

RAP, un réseau optique

■ Jean-Paul Gautier Jean-Paul.Gautier@urec.cnrs.fr
(CNRS/UREC)

■ Jean-Claude Girard Jean-Claude.Girard@ccr.jussieu.fr
(Université Pierre et Marie Curie)

Le Réseau Académique Parisien (RAP) est un réseau métropolitain à haut débit pour tous les établissements d'enseignement supérieur et de recherche de Paris intra-muros. Trente trois établissements sont associés au projet répartis sur une centaine de sites, environ 300 000 étudiants et 40000 enseignants, chercheurs, personnels technique et administratif. Une architecture en « fibre noire » et DWDM, les protocoles ATM et Gigabit Ethernet, des services à valeur ajoutée et un centre opérationnel forment un tout cohérent ouvert à un large éventail de débits, de protocoles et d'offres de services.

■ Le projet

Les objectifs

De manière générale, les réseaux à hauts débits constituent à ce jour un élément essentiel de la mise en œuvre des nouvelles technologies. Initié par la Direction de la Recherche afin d'optimiser les demandes budgétaires « réseau » inscrites au plan quadriennal des Universités parisiennes, le projet a vu son contour étendu aux établissements d'Enseignement Supérieur et de la Recherche de Paris intra-muros et aux partenaires naturels de ces établissements que sont le CNRS et l'INSERM. Cette définition prend en compte l'ensemble des sites de ces établissements, indépendamment de leur taille et de leur situation sur Paris.

Pour répondre à cette volonté d'optimisation, il est nécessaire de mettre en place un réseau structuré offrant une gamme de services et de fonctionnalités communes à l'ensemble des établissements. Un des objectifs majeurs étant de garantir la pérennité des investissements consentis, seule une infrastructure construite sur de nouvelles technologies est à même de répondre aux évolutions en termes de débits, de protocoles et satisfaire ainsi aux exigences des besoins émergents

Les points forts et objectifs qui en découlent sont :

- un réseau piloté « pour et avec la communauté », capable de répondre aux attentes et de s'adapter aux nouveaux projets. Sa maîtrise complète et transparente (administration, contrôle de ses évolutions ...) est la garantie d'un réseau au service de la communauté desservie.
- une infrastructure optique en « fibre noire » et DWDM¹, protocoles ATM et Gigabit, services à valeur ajoutée et administration constituant un ensemble cohérent ouvert sur un large spectre de possibilités tant dans le domaine des débits que des protocoles et des services offerts.
- un coût financier en investissements concurrentiel et en fonctionnement équitable et acceptable au regard des perspectives offertes.

Les éléments clés qui ont conduit à définir ces objectifs sont les suivants:

- L'infrastructure de communication actuelle que ce soit via une connexion à RERIF² ou via des liens propres de sites à sites ne permet absolument pas de répondre économiquement et techniquement aux besoins actuels.
- Les besoins émergents qui surgissent dans tous les secteurs d'activités des établissements et les exigences associées en termes de débits, de QoS, ... ne peuvent être satisfaites qu'à travers la mise en place de réseaux à très hauts débits.

¹ DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing.

² RERIF: Réseau Régional Ile de France

- La rapidité d'évolution des exigences applicatives qui induit une grande capacité d'adaptation des infrastructures et des services de base associés, ne peut être satisfaite que dans le cadre d'une très forte interactivité entre utilisateurs et exploitant de l'infrastructure.
- La présence sur Paris d'opérateurs "alternatif" ayant une offre de type "fibre noire" combinée à la technologie DWDM, désormais accessible économiquement, ouvre incontestablement un vaste champ de possibilités tant dans le domaine opérationnel (satisfaction des besoins actuels et émergents) que dans le domaine expérimental (vers de nouveaux protocoles ou applications) et ce sans être limité en termes de débits ni de protocoles.
- si le Gigabit Ethernet est un excellent protocole de transport IP de type « best effort », ATM constitue encore le meilleur protocole pour des applications nécessitant de la qualité de services et leur prolongation vers les réseaux extérieurs tels que RENATER II3. La complémentarité fonctionnelle entre ces deux protocoles peut être aisément mise en œuvre sur l'infrastructure envisagée.
- Enfin, les estimations financières effectuées confortent largement cette stratégie.

