services Internet et la promotion des nouveaux services Internet. Actuellement, ses membres représentent plus de 85 % du nombre total de connexions Internet en République Démocratique du Congo. Les activités de ISPA-DRC sont exercées sur toute l'étendue de la République Démocratique du Congo et partout où ses intérêts se font sentir. ISPA-DRC se constitue en groupe de travail pour traiter de dossiers multiples tels que :

- Les aspects de régulation des télécommunications ;
- Les aspects légaux de la profession ;
- Les aspects techniques.

Outre ces dossiers, ISPA-DRC se penche aussi sur les questions cadrant avec la gestion de problématiques spécifiques ou de projets exceptionnels dans le domaine de l'Internet.

L'organisation comprend 8 membres (dont Afrinet).

Concernant le projet RDC-IX, il est présenté comme l'infrastructure moderne de Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication concourant à l'implémentation des points d'échanges (IXP) à travers les différentes villes de la République Démocratique du Congo. Ce projet permettra au trafic local entre opérateurs Internet situés dans une même ville de rester

⁷ www.ispa-drc.cd

local et aussi au trafic entre les opérateurs Internet éparpillés à travers les différentes villes du pays de rester national ; évitant ainsi les multiples bonds satellitaires que connaissent actuellement ces opérateurs pour échanger les contenus. En plus, RDC-IX deviendra l'emplacement naturel d'hébergement d'une foison d'autres services qui réduiront les exigences en largeur de bande passante tout en améliorant la vitesse, la qualité de services, la fiabilité et aussi en contribuant à la réduction de la faussée numérique tant décriée comme frein à la participation au processus de la modernité.

5.5.2 Modèles institutionnels et Opérationnels

RDC-IX a souscrit pour le modèle « association des ISP à but non lucratif ». A ce titre RDC-IX sera doté d'un personnel permanent. RDC-IX demeure une organisation sans but lucratif et reste détenu par l'ensemble de ses membres regroupés au sein de ISPA-DRC. Les activités réseau des membres RDC-IX inclueront la transmission du contenu et des services provenant des tiers.

Sur le plan technique, RDC-IX fonctionnera sous la couche 2 en lieu et place de la couche 3. Dans ce modèle, chaque membre fournit son propre routeur et l'échange se fait via le commutateur. RDC-IX opte pour un peering multilatéral. Le reste des modèles feront l'objet des accords entre membres, ou gouvernement (peering bilatéral, peering multi ou bilatéral obligatoire).

5.5.3 Coût

Coût de raccordement payé une seule fois et cotisation mensuelle ou trimestrielle des membres, pour la maintenance et le suivi des équipements.

Les différents coûts relatifs au raccordement au RDC-IX sont à la charge de chaque membre.

Aucun service additionnel à l'interconnexion n'est proposé à ce jour.

Il est encore tôt pour évaluer le projet IXP.

5.5.4 Gouvernance de l'IXP

Une organisation communautaire a été retenue pour la possession, l'exploitation et la commercialisation des services afin de faciliter l'intégration de tous les ISP.

Les relations entre l'organisation et l'AfriNIC, l'ICANN et l'entité en charge de la gestion des noms de domaine du pays reposent sur la base d'un partenariat.

5.5.5 Business model

La finalité économique de l'IXP repose sur un modèle communautaire et n'a pas vocation à réaliser des bénéfices. Il n'y a pas encore de grille tarifaire des différents services proposés.

Aucun business plan n'a été réalisé préalablement à la décision d'investissement et à part les revenus tirés des membres, il n'y a pas d'autres recettes.

5.5.6 Aspects légaux et réglementaires

Seule une information du régulateur a été nécessaire pour posséder et exploiter l'IXP.

Concernant l'IXP, aucun texte national (lois, décrets, autres) n'impose d'obligations spécifiques, notamment en matière d'accès ouvert et d'interconnexion, de tarifs, de qualité de service.

Pour le moment, l'IXP n'est pas considéré comme une infrastructure essentielle car il n'est pas encore vulgarisé.

Les accords d'échange de trafic entre deux réseaux indépendants sans contrepartie financière (peering agreements) sont possibles, mais pas le routage, pour un FAI, du trafic de ses clients vers le reste du monde en utilisant les services d'un fournisseur de bande passante internationale, moyennant échanges monétaires (contrats de type SLA).

Il n'existe aucun texte spécifique sur des droits d'accès au domaine public ou au domaine privé.

Sur les aspects juridiques, la structure porteuse de l'IXP est régulée par le régulateur national. Ce dernier prépare les directives à mettre en place.

Il n'existe pas de règles gouvernant les relations entre les parties ayant installé leurs équipements à l'IXP pour le « peering », ni de règles spécifiques gouvernant les relations entre ces parties et l'entité exploitant le bâtiment (pour l'accès au bâtiment des équipes techniques, pour les modalités d'accès à la connectivité, etc.).

5.5.7 Exploitation

L'IXP est hébergé dans un local neutre. Il n'existe pas de backup. Les conditions techniques imposées pour installer des équipements sont les suivantes :

- Etre membre de ISPA-DRC
- Avoir un AS number
- Etre reconnu par le gouvernement
- Amener une connexion à l'IXP et un routeur.

Les conditions techniques et tarifaires au titre du raccordement des équipements des opérateurs et des FAI situés dans l'IXP avec leurs réseaux consistent en un montant forfaitaire équitable.

L'exploitation technique et la supervision de l'IXP est assurée par une commission technique composée d'une dizaine de membres, ingénieurs réseaux et systèmes.

L'exploitation commerciale est un modèle communautaire.

5.5.8 Bénéfices apportés et perspectives

L'IXP a permis de réduire la latence de 600 ms à 10 ms. Le volume de trafic transitant par l'IXP est de 512 Kbps.

Documents disponibles : statuts de l'ISPA-RDC :

Création d'une association sans but lucratif (ISPA-DRC) établie à Kinshasa, pour une durée indéterminée et ayant pour objectifs, entre autres, de promouvoir la collaboration entre les FSI et de promouvoir l'interconnexion des réseaux des ISPs, via les IXP.

Les membres doivent payer une cotisation annuelle et participer aux activités de l'ISPA-DRC.

Des conditions sont posées pour devenir membre de l'ISPA-DRC : les FSI doivent souscrire aux statuts et règlement d'ordre intérieur en remplissant une fiche d'adhésion après une demande à l'ISPA-DRC. Les statuts précisent que les candidats à l'adhésion doivent être parrainés, sans que l'on sache si cette condition s'applique aux FSI.

Les organes de fonctionnement de l'IPSA-DRC sont :

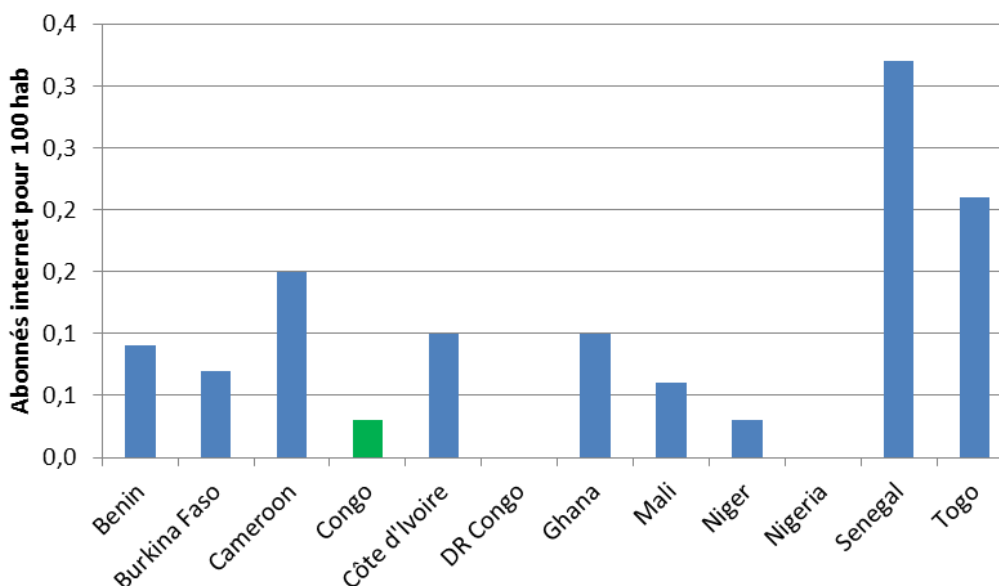
- l'assemblée générale, composée de tous les membres et se réunissant une fois par an en session ordinaire, et en session extraordinaire sur convocation du président du Comité de gestion sur demande des 2/3 des membres du Conseil d'administration
- le Conseil d'administration, composé du Comité de gestion et des membres effectifs, il assure le suivi des orientations et directives définies par l'Assemblée générale,

- et le Comité de gestion qui assure la gestion quotidienne de l'association.

5.6 République du Congo (Congo-Brazzaville)

5.6.1 Présentation de l'IXP⁸

Le Congo a la connectivité Internet la plus faible de la région comme il est possible de le voir sur le graphe ci-dessous :



Au Congo, on note un phénomène de fourniture en propre d'Internet c'est-à-dire qu'en raison d'un manque de qualité de service, d'infrastructure et d'une insatisfaction, de plus en plus d'entreprises et d'administration ont recours à leur propre installation VSAT et même fibre optique, se connectant via à des fournisseurs extérieurs et non via les FAI locaux.

Tous les FAI ont accès à la connexion internationale via le VSAT mais pour eux le prix du mégabit reste très élevé car il oscille entre 4000\$ et 5000\$ le mégabit par mois. C'est la raison pour laquelle, ils ne possèdent pas des grandes capacités pour pouvoir satisfaire tous les besoins de leurs clients en termes de qualité de service.

A ce jour⁹ :

- Le Congo est interconnecté au Système West African Cable System (WACS) qui permet des connexions via la fibre optique sous-marine à Matombi
- Un backbone national a été construit sur plus de 1000km
- Des boucles métropolitaines ont été construites à BZV, PNR et Oyo
- Un réseau pour l'administration financière a été mis en place.

De plus, un projet de backbone national optique est en cours.

Mis en place par l'agence de régulation des postes et des communications électroniques (ARPC), le CGIX est cofinancé par le gouvernement congolais et la Banque mondiale. Il est

⁸ En l'absence d'autres indications, les informations de cette partie sont issues du document ARPCE de présentation du projet d'IXP (mai 2011) ce document est disponible sur le site du CGIX <http://www.cgix-congo.cg/dossier/rapport.php>

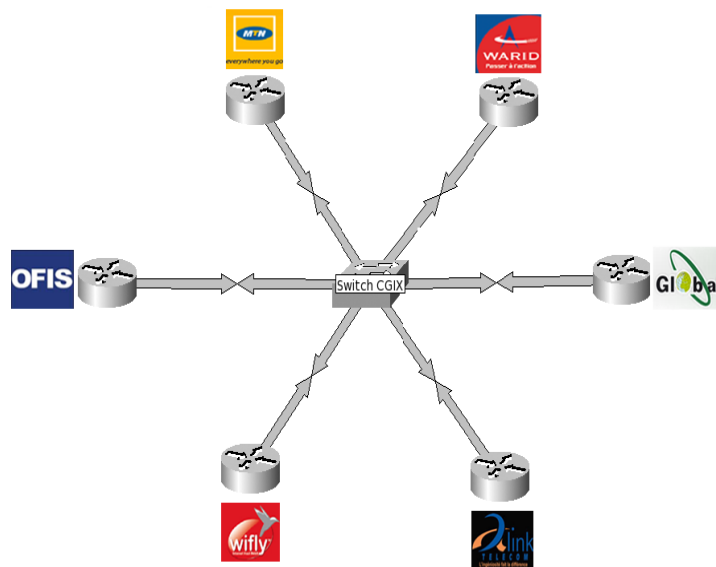
⁹ Forum Régional de l'UIT/BDT sur les aspects économiques et financiers des Télécommunications/TIC pour l'Afrique Brazzaville, Republic of Congo - 18/19 Février 2014

premier point d'échange Internet opérationnel dans la sous-région. Il sera reparti sur plusieurs sites, notamment dans les villes de Brazzaville, Oyo et Pointe-Noire. Ces sites seront interconnectés via des liaisons louées et/ou via la fibre optique. Le premier point de présence du CGIX (celui de Brazzaville) a été lancé officiellement le 10 mai 2013.

Actuellement 6 opérateurs/FAI sont connectés au CGIX :

- Alink Télécom
- WARID Congo
- MTN Congo
- Global Broadband S
- OFIS Computer
- Wilfy

L'architecture de l'infrastructure est la suivante :



5.6.2 Gouvernance de l'IXP

Le CGIX est une entité neutre, qui défend les intérêts des acteurs de l'Internet locaux relevant du secteur des communications électroniques, dont l'Agence de Régulation des Postes et des Communications Electroniques assure le suivi et l'évaluation. A ce titre, l'Autorité de Régulation garantit l'exercice d'une concurrence saine et loyale dans les secteurs des postes et des communications électroniques en veillant à ce que tous les exploitants de réseaux ouverts au public fassent droit dans des conditions objectives, transparentes et non discriminatoires aux demandes raisonnables d'interconnexion.

Les relations entre le CGIX et l'ACNIC, la structure congolaise chargée de la gestion de nommage du domaine Internet du Congo, autrement dit le ".cg" reposent sur la base d'un partenariat.

5.6.3 Exploitation

La connexion au CGIX doit être précédée par la signature de la charte d'adhésion au CGIX. Le signataire de la charte sera informé et acceptera expressément:

- La politique de peering multilatéral;
- L'accès par les autres requérants ou demandeurs dans des conditions objectives et non discriminatoires;

- Le paiement d'un droit d'adhésion;
- L'interdiction de Transit sur le commutateur du CGIX;
- L'interdiction pour un adhérent d'utiliser la connexion internationale d'un autre adhérent.

Par ailleurs, les conditions particulières suivantes sont également en vigueur pour l'éligibilité à la connexion au CGIX :

- Pour se connecter au CGIX, les FAI doivent :
 - Avoir un numéro d'AS,
 - Avoir des @IP Publiques,
 - Utiliser du BGP 4 pour le peering.
- Les acteurs de l'Internet offrant des services de contenus doivent être soit des sociétés de droit congolais soit avoir une représentation au Congo
- Pour les besoins de défense, de sécurité et dans le cadre d'enquêtes, les services de sécurité, police, gendarmerie pourront se connecter et/ou visualiser les échanges de trafic sur réquisition des autorités compétentes de la République du Congo.
- Les structures de l'état, les universités et autres opérateurs devront se greffer aux services d'un FAI pour se connecter au point d'échange Internet.

Dans tous les autres cas de figure, un comité d'arbitrage constitué de l'ARPCE et des adhérents se réunira en assemblée générale pour statuer sur l'éligibilité du requérant.

Le point d'échange CGIX offre deux moyens pour se connecter:

- Réseau Commuté 100 Mégabit/s.
- Réseau Commuté 1Gigabit/s.

Le raccordement au CGIX est laissé à l'appréciation de tous les acteurs de l'Internet et il pourra être fait via des liaisons spécialisées ou via des boucles locales radios, etc. Dans ce genre d'architecture, la politique multilatérale permet à tous ceux qui sont connectés de disposer de l'ensemble des routes dans leur table de routage BGP.

5.6.4 Bénéfices apportés et perspectives

Les tests réalisés entre deux opérateurs locaux ont montré que grâce au CGIX, le temps de latence qui oscillait entre 800 et 1200 ms (milliseconde) du fait de l'utilisation des liaisons internationales, serait considérablement réduit entre 5 et 20ms.

Le volume de trafic transitant par l'IXP est de 24 Kbps¹⁰.

Lancé officiellement le 10 Mai 2013 à Brazzaville, en tant que valeur ajoutée dans le secteur Internet du pays, le Point d'Echange Internet du Congo (CGIX) connaît un bon fonctionnement. Cependant l'ARPCE dans son rapport de supervision en juin 2013 signale que le trafic Internet local est encore négligeable, ceci pouvant s'expliquer par le fait qu'il n'y a quasiment pas ou très peu de services qui sont hébergés au niveau local. Elle signale également que pour y remédier l'intervention des FAI est souhaitable.

¹⁰ Rapport ARPCE de supervision et d'exploitation de CGIX, période du 15 au 31 décembre 2013

5.7 Tunisie¹¹

TunIXP (AS37551) est le point d'échange Internet tunisien situé à Tunis et exploité par ATI (Agence tunisienne de l'Internet), l'ancien fournisseur d'accès Internet national. La plateforme de TunIXP fournit une connectivité IP à tous les opérateurs, les fournisseurs de services Internet (ISP) et les centres de données en Tunisie. L'objectif est de réduire les coûts de l'échange de données entre les internautes tunisiens, en réduisant le trafic inutile par peering et de promouvoir la Tunisie en tant que plaque tournante internationale pour le trafic Internet dans la région méditerranéenne.

ATI a agi comme un IXP depuis sa création en 1996, mais n'a jamais été officiellement déclarée comme telle pour des raisons essentiellement liées au cadre réglementaire et à l'ancien régime politique en Tunisie. En fait, selon le site de l'agence, ATI a été considéré à tort pendant des années comme une autorité de régulation de l'Internet. En dépit de son rôle important pour promouvoir le développement de l'Internet en Tunisie, ATI a été obligé, sous le régime autoritaire, d'agir comme une censure de l'Internet et un outil de surveillance. Par conséquent, tous les fournisseurs de services Internet étaient obligés, par le Ministère en charge des TIC, d'acheminer leur trafic via la plate-forme d'échanges d'ATI, afin de permettre le filtrage et la surveillance par le gouvernement.

Aux lendemains de la première révolution du printemps arabe, l'ATI a cessé son rôle de censure et de surveillance pour entamer un plan d'action prometteur pour parvenir à la transformation de l'agence vers une véritable IXP en ce qui concerne les meilleures pratiques internationales. L'agence est en effet devenue plus transparente et très proche des de la communauté des utilisateurs Internet en se concentrant sur le développement de la connectivité Internet, ainsi que sur le contenu local et les nouvelles applications Internet.

Techniquement, la plate-forme de TunIXP comprend deux sites principaux raccordés aux liens de peering internationaux et un site secondaire à des fins de robustesse. En 2014, ATI va étendre son infrastructure d'échange Internet et ajouter d'autres sites dont un dans la région d'Enfidha, à environ 100 km de Tunis.

La plate-forme IX est composée de deux types de routeurs :

- Cisco CRS3,
- Cisco 7609 et ASR9000.

A ce jour, TunIXP comprend 16 membres.

La Loi n° 2013-10 du 12 avril 2013, modifiant et complétant le code des télécommunications, introduit de nouvelles définitions, dont celles de :

- « *Point d'échange Internet : Le service qui assure l'acheminement du trafic Internet entre les fournisseurs d'accès Internet et/ou les opérateurs des réseaux publics des télécommunications entre eux et sa connexion au réseau mondial de l'Internet.*
- *Fournisseur d'un point d'échange Internet : toute personne morale fournisseur d'une autorisation pour assurer un point d'échange Internet à l'échelle nationale et internationale ».*

¹¹ Source : Agence tunisienne d'Internet (TUNIXP), www.ati.tn

La loi ajoute également un article 31 quinquies au code des télécommunications pour soumettre à autorisation préalable la fourniture d'un IXP :

« Article 31 (quinquies) - La fourniture d'un point d'échange Internet est soumise à **l'autorisation préalable** du ministre chargé des télécommunications, **après avis de l'instance nationale des télécommunications**. Les conditions et les procédures d'attribution de cette autorisation sont fixées par décret. L'attribution de l'autorisation est soumise au paiement d'une redevance fixée conformément aux critères déterminés par le décret prévu au premier paragraphe du présent article ».

A notre connaissance, le décret annoncé n'a pas encore été publié.

5.8 France

La France compte près d'une trentaine d'IXP, dont :

- ADN-IX, Valence, Site officiel : www.adn-ix.net
- Equinix Exchange Paris (Equinix Paris), Paris, Site officiel : www.equinix-ix.fr
- European Global Internet Exchange (EuroGIX), Strasbourg, Site officiel : www.eurogix.net
- France Internet Exchange (France IX), Paris, Site officiel : www.france-ix.fr
- FR-IX (famille de points d'échanges gérés par la coopérative Opdop et apparés selon le concept du DualGix) FR-IX, Paris Saint Denis Aubervilliers Courbevoie Plessis-Robinson, Site officiel : www.fr-ix.fr/p-developpement.php
- French National Internet Exchange IPv6 (FNIX6), Paris, Site officiel : www.fnix6.net
- GirondIX, Bordeaux, en cours de déploiement Site officiel : www.girondix.net
- GrenoblIX En cours de déploiement, Site officiel : www.grenoblIX.net
- GUYANIX, Cayenne (en projet) www.renater.fr
- LOTHIX, Nancy, Site officiel : www.reseau.ciril.fr
- LILLIX, Lille, www.lillix.fr
- Lyon Internet Exchange (Lyonix), Lyon
- Marseille Internet eXchange (MA-IX), Marseille, Site officiel : www.manix.net
- MAE Paris, Paris
- Mix Internet Exchange and Transit (MIXT), Site officiel : www.mixt.net
- Paris Internet Exchange (PARIX), Paris
- PhibIX, Saint-Étienne, Site officiel : www.phibix.net
- REUNIX, Saint-Denis géré par RENATER
- Saintetix, Rhône-Alpes, Site officiel : www.santetix.net
- Service for French Internet Exchange (SFINX), géré par RENATER, entre Paris et Aubervilliers
- StuffIX Paris (StuffIX), Paris, Site officiel : www.hivane.net
- TOUIX (Touix), Toulouse

Nous faisons un focus sur France IX avant de revenir sur le cadre légal et réglementaire en France. Les éléments de notre focus sont issus du site Internet de France IX et du compte rendu d'un entretien réalisé avec Franck Simon, Directeur Général de France IX.

