

Projet RAP¹

■ Jean-Claude GIRARD, jcgirard@ccr.jussieu.fr
Université Paris VI

■ Jacky THIBAUT, thibault@ccr.jussieu.fr
Université Paris VI

Le projet RAP (Réseau Académique Parisien) initié par la Direction de la Recherche, en février 1998, vise à mettre en œuvre un réseau à très hauts débits pouvant répondre aux demandes actuelles et futures d'applications « classiques » des établissements et permettre la prise en compte des exigences des applications émergentes. Il concerne l'ensemble des 26 établissements parisiens (Universités, Grandes Ecoles, Instituts, Ministère, CHU...) en intégrant le CNRS et l'INSERM présents naturellement sur les différents sites (80).

L'étude menée par un groupe de représentants des principaux établissements a pris en compte autant les aspects technologiques, financiers qu'organisationnels afin que chaque partenaire puisse mesurer l'impact de son intégration dans une infrastructure partagée de communications.

Dans un premier temps, il a été nécessaire de dresser un bilan à la fois de la situation actuelle, des offres possibles en termes d'infrastructures, de services, et des technologies envisageables en se plaçant d'emblée sur un objectif de réseaux à très hauts débits pour répondre aux besoins des applications émergentes. Ce bilan, a permis de développer les axes majeurs du projet sur le plan fonctionnel, technologique et financier.

Les points forts 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 notre communauté. Mais placé dans un rôle d'opérateur, il faut en assumer les contraintes ; l'ouverture vers l'externalisation des fonctions les plus exigeantes dans ce domaine en reste l'élément clé.*
- *une infrastructure optique en « fibre noire » et DWDM², 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.*

L'acceptation de principe des différents acteurs permet désormais d'entamer la phase d'engagement formel de tous les partenaires qu'ils soient investisseurs ou utilisateurs et ce avant de lancer les procédures d'appel d'offres pour une mise en œuvre pendant l'été 2000³.

■ Introduction

Ce projet a été initié par la Direction de la Recherche du Ministère de L'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie, lors de la phase de contractualisation des Universités parisiennes. En effet, la dispersion des sites conjuguée à la demande de mise en œuvre des réseaux au sein des différents établissements, aboutissait rapidement à la redondance d'infrastructures. En février 1998, la Direction de la Recherche décida de lancer une étude pour mesurer l'impact d'une infrastructure susceptible de satisfaire les besoins de communications tant internes qu'externes. Un groupe d'étude fût créé intégrant les 8 universités, le CNRS, l'INSERM, le MEN et le CNAM.

En termes de calendrier, après un premier rapport d'orientation en juin 98, une étude détaillée sur les stratégies techniques et financières a été présentée en juin 99. Le dernier trimestre doit être consacré à la formalisation des engagements des différents partenaires avant le lancement des appels d'offres début 2000 et une réalisation pour l'été.

¹ Réseau Académique Parisien

² DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing.

³ Cette présentation est faite au nom du groupe de travail dont la liste est présentée en annexe.



■ Le contexte du rapport

La situation actuelle des établissements

Un recensement des implantations des différents établissements et de leurs caractéristiques montre une très grande diversité de sites, et ce, indépendamment de leur nombre (plus de 80). La connectivité est réduite (transport IP minimal), la qualité de service n'est pas prise en compte et les débits ne sont pas garantis. Ces limitations sont dues aux coûts financiers induits. Ainsi, le seul coût de connexion au réseau RERIF (Réseau Régional Ile de France réseau d'accès à RENATER) représente pour l'ensemble des 26 établissements parisiens environ 6 MF / an pour un débit maximum des connexions à 2 Mbits et certains sites secondaires non connectés. De plus, conçu en 1990, RERIF ne peut aujourd'hui, avec 160 sites connectés et une technologie non évolutive, représenter une base crédible de prise en compte de projets à hauts débits.