La solution technique

Sur le plan technique, la réponse correspond à un réseau métropolitain (MAN⁴) reposant sur les éléments suivants :

- des points de présence (PoP⁵) : géographiquement distribués dans Paris et hébergés sur des sites de notre communauté. Ils accueillent des équipements réseaux raccordant les sites.
- des liaisons inter-PoP
- des liaisons entre sites et PoP.

L'ensemble PoP et liaisons inter-PoP constituent le « cœur de RAP ».

Avec DWDM en « cœur de RAP », sans modification de l'architecture physique, l'utilisation de plusieurs longueurs d'onde sur une même paire de fibres optiques offre :

- une alternative à N fibres en parallèle. L'évolution n'est plus soumise à la mise à disposition de nouvelles fibres
- un débit quasiment "illimité".
- l'évolution en fonction de nouveaux besoins (pérennité).
- la flexibilité et la rapidité de mise en œuvre.
- la possibilité de construire des réseaux dédiés avec la cohabitation de technologies différentes et de flux différents.
- la transparence aux débits et aux protocoles.
- un faible coût par unité de débit (Mb/s).

En termes de services, compte tenu des besoins exprimés, les services suivants seront fournis dès la mise en place de RAP :

- reprise des services Rerif/Renater (service IP « Best Effort »).
- prise en compte des services à QoS offerts par Renater 2 (ATM, VPN, ...).
- nouveaux services :
 - réseaux virtuels
 - voix, vidéo*, visio*, télé*, GTB, ... avec QoS.
 - multicast IP (audio, vidéo*, visio*, télé*, ...) avec ou sans QoS.
- services à valeur ajoutée pour la communauté (cache WEB, News, ...).

Les sites se raccorderont en ATM 155 Mbs ou Ethernet 100 Mbs selon le choix des établissements.

La réponse aux nouveaux besoins des établissements et à la problématique des services de RAP repose sur un réseau opérationnel dual, combinant les technologies ATM et Gigabit Ethernet, basé sur une infrastructure DWDM. DWDM offre la possibilité de construire de nouveaux réseaux avec de nouvelles technologies sans remise en cause de l'infrastructure et des services existants, la Figure 1 montre l'architecture globale du « cœur RAP » en termes de technologies et de protocoles.

³ RENATER: Réseau National pour la Technologie, l'Enseignement et la Recherche. II pour sa version hauts débits.

⁴ MAN: Metropolitan Area Network

⁵ PoP: Point of Presence.



Figure 1 : Technologies et protocoles dans RAP »

Organisation

A la base de l'organisation, nous trouvons les composantes classiques d'un réseau métropolitain :

- L'équipe de direction qui prend les décisions.
- Un comité d'utilisateurs.
- Un centre opérationnel (NOC) qui opère le réseau. Certaines fonctions du NOC sont externalisées ; cependant l'ensemble des personnels, internes et externes, travaillent dans un même lieu dans le but de créer une dynamique dans la gestion de RAP. Le NOC a entre autres la responsabilité de l'ingénierie, de l'exploitation, des relations techniques avec les sites, de la sécurité informatique de RAP.

■ L'appel d'offres

L'université Pierre et Marie Curie étant l'établissement porteur du projet, c'est donc la commission d'appel d'offre de Paris 6 qui a été chargée de conduire l'opération. Il a été décidé de procéder à un appel d'offre restreint ; la procédure se déroule donc en deux temps, sélection des candidats auxquels on envoie les documents de la consultation puis choix des titulaires des marchés après examen des réponses.

Allotissement

Cinq lots ont été définis, seuls les lots 1 à 4 ont été concernés par la procédure des marchés publics. Un candidat peut être retenu pour plusieurs lots.

- **Lot 0 :**

Hébergement des PoP sur des sites de la communauté RAP, cette consultation a été menée en interne parmi les partenaires de RAP.

- **Lot 1:**

Fourniture et maintenance d'une infrastructure de fibres optiques connectant une centaine de sites.

- **Lot 2:**

Fourniture, mise en service, maintenance des équipements du cœur de réseau.

Fourniture, mise en service, maintenance d'une plate forme d'administration de ces équipements.

Exploitation, supervision des équipements et des services associés.

