

La refonte du backbone de RAP

Laurent Gydé
Réseau Académique Parisien

Résumé

Le Réseau Académique Parisien (RAP) raccorde entre eux et vers l'extérieur près de 140 sites appartenant à plus de 65 établissements. Aujourd'hui, RAP s'appuie sur les technologies les plus récentes pour fournir à ses utilisateurs l'offre de service la plus large possible. Une refonte complète de RAP a été initiée en 2007 et réalisée en 2008.

Pendant cette opération, la totalité des équipements actifs a été remplacée et les architectures des niveaux 1, 2 et 3 du réseau ont été complètement refondues avec l'exigence forte de minimiser les périodes de maintenance et de maintenir la qualité de service du réseau à son niveau nominal.

Mots clefs

IGP, OSPF, BGP, Ingénierie, Raccordement fiabilisé, MAN, DWDM, MPLS, L2VPN, L3VPN

1 Introduction

Le Réseau Académique Parisien, RAP, est le réseau métropolitain pour la communauté Enseignement Supérieur/Recherche de Paris (65 établissements, 350000 utilisateurs). Déployé dans sa version initiale en 2001, RAP a connu jusqu'en 2007 plusieurs évolutions intermédiaires visant à fournir de nouveaux services ou à interrompre la fourniture de services devenus obsolètes :

- 2002 - Remplacement des actifs de commutation Ethernet/IP à fonctionnalités identiques
- 2004 - Déploiement du service IPv6 sur des routeurs et des longueurs d'ondes dédiées
- 2005 - Premier renouvellement des accès bas débits pour 25 sites
- 2006 - Migration des derniers sites ATM vers Ethernet et dépose de l'ancien réseau ATM
- 2007 - Second raccordement vers RENATER avec répartition dynamique des trafics

Pendant cette période, RAP a continué de raccorder de nouveaux sites, à un rythme moyen de 5 sites par an et en 2009, le réseau raccorde directement près de 140 sites, essentiellement par fibre optique, à des débits de 1 Gbit/s ou 100 Mbit/s.

Après plus de cinq ans de service pour la plupart des équipements, et afin d'apporter les améliorations fonctionnelles permises par les récentes évolutions de protocoles et de satisfaire la demande de débits toujours croissante, une refonte complète du réseau a été initiée en 2007 et réalisée en 2008. Ainsi, en moins de dix-huit mois, la totalité des actifs a été remplacée et les architectures des niveaux 1, 2 et 3 du réseau ont été complètement refondues, en tenant compte des deux exigences suivantes :

- Ne subir aucune régression des services fournis (IPv4, IPv6, unicast et multicast, raccords fiabilisés, classes de service ...)
- Réduire au maximum les indisponibilités du service liées aux opérations de migration

Cet article retrace la préparation et les différentes phases de cette refonte.

2 Le contexte

Le périmètre de cette refonte (près de 150 localisations géographiques au total) et la volonté très forte de maîtriser les risques opérationnels ont conduit à une refonte progressive étalée dans le temps, plutôt qu'une opération ponctuelle visant au remplacement du réseau en une seule étape. Pour permettre une meilleure compréhension des choix et de la méthode adoptée, il est utile de revenir sur certains éléments forts du contexte de RAP.

2.1 Le contrat de service

RAP est lié contractuellement à chaque organisme raccordé par une convention décrivant les obligations réciproques du réseau (le service fourni) et de l'établissement utilisateur (le respect des règles d'usage et le paiement des prestations). Dans le cadre de la relation client-fournisseur ainsi établie, la convention décrit précisément les engagements de niveaux de service et en particulier les délais de rétablissement. D'une manière générale, il est prévu que les incidents matériels doivent être résolus dans un délai de quatre heures (délai porté à vingt quatre heures en cas de rupture de liaison optique). Les évolutions du réseau étant des situations normales et prévisibles, celles-ci ne doivent en aucun cas entraîner de variation dans la qualité du service.

2.2 L'exploitation courante du réseau

Comme sur tout réseau, des opérations de configuration sont effectuées très régulièrement pour répondre aux demandes des utilisateurs. Cela représente une centaine de modifications par an et peut concerner la mise en place de nouveaux services (QoS, multicast ...) ou des configurations de services existants (ajout d'un circuit pour un VPN de niveau 2 ou 3, modification de routage ...). Les engagements de délai de réalisation sont de deux jours ouvrés pour les demandes standards et quatre heures en cas de demande urgente.

2.3 Raccordement de nouveaux sites

Le périmètre de RAP lui-même est en évolution permanente et depuis sa création, le réseau raccorde régulièrement de nouveaux sites selon une procédure technique définie. Pendant les différentes phases de la refonte de RAP, cette procédure a été adaptée afin de ne pas perturber l'arrivée des nouveaux sites (huit nouveaux raccordements en 2008).