L'ensemble des limitations liées aux coûts, aux fonctionnalités, aux infrastructures hétérogènes et à l'environnement introduit des freins considérables dans le développement de projets communicants qu'ils soient intra ou inter établissements.

Les besoins émergents

Le potentiel applicatif apporté par le multimédia dans le domaine de l'enseignement, de la recherche et de l'administration est particulièrement élevé. On notera :

- *les serveurs d'informations* : bases d'informations intégrant des objets de type texte, son, image, séquence vidéo...
- *les technologies et applications vidéos* : visioconférence, télé-amphi, visualisation à distance d'expérience sur grands instruments, opération... vidéo à la demande (cours, expériences, opérations, documentaires...), etc.,
- *la documentation numérique* : accès à un signalement bibliographique enrichi (table des matières, accès au contenu...) des ouvrages, mais également aux nouvelles formes de documents telles que les documents sonores, images, vidéos,
- *l'imagerie médicale et télédiagnostic* : échanges de fichiers images entre chercheurs et spécialistes d'un domaine médical afin, soit d'effectuer un diagnostic à distance, soit de confronter des cas cliniques,
- *le calcul réparti* : utilisation en parallèle de machines réparties sur un réseau de communication.
- *la téléphonie* : interconnexion de PABX⁴ d'un même établissement (gestion d'un plan de numérotation étendu), mise en œuvre d'un réseau téléphonique au-dessus d'un réseau de données,
- *la Gestion Technique de Bâtiments (GTB)* : surveillance vidéo, gestion d'alarmes (incendie, intrusion, anomalies de fonctionnement d'équipements divers, ascenseurs, coupure électrique...), contrôle d'accès aux locaux.

Si certaines applications ne nécessitent pas intrinsèquement de débit important, la satisfaction d'un nombre croissant d'utilisateurs simultanés exige des réseaux à hauts débits offrant la qualité de services. De plus il est évident que l'infrastructure actuelle ne peut en aucun cas faire face à ces nouveaux besoins.

L'offre technologique

Les protocoles

Le protocole réseau majoritairement utilisé par les établissements est IP (Internet Protocol).

ATM⁵ est un protocole construit pour accueillir les applications large bande et nécessitant une qualité de services (délai de transport, bande passante garantie...). Sa complexité intrinsèque a freiné son développement le rendant ainsi peu présent jusqu'au poste de travail (peu d'applications en ATM natif). Néanmoins, des réseaux MAN et WAN utilisent ce protocole pour le transport d'IP et d'applications nécessitant de la qualité de services.

Le Gigabit Ethernet, avec en perspective des évolutions d'IP vers la qualité de service et un coût effectif attractif (investissements, mise en œuvre, exploitation...), devient concurrent à bande passante équivalente à une solution tout ATM.

Enfin, les évolutions du transport d'IP (IP sur fibre optique) permettront de s'affranchir à terme de la gestion et de «l'overhead» des couches protocolaires sous-jacentes que peuvent être ATM, SDH⁶, Ethernet.

⁴ PABX : Private Automatic Branch Exchange. Central téléphonique de type numérique.

⁵ ATM : Asynchronous Transfer Mode : protocole de transport d'informations basé sur la commutation de cellules.

⁶ SDH : Synchronous Digital Hierarchy : protocole de transport physique.

A ce jour, si le Gigabit reste un excellent protocole de transport IP de type « best effort », ATM constitue le protocole incontournable des applications actuelles nécessitant de la qualité de services (téléphonie, vidéoconférence...) et leur prolongation vers les réseaux extérieurs.

La complémentarité fonctionnelle et économique de ces deux protocoles peut être mise en œuvre au sein d'un même réseau.

Les débits

La demande en termes de débit est particulièrement importante et suit une courbe quasi exponentielle.

L'évolution des capacités de transport des fibres optiques permet de reconsidérer complètement les infrastructures physiques. De manière spectaculaire, la technique DWDM⁷ permet de multiplexer sur une liaison optique plusieurs dizaines de longueurs d'onde ouvrant la voie au Téra-bit transporté par fibre. L'arrivée de techniques « add & drop »⁸ de longueurs d'ondes apportera la flexibilité et l'adaptabilité.