- **Lot 3**

Fourniture, mise en service et maintenance d'équipements d'interconnexion pour les sites avec le cœur du réseau métropolitain.

- **Lot 4 :**

Fourniture d'un service IP d'interconnexion avec le réseau métropolitain pour une vingtaine de sites ne pouvant disposer de la connexion fibre optique.

Déroulement

- Février 2000 : parution au BOAMP (Bulletin Officiel des Annonces des Marchés Publics).
- Fin mars 2000 : choix des candidats.
- Avril 2000 : envoi des documents de la consultation (CCTP, CCAP, règlement de consultation) aux candidats.
- Juin 2000 : ouverture des dossiers envoyés par les candidats, début de l'analyse des réponses par un groupe d'experts.
- Octobre 2000 : choix des titulaires par la commission d'appel d'offre.
- Février 2001 : Fin de la procédure après l'obtention de la licence d'exploitant de réseau privé délivré par l'ART et l'examen de l'ensemble de la procédure d'appel d'offres par la CSMT (Commission Spécialisée des Marchés de Télécommunications du Ministère des Finances).

Titulaires des marchés

- Lot 1 : TELCITE, filiale réseau de la RATP, et GTIE, spécialiste du déploiement de fibres notamment en égouts.
- Lot 2 : ALCATEL qui fournit les équipements DWDM, ATM, Commutateurs-routeurs. ALCATEL est en charge de l'activité opérationnelle au sein du NOC de RAP.
- Lot 3 : Avaya, Alcatel, RCS.
- Lot 4 : infructueux. Une nouvelle consultation pour la connexion directe sur les PoP des sites concernés est nécessaire.

■ Le réseau déployé

La figure 2 montre l'architecture globale de RAP mise en oeuvre dans la phase de démarrage.

Un total de 99 sites est raccordé à RAP, de nouveaux établissements parisiens sont par ailleurs candidats à la connexion.