2.4 Organisation globale des opérations

Depuis la création du réseau, l'organisation de RAP sépare clairement, d'une part, le pilotage et l'ingénierie du réseau effectués par une équipe de personnels de la communauté (le CORAP ou Centre Opérationnel de RAP), et d'autre part l'exploitation, la supervision et la maintenance qui sont assurées par des prestataires et sous-traitants engagés par contrat au respect de délais de résolution pour les incidents les plus courants. Ainsi, les demandes de modification de service des établissements utilisateurs sont adressées au CORAP qui les valide et en demande la réalisation à l'exploitant. En revanche, les problèmes d'exploitation sont directement signalés au guichet unique (ouvert 24h/24 et 7j/7) qui les gère en direct avec les correspondants techniques sur les sites et les prestataires concernés. Comme les autres opérations d'ingénierie, la refonte du backbone a été pilotée par le CORAP alors que sa réalisation a été essentiellement effectuée par l'exploitant du réseau.

3 Le projet

3.1 Les principales phases

3.1.1 L'expression du besoin

La première étape de la refonte de RAP a été de définir les besoins à satisfaire pour cette nouvelle version du réseau. Pour cela, le CORAP a mené en 2007 une trentaine d'entretiens avec un peu plus de la moitié des établissements raccordés. L'objectif était de recenser les demandes de nouveaux services, et aussi de mieux connaître les perspectives d'évolutions de l'utilisation du réseau par les établissements partenaires. De ce point de vue fonctionnel, les principales attentes étaient les suivantes :

- Augmentation des débits

La tendance régulière observée par la métrologie RAP comme par les sites est un doublement du trafic tous les dix huit mois. Pour suivre cette évolution de besoin, l'interface standard de raccordement des sites devait passer de 100 Mbit/s à 1 Gbit/s.

- Services de VPN

Dès 2001, RAP a fourni des VPN de niveau 2 sous forme de VLAN mais ceux-ci nécessitaient de coordonner les tags 802.1q utilisés entre les sites et le backbone. La demande du libre choix des tags est ressortie de plusieurs gros établissements multi-sites. Par ailleurs, constatant que beaucoup d'établissements utilisaient ces VLAN pour construire leur routage IP inter-sites, le CORAP a identifié le besoin d'un service de VPN IP (ou VPN de niveau 3).

- Renforcer encore la disponibilité du service

Les entretiens ont confirmé le fait que de plus en plus d'établissements appuyaient de plus en plus de services critiques sur le réseau, soit par de nouvelles applications (ToIP, ENT, ...) soit en concentrant en une ou deux localisations des services jusqu'alors répartis dans tous leurs sites (hébergement physique, stockage, messagerie, sauvegardes ...). Outre l'augmentation des débits, cette évolution des usages impliquait donc aussi un besoin toujours croissant de disponibilité du réseau.

Sur la base de son expérience de l'exploitation de RAP, le CORAP a aussi fixé les objectifs suivants pour la rénovation de RAP:

- Réduire le nombre d'équipements pour améliorer la fiabilité et réduire les coûts

- Simplifier les architectures autant que possible afin d'augmenter la maîtrise et la flexibilité du réseau

– Renforcer la qualité de l'exploitation sur le réseau d'accès optique

3.1.2 Définition des architectures cibles

L'architecture de chaque niveau a été revue en tirant les leçons acquises de plusieurs années d'exploitation, entraînant finalement des différences notables pour cette nouvelle version du réseau alors que la topologie physique n'a pas changé.

• Topologie physique

La topologie physique du réseau constituée de sites raccordés en étoile autour de 5 POP (Jussieu, Odéon, Auteuil, Maiesherbes et CNAM), eux-mêmes reliés en anneau a été reconduite. Elle présente les avantages suivants :

◦ Le raccordement des sites sur 5 POP permet une répartition des risques d'incident majeur sur un POP ou sur un accès vers RENATER

◦ Le positionnement des POP dans Paris s'est révélé efficace pour le raccordement des nouveaux sites, tant sur le plan des coûts des liaisons que des budgets optiques