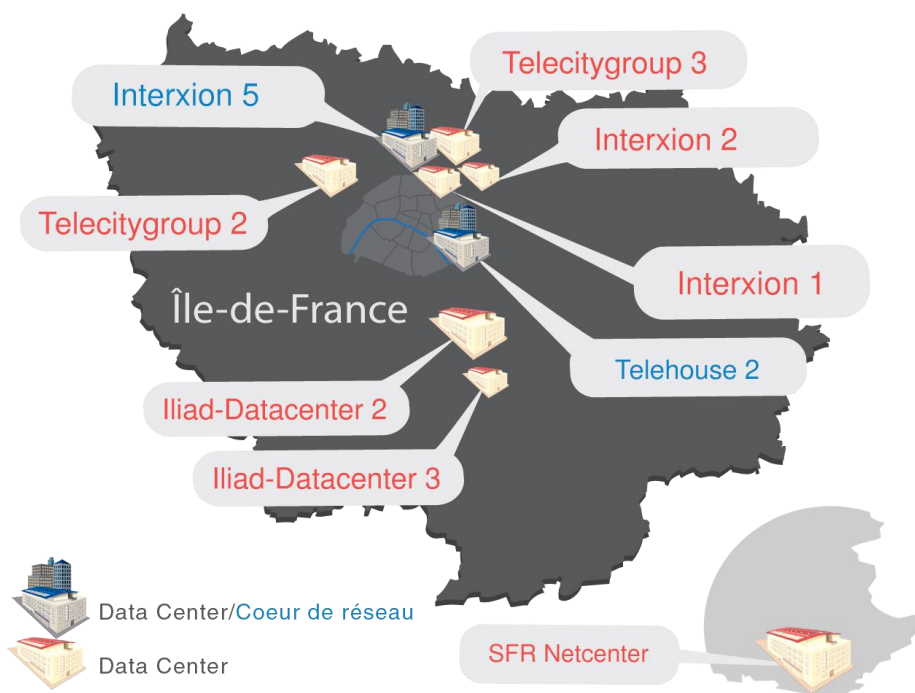
5.8.1 Présentation de France IX

Fin 2008 s'est constitué le groupe de travail nommé Pheon-IX, réunissant des personnes et acteurs du monde des télécoms (Neo Telecoms, Google, Jaguar Network, Akamai). Ce groupe a réalisé un sondage dont il est ressorti que le marché français était en forte attente d'un point d'échange fédérateur sur Paris réunissant tous les opérateurs français et offrant un service de qualité.

France IX est donc née, soutenue par des acteurs de premier plan. Les membres fondateurs sont Akamai, Jaguar Network, Neo Telecoms, Interxion, Google et Bouygues Telecom. Ce point d'échange a pour but de faciliter les échanges et transferts de données, communications et transactions sur Internet et de développer le transit d'opérateurs et fournisseurs de contenus français et internationaux via Paris.

France IX intervient également dans le cadre du programme Axis 2, pour de la formation à la gouvernance d'Internet dans les pays Africains – principalement francophone et qui n'ont pas d'accès côtier facile. (Les pays avec accès côtier ont accès aux câbles sous marins et ont bénéficié d'un premier programme Axis 1).

L'infrastructure de départ reposait sur 7 points de présence à Paris. A ce jour elle s'étend sur 9 points de présence : Interxion 1, 2 et 5, Telehouse 2 et Telecitygroup Courbevoie et Condorcet, Iliad DC2 et DC3 en région parisienne ainsi que SFR Netcenter à Marseille.



France IX compte aujourd'hui 244 membres et met à disposition de ses membres en plus de l'interconnexion :

- des services de peering public et privé
- des serveurs de routes
- des services DNS
- des services de passerelle vers les points d'échange du **SFINX**, du **LyonIX**, du **LU-CIX**, du **Top-IX** et du **ToulIX**
- des services de synchronisation NTP
- des services de portail extranet privé et Internet public
- un NOC 24H/24, 7jrs/7.

France-IX propose également aux opérateurs, aux Datacenters et hébergeurs de devenir revendeurs agréés. Ce programme de revente est destiné à 3 applications :

- Interconnexion longue distance entre les sites France-IX
- Interconnexion entre les sites France-IX et d'autres sites externes
- Interconnexion entre France-IX et les points d'échange partenaires

5.8.2 Gouvernance de France IX

Le **point d'échange France-IX** est construit sur un modèle associatif permettant une meilleure implication des membres connectés dans les grandes orientations de l'IXP mais surtout une neutralité. Il repose donc sur une association de loi 1901 à laquelle tout membre est adhérent de facto et sur une SAS en charge des aspects opérationnels (facturation, supervision, support technique).

L'**association France-IX** est actionnaire à 100% de la SAS France-IX Services. A ce titre, toute évolution technique ou financière importante sera transmise à l'approbation des membres de l'association.

5.8.3 France IX - Business model

Les tarifs des services d'interconnexion sont sur les 2 grilles suivantes :

Tarif pour tous les POPs (sauf SFR NetCenter Marseille) sur la base de 1 € = 1,35 USD

TYPE DE PORT	CÂBLE	CONNECTEUR	FRAIS D'INSTALLATION	FRAIS MENSUELS
100Mbit/s	Cuivre	RJ45	675 USD	0
1000Mbit/s - trafic jusqu'à 200Mbit/s	Cuivre	RJ45	675 USD	270 USD
1000Mbit/s - plein débit	Cuivre	RJ45	675 USD	675 USD
1Gbit/s - trafic jusqu'à 100Mbit/s	Optique SX ou LX	SC/PC	1 350 USD	0
1Gbit/s - trafic jusqu'à 200Mbit/s	Optique SX ou LX	SC/PC	1 350 USD	270 USD
1Gbit/s - plein débit	Optique SX ou LX	SC/PC	1 350 USD	675 USD
10Gbit/s - trafic jusqu'à 2Gbit/s	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	1 080 USD
1er port 10Gbit/s	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	2 025 USD
2ème port 10Gbit/s	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	1 890 USD
3ème port 10Gbit/s	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	1 755 USD
4ème port 10Gbit/s et plus¹²	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	1 620 USD

¹² Le 1er port 10Gbit/s connecté coûte 2 025 USD par mois puis le tarif devient dégressif: le second port 10Gbit/s est à 1 890 USD, le troisième 1 755 USD, le 4ème 1 620 USD. Les ports 10Gbit/s suivants auront un coût mensuel unitaire de 1 620 USD euros. Ainsi, pour 5 ports 10Gbit/s plein débit connectés au France-IX, le récurrent mensuel est égal à 2 025+1 890+1 755+1 620+1 620 = 8 910 USD.

Tarif pour SFR NetCenter (Marseille) sur la base de 1 € = 1,35 USD

TYPE DE PORT	CÂBLE	CONNECTEUR	FRAIS D'INSTALLATION	FRAIS MENSUELS
1Gbit/s - trafic jusqu'à 100Mbit/s	Optique LX	SC/PC	1 350 USD	0
1Gbit/s - trafic jusqu'à 200Mbit/s	Optique LX	SC/PC	1 350 USD	202 USD
1Gbit/s - plein débit	Optique LX	SC/PC	1 350 USD	506 USD
10Gbit/s - trafic jusqu'à 2Gbit/s	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	810 USD
1er port 10Gbit/s	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	1 755 USD
2ème port 10Gbit/s	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	1 620 USD
3ème port 10Gbit/s	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	1 485 USD
4ème port 10Gbit/s et plus¹³	Optique LR	SC/PC	2 025 USD	1 350 USD

Le point d'échange fonctionne comme une place de marché. Le prix est basé sur le port physique utilisé avec une part variable liée au débit réellement utilisé pour tenir compte d'effet de seuil.

Des conditions spéciales sont appliquées à Marseille. En effet, afin de soutenir le développement du PoP de Marseille et d'atteindre plus rapidement une masse critique, le conseil d'administration de l'association France-IX a décidé de modifier les conditions de raccordement à ce site.

Ainsi, quel que soit le type de port de connexion, France-IX n'appliquera aucun coût récurrent, tant que les conditions suivantes ne seront pas réunies :

- Trafic local total dépassant 10 Gbit/s
- Une douzaine de membres connectés

Seuls les frais de mise en service seront appliqués pendant cette période.

¹³ Le 1er port 10Gbit/s connecté coûte 1 755 USD par mois puis le tarif devient dégressif: le second port 10Gbit/s est à 1 620 USD euros, le troisième 1 485 USD, le 4ème 1 350 USD. Les ports 10Gbit/s suivants auront un coût mensuel unitaire de 1 350 USD euros. Ainsi, pour 5 ports 10Gbit/s plein débit connectés au France-IX, le récurrent mensuel est égal à 1 755+1 620+1 485+1 350+1 350 = 7560 USD.

5.8.4 France IX – exploitation

France IX sous-traite son NOC et est composé d'une dizaine de personnes qui assurent l'ingénierie de niveau 2 et 3.

Sur les PoP Iliad-Datacenter DC2 et SFR-NetCenter (Marseille), seule l'optique monomode est possible. Sur le PoP Condorcet et Telehouse-2, les optiques monomode et multimode sont possibles mais pas le cuivre.

Dans son offre, France IX ne prend pas en charge le transport du trafic entre Marseille et Paris au-delà de 100 Mbit/s par membre. Au-delà d'un tel besoin, le membre concerné doit s'orienter vers l'opérateur de son choix ou vers l'un des revendeurs France-IX agréés.

Pour installer des équipements, il faut devenir membre de France IX. Les conditions techniques imposées pour devenir membre sont les suivantes :

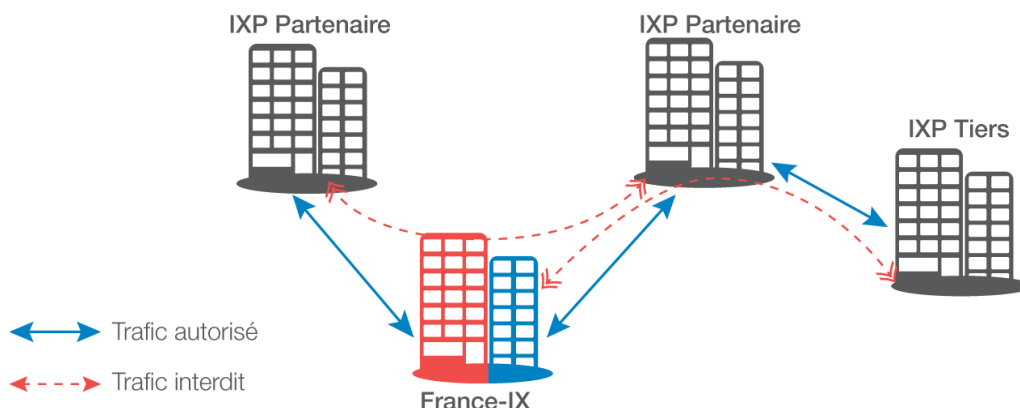
- Avoir une raison sociale, un numéro RCS et une adresse légale
- Avoir un numéro AS

Il appartient à chaque partenaire de faire réaliser par le prestataire de son choix ou par le centre d'hébergement (selon les règles de chaque centre) la demande de desserte interne vers les baies France-IX. Ce raccordement est à sa charge. Toutefois, pour faire bénéficier les partenaires de meilleurs prix, France-IX peut prendre en charge la commande de desserte pour les PoP Telecitygroup, sur demande explicite d'un membre. La desserte est ensuite refacturée au membre par France-IX.

Dans le cas où une "meet-me-room" (MMR) est présente dans le centre, la prise en charge par le partenaire s'arrête à cette MMR.

Les règles générales d'interconnexion avec d'autres points d'échange sont les suivantes :

- Ces interconnexions sont limitées à 100Mbit/s par membre. Au-delà, un raccordement direct France IX ou sur les points d'échange partenaires sera requis. France-IX se réserve donc la possibilité de refuser le service de passerelle à un membre des points d'échange partenaires si sa consommation moyenne dépasse 100 Mbit/s.
- L'accès au service de passerelle n'entraîne pas de surcoût aux coûts récurrents de France-IX.
- En aucun cas, un IXP peut être utilisé comme transit.
- Les membres des points d'échange partenaires ne peuvent échanger qu'avec les membres de France-IX.
- Si un membre d'un point d'échange tiers connecté à un des IXP partenaires de France-IX souhaite peerer avec un membre de France-IX, un raccordement direct est nécessaire.



5.8.5 Aspects légaux et réglementaires

En France, aucun des porteurs de projets IXP n'a procédé à des démarches en vue d'obtenir une autorisation générale. Les prestations sont en effet assimilables à un mode d'interconnexion entre deux réseaux¹⁴. Dès lors, aucun acteur IXP n'est un opérateur à proprement parler.

S'agissant de l'interconnexion et de l'accès, elles font l'objet d'une convention de droit privé qui détermine les conditions techniques et financières de l'interconnexion ou de l'accès. Elle est communiquée au régulateur à sa demande.

L'accord de peering étant un accord d'interconnexion, en principe sans compensation, il est soumis à ce régime et communiqué au régulateur seulement s'il le demande.

Le régulateur peut imposer, de manière objective, transparente, non discriminatoire et proportionnée, les modalités de l'accès ou de l'interconnexion, soit de sa propre initiative, après avis de l'Autorité de la concurrence, consultation publique et notification à la Commission européenne et aux autorités compétentes des autres Etats membres de l'Union européenne, soit à la demande d'une des parties.

En mars 2012¹⁵, l'ARCEP a demandé à tous les opérateurs Internet proposant des services IP en France de fournir des informations détaillées sur leur peering. Selon l'Autorité, « *les marchés de l'interconnexion et de l'acheminement de données, qui relèvent du champ de compétence de l'Autorité, sont au cœur du fonctionnement technique et économique de l'Internet. Ils sont le siège d'évolutions rapides et de relations parfois complexes entre les fournisseurs d'accès à l'Internet (FAI), les fournisseurs de services de communication au public en ligne (FSCPL) et les intermédiaires techniques (tels que les opérateurs de transit ou les Content delivery networks - CDN). Au regard des éléments disponibles publiquement et des premiers travaux réalisés par l'Autorité, la situation observée sur les marchés de l'interconnexion et de l'acheminement de données ne semble pas nécessiter, à ce stade, la mise en place d'une régulation ex ante. Néanmoins, seule une connaissance approfondie et régulièrement mise à jour de ces marchés et des pratiques complexes et en constante évolution des acteurs - qui ne peut être acquise qu'au travers de la présente démarche de collecte d'informations - peut permettre de s'assurer, dans la durée, de leur bon fonctionnement technico-économique. Cette connaissance des marchés et des acteurs devra également préparer l'Autorité au bon exercice du nouveau pouvoir de régler des différends entre opérateurs et FSCPL, que la loi lui a confié* ».

Le principe d'une telle collecte d'information avait été annoncé par l'Autorité en septembre 2010, dans le cadre général de ses propositions sur la neutralité de l'Internet et des réseaux. Elle s'est

¹⁴ Cf. décision n°2013-0987 du 16 juillet 2013 ou avis sous décision précitée du 20 septembre 2012 de l'autorité de la concurrence

¹⁵ Communiqué du 20 mars 2012 et décision n°2012/0366 relative à la collecte d'informations sur les conditions techniques et tarifaires de l'interconnexion et de l'acheminement de données

concrétise avec la décision de 2012 et l'obligation pour les opérateurs Internet de remplir un tableau très détaillé. Ainsi « les personnes visées par la décision sont invitées à transmettre, et ce pour chacun des AS1 qu'ils détiennent, les données concernant chaque accord individuel avec un nombre raisonnable d'AS partenaires, à savoir :

- les 20 principaux partenaires en termes de capacité globale d'interconnexion ou d'acheminement de données (tous points / sites confondus) ;
- les partenaires au-delà du 20^{ème} partageant une capacité globale d'interconnexion ou d'acheminement de données supérieure ou égale à 1 Gbit/s avec l'AS détenu et détenant des AS marqués « FR » ou « EU »² dans la base de données du RIPE ;
- la capacité globale et les flux (entrants/sortants) globaux d'interconnexion ou d'acheminement de données, ainsi que leur ventilation selon le type de relation (E:1; n:1 ; 1:1 ; 1:n ; 1:E) ;
- la capacité totale et les flux (entrants/sortants) totaux d'interconnexion ou d'acheminement de données, dans chaque IX raccordé et en valeur cumulée ».

L'ARCEP entendait ainsi y voir plus clair sur l'activité de peering : il s'agit en effet aujourd'hui d'un marché opaque où ont souvent lieu des pratiques discriminatoires, les petits opérateurs qui souhaitent mettre en place des peering y sont parfois très mal traités par les gros acteurs du marché du transit IP.

Par une décision du 18 mars 2014¹⁶, l'ARCEP a mis à jour sa décision de 2012 et instauré une collecte périodique d'informations sur les conditions techniques et tarifaires de l'interconnexion et de l'acheminement de données sur Internet. Cette décision a eu pour but d'améliorer sa connaissance des marchés de l'interconnexion et de l'acheminement de données sur Internet.

Les retours d'expérience des trois premières collectes d'informations effectuées en 2012 et 2013 et de l'enquête administrative menée par l'ARCEP, de novembre 2012 à juillet 2013, concernant l'interconnexion entre Iliad et Google, ont en effet conduit l'ARCEP à procéder à un ajustement de sa décision de 2012. Il apparaît en particulier nécessaire que les informations données par les acteurs concernés reflètent les capacités d'acheminement réellement disponibles aux interconnexions, et permettent d'apprécier l'ampleur d'une éventuelle saturation des liens.

Deux principales modifications au dispositif arrêté en 2012 :

- distinguer désormais les capacités installées et les capacités paramétrées, sur chaque lien d'interconnexion visé par la décision;
- permettre à l'Autorité de solliciter, de manière ponctuelle, des informations complémentaires afin qu'elle puisse apprécier l'ampleur d'une saturation présumée sur un des liens d'interconnexion.

Par souci de simplification, l'Autorité a également réduit le volume de données fournies par les opérateurs et le nombre de relations couvertes par la décision.

Le nouveau questionnaire, résultant de cette décision modificative, doit être rempli par les répondants à compter du second semestre de l'année 2014.

¹⁶ N°2014/0353

5.9 Suède - Netnod

5.9.1 Présentation de l'IXP Netnode

Selon l'observatoire de l'OCDE 2013 sur l'Internet haut débit fixe et mobile, la Suède compte 3.077 millions de souscriptions fixes réparties de la façon suivante :

- 14.5% DSL
- 6.1% câble
- 11.6% fibre/LAN

Toujours selon la même source, la Suède compte 10.267 millions de souscriptions mobiles réparties de la façon suivante :

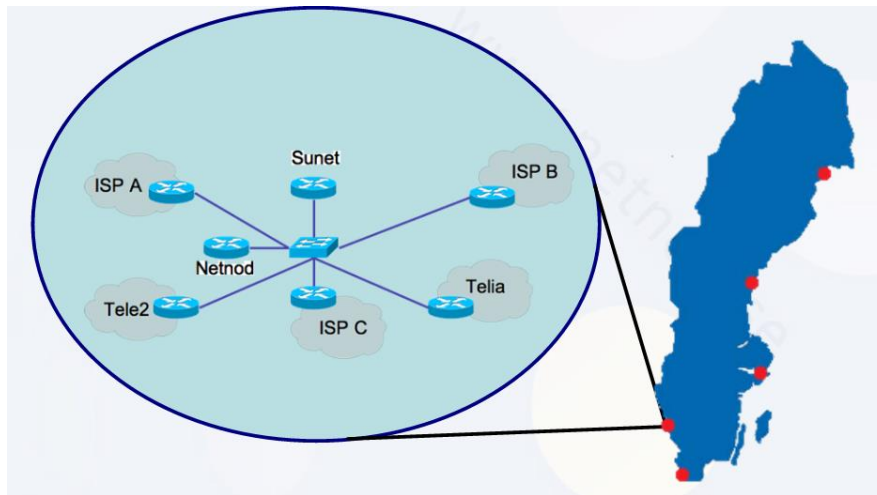
- 28% 3G/4G
- 79,3% clé data

Le pays compte 10 fournisseurs d'accès Internet en activité.

La Royal Institut of Technology (KTH) a mis en place l'un des premiers IXP en Europe. Mais en 1996, un rapport qui identifie comme essentiel pour le développement d'Internet en Suède la présence d'un IXP robuste et fiable fait naître des réflexions autour de la meilleure efficacité potentielle d'une entité indépendante. Ceci a conduit les FAI à créer la fondation TU qui possède Netnod. L'objectif derrière ce modèle de fondation était de garantir l'indépendance de l'IXP vis-à-vis du gouvernement mais aussi des opérateurs.

Le consensus entre les différents acteurs concernés par le projet (université, opérateurs, régulateur et gouvernement) a été le facteur principal de succès du projet. Toutefois, l'évolution de la technologie et la coopération avec le régulateur ont parfois été des freins.

Netnod exploite 5 IXP dans 6 villes différentes et compte 187 membres raccordés. L'architecture de base reproduite dans les différentes villes est la suivante¹⁷ :



En plus de l'interconnexion, Netnod propose des services de DNS, serveurs de routes des services de mesure de qualité des connexions à haut débit. Il a également un programme de revente de connexion.

S'il est aujourd'hui difficile d'identifier une catégorie d'acteurs non membres de Netnod, on peut toutefois noter que le frein principal est la difficulté de calculer à l'avance son retour sur investissement.

¹⁷<http://www.europarl.europa.eu/document/activities/cont/201206/20120621ATT47430/20120621ATT47430EN.pdf>

5.9.2 Gouvernance

Netnod est une organisation à but non-lucratif, neutre et indépendante. La fondation TU est propriétaire de Netnod.

5.9.3 Business model

La grille tarifaire de Netnod est la suivante¹⁸ :

		Frais de mise en service	Frais annuels
Stockholm	2x100 GE LR4 optics (2 paires de fibre incluses)	3 625 USD ¹⁹	148 625 USD
	2x100 GE ER4 Optics (2 paires de fibre incluses)	3 625 USD	172 550 USD
	2X10 GE (2 paires de fibre incluses)	3 625 USD	intraville : 32 625 USD interville : 44 950 USD
	2X1 GE (2 paires de fibre incluses)	3 625 USD	Station Portlane Nacka : 5 800 USD intraville : 18 125 USD interville : 30 450 USD
	2X100Mbps	Pas de frais de MES	0
	Relocation	3 625 USD	
Gothenburg/Copenhagen/Malmo/Sundsvall	10 GE (fibre non incluse)	Pas de frais de MES	13 050 USD
	1 GE (fibre non incluse)	Pas de frais de MES	5 800 USD
	100 Mbps	Pas de frais de MES	0
Lulea	1 GE (fibre non incluse)	Pas de frais de MES	5 800 USD
	10/100 Mbps	Pas de frais de MES	0
Services additionnels	VLAN privé	362 USD/VLAN	
	Câble de raccordement	Pas de frais de MES	725 USD

Les frais de raccordement à Netnod sont utilisés pour couvrir tous les coûts de mise en place, exploitation et développement des IXP.