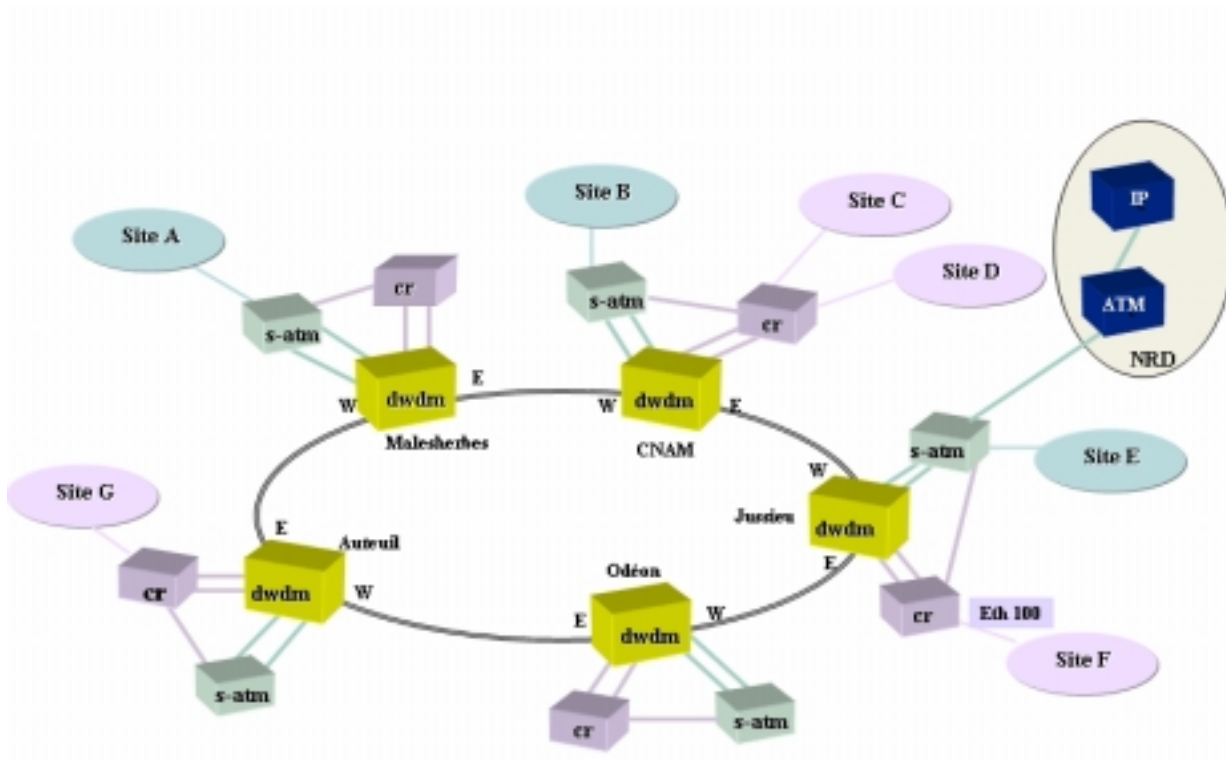


Figure 2 : Architecture du réseau déployé

Un prototype de ce réseau, avec 3 PoP, a été installé à Jussieu en mai-juin 2001 et en septembre la phase pré-opérationnelle de RAP a été validée.

La fin du déploiement est prévue pour mi-décembre.

Réseau physique

Cinq PoP avec respectivement 35, 27, 15, 13, 10 sites connectés sont hébergés sur les sites suivants :

- Université René Descartes (Odéon).
- Université Pierre et Marie Curie (Jussieu).
- Siège du CNRS (Auteuil).
- CNAM (Arts et Métiers).
- Université Paris-Sorbonne (Malesherbes).

Fibre noire

La plupart des sites (74) sera raccordée en fibre optique au PoP selon deux critères d'optimisation :

- La situation géographique.
- Le coût de la liaison.

De ceci résulte un nombre différent de connexions sur les PoP.

Une liaison optique est constituée de deux fibres monomodes G652. La longueur totale des liaisons optiques est de 346 km soit 692 km de fibre. La plus petite liaison est de 1 km, la plus longue de 9.6 km. Le cheminement de la fibre se fait dans le métro parisien et les égouts :

- Métro : 312.3 km.
- Egouts : 33.5 km.
- Génie civil : 0.3 km.

Le coeur du réseau est un anneau de 28.6 km qui relie les 5 PoP.

Lignes louées

Les petits sites, au nombre de 24 seront raccordés par des lignes louées à 2 Mbs. Ils seront raccordés aux PoP sur la base d'une optimisation financière.

Liaisons hertziennes

Un certain nombre de sites localisés en banlieue ont été intégrés à RAP ; quelques uns seront raccordés en fibre optique, d'autres ne peuvent l'être pour des considérations techniques et financières. Les 2 sites concernés seront connectés à RAP par des faisceaux hertziens à 155 Mbs ou 34 Mbs.

Cœur du réseau

DWDM

Un anneau DWDM de type BLSR (Bidirectional Line Switched Ring) est construit sur l'anneau physique du « cœur de RAP ». La figure 3 donne le schéma de principe de cet anneau DWDM, dans chaque PoP, l'équipement DWDM (Alcatel 1690 WM) envoie les signaux lumineux dans les directions marquée E (East) et W (West).

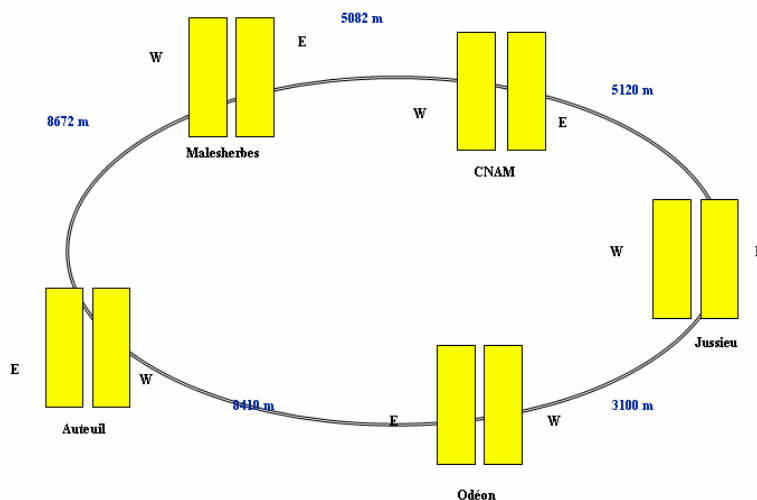


Figure 3 : Anneau optique

Ces équipements permettent à l'anneau optique d'avoir les caractéristiques suivantes :