La possibilité de disposer en propre d'une telle infrastructure optique ouvre incontestablement un vaste champ de possibilités tant dans le domaine opérationnel que dans le domaine expérimental et sans être limité en termes de débits.

L'environnement réseau

Le réseau proposé se présente dans un environnement en pleine évolution. Cette évolution vers les réseaux à hauts débits que ce soit pour l'Ile de France ou RENATER II, repose sur l'interconnexion de réseaux métropolitains (MAN⁹) et non, sauf exception, sur la connexion individuelle de site. La disponibilité de débits, la qualité de services et la possibilité de constituer des réseaux thématiques sur ces réseaux, impliquent une prolongation aux MAN qui s'y connectent.

Conclusion

Si la situation actuelle des établissements de Paris intra muros est particulièrement critique, la conjonction d'une volonté politique et de la disponibilité de nouvelles technologies réseau laisse entrevoir non seulement la possibilité d'effectuer une véritable mise à niveau, mais également ouvre un vaste champ de potentialités tant dans le domaine opérationnel que dans celui de l'expérimental.

■ Les éléments d'orientation du projet

Éléments fonctionnels

Deux approches globales sont envisagées pour la mise en place d'un réseau hauts débits métropolitain :

	Approche « opérateur » institutionnel	Approche « mutualiste »
Avantages	Guichet unique Gestion transparente Moins de ressources humaines	Evolution maîtrisée de l'infrastructure, des protocoles et des coûts Veille technologique au profit de la communauté Effet fédérateur Dynamique collective Coût mutualisé
Inconvénients	Difficulté de maîtriser l'évolution technique et les coûts Pas de retombées technologiques Complexité de mise en place de services spécifiques Difficulté de construire des expérimentations applicatives Priorités stratégiques du fournisseur	Mise en place d'un centre opérationnel (externalisation partielle) Contrat de services entre le réseau et les établissements

Éléments techniques et financiers

A ces deux approches correspondent, sur Paris, une offre complète d'infrastructures et de services de base. En effet, face aux offres de services (supervision, Garantie de Temps de Rétablissement -GTR-...) des opérateurs institutionnels (France Télécom, CEGETEL, WORLDCOM...), se présentent des possibilités d'infrastructures

⁷ DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing.

⁸ « add & drop » : permet d'ajouter et de retirer dynamiquement des longueurs d'ondes dans un réseau DWDM en anneau.

⁹ MAN : Metropolitan Area Network.

alternatives (TELCITE, SAP) auxquelles on peut associer des services équivalents à ceux des opérateurs institutionnels.

Une préétude comparative nous fournit les éléments suivants sur une base de 70 sites à 34/45 Mbits et 10 sites à 100/155 Mbits :

	Approche « opérateur » institutionnel	Approche « mutualiste »
Type réseau	Boucles SDH interconnectées	Réseau en fibre noire. Cœur de réseau en anneau et raccordement des sites en étoile sur le cœur de réseau
Caractéristiques principales	Multiplexage statique de liaisons point à point	Multiplexage en longueur d'ondes sur le cœur (DWDM) Lien point à point entre sites et cœur
Infrastructure possible	Une boucle principale, débit nominal 2,5 Gb/s intégrant les 10 sites à 155 Mb/s débit effectif backbone = 155 Mb/s + 70 sites à 34/45 Mb/s répartis sur 3 boucles 622 Mbits	Cinq sites (PoP) en boucle débit effectif backbone = Gigabit + ATM 622 Mb/s soit 1,622 Gb/s + 70 sites en étoile autour des PoP, débits 100 Mb/s et 155 Mb/s et plus suivant interface
	Approche « opérateur » institutionnel	Approche « mutualiste »
Avantages et inconvénients	Peu adapté à un réseau « n to n » et autolimitation des débits en fonction de la croissance de n Débits normalisés (2, 34/45, 155...)	Débits quasi illimités et protocoles libres (seulement fonction de la nature des équipements) Granularité très fine
Services offerts	24 H/24 GTR 4 H	24 H/24 GTR 4 H
Coût de fonctionnement	 Global : 10 MF	Infrastructure : 3,5 MF Maintenance DWDM (pt à pt ou « add & drop ») : 0,6 à 1,2 MF Services sur infrastructures (externalisés) : 1,5 MF Ressource propre 0,5MF (1 personne de RAP pour pilotage) Global : 6,1 à 6,7 MF
Amortissement		1,2 à 2,5 MF/an (sur 4 ans)