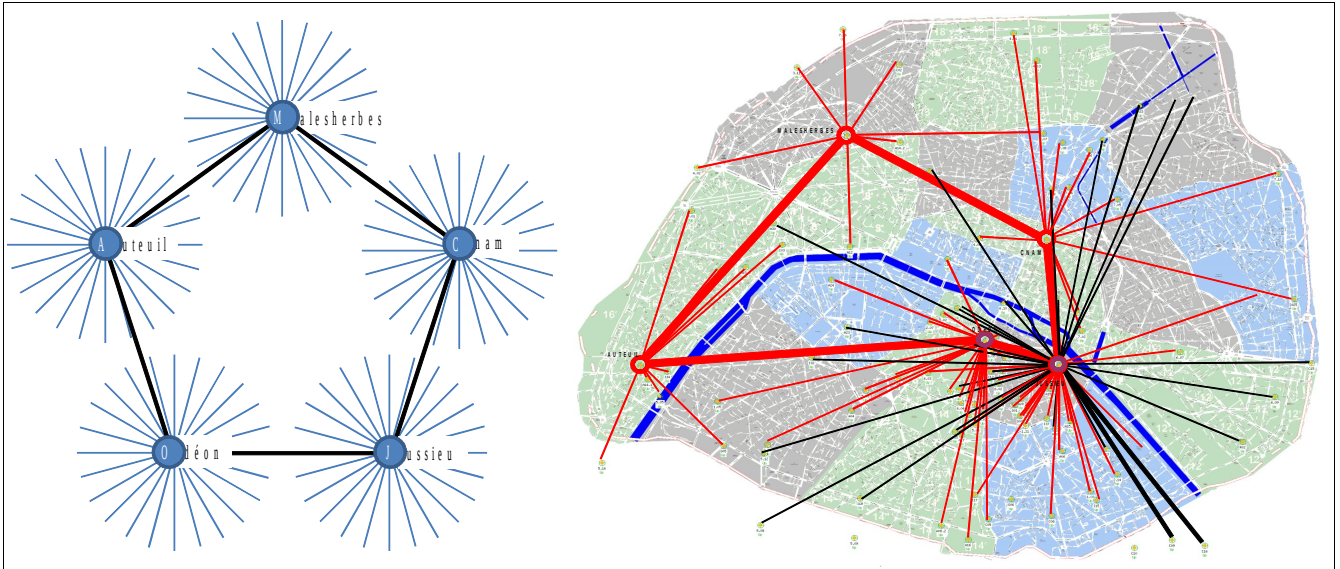


Figure 1: Topologie physique de RAP (schéma de principe et cartographie)

• Topologie optique

Dans sa version initiale, la topologie optique de RAP était constituée d'un anneau reliant les POP, doté de la technologie DWDM, et fournissant un secours optique entre deux POP adjacents par l'autre côté de l'anneau. De leur côté, les sites étaient tous raccordés de la même manière par une chaîne de conversion électrique-optique-électrique non administrable. Ainsi, l'effort était porté sur le cœur du réseau beaucoup plus que sur l'accès. Différents éléments ont amené à revoir cet aspect des choses.

Concernant l'anneau :

◦ Le transport d'un service optique supplémentaire entre deux POP peut se faire dans des conditions économiques très raisonnables par simple location de circuits optiques sur le réseau de la RATP.

◦ L'évolution des débits utilisés implique le passage des liaisons de backbone à 10 Gbit/s non supportés par les équipements optiques initiaux (Alcatel 1690). Le maintien de DWDM sur l'anneau supposerait donc le redéploiement de nouveaux châssis DWDM pour le transport de 10Gbit/s et plus, soit des investissements très importants et un coût de maintenance en proportion.

◦ L'introduction de MPLS sur le réseau pour les services critiques (en particulier le transport de la voix sur les VPN de niveau 2) amène des temps de convergence nettement inférieurs à la seconde, qui rendent inutile le secours optique proposé jusque là.

=> Le choix retenu a été de ne pas renouveler les services DWDM sur l'anneau et d'éclairer directement les liaisons inter-POP en 10Gbit/s Ethernet à partir des équipements actifs.

Concernant le raccordement des sites :

◦ Comme sur le backbone, l'évolution des trafics impose le passage du débit de base des liaisons de 100 Mbit/s à 1 Gbit/s. Il faut donc remplacer le parc de plus de 200 convertisseurs.

◦ Les sites sont supervisés au niveau IP (polling ICMP par les plateformes de supervision) mais pas au niveau optique. Ceci présente l'inconvénient de ne pas toujours pouvoir déterminer simplement si la perte d'un site vient de son équipement de raccordement qui ne répond pas ou si le problème se situe dans le périmètre de responsabilité de RAP (sur la liaison ou sur les convertisseurs).

◦ Les circuits optiques sont construits à l'unité (et non par paire) par la RATP, il est donc intéressant de multiplexer l'émission et la réception d'une liaison de site sur un seul circuit car cela diminue le coût de location. De plus, cela permet de retarder la contention sur les câbles optiques d'accès vers les POP les plus chargés.

=> Deux orientations fortes ont été retenues :

- Compte tenu du coût devenu faible des interfaces GigaEthernet cuivre, et pour ne pas lier les choix du transport à l'accès et des services en cœur de réseau, il a été décidé de maintenir une chaîne de conversion optique-électrique-optique vers les sites indépendante des équipements actifs de niveaux 2 et 3

- A l'occasion du passage de 100 Mbit/s à 1 Gbit/s, les simples convertisseurs utilisés jusqu'alors sur RAP ont été remplacés par de véritables équipements de démarcation de service. Les châssis positionnés dans les POP raccordent chacun 15 sites. Par une application de la norme 802.3ah, les boîtiers sur les sites sont visibles et supervisés comme des extensions des châssis positionnés dans les POP.