¹⁸ Source : site de Netnod,

<https://www.netnod.se/sites/default/files/Netnod%20IX%20Pricelist%2020140219.pdf>

¹⁹ SEK : Swedish Krona, base 1 SEK = 0,145 USD.

5.9.4 Exploitation

Le régulateur loue à Netnod des espaces souterrains fortifiés pour les infrastructures principales. Le reste des infrastructures se trouvent dans des datacenters neutres (ou se trouvent aussi les clients).

A Stockholm, il y a deux infrastructures IXP en parallèle. Les opérateurs connectés reçoivent automatiquement une connexion de chaque côté.

Les conditions techniques pour se raccorder aux IXP de Netnod sont les suivantes²⁰ :

- Etre un opérateur c'est-à-dire fournir des services Internet, avoir un numéro AS, et ne pas utiliser de routage par défaut.
- Le respect des règles de routage et d'utilisation des AS :
 - L'opérateur doit publier sa politique de routage de préférence par enregistrement selon Ripe-181/RFC 1786.
 - Les informations de routage ne peuvent être transmises sur le point d'échange avec des protocoles utilisant le multicast ou le broadcast, tels que RIP et OSPF.
 - Le routage statique ne peut pas être utilisé pour contrôler le trafic à travers le point d'échange
 - Les numéros AS ne peuvent être utilisés sur le point d'échange que s'ils sont coordonnés et approuvés par Netnod.
 - Les informations de routage exportées vers d'autres destinations sur Internet ne peuvent contenir de numéro AS.
- Le respect des accords autour des échanges de trafic : le trafic ne peut être envoyé qu'à une destination pour laquelle l'opérateur dispose d'un accord d'échange de trafic.
- L'interdiction d'interférence
- L'obligation d'assistance dans la correction de problème : l'opérateur doit contribuer à la résolution de problèmes concernant ses équipements ou des équipements partagés.
- Le paiement d'un droit de raccordement

Netnod est une entité de 12 personnes (environ) avec une hotline en 24/7. Mais les problèmes non urgents sont traités pendant les horaires de bureau. L'équipe Operations comprend 6 personnes. Une embauche est également en cours. L'équipe R&D a comprend 4 personnes. La plupart sont ingénieurs système ou réseau, avec une dizaine d'années d'expérience en moyenne.

Il n'y a pas d'exploitation commerciale pour l'instant mais une embauche est en cours afin notamment de réduire le volume de trafic qui échappe encore à l'IXP.

Concernant les plans de développement, on peut citer la récente connexion au Danemark. Netnod multiplie de façon générale les points de présence afin de faire baisser le seuil de coûts et de complexité pour les nouveaux clients.

5.9.5 Bénéfices apportés et perspectives

Il est difficile de mesurer les réductions de latence dues aux IXP. En effet, les calculs des opérateurs sont une combinaison entre les aspects financiers, la latence et la robustesse.

²⁰ Document IX connection rules.pdf disponible sur le site de netnod

On estime à environ 300 Gbps le trafic transitant par les différents IXP de Netnod²¹. Toutefois, à cause de la présence de nombreux acteurs internationaux, il est difficile d'évaluer le volume de trafic qui reste dans le pays grâce aux IXP de Netnod.

5.10 Synthèse

	Gouvernance	Business Modèle	Réglementation	Modalités d'exploitation	Technique	Nombre de membres
Afrique du Sud GINX	Association	FAS + abonnement Non lucratif	Régime libre	Charte de conduite	Layer 3	170
Congo-B CGIX	Entité neutre pilotée par l'ARPCE	Droit d'adhésion Non lucratif	Régime libre	Charte d'adhésion	Layer 2	6
RDC RDC-IX	Association à but non lucratif	FAS + abonnement Non lucratif	Régime libre	Statuts et règlement intérieur	Layer 2	10
Tunisie TunIX	Agence Publique	FAS Non lucratif	Autorisation	Contrat commercial	Layer 3	16
Suède Netnod	Fondation	FAS + abonnement Non lucratif	Régime libre	Conditions techniques (AS ...)	Layer 3	187
France France IX	Association à la création puis entité commerciale	FAS + abonnement	Régime libre	Contrat commercial	Layer 3	250

Il ressort du benchmark que la Mauritanie devrait s'inspirer pour commencer, du cas de la RDC, à savoir :

- Les membres de l'IXP doivent avoir un AS number, ce qui est le cas actuellement en Mauritanie ;
- Un routage niveau 2, chaque membre fournit son propre routeur et l'échange se fait via le commutateur. RDC-IX opte pour un peering multilatéral ;
- L'IXP est hébergé dans un local neutre ;
- Un modèle associatif qui n'a pas vocation à réaliser des bénéfices, les membres devant payer une cotisation annuelle et participer aux activités de l'IXP ;
- Une information du régulateur.

²¹ <http://www.netnod.se/ix-stats/sums/All.html>

6. Analyse du cadre réglementaire du projet IXP

Après avoir analysé le cadre réglementaire mauritanien s'appliquant dans le cadre de la mise en place d'un IXP, nous nous intéressons au modèle institutionnel pouvant être recommandé.

6.1 Le régime réglementaire appliqué à l'entité qui possédera et exploitera l'IXP

Nous étudierons spécifiquement trois points s'agissant du régime réglementaire appliqué à l'entité qui possédera et exploitera l'IXP : la catégorie de régime applicable, les droits et obligations ainsi que les règles d'interconnexion auxquels il sera soumis.

6.1.1 La catégorie de régime applicable

La loi n°2013-025 définit trois catégories de régimes : la licence individuelle (articles 17 et suivants), l'autorisation générale (articles 24 et suivants) et le régime libre (article 28).

La loi mauritanienne n°2013-025 portant sur les communications électroniques ne comprend pas de dispositions spécifiques aux points d'échange Internet ni même aux fournisseurs de point d'échange Internet.

Dans ces conditions, quel régime réglementaire sera appliqué à l'entité qui possédera et exploitera l'IXP ?

A notre sens, il ne faut voir en l'IXP qu'un commutateur. Dans ces conditions, c'est bien le régime de la liberté qui doit s'appliquer. A l'exception du Kenya, c'est le régime qui s'applique dans les autres Etats étudiés.

6.1.2 Les droits et obligations auxquels sera soumise l'entité qui possédera et exploitera l'IXP

Bien que répondant au régime de liberté, l'entité en charge de l'exploitation /maintenance et de la commercialisation des services fournis par l'IXP devra respecter les dispositions de la loi portant sur les communications électroniques, les réglementations nationales qui lui sont applicables ainsi que les droits et obligations, ou les conditions, qui peuvent être précisées par l'Autorité de Régulation en vertu de l'article 6 de la loi n°2013-025.

En revanche, les principes, règles et obligations mentionnés à l'article 16 de la loi n°2013-025 ne lui seront pas applicables. En effet, ils concernent les seuls « opérateurs », ce que ne peut être l'entité en charge de l'exploitation de l'IXP. Et pour cause, l'article 1^{er} de la loi restreint la notion d'opérateur aux seules personnes physiques et morales « *exploitant un réseau de communications électroniques ouvert au public, ou fournissant au public un service de communications électroniques* »...

6.1.3 Les droits et obligations auxquels sera soumise l'entité qui possédera et exploitera l'IXP

Les droits et obligations auxquels sera soumise l'entité qui possédera et exploitera l'IXP dépendront du régime applicable.

Que l'IXP réponde au régime de liberté ou à celui de l'autorisation générale, l'entité devra respecter les dispositions de la loi portant sur les communications électroniques, les réglementations nationales qui lui sont applicables ainsi que les droits et obligations, ou les conditions, qui peuvent être précisées par l'Autorité de Régulation en vertu de l'article 6 de la loi n°2013-025.

Si l'entité qui gère l'IXP est assujettie au régime d'autorisation générale, elle devra en outre procéder à une déclaration dans les conditions prévues à l'article 25 de la loi n°2013-025. De même, elle devra payer les droits, redevances et contributions prévus à l'article 26 de loi n°2013-025.

En revanche, les principes, règles et obligations mentionnés à l'article 16 de la loi n°2013-025 ne lui seront pas applicables. En effet, ils concernent les seuls « opérateurs », ce que ne peut être l'entité en charge de l'exploitation de l'IXP. Et pour cause, l'article 1^{er} de la loi restreint la notion d'opérateur aux seules personnes physiques et morales « *exploitant un réseau de communications électroniques ouvert au public, ou fournissant au public un service de communications électroniques* »...

6.1.4 Les règles d'interconnexion applicables à l'entité en charge de l'IXP

L'exploitation d'un IXP suppose une interconnexion physique entre les réseaux, une liaison virtuelle entre les réseaux pour permettre l'échange des routes via un protocole de routage et des accords commerciaux d'appariage entre les parties.

Si la loi n°2013-025 comporte des dispositions intéressantes relatives à l'interconnexion, il n'en demeure pas moins qu'elles ne s'imposent qu'aux opérateurs à proprement parler.

L'article 6 de la loi n°2013-025 permet, cependant, à l'Autorité de Régulation d'imposer des prescriptions applicables aux conditions techniques et financières d'interconnexion et d'accès, y compris en termes de colocalisation. L'article 29 de la même loi précise que pour réaliser les objectifs définis à l'article 3, l'Autorité de Régulation peut imposer, de manière objective, transparente, non discriminatoire et proportionnée, les modalités de l'accès et/ou de l'interconnexion.

On déduit de ces dispositions qu'alors même que les dispositions de la loi n°2013-025 ne permettent pas d'assujettir la future entité à des règles d'interconnexion et d'accès, l'Autorité de Régulation a tous pouvoirs pour les établir à travers une décision ou des lignes directrices. Elle pourra prévoir à cet égard qu'elle pourra intervenir à tous les stades de la vie de l'IXP, à savoir dans le cadre des demandes d'interconnexion et des négociations y relatives, de l'enregistrement et du contrôle des accords d'interconnexion et de peering, de contrôle des tarifs appliqués mais aussi en cas de différends entre les membres de l'entité gestionnaire.

6.2 Les règles gouvernant les relations entre les parties ayant installé leurs équipements à l'IXP pour le peering

Sauf erreur de notre part, aucune disposition actuellement en vigueur en Mauritanie ne permet d'indiquer ce que devraient être les règles applicables pour le peering.

Dès lors, il convient de s'en remettre à la liberté contractuelle entre les parties.

Les accords de peering étant malgré tout des contrats d'interconnexion, l'Autorité de Régulation pourrait, si elle le souhaite, définir quelques principes en matière de peering à travers une décision ou des lignes directrices.

Il pourrait être indiqué, en particulier, que le peering adopté sera de type multilatéral, c'est-à-dire que les membres se connectant à l'IXP concluent automatiquement un accord de peering avec tous les autres membres connectés.

De même, il pourrait être spécifié la préférence pour que les accords privilégient des échanges de trafic entre réseaux sans contrepartie financière. Cette spécification pourrait toutefois comporter une nuance s'inspirant du litige qui a opposé la société France Télécom à Cogent, lequel a été réglé par l'Autorité de la concurrence dans une décision n°12-D-18 du 20 septembre 2012.

Dans ce dossier, l'opérateur américain Cogent reprochait, entre autres, à France Télécom de remettre en cause le système d'échange gratuit des flux entre leurs deux réseaux, en demandant à être rémunérée pour l'ouverture de capacités techniques complémentaires d'accès aux abonnés d'Orange. L'Autorité de la concurrence a jugé, sur ce point, que compte tenu du

caractère très asymétrique des échanges de trafic entre France Télécom et Cogent²², la demande de facturation ne constituait pas en l'état un abus de position dominante, dans la mesure où une telle rémunération n'est pas une pratique inhabituelle dans le monde de l'Internet en cas de déséquilibre important des flux entrant et sortant entre deux réseaux.

Au cas présent, il pourrait être prévu une possibilité de facturation, après accord de l'Autorité de Régulation, dans le cas où il existerait une asymétrie des échanges de trafic entre les membres de l'entité gérant l'IXP.

6.3 Les règles gouvernant les relations entre ces parties et l'entité exploitant le bâtiment pour l'accès au bâtiment des équipes techniques, pour les modalités d'accès à la connectivité, etc.

L'Agence de régulation des postes et des communications électroniques du Congo-Brazzaville a mis en place une charte d'adhésion au point d'échange Internet (CGIX).

Cette charte prévoit un certain nombre d'éléments intéressants :

- Il est mentionné à titre liminaire que le CGIX sera hébergé dans un lieu neutre respectant les standards internationaux en matière de protection, de gestion et d'accès technique ;
- S'agissant de la responsabilité de l'entité en charge de l'exploitation du CGIX, il est stipulé que celle-ci :
 - fournira les informations sur les performances du réseau et s'assurera que chaque adhérent ne soit autorisé qu'à voir seulement les informations (les graphes, les statistiques, etc.) le concernant ;
 - et sera responsable de la configuration et des opérations sur les équipements appartenant à l'IXP.
- Il est mentionné, pour les règles de connexion au CGIX, que les signataires de la charte acceptent que l'accès par les autres demandeurs se fasse dans des conditions objectives et non-discriminatoires ;
- Il est également stipulé l'interdiction pour un adhérent d'utiliser la connexion internationale d'un autre adhérent ;
- S'agissant de la responsabilité de chaque adhérent, il est spécifié que :
 - La connexion au CGIX est laissée à l'appréciation des fournisseurs d'accès et de services Internet, et qu'elle doit être implémentée de telle sorte qu'il soit capable de contrôler leur propre trafic ;
 - Chaque adhérent est responsable de son routeur et devra s'assurer que l'allocation des adresses IP et les autres tâches d'administration doivent être effectuées en coopération avec le gestionnaire du CGIX ;

Il est aussi mentionné que chaque adhérent doit vérifier, par des contrôles réguliers, que son réseau ne perturbe pas les autres réseaux. Il est ajouté que sous certaines conditions, le gestionnaire du CGIX peut déconnecter l'acteur de l'Internet du LAN CGIX lorsque :

- Une opération technique est en contradiction avec les règles de l'art régissant les connexions des réseaux à l'Internet public,
- Un trafic crée une charge anormale sur le réseau de l'un des adhérents,
- Un trafic constitue une menace pour le bon fonctionnement du réseau.

²² France Télécom dénonçait une asymétrie entre le trafic envoyé par Cogent sur ses réseaux et celui qu'il envoyait sur ceux de Cogent, le premier pouvant être jusqu'à 13 fois supérieurs au second.

Il est précisé, sur ce point, que les adhérents doivent se concerter avant toute déconnexion, sauf en cas d'urgence.

Il est également mentionné que pour les besoins de la sécurité et dans le cadre d'enquêtes, les services de sécurité, police et gendarmerie pourront se connecter et/ou visualiser les échanges de trafic sur réquisition des autorités compétentes.

Pour les autres structures de l'Etat (comme les universités par exemple), elles devront se greffer aux services d'un FAI pour se connecter au point d'échange Internet.

6.4 Synthèse

S'agissant de la catégorie de régime applicable, il nous semble que le régime de la liberté est plus adéquat, d'autant que l'autorisation générale conduirait à assujettir l'entité gestionnaire de l'IXP au paiement d'un certain nombre de droits et redevances. En cas d'application du régime d'autorisation générale, nous recommandons de modifier la loi n°2013-025 et de s'inspirer des dispositions précitées de la loi tunisienne afin de clarifier la situation.

En ce qui concerne les règles d'interconnexion et d'accès, nous suggérons de les établir par la voie d'une décision ou de lignes directrices.

Quant aux règles gouvernant les relations entre les parties ayant connecté leurs équipements à l'IXP pour le peering, nous recommandons de les prévoir à travers une charte d'adhésion que devra signer chaque membre de l'entité. Ce projet de charte pourra être annexé à la décision ou aux lignes directrices susmentionnées.

7. Analyse des aspects économiques

Le principal intérêt d'un IXP est d'assurer que le trafic Internet local reste local et ce faisant de réduire les coûts associés à l'échange de trafic entre les fournisseurs d'accès Internet.

Toutefois d'autres avantages moins directement chiffrables peuvent être attendus de la mise en place d'un IXP. La diminution des coûts supportés par les FAI peut se traduire par une diminution correspondante des tarifs de détail favorisant ainsi la diffusion des TIC au sein de la société mauritanienne.

La qualité de service se trouve également améliorée par une réduction de la part du trafic transitant sur les liaisons internationales. Enfin l'existence d'un IXP peut encourager l'hébergement local des contenus et des services de commerce électronique participant ainsi à la réduction des coûts et à l'amélioration de la qualité.

Le chiffrage des différents impacts économiques (directs et indirects) ne va pas sans poser un certain nombre de difficultés. Toutefois, nous proposons ci-dessous une première évaluation des avantages que l'on peut attendre de la mise en place d'un IXP en Mauritanie.

7.1 Les avantages directs : la baisse du coût en bande passante internationale

L'estimation du gain espéré en termes d'économie réalisé sur l'achat de bande passante internationale par les opérateurs suite à la mise en place de l'IXP suppose d'une part de disposer d'une projection des besoins en bande passante internationale pour les prochaines années et d'autre part d'être en mesure de valoriser les gains réalisés.

Par ailleurs, nous supposons que l'ensemble des opérateurs rencontrés lors de nos entretiens participera au nouvel IXP, ce que confirme l'intérêt manifesté lors des entretiens.

Les projections de la demande de bande passante internationale sont réalisées sur la base d'un modèle simple dont nous détaillons ci-dessous les principales hypothèses avant de nous intéresser à la valorisation des économies réalisées suite à la mise en place de l'IXP.

7.2 Projection des besoins en bande passante internationale

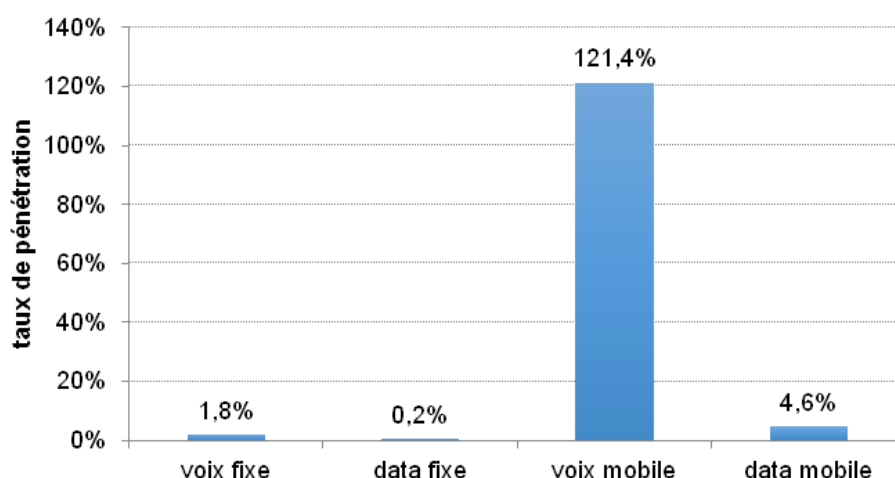
La demande de bande passante internationale se décompose entre la bande passante internationale consommée par les services voix (fixe et mobile) d'une part et la bande passante internationale consommée par les services data (fixe et mobile) d'autre part.

7.2.1 Situation à fin 2013 de la demande de bande passante internationale en Mauritanie

A fin 2012, si les services voix mobiles sont relativement matures, il n'en va pas de même des services data qui sont encore dans une phase de démarrage.

Ainsi, en 2012, les taux de pénétration des différents services étaient les suivants :

**Figure 14 : Taux de pénétration des différents services en 2012
en % de la population de Mauritanie**



L'estimation de la consommation de bande passante internationale est faite sur la base des informations fournies par les opérateurs est présentée dans la première partie du rapport.

Tableau 5 : Réserve de Bande passante internationale

Opérateurs	Bande passante réservée en Mbps
Mauritel	2 925*
Chinguitel	350
Mattel	155
Total	3 430

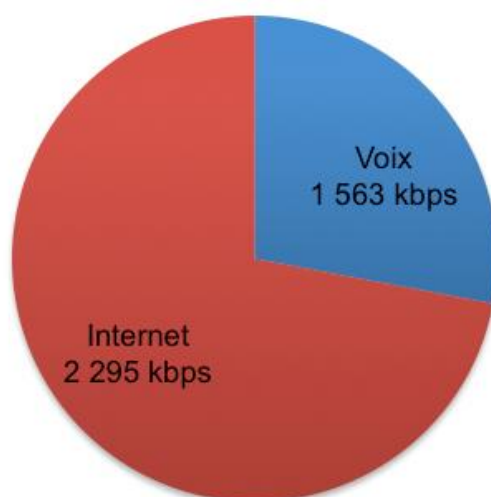
* Déduction faite de la BPI contractée pour le Mali et pour Chinguitel

La consommation de bande passante internationale pour les services voix ne représente qu'une faible part de la consommation totale. Ainsi, dans d'autres pays comparables à la Mauritanie, cette consommation est de 0,8 kbps par abonné fixe et de 0,13 kbps soit pour les parcs d'abonnés fixes et mobiles actuels, une consommation de BPI de l'ordre de 600 Mbps soit environ 16% de la capacité actuellement réservée par les opérateurs.

Le reste, soit environ 2,8Gbps est donc utilisable pour l'écoulement du trafic Internet. Toutefois, les informations fournies par les opérateurs concernent la réservation de BPI et non la consommation réelle. On peut estimer que seuls 60% de cette BPI est effectivement utilisée par les opérateurs.

Ainsi, la consommation totale de bande passante internationale de la Mauritanie représente 2058 Mbps dont 28% pour la voix et 72% pour l'Internet.

Figure 15 : Consommation totale de bande passante internationale en 2012



Dans le cadre de l'étude relative à la mise en place d'un IXP, la projection de la demande de bande passante internationale ne considèrera ici que les usages data, ces derniers étant les seuls concernés par la mise en place de l'IXP. Cette projection se base d'une part sur une projection des parcs d'abonnés aux différents services data et d'autre part sur une projection des modes de consommation des abonnés.