Conclusion

En conclusion, RAP correspond à une approche globale et innovante dans la conception d'un réseau métropolitain en combinant les facteurs économiques, scientifiques et technologiques. Cette approche s'inscrit dans une tendance de plus en plus présente et visible à travers d'autres projets tels ceux de Nancy¹⁰ et du Canada¹¹. Au-delà de la technique, le parti pris d'un réseau géré « pour et avec la communauté », résulte d'une volonté de proposer un réseau de qualité et ouvert, 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 notre communauté.

■ La proposition technique

La mise en place d'une architecture réseau haut débit, couvrant l'espace parisien, doit répondre aux besoins actuels et à venir des établissements. Cela correspond à un réseau métropolitain (MAN) et son architecture repose sur les éléments suivants :

- des points de présence (PoP) : 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 ».

L'infrastructure

RAP doit disposer de fibres optiques « noires » pour les liaisons inter-PoP et site-PoP afin d'avoir une maîtrise complète de l'infrastructure. 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 :

¹⁰ <http://stannet.ciril.fr>.

¹¹ <http://www.canet3.com>.

- 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).

Les services

RAP doit assurer un service de réseau de transport de données numérisées et les services associés (« Best Effort » ou avec QoS). Pour la communauté « initiale », compte tenu des besoins exprimés, les services suivants sont 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...).

L'architecture

La réponse aux besoins émergents et à la problématique des services sur RAP, est un « cœur » de réseau opérationnel dual, combinant les technologies ATM et Gigabit, bâti sur l'infrastructure DWDM et autorisant la construction de nouveaux réseaux sur la base de nouvelles technologies.

Les sites sont raccordés en ATM ou en Ethernet en fonction des choix des sites et des établissements.

Une interconnexion des deux réseaux opérationnels sera assurée au niveau des PoP.

Cette architecture peut être résumée par le schéma suivant :