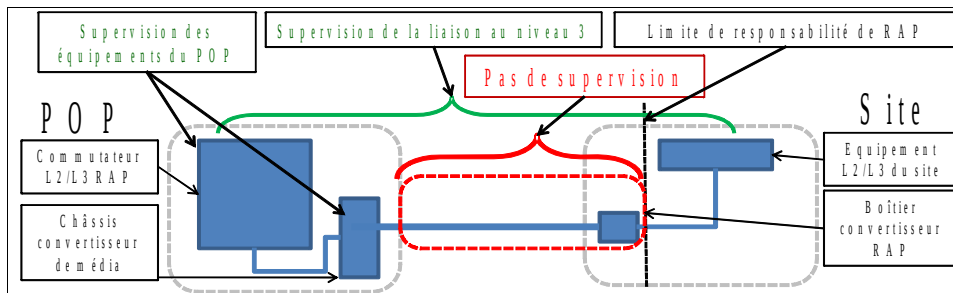


Figure 2: Limites de la supervision avec les anciennes chaînes de conversion optiques

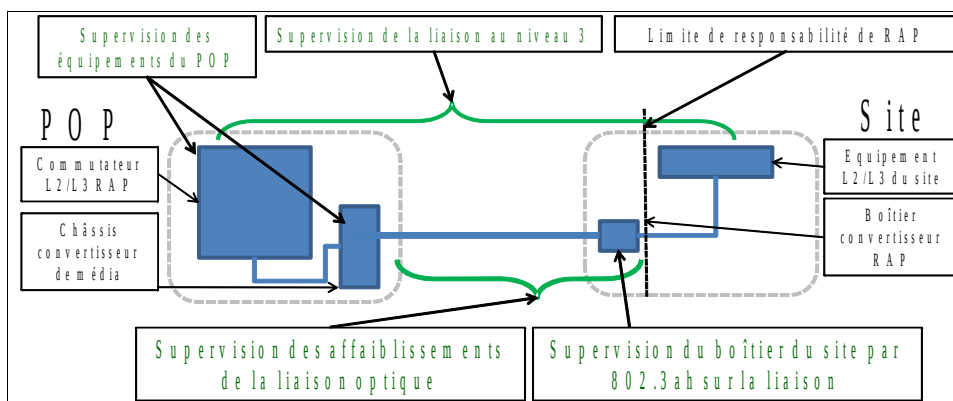


Figure 3: Extension de la supervision jusqu'à l'interface de service sur le site grâce à 802.3ah

- Choix du positionnement des fonctions de routage et de commutation

Le CORAP a d'emblée fait un choix délibéré de simplifier l'architecture du réseau. Pour cela, et compte tenu de l'expérience acquise sur le réseau, il a été décidé que chaque POP disposerait d'un équipement équivalent, capable de fournir vers les sites ou vers RENATER l'ensemble des services attendus. Par ailleurs, en raison du passage du réseau à un débit de 10 Gbit/s, le choix du type d'équipement s'est porté sur des châssis intégrant l'ensemble des fonctions plutôt que sur des commutateurs et des routeurs séparés qui, outre la complexification de l'architecture, avaient comme inconvénient le surcoût engendré par la multiplication des interfaces 10GigaEthernet pour rester en architecture globalement non bloquante.

- Topologie de niveau 2

Depuis la création de RAP, si on fait exception de la suppression du service ATM, la topologie de niveau 2 n'a cessé de se complexifier. La topologie initiale sur le backbone était constituée de VLAN entre les POP et vers les équipements de raccordement à RENATER. En 2005, pour réduire le trafic IP en transit afin de résoudre des problèmes fonctionnels sur le réseau, chaque POP a été raccordé directement en niveau 2 (par un VLAN) à l'équipement d'accès à RENATER. A partir de 2007, la mise en place d'un deuxième lien entre RAP et RENATER au départ du POP d'Odéon a nécessité de reproduire le dispositif vers le second équipement d'accès à RENATER. En 2008, la topologie de niveau 2 du réseau était constituée par les liaisons inter-POP initiales formant un anneau, complétées par deux étoiles autour des équipements d'accès à RENATER situés dans les POP de Jussieu et d'Odéon.

Le choix de positionnement des fonctions de routage de manière égale sur les 5 points de l'anneau et la capacité de routage attendue sur les nouveaux équipements ont permis de revenir à un fonctionnement classique comportant un saut IP à chaque traversée d'équipement. Ainsi, la topologie de niveau 2 a pu être simplifiée en première analyse pour revenir là aussi à la

topologie la plus simple comportant à chaque fois un VLAN entre deux équipements qui sont face à face. Ce simple anneau a toutefois été légèrement complété pour des besoins de routage selon les modalités décrites dans la section routage interne ci-après.