7.2.2 Projection des parcs

Le parc de lignes fixes

Selon les données disponibles, le parc de lignes fixes à fin 2012 est de 65 394 abonnés. Ce parc évolue à la baisse depuis plusieurs années. Cette tendance à la baisse des parcs fixes est observée dans la plupart des pays d'Afrique Subsaharienne où les opérateurs fixes historiques ont pour la plupart arrêté tout investissement dans les réseaux cuivres, donnant la priorité à un développement de la boucle locale radio (CDMA, Wimax ...).

Figure 16 : Evolution des parcs de lignes fixes « cuivre »

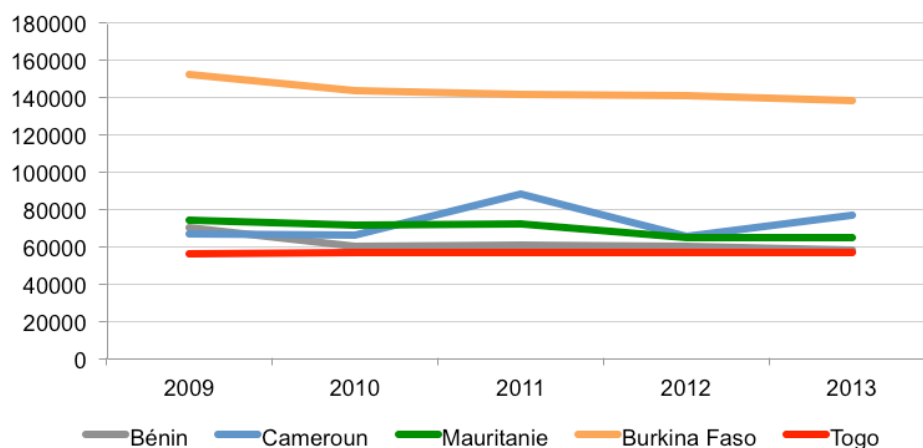
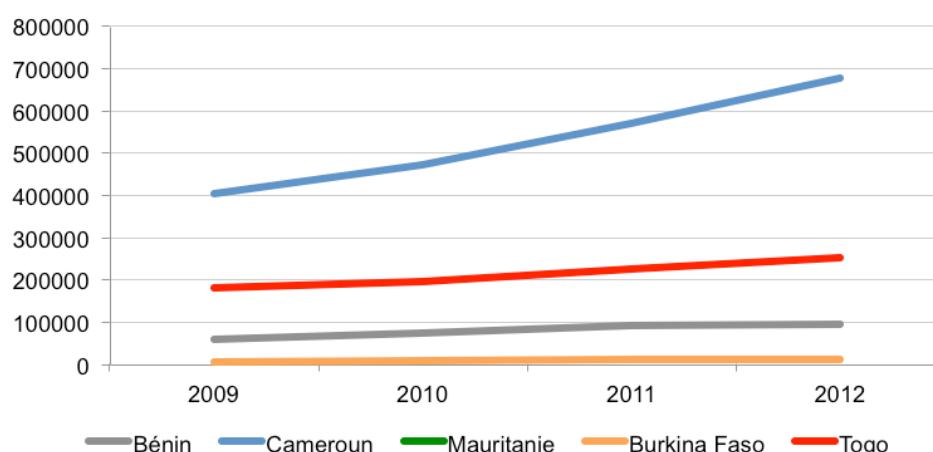


Figure 17 : Parc de lignes fixes "BLR"



Face à la concurrence des technologies radio déployées par les opérateurs mobiles (3G et 4G) ces déploiements de BLR des opérateurs fixes sont également menacés à moyen terme. Pour autant, les solutions de type radio ne permettent pas pour l'instant de répondre aux exigences des clients professionnels (débit, qualité, sécurité). Pour conserver (ou capter) cette clientèle professionnelle, les opérateurs fixes sont amenés de plus en plus à investir dans des réseaux fibre optique type FTTx.

Ces investissements en fibre optique ne devraient toutefois pas conduire à une augmentation du nombre de lignes mais plutôt à une substitution de lignes cuivres par des accès fibre optique FTTx.

Au vu de ces développements, nous adoptons donc une hypothèse conservatrice de stabilité du parc de lignes fixes à l'horizon 2020.

Figure 18 : Évolution du parc de lignes fixes (hors 3G/4G) à l'horizon 2020

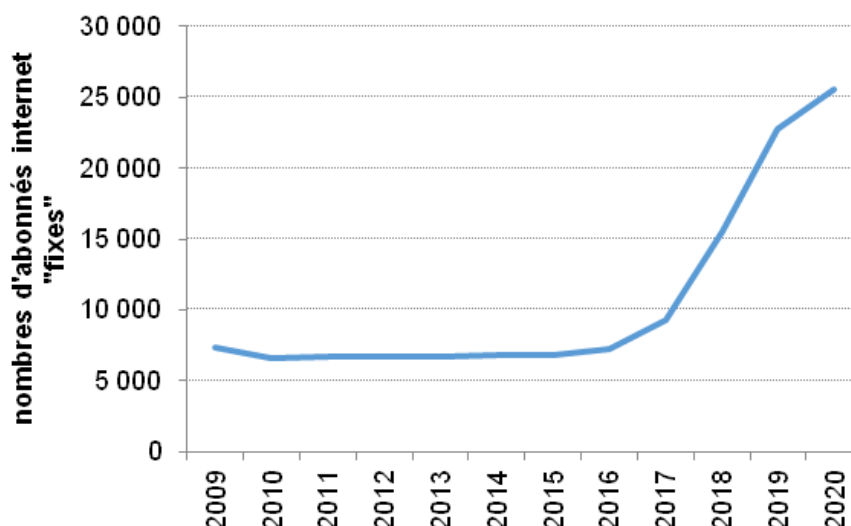


Le parc d'abonnés Internet fixe

Le nombre de clients Internet fixe évolue faiblement sur les dernières années et représente environ 10% des lignes fixes. Ce taux d' « adslisation » des lignes fixes est relativement faible

comparé à d'autres pays de la zone et l'on peut donc supposer que même si le parc de lignes fixes n'évolue pas, le nombre de clients Haut débit « fixe » pourrait lui augmenter significativement. Nous retiendrons une hypothèse de 40% d'abonnés Internet sur le parc fixe (Filaire et CDMA) à l'horizon 2020, avec une évolution adoptant un profil de courbe logistique classique correspondant bien au dynamique de diffusion des nouveaux services.

Figure 19 : Nombre d'abonnés Internet haut débit « fixe » à l'horizon 2020

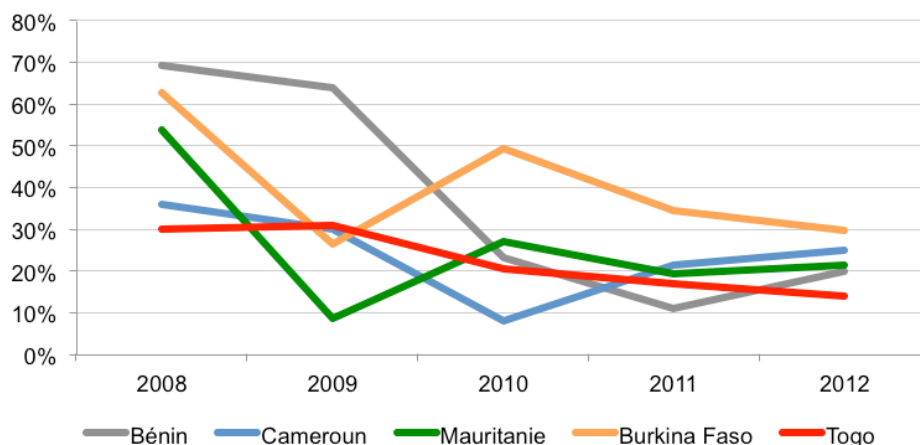


Le parc mobile

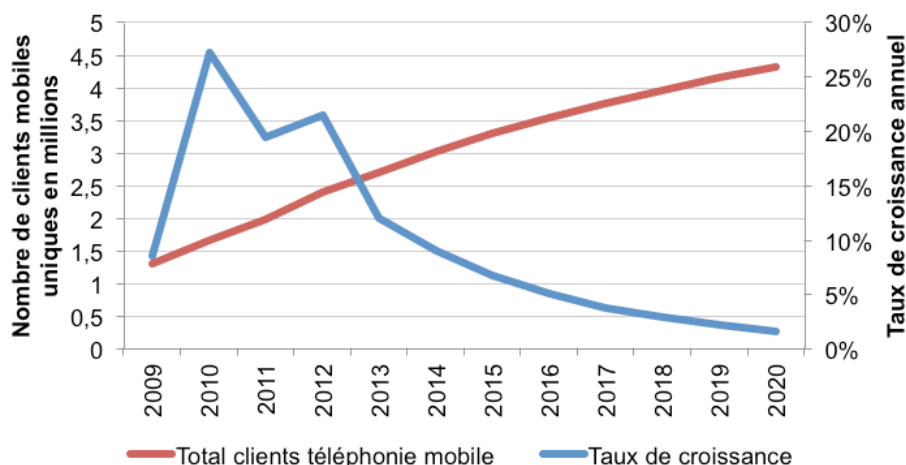
Le nombre d'abonnés mobiles croît régulièrement depuis plusieurs années et le taux de pénétration est particulièrement élevé. Cela peut s'expliquer en partie par le phénomène de multi SIM qui conduit à un taux de pénétration en 2012 de plus de 110%. Selon les opérateurs ce taux de multi SIM est évalué entre 30% et plus de 50% de leur parc. Ainsi, en terme d'abonnés uniques, le taux de pénétration doit être plutôt proche de 65%.

La tendance observée sur de nombreux marchés africains est à une poursuite de la croissance des parcs mobiles mais à un taux annuel qui va en décroissant.

Figure 20 : Evolution du taux de croissance annuel du parc mobile dans quelques pays



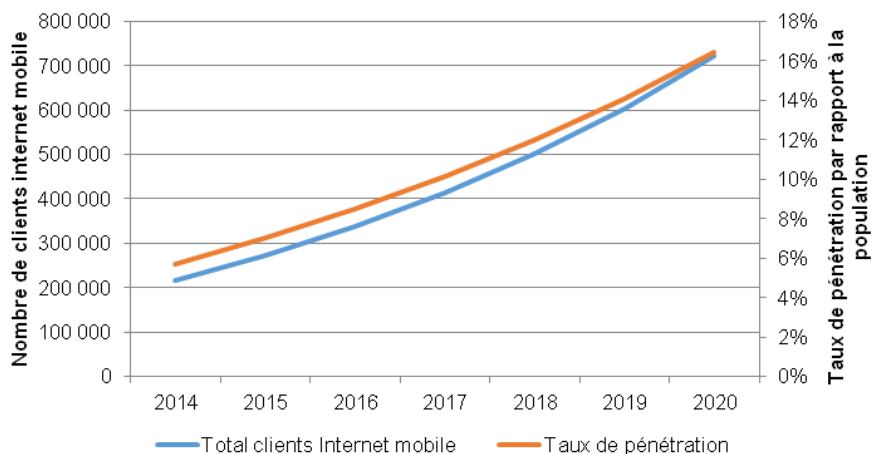
La projection réalisée sur le parc d'abonnés mobiles mauritanien poursuit la tendance en retenant une diminution annuelle du taux de croissance de 25% qui permet d'atteindre progressivement un taux de pénétration « abonné unique » de 100% à l'horizon 2020.

Figure 21 : Évolution du parc mobile


L'Internet mobile

La progression de l'Internet en Mauritanie au cours des dernières années s'est faite largement via le réseau mobile et dépasse aujourd'hui les 5% de taux de pénétration rapporté à la population mauritanienne. Ainsi en 2012, près de 4% des clients mobiles accèdent à Internet via le réseau mobile.

La dynamique devrait se poursuivre dans les années à venir et l'on peut espérer une croissance soutenue qui devrait porter la part des clients mobiles accédant à Internet à 10% de la base clientèle, correspondant à un taux de croissance annuel moyen de quelques 20% par an.

Figure 22 : Evolution de l'Internet mobile


7.2.3 La demande de bande passante internationale

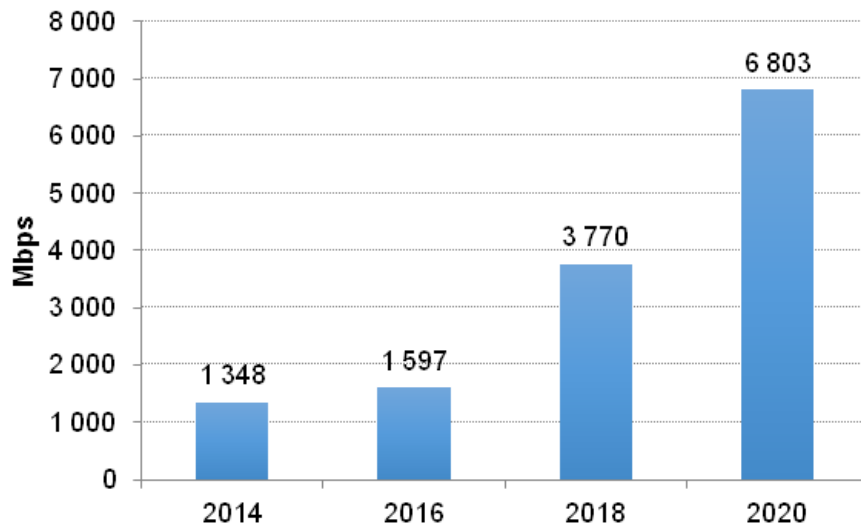
La consommation de bande passante internationale est liée d'une part aux parcs d'abonnés aux services data mais également aux usages que font les abonnés de ces services.

Plusieurs dynamiques devraient modifier l'usage que font les mauritaniens de l'Internet. D'une part le développement de contenus locaux devrait contribuer à un accroissement des volumes consommés par usager. D'autre part, les baisses attendues de prix devraient également favoriser un accroissement des consommations. Enfin, le déploiement de technologies permettant l'accès à des débits plus élevés participera également à un accroissement des usages. Faire la part de chacun de ces facteurs dans la dynamique globale des usages data se révèle particulièrement délicat, du fait de la corrélation existant entre eux.

Les usages data fixe

Les projections réalisées pour la consommation de bande passante internationale Internet fixe se basent d'une part sur une progression liée à la progression du nombre de clients et d'autre part sur une progression des usages par client de 5% par an. Cette évolution combinée des parcs et des usages conduit à une augmentation significative de la consommation de bande passante internationale pour les usages Internet fixe qui atteint 6,8 Gbps en 2020.

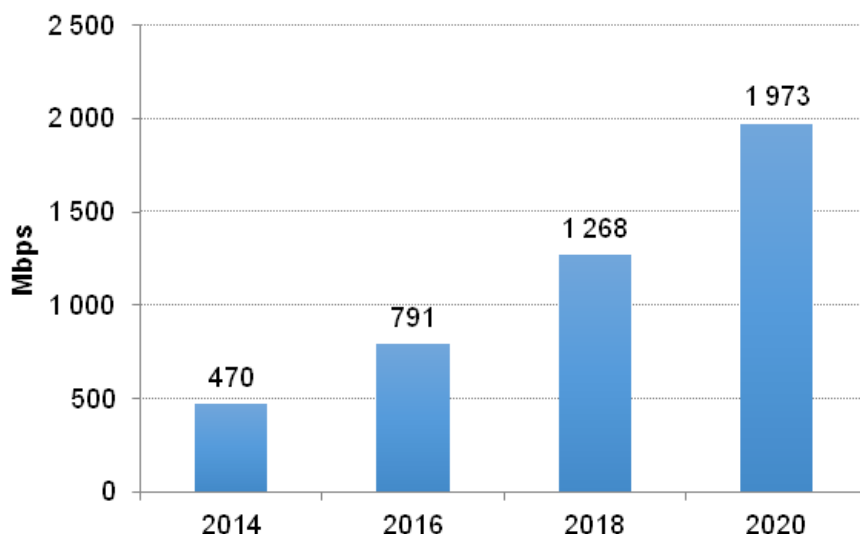
**Figure 23 : Evolution de la consommation de bande passante internationale
"Internet fixe"**



Les usages data mobile

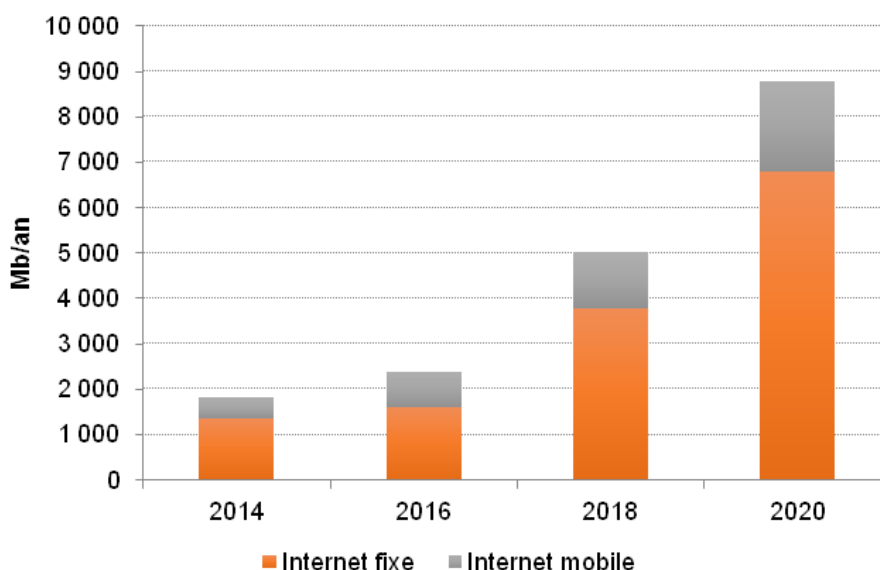
Comme pour les usages fixes, la consommation de bande passante Internet par client mobile devrait également progresser significativement dans les années à venir quoique à un rythme moins prononcé du fait d'une part du temps de migration nécessaire du parc de terminaux vers des terminaux de type Smartphone permettant un réel usage d'Internet et d'autre part de l'évolution des offres commerciales qui pour l'instant ne permettent pas d'usage aussi illimité que les offres fixes. Les projections réalisées tablent sur une évolution de 4%/an de la consommation par abonné ce qui conduit à une consommation de près de 2 Gbps à l'horizon 2020.

**Figure 24 : Evolution de la consommation de bande passante internationale
"Internet mobile"**



Au total, la consommation de bande passante internationale Internet de la Mauritanie devrait atteindre près de 10 Gbps en 2018 et 24 Gbps à l'horizon 2025.

Figure 25 : Demande de bande passante internationale

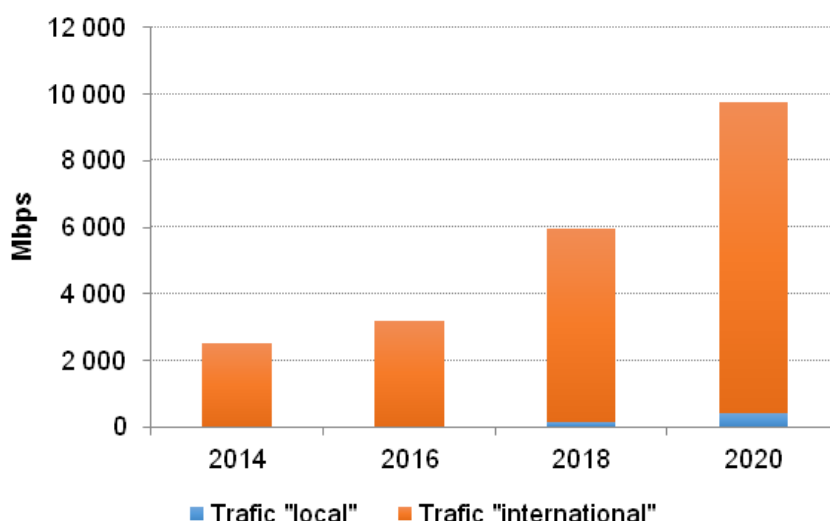


Cette progression peut néanmoins être partiellement freinée par la mise en place d'un IXP. En effet, comme déjà présenté, l'IXP devrait permettre de rerouter les trafics locaux entre les opérateurs nationaux sans utiliser de bande passante internationale. Actuellement, les entretiens réalisés avec les différents opérateurs mauritaniens ont mis en évidence l'absence de tout trafic local, les quelques contenus locaux existant en Mauritanie étant pour l'essentiel hébergés à l'étranger. Toutefois, cette situation devrait évoluer dans les prochaines années d'une part avec la montée en puissance de programmes nationaux tels que le e-gouvernement, le développement de structures permettant l'hébergement de contenu local et la possible installation, si un IXP existe, de caches de grands acteurs de l'Internet tels Google, Yahoo, YouTube ...

Pour prendre en compte ce développement de contenus locaux ou de contenus internationaux hébergés localement, les projections de demande intègrent une part croissante de bande

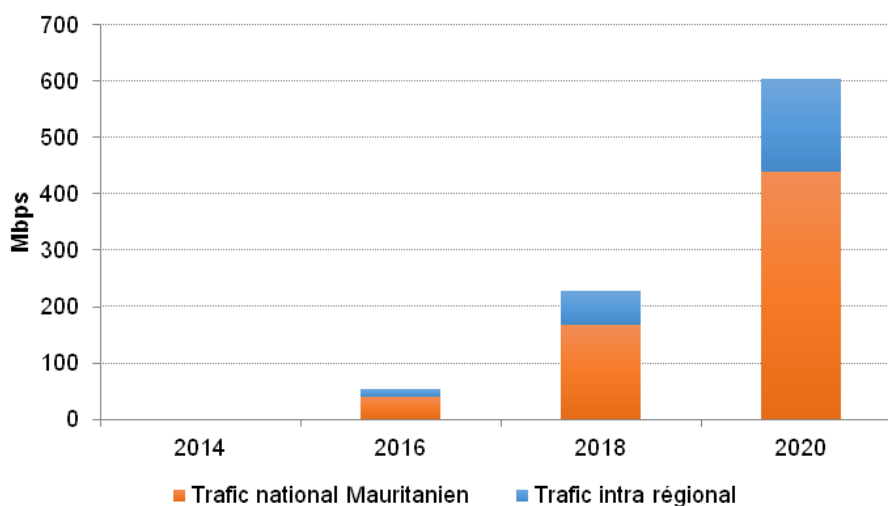
passante Internet routée localement, qui conduit à « économiser » près de 500 Mbps à l'horizon 2020.