- Un maximum de 32 longueurs d'onde en mode protégé ou 64 longueurs d'onde en mode non protégé. Il est possible de mixer des longueurs d'onde protégées et non protégées.
- Insertion et extraction de longueurs d'ondes dans chaque PoP, fonction OADM (Optical Add and Drop Multiplexer). Un groupe de 4 longueurs d'onde est l'unité d'extraction/insertion sur un noeud.
- Fonction de transit pour les longueurs d'onde non utilisée sur un PoP (fonction Passthrough).
- Protection optique par canal (« Och protection ») ; une longueur d'onde entre 2 PoP adjacents emprunte le chemin direct entre ces 2 PoP (« working path ») mais également le chemin qui passe par les 3 autre PoP (« protection path »), en cas d'incident sur le chemin direct c'est le chemin de protection qui devient le « working path ». L'incident optique et le basculement d'un chemin sur un autre ne sont pas vus par les services (ATM, Gigabit Ethernet ..) construit au dessus du réseau DWDM.

Ce réseau DWDM autorise RAP à bâtir dans un premier temps deux réseaux qui sont deux services offerts par la couche optique. Un réseau ATM et un réseau Gigabit Ethernet sont construits dans une topologie de type anneau. Pour construire ces deux services sur un anneau avec protection Och, les règles d'ingénierie conduisent à utiliser 10 longueurs d'onde ; Le réseau optique de RAP est équivalent à 20 réseaux optiques virtuels construits sur des liaisons optiques constituées de 2 fibres.

Des points de régénération (« repeater ») sont nécessaires sur l'anneau pour garantir le bilan optique nécessaire au bon fonctionnement du mécanisme de protection optique par canal. La figure 4 résume dans un tableau l'ingénierie du réseau optique, à chaque canal correspond une longueur d'onde normalisée de l'ITU.

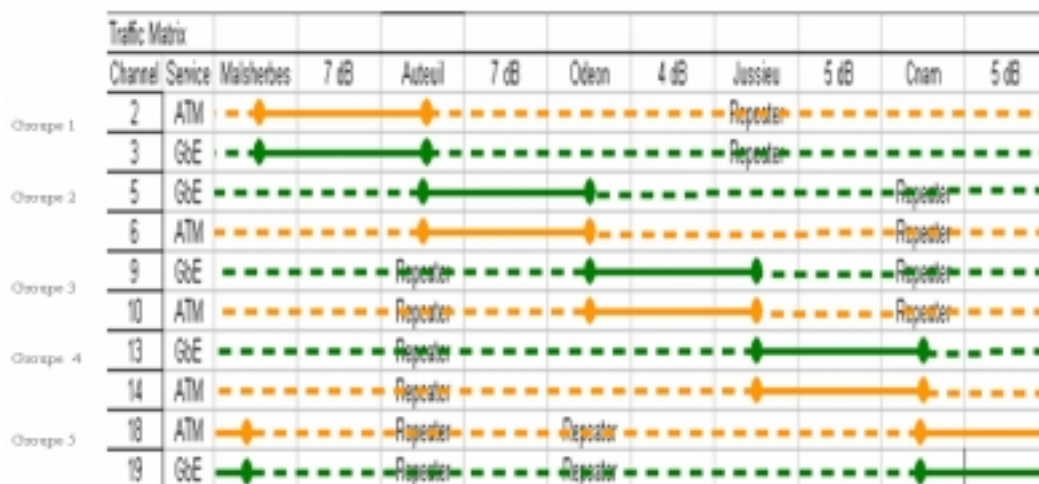


Figure 4 : Ingénierie du réseau optique

Architecture ATM et Gigabit Ethernet

Dans chaque PoP sont installés les équipements permettant de construire les services ATM, Gigabit Ethernet et IP au dessus du réseau DWDM :

- OmniCore 5052, commutateur-routeur Gigabit Ethernet, Ethernet 100 Mbs. Il assure les fonctions de routage IP sur RAP.
- OmniSwitch 9, plate forme multi-protocoles il assure la fonction de commutateur ATM et accueille les petits sites sur une carte WAN. Un port Giga Ethernet permet la connexion avec l'OmniCore 5052.