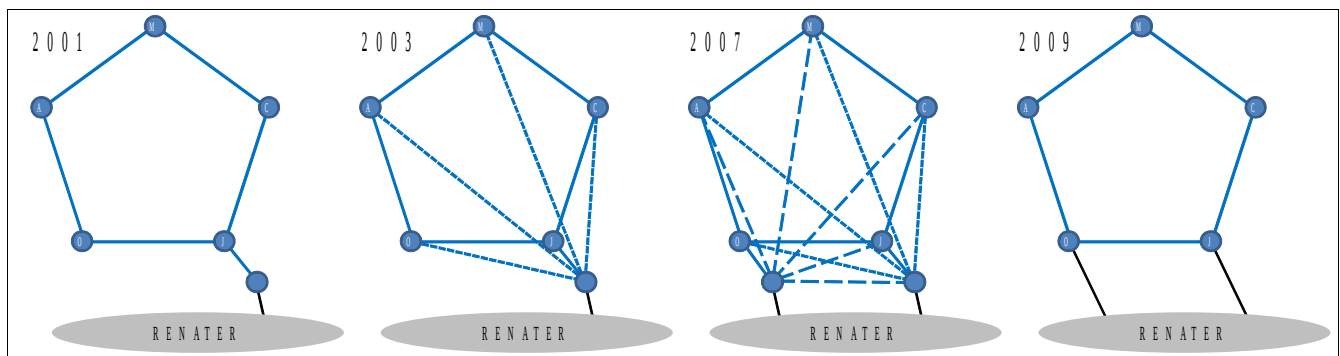


Figure 4: Évolution de la topologie de niveau 2 sur RAP et proposition simplifiée pour la nouvelle topologie

• Topologie de niveau 3 et routage interne

Remarquons tout d'abord qu'avec le déploiement de MPLS sur un réseau, le routage IP natif devient une brique de base pour le fonctionnement de tous les services (y compris les VPN de niveau 2). Un effort particulier a donc été porté sur RAP pour améliorer ce point.

Lors de la mise en service du second accès à RENATER en 2007, un choix délibéré avait été fait d'utiliser en temps normal les deux accès, et en cas de perte d'un accès de reprendre son trafic sur l'autre. Contrairement à un dispositif de secours qui ne sert qu'en cas de besoin, ce fonctionnement amène de meilleures garanties quant à la disponibilité de chaque accès, en particulier pour des pannes non franches liées par exemple à la présence de trafic. Il a donc été décidé de reconduire ce principe. Le principal point à résoudre pour ce modèle de double accès vers l'extérieur est le choix de l'accès le plus proche du site en entrée comme en sortie. L'ancienne configuration de routage s'appuyait sur la topologie de niveau 2 décrite ci-dessus (un anneau et une double étoile), et la résolution du point d'accès extérieur le plus proche était réalisée grâce au protocole de routage OSPF, moyennant des coûts complexes à déterminer sur les 16 liens au total.

En s'appuyant sur la nouvelle topologie de niveau 2, les coûts OSPF ont été nettement plus simples à établir puisqu'il a suffi dans un premier temps de les positionner tous à une valeur de référence (4), et de positionner un coût élevé entre les deux côtés de la partition pour garantir que le trafic emprunterait l'accès RENATER le plus proche du site. Dans un second temps, la topologie de niveau 2 a été étendue par un VLAN reliant les POP Odéon et Malesherbes en passant par Jussieu et CNAM et un autre VLAN reliant les POP Jussieu et CNAM en passant par Odéon, Auteuil et Malesherbes. Ces VLAN permettent de maintenir la connexité de chaque partition en cas de perte d'un lien sur l'anneau et leur coût OSPF est celui du chemin physique qu'ils empruntent (3x4 pour l'un et 4x4 pour l'autre). Cela permet en définitive de garantir en toutes circonstances la symétrie du routage entre RAP et RENATER.

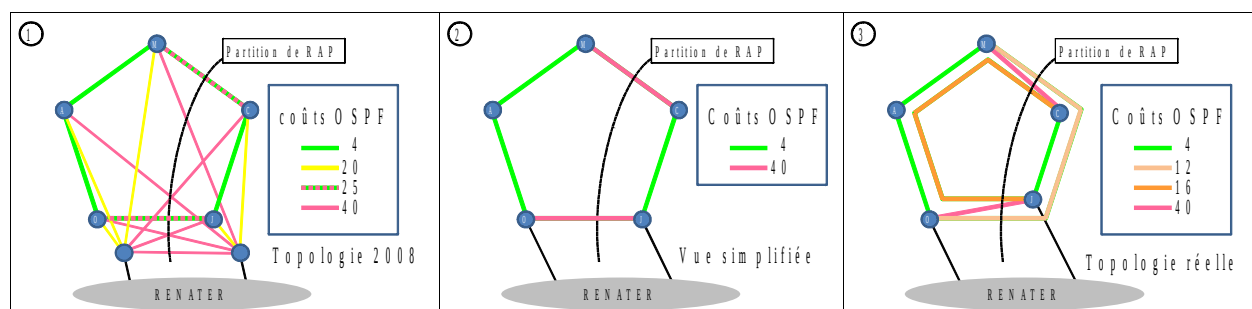


Figure 5: Ancienne topologie de routage interne IP/OSPF (1) et simplification pour le nouveau réseau (2 et 3)