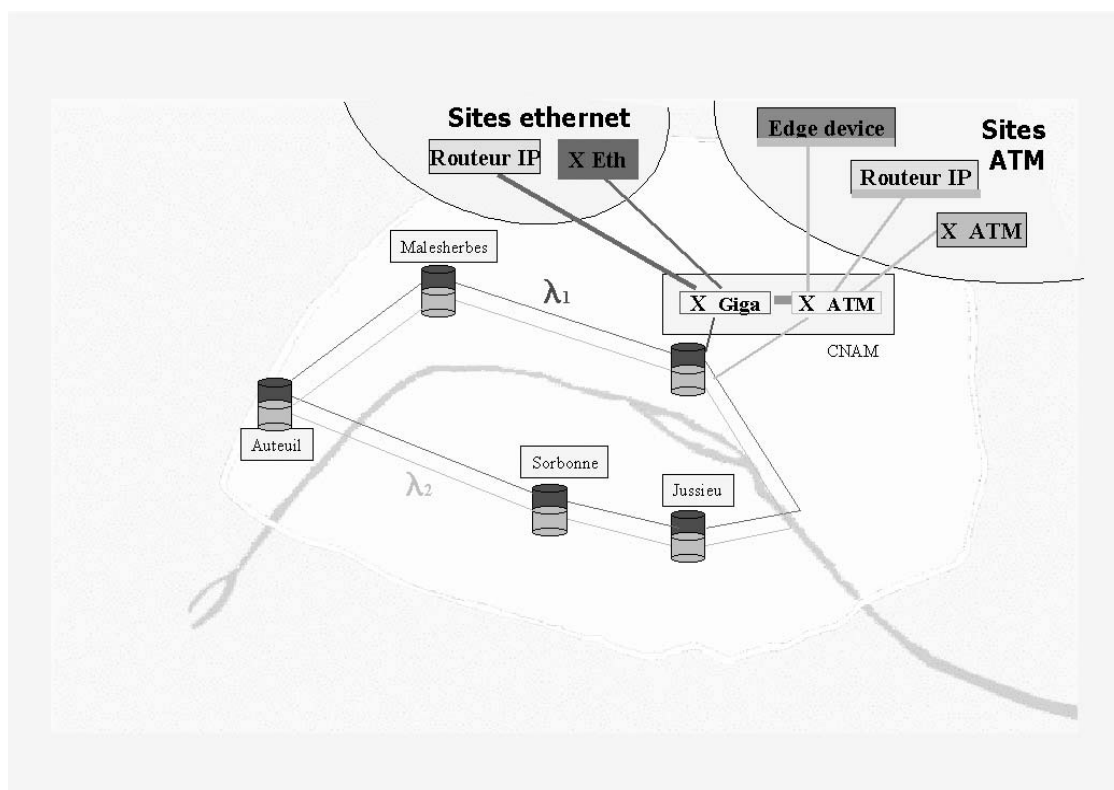


Figure 1.5 PoP avec exemple de connectivité d'un PoP.

Les équipements nécessaires peuvent être résumés par le tableau suivant :

Réseau ATM	Réseau Gigabit	Connexion des sites
Un commutateur ATM dans chaque PoP avec : - interfaces 622 Mb/s vers le cœur de RAP - interfaces 155 Mb/s vers les sites.	Un « gigarouteur » dans chaque PoP, avec : - interfaces gigabit (Ethernet, SDH...) vers le cœur de RAP - interfaces 100 Mb/s Ethernet vers les sites.	Pourront se raccorder sur un PoP, en ATM (155 Mb/s) ou en Ethernet (100 Mb/s) avec au choix : - un routeur IP (Ethernet ou ATM) - un commutateur de niveau 2 (interface Ethernet, uplink ATM) et routage de niveau 3 (IP) - un commutateur ATM ; le routage étant assurée par un équipement présent sur le site.

■ Organisation et services associés

Elle reposera sur trois composantes :

- le comité directeur, instance décisionnelle,
- le comité des utilisateurs, instance consultative,
- le CORAP, Centre Opérationnel du Réseau Académique Parisien, faisant office d'opérateur du réseau.

Le statut des 2 comités sera défini par les partenaires initiaux de RAP. En ce qui concerne le CORAP, celui-ci aura pour missions d'administrer le réseau, d'assurer la veille technologique et d'être une force de proposition pour l'amélioration, l'évolution et l'organisation du réseau et des services associés. Du point de vue des ressources humaines, il est composé de personnels techniques et administratifs assistés de personnels de sociétés prestataires de service.

Les ressources humaines

Il est proposé que ces missions soient assurées par une formule organisationnelle combinant en un même lieu les ressources humaines affectées au CORAP et celles fournies par des prestataires de services (externalisation). Compte tenu des objectifs fixés, la communauté devra garder la maîtrise de son réseau et impérativement son ingénierie. Une répartition équilibrée des tâches entre les ressources humaines affectées au CORAP et celles assurées par les prestataires de service peut s'effectuer de la manière suivante :

- Missions assurées par les ressources humaines affectées au CORAP
Météorologie, maintien de la qualité de service, sécurité du réseau et gestion des services de base assurés au sein d'une équipe de 6 personnes polyvalentes. L'ingénierie réseau, la communication externe, la relation avec les établissements, les tâches d'encadrement, la politique de formation du CORAP et la gestion courante seront assurées par un directeur, un directeur technique adjoint et un secrétariat, soit trois personnes. *Soit un effectif de 9 personnes.*
- Missions externalisables
L'ampleur de l'astreinte soumise au(x) prestataire(s) de services devra être définie avec précision lors de la rédaction du cahier des charges correspondant. Les tâches proposées à l'externalisation comprendront notamment les interventions sur les équipements des PoP ainsi que le suivi et le contrôle d'exploitation du réseau.