Chacun de ces équipements à une liaison avec les deux PoP voisins. La connexion entre le monde ATM et le monde Gigabit Ethernet est réalisée dans chaque PoP par une connexion Gigabit entre l'OmniSwitch et l'OmniCore.

La connexion à Renater est réalisée à Jussieu par une liaison ATM 622 Mbs.

La figure 5 montre l'architecture des services ATM et Gigabit Ethernet. Au niveau 2 RAP offrira des services de réseaux privés ATM et/ou Ethernet construits avec des protocoles normalisés.

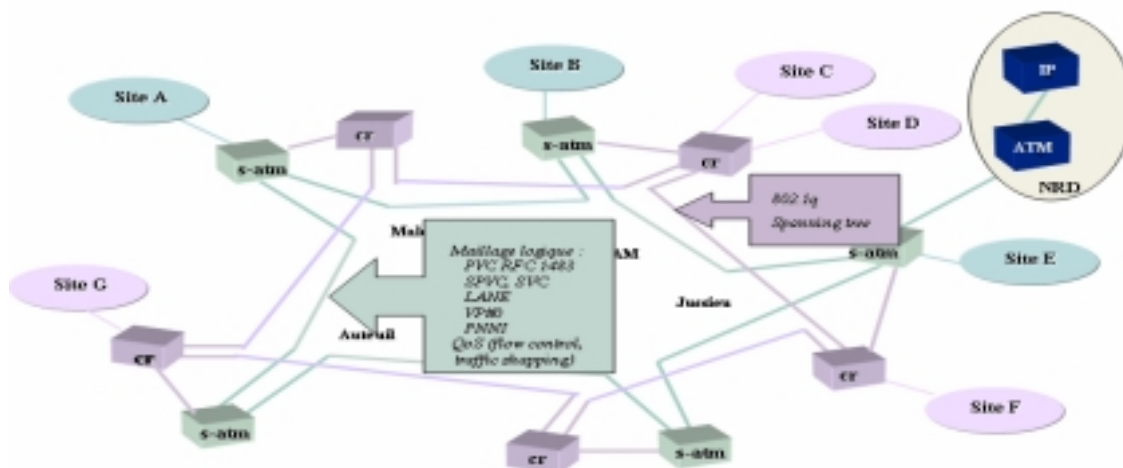


Figure 5 : Services de niveau 2 ATM et Gigabit Ethernet

Architecture IP

Le protocole IP est le protocole utilisé par la quasi-totalité des applications de notre communauté, seule la vidéo et la téléphonie peuvent s'envisager sur un réseau métropolitain en ATM natif.

Pour construire son infrastructure IP, se connecter à Renater, mettre en œuvre certains services RAP dispose :

- d'un domaine de nommage : rap.prd.fr (prd : programmes de recherches et développements).
- d'un numéro d'AS : AS 2422.
- de 3 réseaux de classes C.

Ce sont les commutateurs-routeurs (cr) des PoPs qui assurent les services IP, celui de Jussieu assurant l'accès à Renater.

Le backbone IP de RAP se compose de réseaux IP construits:

- sur les liens Gigabit Ethernet
- sur les liens ATM plus les liens Gigabit entre OmniCore et OmniSwitch dans chaque PoP

Le backbone IP est donc constitué de 6 réseaux IP. Le protocole OSPF est le protocole de routage entre les commutateurs-routeurs ; BGP est le protocole de routage vers Renater. Il n'y a pas de protocole de routage dynamique entre les sites et le cœur de RAP sauf cas exceptionnel. La figure 6 montre l'architecture IP unicast de RAP. L'architecture IP multicast se fera avec PIM-SM mais n'est pas encore finalisée.