• Routage externe

Au fil des années, le routage des réseaux externes au backbone de RAP (les routes des sites et les routes en provenance de l'extérieur) est devenu une question de plus en plus complexe, en particulier avec le double raccordement entre RAP et RENATER et le déploiement de raccords fiabilisés (avec deux accès vers deux POP distincts) pour certains sites. Selon une évolution lente à partir de la topologie initiale simple de 2001, les routes des sites (environ 400 routes) étaient pour l'essentiel configurées en statique sur les interfaces de raccordement et transportées par OSPF entre les cinq POP, avec néanmoins toute une infrastructure iBGP pour la gestion des raccords multiples et du full-routing pour certains sites. En frontière avec RENATER, les routes OSPF étaient réinjectées dans BGP selon un processus complexe permettant de fixer des attributs BGP à partir de coûts OSPF pour gérer la répartition des flux. Ce point a été grandement simplifié en adoptant

systématiquement BGP pour le transport de toutes les routes de sites. L'utilisation de BGP a aussi simplifié les transcriptions d'attributs pour les routes annoncées et reçues en frontière avec RENATER.

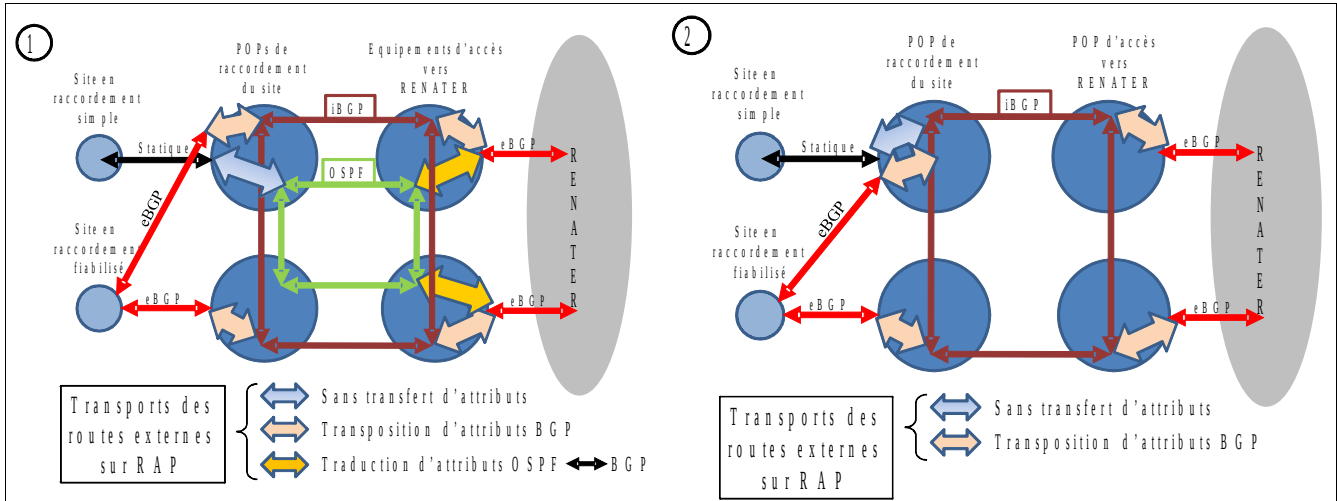


Figure 6: Transport des routes externes sur l'ancien réseau (1) et sur le nouveau (2)

3.1.3 Définition des topologies intermédiaires

Nous avons vu en 3.1.2 qu'à l'exception des liaisons elles-mêmes, les différentes topologies de RAP ont subi des transformations considérables lors de l'introduction des nouveaux équipements. Pour garantir le maintien du niveau de service aux utilisateurs, les topologies intermédiaires elles-mêmes ont fait l'objet d'études précises. Le cas du routage interne illustre clairement la complexité passagère qu'a connue le réseau pendant la période de déploiement des nouveaux équipements. Pour chaque niveau d'architecture, on a le même phénomène de passage par une phase de coexistence de l'ancien réseau et du nouveau (optique, niveaux 2, transport des routes de sites ...). Le schéma ci-dessous montre l'état du routage interne sur RAP d'avril à novembre 2008, période pendant laquelle s'est déroulée la migration des 140 sites de l'ancien réseau (équipements du pentagone intérieur) vers le nouveau (équipements du pentagone extérieur).