Figure 26 : Répartition entre trafic routé localement et internationalement



Si par ailleurs, on considère la possibilité pour l'IXP mauritanien de jouer un rôle « régional » en intégrant les flux provenant du Mali, et si l'on suppose que la Bande passante internationale actuellement mise à disposition du Mali par Mauritel évolue selon les mêmes principes que ceux gouvernant l'évolution de la bande passante internationale mauritanienne, le trafic « régional » en provenance du Mali devrait représenter quelques 165 Mbps supplémentaires à l'horizon 2020.

Figure 27 : Evolution du trafic échangé via l'IXP



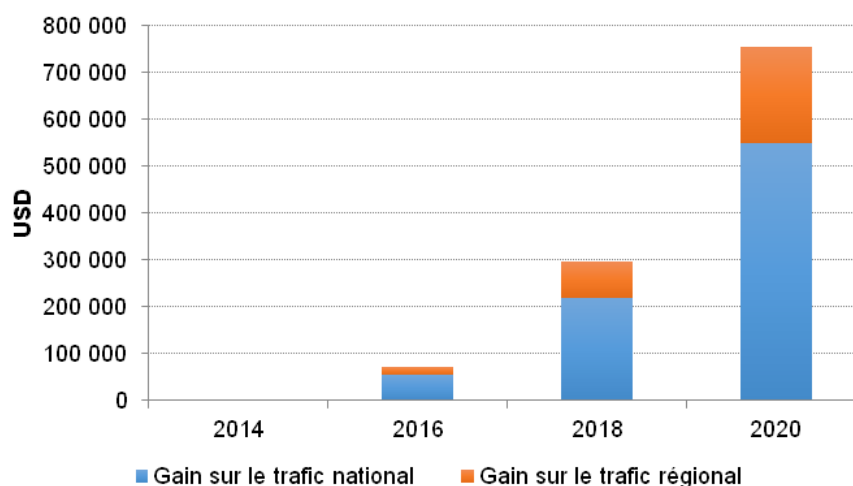
7.2.4 Valorisation du gain en bande passante internationale

Si l'on suppose que la mise en place de l'IXP conduira les opérateurs à faire transiter l'ensemble de leur échange de trafic local via l'IXP, l'économie réalisée sur l'achat de bande passante est bien entendu fortement dépendante du coût pour les FAI de la bande passante internationale. Comme déjà signalé, les prix actuellement facturés sont en cours de révision et ne peuvent donc pas être considérés pour projeter à moyen terme les bénéfices attendus de la mise en place de l'IXP, sachant qu'à court terme ce bénéfice est proche de zéro vue l'absence d'échanges de flux locaux.

Toutefois, afin de disposer d'une première estimation, nous retiendrons un prix moyen du Mbps de 120 USD/mois en 2014 évoluant à la baisse à un taux de 2%/an. Cette estimation devra être affinée en fonction des résultats de l'étude en cours sur les tarifs de ACE.

Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, l'économie réalisée à l'horizon 2020 du fait de la mise en place de l'IXP pourrait atteindre 550 000 USD (162 millions d'Ouguiya) dans le cas d'un IXP national auxquels se rajouteraient 200 000 USD (61 millions d'Ouguiya) supplémentaires dans le cas où l'IXP aurait une dimension sous régionale.

Figure 28 : Economies réalisées sur l'achat de la bande passante internationale



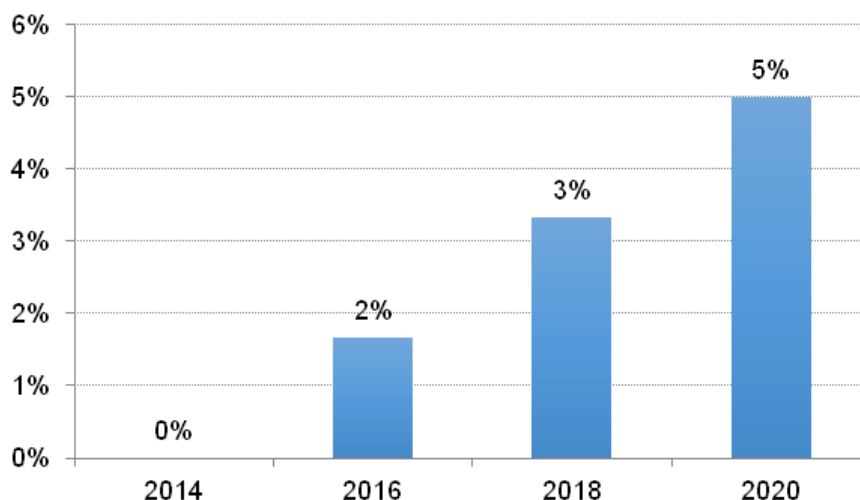
7.3 Les avantages indirects

7.3.1 La baisse des tarifs de détail

Aucune étude ne permet à ce jour de disposer d'une mesure de l'élasticité du prix de détail des offres Internet à une baisse du coût de la bande passante internationale. Celle-ci dans tous les cas est fortement dépendante de la répercussion que les FAI feront sur leurs prix de détail de l'économie réalisé sur l'achat de bande passante. Toutefois, il est possible de mener une première évaluation de ce que pourrait être la baisse du prix de détail.

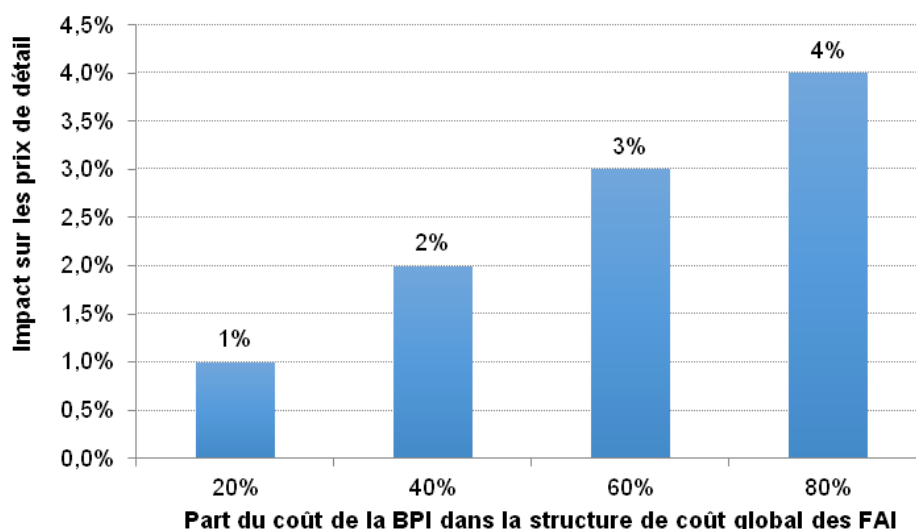
Toutes choses égales par ailleurs et sous le cadre d'hypothèses retenu au paragraphe précédent, la baisse de coûts due aux économies réalisées sur l'achat de capacité internationale permises par la mise en place de l'IXP représenterait globalement pour l'ensemble des FAI une baisse des coûts d'achat de capacité atteignant 5% en 2020.

Figure 29 : Diminution relative du coût de la capacité pour les FAI mauritaniens



Ainsi, si le coût de la bande passante internationale dans la structure de coûts des FAI était de 80%, l'impact maximum attendu sur les prix de détail (en supposant une répercussion intégrale de la baisse de coûts) serait de 4%.

Figure 30 : Impact sur les prix de détail d'une baisse du coût d'acquisition de BPI



L'impact que l'on peut attendre sur les prix de détail de la mise en place d'un IXP est donc très limité.

7.3.2 Les autres avantages indirects

Le faible impact mis en évidence sur les prix de détail des FAI ne doit pas pour autant masquer les avantages indirects que l'on peut attendre et qui eux-mêmes pourront conduire à une baisse des prix de détail.

L'amélioration de la qualité permise par la diminution des temps de latence peut ainsi permettre, si le cadre réglementaire le permet, la diffusion de la téléphonie sur IP jusqu'ici bridée par des temps de latence trop importants. Cette diffusion de la VOIP devrait conduire à une concurrence accrue sur les offres de téléphonie fixe et donc à une baisse des tarifs de détail sur le segment du fixe. L'impact sur le temps de latence a été observé notamment au Kenya suite à la mise en

place du premier IXP. Ainsi, les FAI kenyan qui évaluaient le temps de latence entre 200 millisecondes (ms) et 600 ms, avant la mise en place de l'IXP, rapportent maintenant des temps de latence inférieurs à 10 ms. Or les latences supérieures à 300 ms exposent la VoIP à des insuffisances du réseau qui, souvent, nuisent aux conversations bidirectionnelles. La mise en place de l'IXP au Kenya a donc permis d'ouvrir la voie à la VoIP ainsi qu'à d'autres applications sensibles au temps de latence. Au Nigéria, le même phénomène a été observé par les membres de l'IXP qui ont observé une réduction significative du temps de latence pour l'accès au contenu local, en règle générale de 200 à 400 ms sans l'IXP et entre 10 ms et quelques millisecondes avec l'IXP.

L'amélioration de la qualité de service, que traduit la diminution du temps de latence, est également un facteur important de (re)localisation en Mauritanie des fournisseurs de contenus et de services. En effet, de manière générale, l'on observe que les fournisseurs de contenu local des pays sans IXP préfèrent être localisés dans un pays où leur hébergement est meilleur marché, notamment du fait de l'existence d'une infrastructure locale à bas prix dont un IXP fait partie intégrante. La présence d'un IXP en Mauritanie devrait donc contribuer à encourager le développement de contenu local et l'hébergement local des services. En effet, la diminution des coûts de connectivité internationale et l'amélioration de la qualité de service favorisant une augmentation du nombre d'utilisateurs mauritanien, les fournisseurs de contenus sont en droit d'espérer un accroissement significatif de leurs chiffres d'affaires.

8. Business Plan de l'IXP

Les développements relatifs à la conception technique de l'IXP ont fourni les éléments nécessaires au dimensionnement de l'IXP selon les différents scénarios et à la définition des coûts de Capex et d'Opex. Un chiffrage plus précis de certains des postes de coûts est par ailleurs nécessaire à la réalisation du Business Plan.

8.1 Les coûts d'investissement

Quatre scénarios ont été présentés relatifs à la conception technique de l'IXP. Le Tableau 4 : Nombre d'équipements dans chaque scénario dénombre les équipements.

Les coûts unitaires de ces différents équipements sont présentés dans le tableau ci-dessous et correspondent aux prix catalogue proposés par les fournisseurs contactés par le Consultant avant toute remise commerciale. Ce sujet, et d'après l'expérience qu'en a NéoTélécom, la politique commerciale des fournisseurs les conduit à pratiquer des remises importantes atteignant 50% du prix catalogue.

Tableau 6 : Coûts unitaires d'équipement de l'IXP avant remise

Type d'équipement	USD	MRO
Switch Ethernet - production (y compris la licence BGP et MPLS payée une seule fois)	19 000 + 10 000	5 614 481+2 954 990
Switch Ethernet - spare	19 000	5 614 481
Modules Virtual Chassis, Kit de rackage, alimentation et connectique Switch	5 250	1 551 370
Stocks pièces de rechanges Switch (alimentation, ventilateur, connectique)	3 350	989 922
Interface cuivre / Fibre optique	3 200	945 597
Interface optique Switch SX / LX (20) et SR/LR (8)	2 114	624 685
Serveurs de route	1 000	295 499
Support Switch	4 460	1 317 926
Routeur Niveau 3 et Cartes de routage et management	39 500 + 24 150	11 672 211 +7 136 301
Stocks pièces de rechanges Routeur (alimentation, carte routage, ventilateur)	28 650	8 466 046
Interface optique SX/LX (20) et SR/LR (8)	2 114	624 685
Support Routeur	3 326	982 830
DWDM passif - production	3 614	1 067 919
DWDM passif - spare	3 614	1 067 919
Interface optique DWDM	1 060	313 155
Serveurs OOB	2 500	738 748
Switch VPN	1 000	295 499
Station de travail/mini PC + Ecran + périphériques	700	206 849

Les temps nécessaires à la préparation et à l'installation des équipements ainsi qu'à la formation aux différents équipements et logiciels sont estimés dans les tableaux ci-dessous dans le cas du scénario 1.

Tableau 7 : Temps d'installations et de formation pour l'IXP

Type d'équipement	Nombre de jours	Coûts journalier en USD	Coûts journalier en MRO
Prestations fournisseur (hors Mauritanie)	4	1 200	354 599
Prestations fournisseur (en Mauritanie)	5	1 750	517 123
Formation/assistance (en Mauritanie)	5	1 750	517 123
Prestations technicien installation	10	203	60 000
Prestations technicien démarrage	20	203	60 000
Prestations pour installation, configuration des logiciels	5	1 750	517 123
Formation utilisation des logiciels	2	1 750	517 123

Dans les autres scénarios, les temps d'installation et de maintenance sont majorés par rapport au scénario 1 pour prendre en compte l'impact de la mutualisation permise par le passage d'un scénario à l'autre selon les taux suivants :

Tableau 8 : Majoration des prestations selon les scénarios

Majoration des temps par rapport au scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Prestations fournisseur (hors Mauritanie)	10%	50%	60%
Prestations fournisseur (en Mauritanie)	10%	50%	60%
Formation/assistance (en Mauritanie)	50%	10%	60%
Prestations technicien installation	10%	50%	60%
Prestations technicien démarrage	10%	10%	20%
Prestations pour installation, configuration des logiciels	10%	10%	20%
Formation utilisation des logiciels	10%	10%	20%

Enfin, la gestion et l'administration de l'IXP nécessitent la mise à disposition de matériel de bureau. Selon que l'IXP sera installé sur un ou deux sites, ces équipements devront être dupliqués.

Tableau 9 : Autres matériels

Type d'équipement	Nombre d'équipements	Coûts unitaires en USD	Coûts unitaires en MRO
Bureau (table + fauteuil + armoire)	1 ou 2	2 010	593 953
Imprimante	1 ou 2	134	39 597

Au total, les coûts de CAPEX dans les 4 scénarios se présentent comme suit, incluant le coût des équipements et les coûts d'installation et de supervision des travaux :

Tableau 10 : Coûts d'investissement en MRO

CAPEX en MRO	Scénario 1 : Layer 2 Mono site	Scénario 2 : Layer 2+3 Mono site	Scénario 3 : Layer 2 dual site	Scénario 4 : Layer 2+3 dual site
Equipements	32 379 007	61 261 080	68 556 137	97 438 210
Prestations installations et formations	12 009 490	14 244 686	15 052 044	17 287 240
Equipements de bureau	633 550	633 550	1 267 100	1 267 100
Total	45 022 048	76 139 316	84 875 281	115 992 549
Remise fournisseur sur équipements	48%	48%	48%	48%
Total y.c. remise commerciale	31 723 174	49 276 896	58 277 534	75 831 256

Tableau 11 : Coûts d'investissement en USD

CAPEX en USD	Scénario 1 : Layer 2 Mono site	Scénario 2 : Layer 2+3 Mono site	Scénario 3 : Layer 2 dual site	Scénario 4 : Layer 2+3 dual site
Equipements	109 574	207 314	232 001	329 741
Prestations installations et formations	40 641	48 206	50 938	58 502
Equipements de bureau	2 144	2 144	4 288	4 288
Total	152 359	257 664	287 227	392 531
Remise fournisseur sur équipements	48%	48%	48%	48%
Total y.c. remise commerciale	99 764	158 153	175 866	234 255

8.2 Les coûts d'exploitation

Ces coûts sont ceux nécessités par l'exploitation de l'IXP. Ils sont constitués de :

- Coûts de personnel
- Coûts d'exploitation et de maintenance
- Energie
- Assurance
- Locaux
- Frais de gestion

8.2.1 Les coûts de personnel

Le coût du personnel s'appuie sur le dimensionnement des équipes décrit au 4.3.1.

La valorisation des temps est faite en se basant sur un salaire journalier de 60 000 MRO.

8.2.2 Coûts d'exploitation et de maintenance

Ces coûts sont ceux nécessaires à la réalisation des opérations courantes de maintenance et d'exploitation et sont évalués sur la base d'un pourcentage des immobilisations pris égal à 1% des immobilisations.

8.2.3 Coût de l'énergie

Ce coût correspond à la fourniture de l'électricité nécessaire au fonctionnement des différents équipements.

Il est estimé sur la base des puissances unitaires de chaque équipement, de durée de fonctionnement standard (7/7 et 24/24 soit 8760 heures annuelles pour les équipements IXP et durée de présence des personnels pour l'éclairage et la bureautique), et du prix de l'électricité fourni par la Somelec.

Pour prendre en compte le coût de sécurisation de l'énergie électrique, un coefficient de 1,2 est appliqué aux tarifs de la Somelec (à l'identique de ce qui est pratiqué par Mauritel dans son catalogue d'interconnexion).

Tableau 12 : Puissance électrique des équipements de l'IXP

Type d'équipement	Puissance en Watt	Durée annuelle de fonctionnement pour scénario 1
Switch Ethernet	650	8 760
Serveurs	205	8 760
Station de travail/mini PC + Ecran + périphériques	205	328
Routeurs Niveau 3	650	8 760
Eclairage	100	328

L'abonnement retenu correspond au tarif type BT (monophasé) industrie pour un abonnement de 6 kVA par site.

Sur cette base, le coût de l'énergie est le suivant pour les 4 scénarios.

Tableau 13 : Coûts de l'énergie en MRO/an

Coûts annuels	Scénario 1 : Layer 2 Mono site	Scénario 2 : Layer 2+3 Mono site	Scénario 3 : Layer 2 dual site	Scénario 4 : Layer 2+3 dual site
Prime fixe	19 809	19 809	39 617	39 617
Coût variable	1 322 596	1 726 610	2 649 686	3 055 048
<i>Coût total de l'électricité</i>	1 342 405	1 746 419	2 689 303	3 094 665

8.2.4 Assurance et frais de gestion

Ces coûts sont ceux engagés respectivement pour assurer les équipements et gérer les opérations de facturation et recouvrement. Ils sont exprimés respectivement en pourcentage des immobilisations (2%) et de la masse salariale (15%).

8.2.5 Les locaux

Il s'agit des locaux nécessaires d'une part à l'hébergement des équipements et d'autre part à celui du personnel et des dossiers.

Tableau 14 : Coût de l'espace

Surfaces occupées	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3		Scénario 4	
Local technique (Hébergement Baie)	2 baies	2 m2	3 baies	3 m2	4 baies	4 m2	5 baies	5 m2
Local administratif	10 m2		10 m2		20 m2		20 m2	
<i>Total surface</i>	12 m2		13 m2		24 m2		25 m2	

Le coût est celui proposé au titre de la colocalisation pour les bâtiments dans le catalogue d'interconnexion de Mauritel (MRO / m3 climatisé avec énergie secondaire catalogue interconnexion Mauritel 2013-2014 page 18), soit 2 720 MRO /m3/mois. Ce coût est celui de locaux climatisés et sécurisés, et de ce fait aucune charge supplémentaire n'est ajoutée au titre du gardiennage ou de la climatisation.

8.2.6 Coûts télécom

Deux abonnements mobiles (un pour le technicien et un pour l'administratif) sont prévus afin que ceux-ci puissent être joints en dehors de leurs heures de présence sur le site.

Le coût des abonnements mobile correspond à l'offre « Optimis » de Mauritel (3 000 MRO/mois).

Ces coûts sont identiques pour les quatre scénarios.

8.2.7 Synthèse des coûts d'exploitation

Au total les coûts d'exploitation et maintenance annuelles de l'IXP pour une année type selon les 4 scénarios sont les suivants :

Tableau 15 : OPEX de l'IXP

OPEX en MRO par an	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Main d'œuvre	2 460 000	2 694 000	3 240 000	3 591 000
Coûts d'exploitation et de maintenance	323 790	612 611	685 561	974 382
Location d'espace	391 680	424 320	783 360	816 000
Electricité	970 309	1 375 229	1 951 152	2 359 233
Assurance et frais de gestion	1 003 463	1 389 638	1 651 551	2 055 275
Téléphonie	72 000	72 000	72 000	72 000
Total en MRO	5 221 242	6 567 798	8 383 624	9 867 890
Total en USD	17 669	22 226	28 371	33 394

8.3 Analyse financière de l'IXP

Le but de l'analyse financière est :

- D'identifier et d'estimer tous les flux monétaires et de biens et services résultant des activités liées aux projets d'IXP: coûts d'investissement, coûts de fonctionnement ...;
- De faire le point sur la situation financière globale de l'IXP et donc sur la solvabilité (la solvabilité est le fait de pouvoir assurer l'avenir à relativement long terme sans se trouver en défaut de paiement) de ses activités ;
- De calculer la rentabilité des capitaux investis ;
- De récapituler les concours financiers extérieurs nécessaires.

L'analyse financière évalue donc les flux financiers générés par le projet au cours de toute sa durée de vie. L'analyse financière va donc prendre en compte les dépenses en capital (CAPEX) et les dépenses de fonctionnement (OPEX) estimées sur la base des inputs des tâches précédentes.

8.3.1 Hypothèses générales

Ces hypothèses concernent les variables permettant de calibrer le modèle et de décrire l'évolution du contexte socio-économique dans lequel s'insère le projet.

Ces hypothèses concernent essentiellement :

- L'horizon du modèle : afin d'être cohérent avec les analyses menées précédemment tout en ayant une visibilité suffisante, le choix a été fait de retenir un horizon à 2024 pour le modèle ;
- La date de démarrage est fixée au 27 novembre 2014 ;
- La durée de d'installation est courte et l'on suppose donc que la mise en exploitation commerciale intervient dans la même année.

On rappelle également que le projet WARCIP travaille sur un concept dual site (station ACE + nouveau bâtiment technique), le deuxième site étant disponible à l'horizon 2016.

8.3.2 Les dépenses d'exploitation et de maintenance

Ces dépenses sont celles encourues tout au long de la phase d'exploitation de l'IXP et sont celles présentées plus haut

8.3.3 Les coûts d'investissements

Deux grandes catégories d'investissements sont considérées :

- Les Investissements initiaux qui correspondent à la mise en place de l'IXP et qui correspondent à ceux présentés plus haut.
- Les Investissements réalisés en cours d'exploitation afin de maintenir l'IXP en état de fonctionnement normal. Le renouvellement des équipements est fonction de la durée de vie technique des équipements présentée ci-dessous. Dans le modèle, cette durée de vie technique est considérée comme identique à la durée de vie économique qui permet l'amortissement. Au fur et à mesure de son utilisation (usure), et du simple fait du temps (obsolescence ou désuétude), les biens perdent de leur valeur. L'amortissement est une opération comptable qui consiste chaque année à réduire la valeur d'un bien du fait de l'usure et de l'obsolescence. Les biens amortissables sont ceux qui ont une durée de vie utile limitée mais qui dure plus d'un exercice Dans le modèle, la méthode d'amortissement retenue est de type linéaire.