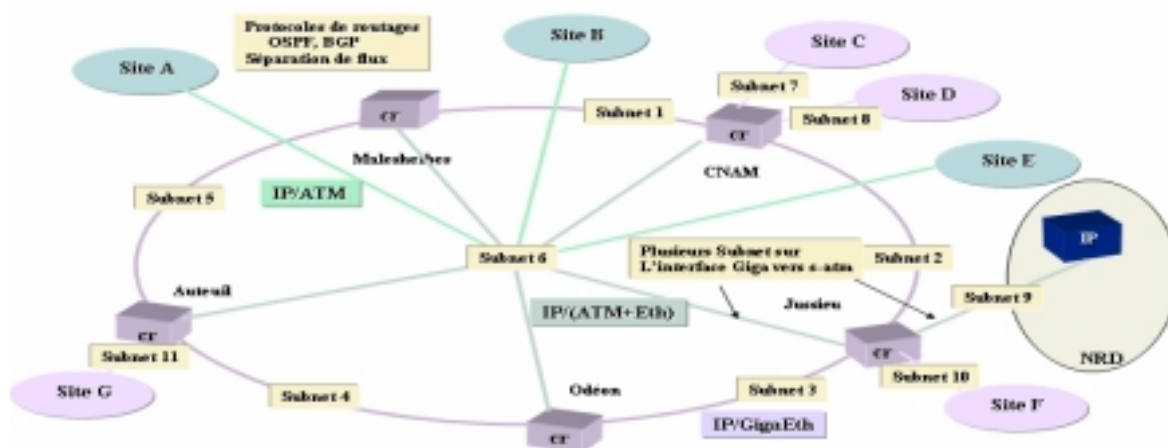


Figure 6 : Le réseau IP de RAP

Connexion des sites

Les sites ne sont pas connectés avec la technologie DWDM dans la première phase de RAP. Les établissements ont le choix entre des liaisons ATM OC3 (155 Mbs) ou Fast Ethernet (100 Mbs).

En accord avec le type de liaison, les sites ont le libre choix d'un accès avec un routeur IP avec interface ATM ou Ethernet 100 (HSI pour les petits sites), un commutateur-routeur avec interface Ethernet 100 ou ATM, un commutateur ATM.

RAP ne met pas d'équipement, à la manière des opérateurs, dans les sites, l'équipement de chaque site est directement raccordé aux équipements du « cœur de RAP », cette politique est suggérée par l'idée que RAP doit faciliter l'accès aux hauts débits et favoriser les relations entre les membres de la communauté Education/Recherche.

Selon la politique des établissements un site peut être autonome ou appartenir à un réseau privé d'établissement. Des réseaux privés thématiques sont envisageables dans une seconde étape.

■ Administration

L'administration de RAP est assurée par CORAP, centre opérationnel de RAP. CORAP assure un service du lundi au samedi (hors jours fériés) de 8h à 22h.

Le réseau est supervisé 24h/24 depuis le Centre Alcatel de Colombes, une liaison spécialisée Colombes-Jussieu est dédiée à la supervision.

La réponse d'Alcatel à l'appel d'offre a permis de monter un centre opérationnel avec des ressources internes du monde Education/Recherche (CORAP-RI) et des ressources externes Alcatel (CORAP-RE) selon les principes suivant :

- Co-localisation de CORAP-RI et de membres de CORAP-RE à Jussieu.
- Equipe CORAP-RE :
 - Personnels présents à Jussieu de 8h à 18h.
 - Le centre de Colombes assure le service de 18h à 22h.
 - Supervision de RAP 24h/24 par le Centre de Colombes.

L'équipe CORAP présente à Jussieu est actuellement composée :

- d'un directeur, d'un directeur technique, d'une secrétaire en temps partiel.
- de six ingénieurs (4 en ressources propres et 2 ALCATEL) .

Missions de CORAP-RE

Missions de base

- Interventions sur les équipements des PoP :
 - échange et ajout de matériels (carte, alimentation...).
 - suivi des interventions constructeur.
 - installation, configuration de base des équipements.
- Suivi et contrôle d'exploitation :
 - surveillance active du réseau ; gestion des remontées d'alarmes.
 - demandes d'intervention auprès d'un constructeur, d'un opérateur ou de l'équipe interne.
 - planification, mise en oeuvre de l'évolution des configurations matérielles et logicielles.
 - relations techniques avec les constructeurs, les opérateurs et leurs services de maintenance.
 - relations techniques avec les équipes réseaux des établissements (gestion des incidents).
 - logistique des matériels et des logiciels d'exploitation des équipements.
- Gestion des services :
 - IP
 - un service standard : connectivité entre sites, avec Renater, l'Internet.
 - un service multicast : MBONE (audio, vidéo, application partagée).
 - ATM :
 - un service de VP et de PVC équivalent à la mise en oeuvre d'un réseau privé entre sites.
 - un service de circuits virtuels dynamiques (SVC) ou statiques (SPVC) : IP/ATM, réseaux virtuels (LAN Emulation).