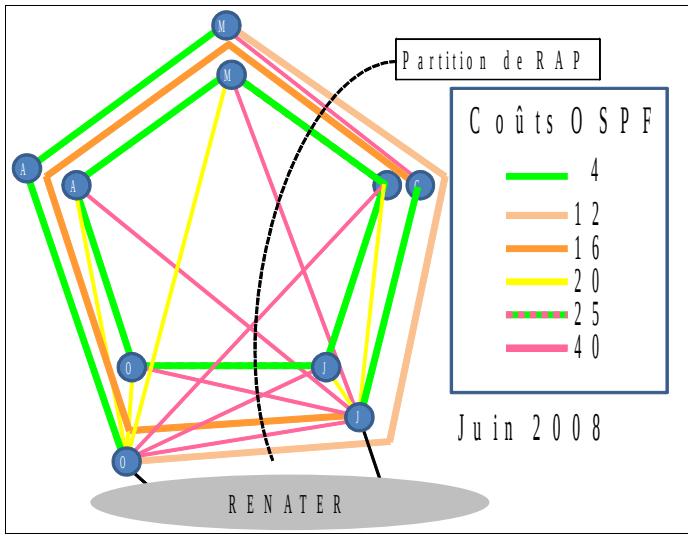


Figure 7: Configuration du routage interne sur RAP complexifiée pendant la migration des sites

3.1.4 Remise en qualité du réseau existant

Compte tenu de l'ampleur des modifications apportées sur l'architecture, l'ensemble de l'ancien réseau a fait l'objet d'une revue de décembre 2007 à mars 2008 pour remettre en conformité toutes les configurations. Cela a permis d'éviter des effets de bord non maîtrisés lors du déploiement des nouveaux équipements. D'un point de vue strictement matériel, une opération globale de réaménagement des POP avait été menée depuis début 2007 pour permettre l'installation physique des nouveaux équipements (commutateurs routeurs et châssis de conversion optique) en plus des anciens pendant le temps de la migration des sites.

3.1.5 Déploiement du nouveau réseau

En avril et mai 2008, les nouveaux équipements (5 châssis Juniper Networks MX 480) ont été installés dans les POP et les liaisons inter POP ont été rétablies directement sur les nouvelles interfaces 10Gbit/s. Les anciens équipements DWDM ont ainsi cessé leur service dès la mi 2008. Les topologies de niveau 2 et 3 ont été maintenues assez simplement en reconfigurant les VLAN sur le réseau pour suivre les changements de topologie physique.

3.1.6 La migration des services et des sites

Les 140 sites ont été migrés de l'ancien réseau vers le nouveau de juin à novembre 2008 en trois phases selon une procédure rendue très simple grâce à la préparation décrite ci-dessus. Dans un premier temps, la dizaine de sites déjà raccordés à 1 Gbit/s, ensuite les sites souhaitant passer immédiatement à un débit de 1 Gbits/s (une trentaine), et enfin tous les autres.

Les interfaces de raccordement sur les nouveaux équipements étant configurées, avec les mêmes paramètres que celles des anciens équipements (tags et réseaux IP pour les interconnexions, routes du site ...) il a suffi de débrancher le câble de raccordement du site sur l'ancien équipement dans le POP, puis de le raccorder sur le nouvel équipement pour faire converger le routage vers le site en utilisant la nouvelle infrastructure. Passé une difficulté qui a nécessité un petit ajustement de configuration du routage entre l'ancien réseau et le nouveau, le passage des anciens équipements vers les nouveaux n'a en général pas occasionné plus de quelques minutes de coupure pour chaque site.

En novembre 2008, les services de VPN de niveau 2, fournis jusqu'alors par des VLAN, ont été repris en VPLS (Virtual Private LAN Service s'appuyant sur MPLS). Cette évolution majeure permet en particulier de rerouter les services de niveau 2 sur le backbone et vers les sites avec des temps de convergence de l'ordre de la seconde.

3.1.7 Arrêt de l'ancien réseau

L'arrêt complet des équipements de niveau 2 et 3 de l'ancien réseau a été finalement effectif début 2009 pour permettre la reconfiguration des réseaux utilisés pour la métrologie, l'administration et la supervision de RAP. Le remplacement complet de toutes les chaînes de conversions optiques pour les sites a pris fin en juin 2009.