Les durées de vie technique des équipements retenues pour procéder à l'amortissement est de 5 ans sauf pour le mobilier 10 ans.

Afin de prendre en compte l'impact du progrès technique et de retracer la tendance à la baisse des prix observée sur les équipements technologiques, le prix de renouvellement des équipements est diminué de 2%/an par rapport au prix initial des équipements.

8.3.4 Le plan d'investissement

Comme déjà signalé lors de l'analyse des impacts économiques attendus de la mise en place d'un IXP, le trafic Internet local est pour l'instant voisin de 0 du fait d'une part de contenus locaux limités et qui quand ils existent, sont actuellement hébergés à l'étranger. L'intérêt immédiat direct d'un IXP est donc relativement limité au moins en termes d'économie potentielle sur le coût d'acquisition de la bande passante internationale. Il peut donc sembler pertinent de concevoir le plan d'investissement en tenant compte de ce faible intérêt à court terme en décalant certains investissements dans le temps. Il est donc proposé de considérer le plan d'investissement suivant :

Tableau 16 : Plan d'investissement des différents scénario

Scénario	Investissement réalisé au 01/01/2015	Investissement réalisé au 01/01/2017
Scénario 1	Tout	-
Scénario 2 a	Tout	-
Scénario 2 b	Layer 2	Layer 3
Scénario 3	Layer 2 sur un site	Layer 2 sur 2 ^e site
Scénario 4	Layer 2 sur un site	Layer 2 sur 2 ^e site + Layer 3

8.3.5 Le plan de financement

Traditionnellement, on distingue trois grandes sources de financement :

1. Les dons qui constituent des ressources non remboursables et sont attribués généralement par des bailleurs de Fonds Internationaux (Banque Mondiale, Banque Africaine de Développement, Union Africaine ...)
2. Les prêts qui constituent des ressources donnant lieu au remboursement du capital et d'intérêts. Un prêt suppose la définition d'un certain nombre de caractéristiques. Dans le cadre de cette analyse, trois principales caractéristiques ont été retenues :
 - Maturité : durée sur laquelle le prêt est consenti
 - Période de grâce ; période correspondant à un différé du remboursement du capital emprunté et qui correspond à minima traditionnellement à la période de construction pendant laquelle le projet ne génère pas encore de revenue.
 - Le taux d'intérêt qui peut être soit constant soit variable, et sera ici considéré comme fixe.

Dans le cadre de la présente analyse, deux types de prêt sont retenus :

- Un prêt concessionnel provenant du financement du projet WARCIP pour le financement de l'investissement initial correspondant aux montants de Capex présentés ci-dessus.
- Un prêt commercial pour le financement des investissements de renouvellement si les fonds disponibles au sein de l'IXP s'avéraient insuffisants pour ce financement.

Tableau 17 : Caractéristiques des prêts

	Maturité	Période de grâce	Taux d'intérêt	Modalité de remboursement	Commission d'engagement
Prêts concessionnels	30 ans	Premier remboursement en 2023	0,75%	1% du capital en septembre et mars de 2023 à 2033 2% du capital en septembre et mars de 2033 à 2053	0, 5%
Prêts commerciaux	5 ans	0 ans	17%	Annuité fixe et constante	-

3. Les financements sur fonds propres c'est à dire à partir des réserves constituées par l'IXP. Dans le cadre de ce projet, les financements sur fonds propres seront utilisés pour financer les investissements de renouvellement. Les fonds propres proviendront d'un compte séquestre alimenté chaque année par l'entité en charge de l'IXP.

Au final le plan de financement devrait être le suivant, pour chacun des 4 scénarios :

Tableau 18 : détail du plan de financement utilisé pour le Business Plan de l'IXP

	Total * M MRO	Total K USD	2014	2016	2019	2021
Scénario 1 : Layer 2						
Financement Warcip	31,7	107,4	31,7	0,0	0,0	0,0
Financement Fonds propres	26,6	90,0	0,0	0,0	26,6	0,0
Scénario 2 A : Layer 2 + Layer 3 simultané						
Financement Warcip	49,3	166,8	49,3	0,0	0,0	0,0
Financement Fonds propres	42,2	142,6	0,0	0,0	42,2	0,0
Scénario 2 B : Layer 2 + Layer 3 décalé						
Financement Warcip	48,8	165,2	31,7	17,1	0,0	0,0
Financement Fonds propres	41,9	141,9	0,0	0,0	26,6	15,3
Scénario 3 : Layer 2 dual site						
Financement Warcip	64,5	218,1	31,7	32,7	0,0	0,0
Financement Fonds propres	53,8	182,0	0,0	0,0	26,6	27,2
Scénario 4 : Layer 2+ Layer 3 dual site						
Financement Warcip	81,6	276,0	31,7	49,8	0,0	0,0
Financement Fonds propres	78,4	265,4	0,0	0,0	35,9	42,6

* Les totaux diffèrent légèrement de ceux présentés plus haut car le décalage dans le temps des investissements entraîne une baisse du prix des matériels liée à l'hypothèse faite sur le progrès technique.

8.3.6 Les revenus de l'IXP

Deux types de revenus sont considérés ici : ceux correspondant aux frais d'installation de chaque nouveau membre de l'IXP, et ceux correspondant au paiement d'une redevance mensuelle par tous les membres de l'IXP.

Pour l'IXP, la méthodologie retenue ici pour déterminer la redevance mensuelle est basée sur la notion de revenu nécessaire. Si l'on considère que le but de l'IXP n'est pas de

générer des profits mais simplement de dégager les revenus suffisants pour lui permettre d'assurer son fonctionnement et le renouvellement des équipements, la redevance calculée par le modèle est celle conduisant à un revenu permettant à l'IXP de faire face à l'ensemble de ses coûts à savoir :

- **Les coûts d'exploitation et de maintenance**
- **La rémunération du capital**
- **Les amortissements**

Les frais d'installation facturés aux utilisateurs sont alignés sur le coût de raccordement d'un nouvel abonné. Ces frais d'installations sont évalués sur la base d'un forfait temps de 3 heures pour chaque nouveau membre valorisé au taux horaire utilisé pour valoriser les dépenses de personnel, soit 7 500 MRO de l'heure. Ceci conduit à des frais d'installation de 22 500 MRO en année de base.

La redevance mensuelle est calculée en faisant l'hypothèse que le nombre de participants évolue dans le temps.

On considère que dès la première année, les trois FAI présents en Mauritanie seront partie prenante dans l'IXP (Mauritel, Chinguitel et Mattel). Ainsi, dès la première année, l'IXP compterait 3 membres. Le nombre d'utilisateurs évolue ensuite dans le temps et l'on fait l'hypothèse qu'à partir de 2017, l'IXP compte 2 membres supplémentaires (nouveaux FAI) puis deux nouveaux membres à partir de 2020.

Les tarifs présentés ci-dessous sont ceux issus de l'analyse financière et sont donc dépendants des hypothèses. Il appartiendra à l'organisation en charge de l'IXP de mettre à jour les projections financières chaque année en fonction de l'expérience acquise sur les coûts (CAPEX et OPEX) et du nombre d'utilisateurs (présents et projetés).

Par ailleurs, ces tarifs sont uniformes quelle que soit la taille de l'utilisateur. En effet, les coûts d'utilisation de l'IXP sont indépendants des volumes échangés par chaque utilisateur et il n'y a donc aucune justification économique à discriminer les utilisateurs en termes de prix. Par contre, des considérations de type promotion du secteur, appui aux « petits » utilisateurs pour les inciter à utiliser l'IXP, peuvent justifier la mise en place de tarifs différenciés selon la nature de l'utilisateur. La mise en œuvre de telles mesures relève de l'entière responsabilité des membres existants de l'IXP qui peuvent décider, à l'image de ce qui est proposé en France par Renater, d'offrir la gratuité de l'accès (ou des tarifs préférentiels) à certaines catégories d'utilisateurs. Pour autant, le prix payé par les utilisateurs non bénéficiaires de la gratuité devra permettre de couvrir les coûts de l'IXP selon la même logique que celle présentée ci-dessus. Ceci aura pour conséquence des prix plus élevés pour les membres « payants ».

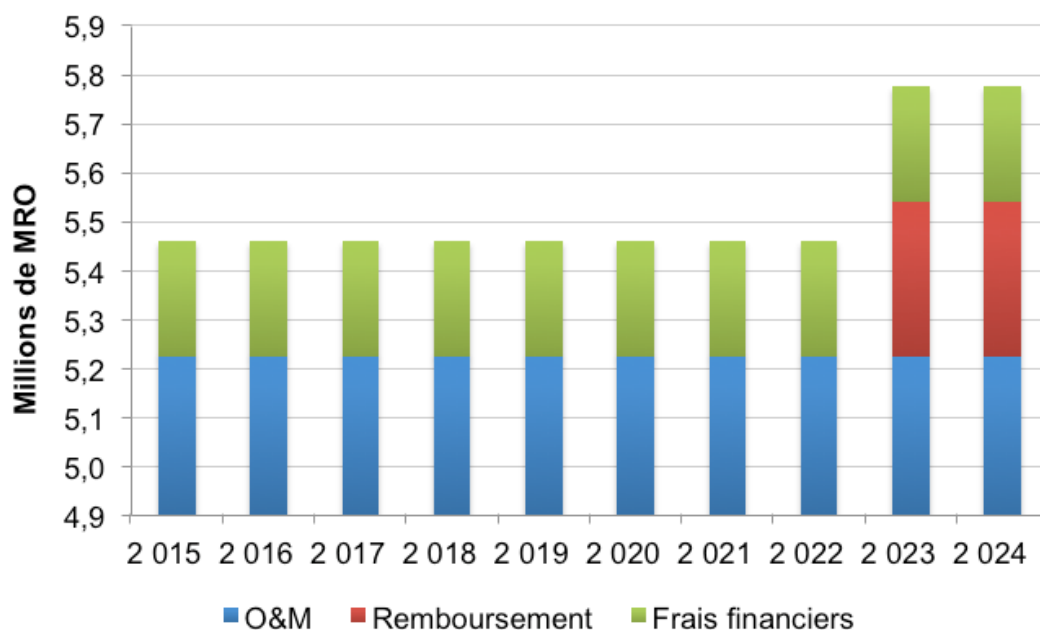
8.4 Les résultats de l'analyse financière

Les résultats sont présentés en considérant les 5 scénarios correspondant aux 4 scénarios « techniques » plus la variante effectuée sur le scénario 2 sur la planification des investissements.

8.4.1 Scénario 1 : Layer 2

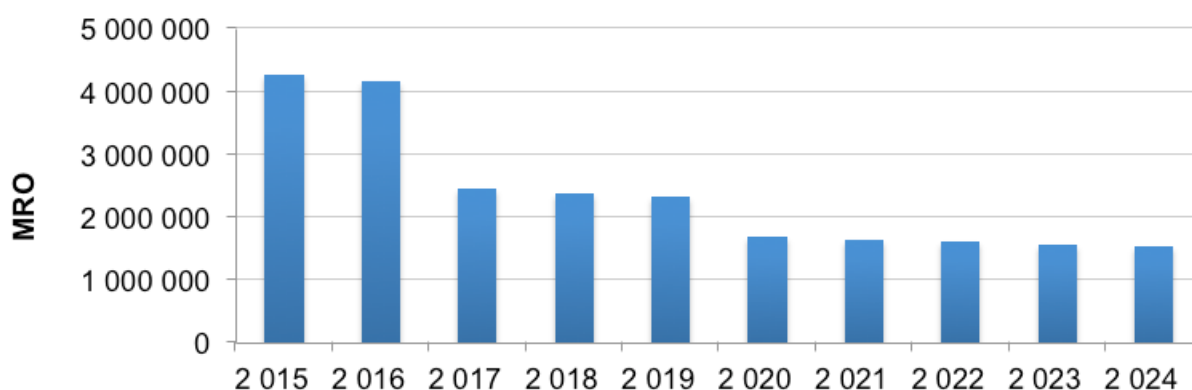
Les charges courantes d'exploitation sont composées des dépenses d'O&M, du remboursement de la dette et du paiement des intérêts. Les charges courantes évoluent entre 5,5 millions de MRO et 5,8 millions de MRO par an.

Figure 31 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP



La redevance annuelle payée par les membres de l'IXP évolue bien évidemment en fonction du nombre de participants ce qui explique le niveau plus élevé les deux premières années. Exprimée en USD/mois, la redevance payée par chaque participant évolue entre 1150 USD les deux premières années puis autour de 650 USD les trois années suivantes pour se stabiliser autour de 400 USD.

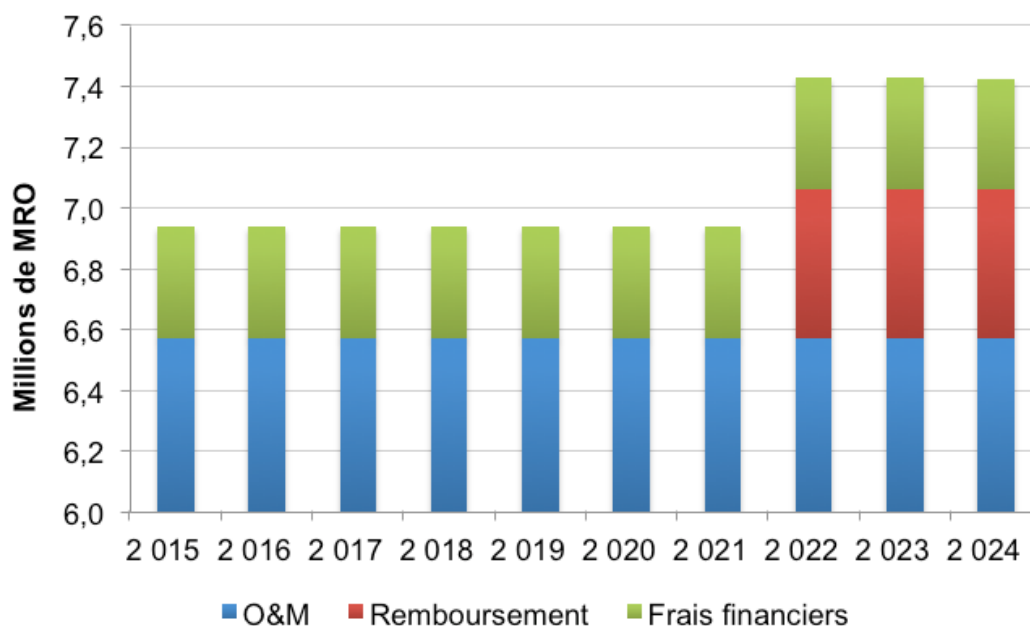
Figure 32 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP



8.4.2 Scénario 2a : Layer 2 + Layer 3

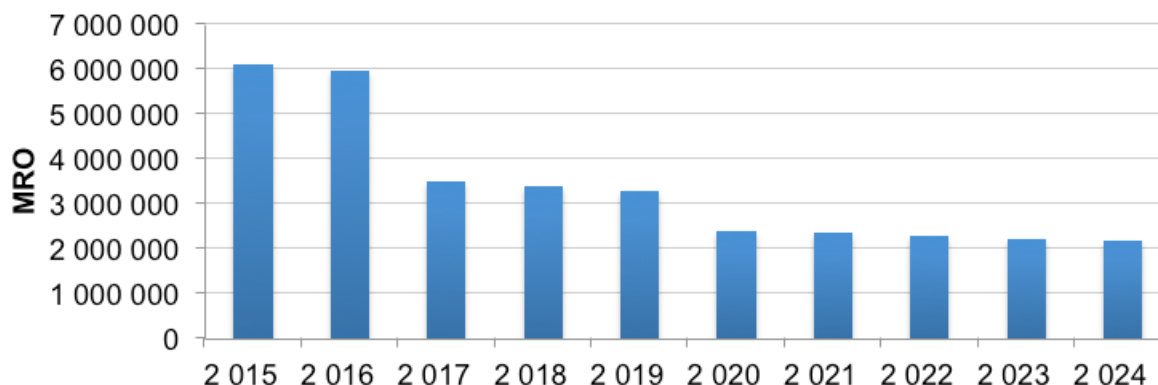
Les charges courantes d'exploitation sont composées des dépenses d'O&M, du remboursement de la dette et du paiement des intérêts. Les charges courantes évoluent entre 7 millions de MRO et 7,5 millions de MRO par an.

Figure 33 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP



La redevance annuelle payée par les membres de l'IXP évolue bien évidemment en fonction du nombre de participants ce qui explique le niveau plus élevé les deux premières années. Exprimée en USD/mois, la redevance payée par chaque participant évolue entre 1700 USD les deux premières années puis autour de 900 USD les trois années suivantes pour se stabiliser autour de 600 USD.

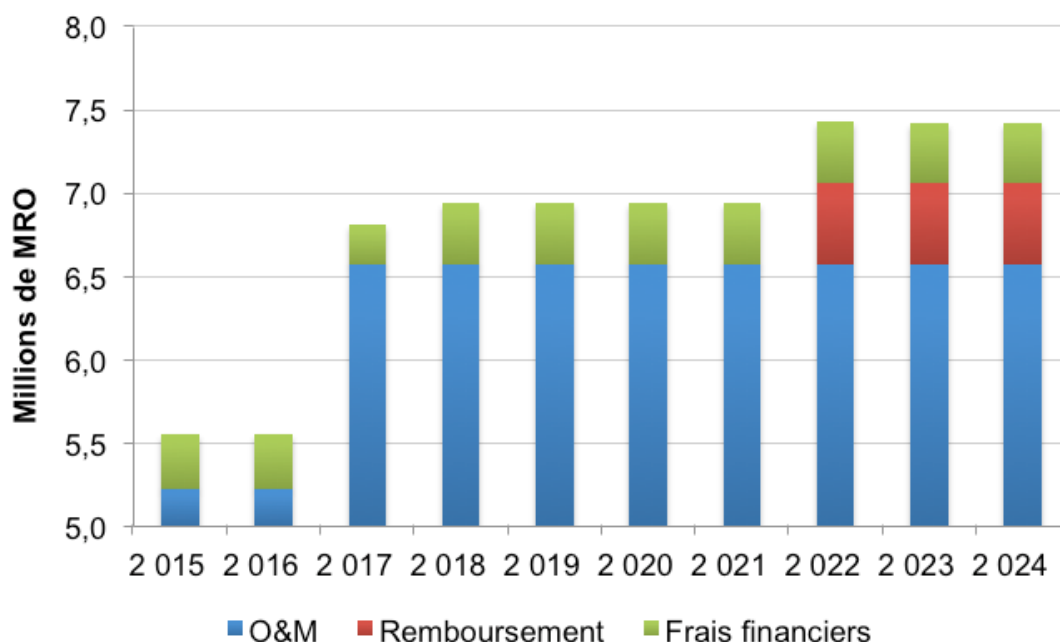
Figure 34 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP



8.4.3 Scénario 2b : Layer 2 + Layer 3 décalé en 2017

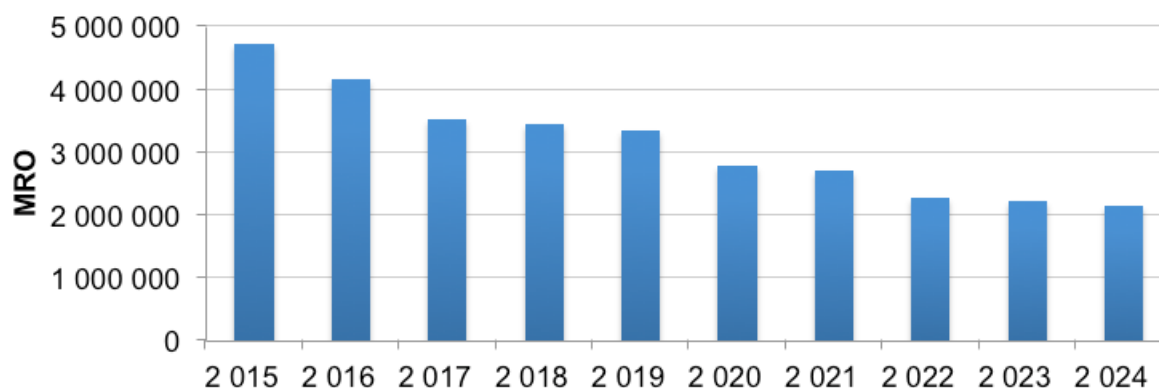
Le décalage dans l'investissement des équipements du Layer 3, permet de diminuer les dépenses d'exploitations en répartissant les charges de remboursement de prêt.

Figure 35 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP



De même la redevance annuelle payée par les opérateurs est moins importante sur les deux premières années du fait du décalage de l'investissement. Exprimée en USD/mois, la redevance payée par chaque participant évolue entre 1100 USD les deux premières années puis autour de 900 USD les trois années suivantes pour se stabiliser autour de 600 USD.