Métérologie et maintien de la qualité de service

- surveillance globale des flux.
- statistiques.
- mise à disposition des sites RAP de statistiques et d'informations en temps réel sur l'état du réseau.
- recueil des éléments techniques d'évaluation de la consommation des ressources.
- mise en œuvre de la qualité de service.

Missions de CORAP-RI

La communication externe, la relation avec les établissements, les tâches d'encadrement, la politique de formation du CORAP-RI, les missions liées à la sécurité, l'ingénierie du réseau et des services, sont à la charge des personnels recrutés pour le CORAP-RI :

- Ingénierie du réseau :
 - l'optimisation du réseau (« traffic engineering »).
 - la veille technologique.
 - l'étude et la maîtrise d'ouvrage des nouveaux projets.
 - le pilotage de l'évolution du réseau et des services de base associés.
 - l'expérimentation de nouvelles techniques.
- Sécurité :
 - la prévention et le suivi des incidents.
 - les contacts sécurité en relation avec les équipes réseau de chaque établissement.
 - les relations CERT Renater - CORAP.
- Services à valeur ajoutée : cache WWW, News, DNS secondaires ...

■ Aspects financiers

La Région Ile-de-France, la Ville de Paris, le Ministère de la Recherche ont soutenu le projet et contribué au financement du réseau.

La décomposition est la suivante :

- **Investissements :**

Nature des investissements	Coût HT (F)	Coût HT (E)
Infrastructure optique (Telcité et GTIE)	10,7 MF	1,63 ME
Frais de surveillance des travaux en égouts (Ville de Paris)	0,8 MF	0,12 ME
Infrastructure autres sites (Frais d'accès au service – opérateur)	1,2 MF	0,18 ME
DWDM, équipements actifs (Alcatel)	12,2 MF	1,85 ME
Equipements locaux techniques PoP	0,6 MF	0,09 ME
Equipements CORAP (divers)	0,5 MF	0,07 ME
Total	26 MF	3,96 ME

<i>Remise à niveau de la connexion des sites (évaluation)</i>	<i>6 MF</i>	<i>0,91 ME</i>
---	-------------	----------------

Total de l'opération : 32MF HT (4,87 ME)

- **Financement :**

- 6 MF HT (0,91 ME) de la Direction de la Recherche du Ministère de la Recherche.
- 1,5 MF HT (0,22 ME) CNRS
- 1,5 MF HT (0,22 ME) INSERM
- 13 MF HT (1,98 ME) du CRIF (remboursement de 50% des factures)
- 8 MF HT (1,22 ME) de la Ville de Paris.

Total des subventions : 30MF HT (4,57 ME)

- Participation des établissements : prise en charge partielle de la mise à niveau des équipements de connexion des sites par les établissements.

○ **Fonctionnement :**

Le budget prévisionnel annuel est le suivant :

Type de fonctionnement	Coût annuel HT (F)	Coût annuel HT (E)
Telcité (location fibre)	3,05 MF	0,46 ME
Redevance Ville de Paris (égouts)	1 MF	0,15 ME
Forfait petits sites (opérateur)	1,2 MF	0,18 ME
DWDM, équipements actifs et services (Alcatel)	4,7 MF	0,71 ME
Fonctionnement de CORAP	0,5 MF	0,07 ME
Total	10,45 MF HT	1,59 ME
<i>Amortissements des équipements (4 ans)</i>	<i>3 MF</i>	<i>0,45 ME</i>

La répartition du coût de fonctionnement entre les partenaires du RAP s'effectue par application d'une règle de mutualisation prenant en compte le nombre de sites, la catégorie de l'établissement, la dotation en poste de l'établissement pour CORAP et le débit choisi pour les sites connectés. La valeur des différents paramètres est établie chaque année par le Comité Directeur qui décide du budget global de fonctionnement. L'application de cette règle de mutualisation fixe le montant annuel de la contribution de l'établissement au budget de fonctionnement. A titre d'exemple, un établissement monosite connecté à 100Mbits paiera une redevance annuelle de 160KF HT/an. (24,39 KE)