3.2 Les projets et activités connexes

Pendant la période de refonte de RAP, d'autres actions ont été menées, elles aussi sous forme de projet par le CORAP :

3.2.1 Le réaménagement physique complet des POP

En 8 ans d'exploitation, la problématique de l'aménagement des locaux techniques de RAP (POP) n'avait pas été suffisamment prise en compte. Pour ne pas continuer dans une voie qui serait devenue problématique tôt ou tard pour l'exploitation du réseau, un projet spécifique de réaménagement des POP a été initié avant même le début des opérations de rénovation du backbone. Dans un premier temps, les spécifications complètes des aménagements cibles ont été produites pour les nouveaux équipements et les câblages associés. Dans un second temps, toutes les étapes permettant d'aller de la situation initiale à la situation cible ont été spécifiées. Enfin, les programmations des deux opérations (rénovation du backbone et réaménagement des POP) ont été rapprochées pour identifier toutes les étapes communes, ce qui a permis de minimiser les interruptions de services. Par exemple, les déplacements des liaisons de backbone, intervenant relativement tôt dans le projet de rénovation ont été réalisés de manière à être en situation cible pour le câblage concerné du point de vue de l'aménagement des POP.

3.2.2 La migration des sites bas débits

En avril et mai 2008, le changement de l'offre retenue pour le marché triennal des liaisons bas débit a imposé une migration des 27 sites concernés de l'ancien réseau d'accès (Orange TurboDSL) au nouveau (Orange Ethernet Link). La solution retenue à chaque fois que cela a été possible a été de déployer le nouvel accès en conservant l'ancien. Une fois le nouvel accès validé, il ne restait qu'à déplacer le routage pour utiliser la nouvelle liaison.

3.2.3 Le passage de 100 Mbit/s à 1 Gbit/s pour une trentaine de sites

Pour permettre à certains sites de bénéficier au plus vite des nouvelles capacités du réseau, ceux qui l'ont souhaité ont eu accès dès l'été 2008 à un raccordement en GigaEthernet. Dans ce cas, le changement de débit pour le site a aussi correspondu à son déplacement de l'ancienne infrastructure vers la nouvelle, afin de ne provoquer qu'une seule interruption de service au lieu de deux.

3.2.4 L'adaptation du portail RAP et du système d'information

Le portail fournit aux établissements l'ensemble des informations de métrologie et d'exploitation pour leurs sites raccordés à RAP. Le système d'information sous-jacent (SIRAP, le Système d'Information de RAP) est aussi utilisé pour générer les fichiers de configuration des outils de communication et de surveillance mis en œuvre par le CORAP et par les exploitants. Toutes les opérations effectuées sur le réseau, qu'elles aient trait à une modification de l'anneau ou au déplacement du raccordement d'un site, ont donc été scrupuleusement retranscrites dans les données du système d'information en temps réel pour éviter toute rupture de continuité de service, en particulier sur la supervision et la métrologie.

3.3 Quelques éléments financiers

3.3.1 Coût consolidé pour le CORAP

Le budget global consolidé pour cette opération est de 1,05 M€ répartis comme suit :

Acquisition des équipements (actifs, équipements optiques de raccordement et équipements pour l'aménagement des POP)	800 k€
Prestations diverses (opérations de remise en qualité du réseau, prestation de migration)	120 k€
Ressources CORAP (2 année*homme réparties entre 1 IGR et 4 IGE)	130 k€

Le coût en ressources humaines doit bien apparaître comme un poste à part entière car le budget de fonctionnement de RAP intègre le financement à 100% des personnels du CORAP (par remboursement des masses salariales chargées aux établissements mettant les personnels à disposition).

3.3.2 Financement

Depuis 2006, la tarification en vigueur sur RAP intègre la constitution de provisions, dont une provision pour charges destinée au renouvellement des infrastructures. Cette opération de rénovation a été financée sur cette provision pour charges (en dehors des ressources humaines apportées par les personnels permanents du CORAP et donc financées sur le poste CORAP pour la période considérée).

3.3.3 Évolution des coûts RAP pour les utilisateurs

L'architecture de l'anneau central de RAP a été grandement simplifiée. En 2006, le réseau a compté jusqu'à 21 équipements actifs sur l'anneau, et il y en avait encore 13 en 2007 avant le début de la rénovation. Aujourd'hui, il n'y a plus que 5 équipements actifs de niveau 2 ou 3 sur l'anneau. Même si la maintenance de ces équipements est plus coûteuse que celle des anciennes générations et leur exploitation plus complexe, la diminution de leur nombre a permis de ne pas augmenter les frais de fonctionnement du réseau. L'accroissement du nombre de sites a même permis de réduire légèrement (-5%) la participation annuelle pour un raccordement standard entre 2007 et 2009 tout en offrant le GigaEthernet au lieu du FastEthernet.

4 Conclusion

Le bilan de cette opération est son achèvement global sans incident majeur sur le réseau. L'effort particulier porté sur la programmation des opérations a permis de minimiser l'impact pour les sites qui a été en général de une ou deux fois quelques minutes d'interruption de service pour chaque site (pas d'interruption pour les sites en raccordement fiabilisé). Outre les évidentes améliorations pour l'exploitation, le choix de la simplification du réseau a permis d'en réduire les coûts de fonctionnement tout en enrichissant l'offre de services.