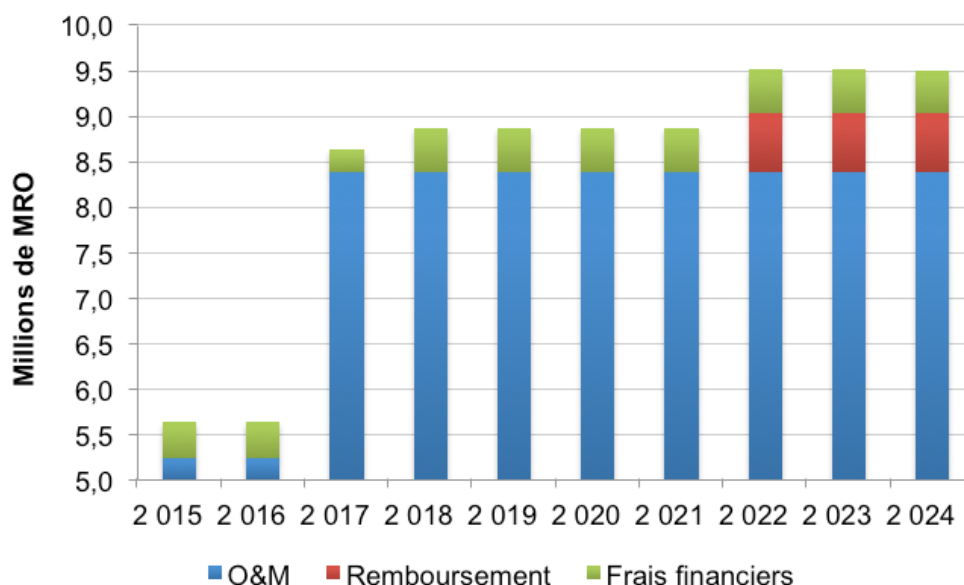
Figure 36 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP



8.4.4 Scénario 3 : Layer 2 dual site

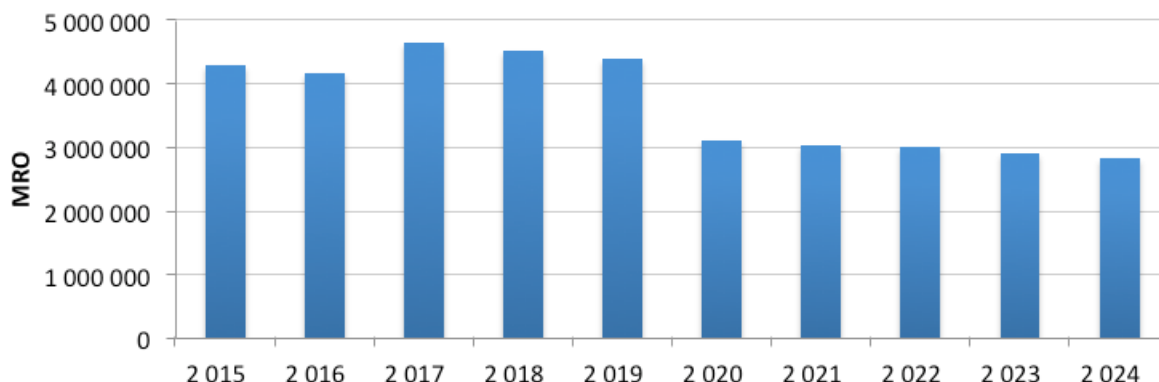
Le décalage dans l'investissement des équipements du deuxième site, permet de maintenir les dépenses d'exploitations en dessous de 10 millions de MRO sur l'ensemble de la période.

Figure 37 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP



La redevance annuelle payée par les opérateurs est bien sûr plus importante que dans les scénarios précédents. Toutefois, le décalage à 2017 de l'investissement dans le deuxième site permet d'éviter que la redevance augmente fortement sur les années où seuls 3 opérateurs sont membres et de maintenir une redevance équivalente à celle du scénario 1 en début de période. Exprimée en USD/mois, la redevance payée par chaque participant évolue entre 1200 USD les cinq premières années puis autour de 800 USD les années suivantes.

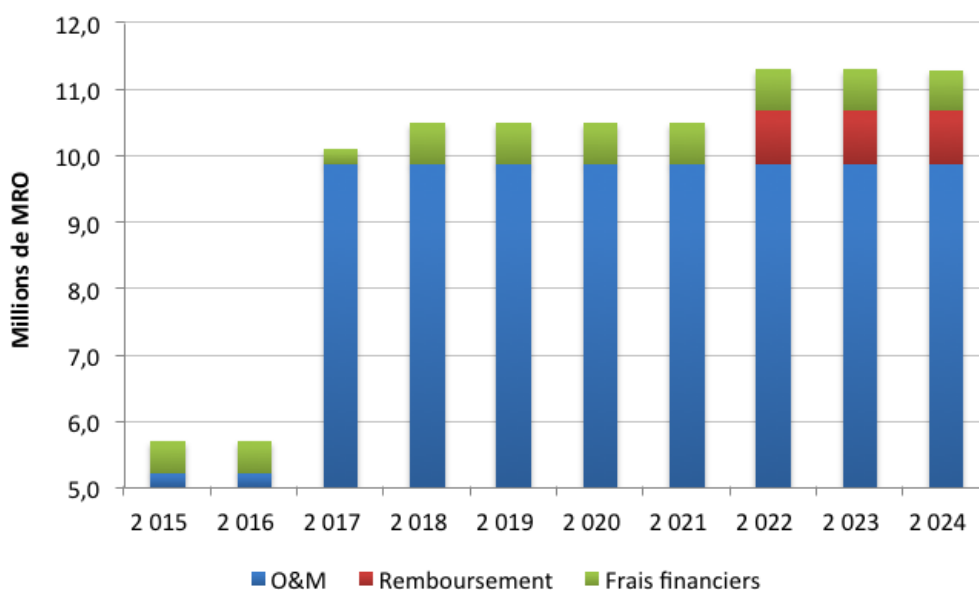
Figure 38 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP



8.4.5 Scénario 4 : Layer 2 dual site + Layer 3

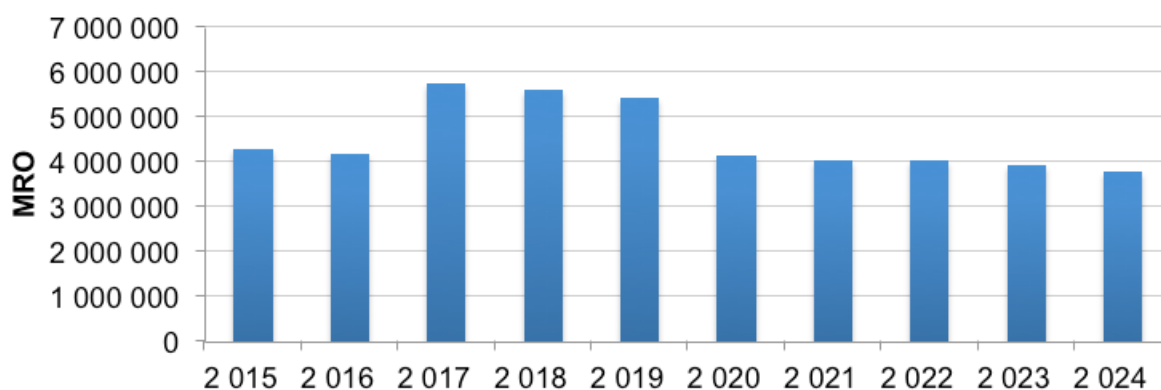
Comme dans le scénario précédent, le décalage dans l'investissement des équipements du deuxième site, permet de maintenir les dépenses d'exploitations entre 10 et 12 millions de MRO sur l'ensemble de la période soit relativement près de celles supportées dans le scénario 3.

Figure 39 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP



La redevance annuelle payée par les opérateurs est bien sûr plus importante que dans les scénarios précédents. Toutefois, le décalage à 2017 de l'investissement dans le deuxième site permet d'éviter que la redevance augmente fortement sur les années où seuls 3 opérateurs sont membres et de maintenir une redevance équivalente à celle du scénario 1 en début de période. Exprimée en USD/mois, la redevance payée par chaque participant évolue entre 1 200 USD les deux premières années puis autour de 1 500 USD les trois années suivantes, avant de se stabiliser autour de 1 100 USD.

Figure 40 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP



8.4.6 Synthèse des résultats des scénarios

Tableau 19 : Synthèse des résultats du BP dans les différents scénarios

	Scénario 1 : Layer 2 Mono site	Scénario 2a: Layer 2+3 Mono site	Scénario 2b : Layer 2+3 en 2017 Mono site	Scénario 3 : Layer 2 dual site	Scénario 4 : Layer 2+3 dual site
Opex annuel	5 ,2	6,6	De 2015 à 2016 : 5,2 A partir de 2017 : 6,6	De 2015 à 2016 : 5,2 A partir de 2017 : 8,4	De 2015 à 2016 : 5,2 A partir de 2017 : 9,9
Capex initial	31 723 174	49 276 896	49 276 896	58 277 534	75 831 256
VAN à 12% en millions de MRO	6,82	10,52	9,01	11,43	14,05
Nombre de participants	De 2015 à 2016 : 3 De 2017 à 2019 : 5 De 2020 à 2024 : 7				
Frais de raccordements	76 USD / 22 500 MRO				
Redevance mensuelle moyenne de 2015 à 2019 en USD/mois	875	1 251	1 079	1 239	1 418
Redevance mensuelle moyenne de 2020 à 2024 en USD/mois	449	641	682	838	1 120

Dans le cadre d'hypothèses retenu, le scénario 4 est celui qui présente la VAN la plus élevée tout en ayant des redevances mensuelles élevées.

8.4.7 Impact d'une sous-traitance à l'IMT des dépenses d'exploitation

Les recommandations actuelles en matière d'hébergement et de forme institutionnelle conduisent à privilégier la création d'une structure « légère » en charge de l'exploitation de l'IXP. Toutefois, cette structure ne disposera pas des ressources humaines lui permettant de mener à bien l'exploitation. Une solution possible pour pallier ce manque de ressources humaines de l'IXP serait de confier l'exploitation à l'IMT. De ce fait, les charges d'OPEX (électricité, salariés) devraient pouvoir être prises en charge sans que cela engendre un réel surcôt pour l'IMT. Les salariés existants de l'IMT pourraient dégager le temps nécessaire à la gestion et à l'exploitation de l'IXP (un maximum de 60 jours dans le scénario 4 sur l'année répartis entre un administratif et un technicien). De même la consommation d'électricité est elle minime comparativement à celle engendrée par l'exploitation du câble sous marin. Enfin, les coûts de location d'espace sont déjà inclus dans les coûts globaux de l'IMT.

Les scénarios précédents ont donc été repris en minorant les dépenses d'exploitations des charges de salaires, de location d'espace et d'électricité engendrées par l'IXP.

L'impact sur les redevances mensuelles des opérateurs membres de l'IXP est significatif puisque les dépenses d'O&M sont fortement diminuées. Les résultats sont repris dans le tableau de synthèse ci-dessous :

Tableau 20 : Impact d'une diminution des dépenses d'O&M

	Scénario 1 : Layer 2 Mono site	Scénario 2a: Layer 2+3 Mono site	Scénario 2b : Layer 2+3 en 2017 Mono site	Scénario 3 : Layer 2 dual site	Scénario 4 : Layer 2+3 dual site
Opex annuel en Millions de MRO	1	1,7	De 2015 à 2016 : 1	De 2015 à 2016 : 1	De 2015 à 2016 : 1
			A partir de 2017 : 1,7	A partir de 2017 : 1,9	A partir de 2017 : 2,6
Redevance mensuelle moyenne de 2015 à 2019 en USD/mois	576	901	742	863	1 014
Baisse / aux scénarios avec OPEX complet	-34%	-28%	-31%	-30%	-29%
Redevance mensuelle moyenne de 2020 à 2024 en USD/mois	280	444	484	577	826
Baisse / aux scénarios avec OPEX complet	-38%	-31%	-29%	-31%	-26%

Cette solution consistant à « mutualiser » les charges de l'IXP avec celles que supporte l'IMT pour la gestion et l'exploitation de la station d'atterrissage ne pose pas de problèmes tant que les membres de l'IXP sont également actionnaires de l'IMT et contribuent de ce fait déjà au financement des charges de l'IMT.

Cela sera le cas au moins dans les premières années d'exploitation puisque seuls les trois opérateurs mauritaniens (en l'absence d'autres FAI) seront partie prenante à la fois de l'IMT et de l'IXP. Par contre, dès que d'autres utilisateurs de l'IXP, non actionnaires de l'IMT, intégreront l'IXP, il serait normal que ces nouveaux membres participent au financement des charges d'O&M de l'IXP. Il appartiendra alors à l'IMT de mettre en place une comptabilité analytique permettant d'identifier précisément les charges relatives à l'exploitation de la station d'atterrissage et celles relevant de l'IXP afin d'être en mesure de déterminer la redevance mensuelle dont devront s'acquitter les utilisateurs de l'IXP.

8.5 Synthèse

L'analyse financière des 5 scénarios permet de constater que à court terme le scénario 1 (layer 2 sur un seul site) sera opérationnel moyennant une redevance mensuelle par utilisateur comprise entre 876 USD et 576 USD (dans le cas d'une mutualisation d'une partie des charges de fonctionnement avec celles de l'IMT) si les trois opérateurs mauritaniens participent à l'IXP. Ce niveau de rémunération permet d'assurer la viabilité financière de l'IXP tout en assurant le

financement du renouvellement des équipements. A moyen terme, à partir de la mise en service du data center sur le site de la nouvelle université, le scénario 4 (Layer 2+3 dual site) peut être envisagé. Le coût de fonctionnement d'un tel scénario est plus élevé (autours de 10 millions de MRO par an contre 6,6 dans le scénario 1). En fonction du nombre d'utilisateurs de l'IXP (entre 3 dans le scénario de base et 7 dans le scénario le plus favorable), la redevance mensuelle par opérateur serait de l'ordre de 1000 USD.

L'ensemble des scénarios étudiés permet à l'IXP de couvrir ses coûts de fonctionnement, le remboursement des emprunts contractés auprès de la Banque Mondiale (et les frais financiers correspondants) ainsi que le renouvellement des équipements.

9. Analyse des aspects organisationnels

9.1 La neutralité de l'IXP

S'il n'existe pas de modèle institutionnel pouvant être recommandé, il n'en demeure pas moins qu'il convient de se poser des questions ayant trait à la neutralité de l'IXP et au caractère commercial ou non de l'entité en charge de l'IXP.

Il est essentiel de garantir la plus grande neutralité possible de l'IXP à l'égard de ses membres. C'est la raison pour laquelle il est recommandé :

- D'éviter que l'un des membres ou plusieurs d'entre eux possède(nt) la propriété exclusive de l'IXP ou des droits de propriété intellectuelle sur certains de ses éléments ;
- De prévoir un lieu neutre pour l'implantation de l'IXP ;
- De prévoir des règles de gouvernance transparentes et équilibrées entre l'ensemble des membres de l'entité gestionnaire.

Afin de garantir la neutralité, l'accord sur la mise en place du premier l'IXP au sein de l'IMT a été validé lors des ateliers Acteurs du Secteur-IMT-Etat-Projet Warcip, dans la continuité des recommandations formulées lors des ateliers organisés à Nouakchott par le projet AXIS.

Dans un 2^e temps, un backup pourra être installé dans le data center, dont la disponibilité est prévue en 2016.

9.2 Forme d'organisation retenue

Les entités qui gèrent des IXP peuvent être commerciales ou non-commerciales.

En Afrique comme en Europe, les IXP sont généralement gérés par des FAI regroupés en organisations non lucratives détenues mutuellement par leurs membres. L'association possède l'IXP et les coûts d'exploitation et de maintenance sont répartis entre les membres qui paient un droit d'inscription unique et un droit d'exploitation périodique (mensuel, trimestriel ou annuel). Le montant des droits à payer varie en général selon la vitesse des connexions à l'IXP ou en fonction du volume de trafic transitant par celui-ci.

Les motifs qui peuvent amener à une entité non commerciale sont généralement les suivants :

- Une entité non commerciale est plus facile à créer qu'une entité commerciale ;
- L'objet même d'un IXP est plus d'améliorer la connectivité à Internet que de réaliser des bénéfices commerciaux dans l'exploitation de la structure.

Si les autorités mauritaniennes devaient faire le choix d'une structure non-commerciale, elles devraient s'appuyer sur la loi n°64-098 du 9 juin 1964 pour créer une association.

A ce titre, il faudrait demander une autorisation au chef de circonscription administrative où fonctionne l'association et à Nouakchott au Ministère de l'Intérieur.

Aux Etats-Unis, et à l'inverse de l'Afrique et de l'Europe, la majorité des IXP sont exploités sous une forme commerciale. Les IXP ne sont alors viables que s'ils appartiennent à une société qui n'opère aucune concurrence directe à l'égard de ses membres.

Si le choix d'une entité commerciale devait être privilégié pour le projet d'IXP en Mauritanie, plusieurs options seraient alors possibles : une société commerciale ou un groupement d'intérêt économique.

Les sociétés commerciales sont régies par les articles 303 à 678 du Code de commerce issu de la loi n°2000-05.

Quant au groupement d'intérêt économique (GIE), il est régi par les articles 761 et suivants du Code de commerce et est défini de la manière suivante :

« Deux ou plusieurs personnes physiques ou morales peuvent constituer entre elles, pour une durée déterminée un groupement d'intérêt économique en vue de mettre en oeuvre tous les moyens propres à faciliter ou à développer l'activité économique de ses membres et à améliorer ou à accroître les résultats de cette activité.

« L'activité du groupement doit se rattacher essentiellement à l'activité économique de ses membres et ne peut avoir qu'un caractère auxiliaire par rapport à celle-ci, elle ne donne pas lieu par elle-même à réalisation et partage de bénéfices. Le groupement peut être constitué avec ou sans capital ».

La formule de l'organisation non lucrative, et plus encore d'une association, nous paraît être la plus adaptée. Elle permettrait une plus forte implication de l'ensemble des acteurs, privés comme publics. Qui plus est, elle garantirait plus aisément des tarifs orientés vers les coûts. Cette formule serait d'autant plus opportune que c'est elle qui a été très majoritairement retenue en Afrique.

Figure 41 : Avantages et inconvénients des formes

	Formes commerciales			Formes non commerciales	
	Société commerciale	EPIC	GIE	Association	Administration
Avantages	Implication plus forte des acteurs	Tarifs basés sur les coûts	Implication plus forte des acteurs	Implication plus forte des acteurs	Rapidité de mise en œuvre si Mauripost par ex.
	PPP	Viabilité financière si garantie de l'Etat	PPP	Tarifs basés sur les coûts Modèle standard des IXP	Viabilité financière si garantie de l'Etat Gratuité ou Tarifs basés sur les coûts
Inconvénients	Risque de concurrence vis-à-vis de ses membres	Risque de concurrence	Risque de concurrence	Risque sur le « dénouement » sauf si statuts appropriés	Réticence des opérateurs
	Lourdeur de mise en œuvre (statut capital, gouvernance ...)	Lourdeur de mise en œuvre	Lourdeur de mise en œuvre Sauf si IMT	Lourdeur de mise en œuvre	Risque sur la « qualité »
	Risque de faillite		Incitation à pratiquer des tarifs élevés	Risque sur la viabilité	
	Incitation à pratiquer des tarifs élevés				

9.3 Points importants à faire figurer dans les statuts de la future association

Si la rédaction définitive des statuts de l'association doit être réalisée par un juriste mauritanien, nous proposons toutefois ci-dessous les principaux éléments qui devront figurer dans les statuts de cette association.

9.3.1 Objet social

Il semble important que les points suivants figurent parmi les objectifs de l'IXP dans l'objet social de l'association :

- Réaliser des économies de coûts pour ses membres, en éliminant le besoin d'échanger du trafic local via des liaisons internationales coûteuses,
- Apporter une amélioration de la qualité des services Internet, grâce à une réduction des temps de latence pour le trafic local et une augmentation de la bande passante disponible pour les utilisateurs par rapport à un trafic transitant par l'international ;
- Attirer, en Mauritanie, des fournisseurs de contenus qui offriront un accès amélioré aux utilisateurs mauritaniens en passant par l'IXP ;
- Apporter des perspectives de revenus additionnels pour les fournisseurs d'accès Internet dans la mesure où de nouveaux utilisateurs adopteront Internet ou auront un usage accru de celui-ci ;
- Améliorer la sécurité et de contribuer à la souveraineté nationale, grâce à la localisation du trafic national.

9.3.2 La définition des membres de l'association

Il conviendra de prévoir que peuvent faire partie de l'association les opérateurs, en ce compris les fournisseurs de services de communications électroniques, ainsi que les entités publiques intervenant dans le secteur des communications électroniques.

Les statuts devront prévoir la liste des membres fondateurs et préciser que de nouveaux membres pourraient être admis, sous condition que leur adhésion soit acceptée par l'organe délibérant de l'association.

Il conviendra par ailleurs de mentionner que tout membre peut être utilisateur de l'IXP, tout en affirmant que la qualité de non-membre ne saurait être un motif de refus d'accès à l'IXP. La seule contrainte s'imposant pour être utilisateur étant la signature de la charte d'utilisation (cf. ci dessous clauses techniques).

9.3.3 La fixation des tarifs pour l'accès aux services de l'IXP

S'agissant des tarifs d'accès à l'IXP, il conviendra d'indiquer, tout à la fois, que :

- l'association ne saurait pratiquer des tarifs discriminants dans l'accès selon que l'entité qui le demande est membre ou non-membre ;
- les tarifs d'accès de l'IXP sont fixés chaque année par l'instance délibérative de l'association et qu'ils sont orientés vers les coûts, tout en pouvant être régulés par l'Autorité de Régulation mauritanienne dans les conditions prévues par le cadre légal et réglementaire en vigueur.

9.3.4 La durée et la dissolution

Bien que la gestion de l'IXP par l'association ait vocation à être limitée dans le temps (jusqu'à ce que le futur data center soit opérationnel) il serait préférable de prévoir une durée illimitée de l'association tout en précisant que celle-ci sera amené à être dissoute si la gestion de l'IXP est reprise par une autre structure.

9.3.5 Les autres clauses techniques

Afin de permettre un transfert sans rupture entre l'association et la future entité qui gèrera le data center, il est proposé que l'ensemble des clauses techniques ne figure pas dans les statuts de l'association mais dans une charte d'utilisation (sur le modèle de celle annexée au rapport) qui sera signée par l'ensemble des utilisateurs (membres et non membres) et qui, indépendante de la structure en charge de la gestion de l'IXP, pourra ainsi être transférée sans modification lors du changement de gouvernance.

9.3.6 Gouvernance de l'association

L'ensemble des membres de se réunissent en Assemblée Générale une fois par an, où les principales décisions sont prises par l'ensemble des membres ou des représentants de chacun des membres.

L'ensemble des membres peuvent se réunir en Assemblée Générale Extraordinaires en cas de nécessité.

La supervision des décisions rendues par l'Assemblée Générale sont du ressort du Conseil d'administration qui est élu par les membres.

Le Conseil d'Administration comprend :

- un président ;
- un vice-président ;
- les membres ;
- un représentant des utilisateurs.

L'association est placée sous la direction d'un Directeur Général, qui est notamment chargé :

- d'exploiter l'IXP et d'exécuter les décisions du Conseil d'Administration dont il en assure le secrétariat ;
- d'assurer le bon fonctionnement de l'IXP et le respect des règles établies par les membres ;
- de fournir les informations utiles sur les performances du réseau et s'assurer que les membres aient accès aux informations de trafic les concernant ;
- de configurer et de gérer les équipements techniques de l'IXP ainsi que de commercialiser des services.

Chaque année, un bilan financier est fourni par le Directeur Général. Ce bilan est certifié par un Commissaire aux comptes désigné par le Conseil d'Administration.

9.4 Relation avec les autres entités

9.4.1 Gestionnaire du .MR

Le gestionnaire du .MR souhaiterait installer et raccorder à terme un second serveur DNS primaire du .MR à l'IXP, ce qui permettra de réduire les temps de réponse. Il est prévu que l'IMT soit en charge de la supervision matérielle de ce serveur. La supervision logicielle sera prise en charge par le gestionnaire du .MR.

La question de comment sera assuré le routage sur Internet de ce second serveur primaire au sein de l'IXP a été soulevée. Plusieurs alternatives ont été suggérées :

- L'IXP devra avoir son propre réseau (création d'AS, annonce BGP, achat de transit Internet, achat de circuit sur l'ACE) et assurer ces coûts d'exploitation ;
- L'IXP se raccordera au réseau de l'IMT, une fois que celui ci aura obtenu une licence d'opérateur pour revendre de la capacité réseau. Des délais de mise en place assez long à prévoir du fait des contraintes réglementaires.

Si le scénario Layer 3 est retenu pour le moyen terme, l'IXP devra disposer d'un AS Number et fera les démarches appropriées vers l'Afrinic

9.4.2 GIE IMT

L'IXP étant hébergé dans un 1^{er} temps dans la station d'atterrissage, le GIE IMT pourra être amené à réaliser des prestations de sous-traitance comprenant notamment

l'hébergement/colocalisation du matériel, la fourniture d'énergie et de climatisation et l'exploitation et supervision des équipements actifs.

Ces prestations se matérialiseront par un contrat entre « l'entité IXP » et le GIE IMT.

9.4.3 SDIN

La SDIN est le propriétaire des équipements IXP. Elle délèguera à l'entité en charge de l'IXP la gestion de l'exploitation/maintenance et la commercialisation des services fournis par l'IXP.

Cette mission confiée par la SDIN à l'entité en charge de l'IXP comprendra ainsi :

- Au titre de l'exploitation/maintenance,
 - la maintenance technique des équipements permettant de garantir une continuité et une qualité d'exploitation maximale ;
 - la gestion administrative et technique de l'infrastructure et des équipements;
 - la contractualisation et la gestion des fournisseurs essentiels au bon fonctionnement de l'IXP (Somelec, opérateur d'accès internet, de téléphonie ...)
 - le retour d'information vers l'ARE au titre de la qualité de la prestation, et du contrôle que souhaite exercer l'ARE sur les services fournis par l'IXP.
- Au titre de la commercialisation des services aux usagers,
 - la fourniture de services de l'IXP aux usagers ;
 - les tâches de marketing et de tarification ;
 - la gestion commerciale et le service après vente ;
 - la facturation, recouvrement et gestion comptable des usagers.

Les tarifs d'accès aux services de l'IXP calculés dans le chapitre relatif au Business Plan de l'IXP intègrent la dotation aux amortissements et la rémunération du capital et permettent donc la constitution d'une provision pour le renouvellement des équipements actifs.

Afin de garantir que les fonds provisionnés au titre de l'amortissement des équipements seront effectivement disponibles au moment du renouvellement des équipements, nous proposons la création d'un compte spécial (dit fond de renouvellement). Ce fond de renouvellement prendra la forme d'un compte « séquestre » auprès d'un organisme bancaire mauritanien reconnu. L'entité en charge de la gestion de l'IXP aura pour obligation l'abondement de ce fonds à partir des cotisations de ses membres. Pour prémunir l'IXP d'une utilisation à des fins autres que le renouvellement des équipements, nous proposons que l'utilisation de ce compte soit soumise à une double signature (une du représentant légal de l'IXP et l'autre du représentant légal de la SDIN).

9.4.4 Relation avec AFRINIC

L'IXP doit devenir membre d'AFRINIC afin d'obtenir des ressources c'est-à-dire des adresses IP et ASN pour le serveur de routage.

9.5 Modalités de rémunération

L'IXP va commercialiser un service de Raccordement. Ce service consiste à proposer des « ports » sur le commutateur (où l'un des commutateurs s'il y en a plusieurs) de l'IXP.

Le tarif proposé initialement est le suivant dans le cas du scénario 1 (layer 2 mono site) :

Tableau 21 : Tarifs de l'IXP Mauritanie

	Débit	Frais de raccordement en MRO	Tarif (mensuel) moyen sur les 5 premières années en MRO

Gigabit Ethernet LX	Jusqu'à 1 Gbps	22 500	Si Opex « complet » : 260 000 Si Opex « supporté par IMT » : 170 000
---------------------	----------------	--------	---

10. Plan d'action

Les actions à mener ainsi que leur timing indicatif sont représentés dans le tableau ci-dessous ; l'objectif est la mise en route de l'IXP au 27 novembre 2014.

Le plan d'action à court terme présuppose que :

- Le scénario 1 (layer 2 mono site) est réalisé.
- L'Entité IXP est constitué sous la forme d'une association selon la loi n°64-098 du 9 juin 1964.
- Le régime réglementaire de l'Entité IXP est le régime libre.
- Le GIE IMT va assurer l'hébergement dans la station ACE et l'exploitation de l'IXP en tant que sous-traitant de l'Entité IXP
- Les équipements de l'IXP sont financés par le projet WARCIP.
- Les membres de l'IXP doivent disposer d'un AS number.
- Le peering entre les membres de l'IXP est multilatéral.

10.1 Aspects techniques

Etape n°	Actions	Acteur principal	Intervenant	Délai d'exécution prévisionnel en semaines
T1	Confirmation du scénario technique court terme : scénario 1 (layer 2 mono site)	WARCIP	Ministère – Acteurs du secteur - IMT	1
T2	Constitution du dossier d'offre pour la fourniture et l'installation de l'IXP	WARCIP	Ministère - Acteurs du secteur - IMT	4
T3	Processus d'appel d'offres BM et dépouillement des offres	WARCIP	WARCIP	Environ 15
T4	Processus de contractualisation BM avec le ou les fournisseurs retenus	WARCIP	Ministère - Acteurs du secteur - IMT	
T5	Suivi des travaux d'installation et mise en service	IMT	WARCIP-Fournisseur	Environ 2
T6	Réception technique de l'IXP	IMT	WARCIP-IMT-Fournisseur	De 1 à 2

10.2 Aspects juridiques et réglementaires

Etape n°	Actions	Acteur principal	Intervenant	Délai d'exécution prévisionnel en semaines
JR1	Confirmation du scénario réglementaire : liberté rédaction des règles sur l'interconnexion : décision et/ou lignes directrices	ARE	WARCIP – Ministère – Acteurs du secteur	4
JR2	Confirmation de la nature de l'entité IXP : association	WARCIP – Ministère – Acteurs du secteur		1
JR3	Rédaction des statuts de l'entité IXP et enregistrement	WARCIP – Ministère – Acteur du secteur	Avocat local	2
JR3	Rédaction de la charte d'adhésion à l'IXP ²³	WARCIP – Acteur du secteur		2
JR3	Contrat de sous-traitance entre le GIE IMT et l'entité IXP	IMT Entité IXP	WARCIP - Ministère	1
JR4	Validation de la grille tarifaire	Entité IXP	WARCIP – Ministère – Acteurs du secteur	2

10.3 Aspects RH

Etape n°	Actions	Acteur principal	Intervenant	Délai d'exécution prévisionnel en semaines
RH1	Validation profil des équipes et de la charge de travail prévisionnelle	IMT	WARCIP – Ministère – Acteurs du secteur	1
RH2	Formation	Fournisseur	IMT - Entité IXP	De 1 à 2

²³ La charte CGIX est une base fort utile pour cela

10.4 Aspects commerciaux

Etape n°	Actions	Acteur principal	Intervenant	Délai d'exécution prévisionnel en semaines
CM1	Choix du nom de l'IXP	Ministère	WARCIP – Ministère – Acteurs du secteur	1
CM2	Réalisation d'un site Web pour présenter l'IXP	Entité IXP	WARCIP	4
CM3	Communication nationale et internationale sur la mise en place de l'IXP	Entité IXP	WARCIP – Ministère – Acteurs du secteur	4

11. Glossaire

AAA : En sécurité informatique, AAA correspond à un protocole qui réalise trois fonctions : l'authentification, l'autorisation, et la traçabilité (en anglais : Authentication, Authorization, Accounting/Auditing). AAA est un modèle de sécurité implémenté dans la plupart des switches et routeurs. Les protocoles AAA les plus connus sont : Radius, Tacacs.

ARP : L'Address Resolution Protocol (ARP, protocole de résolution d'adresse) est un protocole effectuant la traduction d'une adresse de protocole de couche réseau (typiquement une adresse IPv4) en une adresse MAC (typiquement une adresse ethernet), ou même de tout matériel de couche de liaison. Il se situe à l'interface entre la couche réseau (couche 3 du modèle OSI) et la couche de liaison (couche 2 du modèle OSI).

Autonomous System : Un Autonomous System, abrégé en AS, ou Système Autonome, est un ensemble de réseaux informatiques IP intégrés à Internet et dont la politique de routage interne (routes à choisir en priorité, filtrage des annonces) est cohérente. Un AS est généralement sous le contrôle d'une entité/organisation unique, typiquement un fournisseur d'accès à Internet ou opérateur télécom. Chaque AS est identifié par un numéro de 16 ou 32 bits, appelé « Autonomous System Number » (ASN).

BGP : Le Border Gateway Protocol (BGP) est un protocole d'échange de route utilisé notamment sur le réseau Internet. Son objectif est d'échanger des informations d'accessibilité de réseaux (appelés préfixes) entre Autonomous Systems (AS) car il a été conçu pour prendre en charge de très grands volumes de données et dispose de possibilités étendues de choix de la meilleure route.

DWDM : Le multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing en anglais) est une technique utilisée en communications optiques qui permet de faire passer plusieurs signaux de longueur d'onde différentes sur une seule fibre optique, en les mélangeant à l'entrée à l'aide d'un multiplexeur (MUX), et en les séparant à la sortie au moyen d'un démultiplexeur (DEMUX).

Ethernet : Ethernet est un protocole de réseau local à commutation de paquets. Bien qu'il implémente la couche physique (PHY) et la sous-couche Media Access Control (MAC) du modèle IEEE 802.3, le protocole Ethernet est classé dans les couche de liaison de données et physique, puisque la couche LLC (Logical Link Control) 802.2 fait la charnière entre les couches supérieures et la sous-couche MAC (Media Access Control) qui fait partie intégrante du processus 802.3 avec la couche physique, car les formats de trames que le standard définit sont normalisés et peuvent être encapsulés dans des protocoles autres que ses propres couches physiques MAC et PHY. Ces couches physiques font l'objet de normes séparées en fonction des débits, du support de transmission, de la longueur des liaisons et des conditions environnementales.

IANA : L'Internet Assigned Numbers Authority (IANA) est une organisation dont le rôle est la gestion de l'espace d'adressage IP d'Internet, et des autres ressources partagées de numérotation requises soit par les protocoles de communication sur Internet, soit pour l'interconnexion de réseaux à Internet.

ISIS : L'Intermediate System to Intermediate System (ISIS) est un protocole de routage interne multi-protocoles à états de lien. C'est un protocole à état de liens utilisé à l'intérieur d'un Autonomous System. Les routeurs ISIS maintiennent une vue topologique commune. La base de données topologique est construite individuellement et ensuite partagée entre tous les routeurs.

IGP : Un Interior Gateway Protocol (IGP) est un protocole de routage utilisé dans les systèmes autonomes. Dans le cadre du projet IXP, il est recommandé d'utiliser un protocole de routage interne à Etat de Lien (Link State). Il en existe 2 : ISIS et OSPF.

IP : Internet Protocol (IP) est une famille de protocoles de communication de réseau informatique conçus pour être utilisés par Internet. Les protocoles IP sont au niveau 3 dans le modèle OSI.

Les protocoles IP s'intègrent dans la suite des protocoles Internet et permettent un service d'adressage unique pour l'ensemble des terminaux connectés.

Les protocoles IP assurent l'acheminement au mieux des paquets. Ils ne se préoccupent pas du contenu des paquets, mais fournissent une méthode pour les mener à destination.

L2Circuit : voir définition VLL plus bas.

Layer 2 : C'est la couche niveau 2 du modèle OSI, appelée aussi Couche de Liaison. Elle est en charge d'encoder (ou moduler) les données pour qu'elles soient transportables par la couche physique, et fournit également la détection d'erreur de transmission et la synchronisation. On y retrouve notamment les protocoles Ethernet et MPLS.

Layer 3 : C'est la couche niveau 3 du modèle OSI, appelée aussi Couche Réseau. Elle gère le routage (mécanisme par lequel les données d'un équipement expéditeur sont acheminées jusqu'à leur destinataire, même si aucun des deux ne connaît le chemin complet que les données devront suivre.), l'adressage, le traitement des congestions et l'interconnexion de réseaux hétérogènes. Les principaux protocoles utilisés dans cette couche sont IP, ICMP et BGP.

LDP : Label Distribution Protocol (ou LDP) est un protocole standardisé pour l'échange d'information sur les étiquettes (labels ou tags) entre routeurs MPLS

MAC : La sous-couche de contrôle d'accès au support (Media Access Control en anglais ou MAC) est la moitié basse de la couche de liaison de données du modèle OSI, selon les standards de réseaux informatiques. Elle sert d'interface entre la partie logicielle contrôlant la liaison d'un nœud (Contrôle de la liaison logique) et la couche physique (matérielle). Par conséquent, elle est différente selon le type de média physique utilisé (Ethernet, Token Ring, WLAN, ...). Une adresse MAC est une suite de 6 octets (souvent représentée sous la forme hexadécimale 01:23:45:67:89:ab) qui identifie de façon unique chaque interface réseau.

MPLS : Le MultiProtocol Label Switching (MPLS) est un mécanisme de transport de données basé sur la commutation d'étiquettes ou "labels", qui sont insérés à l'entrée du réseau MPLS et retirés à sa sortie. MPLS est principalement utilisé pour transporter des datagrammes IP et du trafic Ethernet.

Pseudowire : en Télécommunications, un pseudowire (ou pseudo-wire) est une émulation d'une connexion point à point sur un réseau à commutation de paquets.

Le pseudowire émule le fonctionnement d'un "cable transparent" portant le service, mais on se rend compte que cette émulation sera rarement parfaite. Le service passant sur le pseudowire peut être l'Asynchronous Transfert Mode (ATM), Frame Relay, ou Ethernet, tandis que le réseau de paquets peut être Multiprotocol Label Switching (MPLS), le protocole Internet (IPv4 ou IPv6).

OOB : Un réseau Out Of Band est un réseau séparé physiquement de la production ou de l'administration qui permet de prendre la main sur les équipements en cas de panne majeur sur le réseau de production.

OSI : Le modèle OSI (Open Systems Interconnection, « modèle de référence d'interconnexion de systèmes ouverts ») a été créé à la fin des années 1970 par l'ISO (Organisation internationale de normalisation) afin de mettre en place un standard de communications entre les ordinateurs d'un réseau, c'est-à-dire les règles qui gèrent les communications entre des ordinateurs. En effet, aux origines des réseaux chaque constructeur avait un système propre (on parle de système propriétaire). Ainsi de nombreux réseaux incompatibles coexistaient. C'est la raison pour laquelle l'établissement d'une norme a été nécessaire.

Le rôle du modèle OSI consiste à standardiser la communication entre les machines afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles (pour peu qu'ils respectent scrupuleusement le modèle OSI).

Dans ce modèle, l'ensemble des protocoles d'un réseau informatique est décomposé en 7 parties appelées couches OSI, numérotées de 1 à 7.

Numéro	Nom	Rôle
Couche 7	Application	C'est à ce niveau que sont les logiciels : navigateur, logiciel d'email, FTP, chat...
Couche 6	Présentation	Elle est en charge de la représentation des données (de telle sorte qu'elle soit indépendante du type de microprocesseur ou du système d'exploitation par exemple) et - éventuellement - du chiffrement.
Couche 5	Session	En charge d'établir et maintenir des sessions (c'est à dire débiter le dialogue entre 2 machines: vérifier que l'autre machine est prête à communiquer, s'identifier, etc.)
Couche 4	Transport	En charge de la liaison d'un bout à l'autre. S'occupe de la fragmentation des données en petits paquets et vérifie éventuellement qu'elles ont été transmises correctement.
Couche 3	Réseau	En charge du transport, de l'adressage et du routage des paquets.
Couche 2	Liaison de données	En charge d'encoder (ou moduler) les données pour qu'elles soient transportables par la couche physique, et fournit également la détection d'erreur de transmission et la synchronisation.
Couche 1	Physique	C'est le support de transmissions lui-même: un fil de cuivre, une fibre optique, les ondes hertziennes...

SFP : La small form-factor pluggable (SFP) est un émetteur-récepteur compact, insérable à chaud utilisé dans les réseaux de télécommunications et les réseaux informatiques. Il interface la carte mère d'un équipement réseau (par ex., un switch, un routeur, un convertisseur de média, etc.) à une fibre optique ou à un câble en paire de cuivre. Les SFP sont conçus pour supporter SONET, Gigabit Ethernet, Fibre Channel, et d'autres standards de communication.

VLL : Le Virtual Leased Line (VLL) est un protocole permettant de transporter de l'Ethernet en point à point via un réseau IP/MPLS. Il se situe dans la couche 4 (layer 4) du modèle OSI.

Dans l'industrie, ce protocole peut être également appelé Virtual Private Wire Service (VPWS), EoMPLS (Ethernet over MPLS) ou L2Circuits.

VLL utilise une encapsulation Pseudowire pour transporter le trafic Ethernet à travers un tunnel MPLS sur un cœur de réseau IP/MPLS.

12. Annexes

12.1 Compte rendu de la visite du groupement de février 2014

12.2 PV de l'atelier du 16 juin 2014

12.3 Proposition de charte pour l'entité IXP

Liste des illustrations

Figure 1 : évolution du parc abonnés Internet.....	10
Figure 2 : architecture de la connectivité Internet en Mauritanie.....	11
Figure 3 : Synoptique IXP Layer 2 – Single Site	20
Figure 4 : Synoptique IXP Layer 3 – Single Site	22
Figure 5 : Synoptique IXP Layer 2 – Dual Site.....	24
Figure 6 : Synoptique IXP Layer 2+3 – Dual Site.....	26
Figure 7 : Schéma de raccordement des switch dans le Virtual Chassis.....	27
Figure 8 : Schéma de Design Layer 2 Single Site.....	28
Figure 9 : Schéma de raccordement des sites.....	29
Figure 10 : Schéma du réseau MPLS.....	30
Figure 11 : exemple de monitoring du switch.....	32
Figure 12 : exemple de suivi du trafic.....	32
Figure 13 : localisation de la baie IXP.....	34
Figure 14 : Taux de pénétration des différents services en 2012 en % de la population de Mauritanie ..	77
Figure 15 : Consommation totale de bande passante internationale en 2012.....	78
Figure 16 : Evolution des parcs de lignes fixes « cuivre »	78
Figure 17 : Parc de lignes fixes "BLR"	79
Figure 18 : Évolution du parc de lignes fixes (hors 3G/4G) à l'horizon 2020	79
Figure 19 : Nombre d'abonnés Internet haut débit « fixe » à l'horizon 2020	80
Figure 20 : Evolution du taux de croissance annuel du parc mobile dans quelques pays	80
Figure 21 : Évolution du parc mobile	81
Figure 22 : Evolution de l'Internet mobile.....	81
Figure 23 : Evolution de la consommation de bande passante internationale "Internet fixe"	82
Figure 24 : Evolution de la consommation de bande passante internationale "Internet mobile"	83
Figure 25 : Demande de bande passante internationale.....	83
Figure 26 : Répartition entre trafic routé localement et internationalement	84
Figure 27 : Evolution du trafic échangé via l'IXP	84
Figure 28 : Economies réalisées sur l'achat de la bande passante internationale	85
Figure 29 : Diminution relative du coût de la capacité pour les FAI mauritaniens	86
Figure 30 : Impact sur les prix de détail d'une baisse du coût d'acquisition de BPI.....	86
Figure 31 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP	97
Figure 32 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP	97
Figure 33 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP	98
Figure 34 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP	98
Figure 35 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP	99
Figure 36 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP	99

<i>Figure 37 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP</i>	<i>100</i>
<i>Figure 38 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP</i>	<i>100</i>
<i>Figure 39 : Évolution des charges d'exploitation de l'IXP</i>	<i>101</i>
<i>Figure 40 : Évolution de la redevance annuelle des membres de l'IXP</i>	<i>101</i>
<i>Figure 41 : Avantages et inconvénients des formes.....</i>	<i>106</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Exemples de tarifs de raccordement à un IXP (SPINX).....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 2 : Synthèse des scénarios.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 3 : Puissance électrique des équipements de l'IXP</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 4 : Nombre d'équipements dans chaque scénario.....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 5 : Réservation de Bande passante internationale</i>	<i>77</i>
<i>Tableau 6 : Coûts unitaires d'équipement de l'IXP avant remise.....</i>	<i>88</i>
<i>Tableau 7 : Temps d'installations et de formation pour l'IXP</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 8 : Majoration des prestations selon les scénarios</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 9 : Autres matériels</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 10 : Coûts d'investissement en MRO</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 11 : Coûts d'investissement en USD.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 12 : Puissance électrique des équipements de l'IXP</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 13 : Coûts de l'énergie en MRO/an.....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 14 : Coût de l'espace.....</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 15 : OPEX de l'IXP</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 16 : Plan d'investissement des différents scénario</i>	<i>94</i>
<i>Tableau 17 : Caractéristiques des prêts</i>	<i>95</i>
<i>Tableau 18 : détail du plan de financement utilisé pour le Business Plan de l'IXP</i>	<i>95</i>
<i>Tableau 19 : Synthèse des résultats du BP dans les différents scénarios</i>	<i>102</i>
<i>Tableau 20 : Impact d'une diminution des dépenses d'O&M.....</i>	<i>103</i>
<i>Tableau 21 : Tarifs de l'IXP Mauritanie.....</i>	<i>109</i>