Relations contractuelles

Un certain nombre de textes devront régir les relations entre RAP et les établissements, en particulier :

- une charte qui aura pour objectif de définir les règles de bon usage du réseau par les établissements et qui comprendra à minima la charte RENATER,
- un contrat de services qui définira les engagements techniques et financiers entre RAP et chaque établissement.

■ Evaluation financière

Investissements et fonctionnement

Investissements

En termes d'investissements, suivant les technologies DWDM intégrées, l'évaluation des dépenses est située dans une fourchette de 26 à 32MF HT. Le coût au regard du nombres de sites reste faible et est essentiellement dû au peu de travaux d'ingénierie et au choix d'une fibre noire louée.

Dans l'hypothèse d'une offre opérateur, la part d'investissements pour l'infrastructure se réduit au montant des frais d'accès. Il doit y être ajouté les équipements actifs qui, compte tenu de la nature de l'infrastructure de base, sont différents de ceux préconisés dans le projet. En intégrant la remise à niveau des sites, le coût « investissements dans une solution opérateur » peut être estimée à 20 MF. On s'aperçoit que la différence correspond globalement aux équipements DWDM proposés dans le cadre de RAP, lesquels renforcent largement la différenciation entre les 2 approches et ce en termes de débits, de protocoles, de services, d'ouverture, de flexibilité, d'adaptabilité...

Fonctionnement

En ce qui concerne le budget de fonctionnement, en intégrant le coût des ressources humaines de CORAP et un amortissement des équipements sur 4 ans, on atteint un budget de 13,8 à 16,7 MF HT. Ce coût peut apparaître important relativement à l'investissement. Toutefois, il doit être rapporté, là encore, au nombre d'établissements et de sites connectés (cf. « *La répartition par établissement* »).

La répartition par établissement

Une simulation financière des coûts de fonctionnement induits par cette infrastructure de communication a été effectuée en s'appuyant sur une règle de répartition (base 10 MF /an) entre les établissements. Cette règle s'appuie sur une bipartition {F1, F2} du coût global de fonctionnement F. La part F1 est répartie au prorata des débits des sites ; le choix des critères déterminant les quotes-parts relatives à la part F2 restant à la discrétion des parties contractantes.

Des *coefficients de présence* des établissements sur les sites sont introduits dans les calculs liés à F1 pour intégrer les sites multi-établissements au modèle. Enfin, le coût des interfaces de connexion n'étant pas lié *linéairement* au débit, *une valeur en points*, fixée selon une fonction de type logarithmique, est associée à chaque débit. Ces valeurs déterminent directement les contributions des établissements dans F1 ; elles prennent également en compte les différences de coût entre les interfaces des deux protocoles ATM et Ethernet.

Les différentes simulations ont mis en évidence de manière inévitable des surcoûts par rapport à la situation actuelle. **Toutefois, il doit être rappelé que le coût actuel correspond à une infrastructure de communication complètement obsolète ne couvrant que très partiellement l'ensemble des sites et qui ne saurait répondre en aucun aux besoins immédiats et encore moins à ceux émergents.**

■ Conclusion

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication sont au cœur des préoccupations des établissements dans les domaines de l'enseignement, de la recherche, de la documentation et de la gestion. Les besoins émergents exprimés en montrent la diversité et les exigences. Les réseaux hauts débits en sont le support privilégié et incontournable ; leur mise en œuvre en constitue une priorité.

Au-delà de la technique, le parti pris d'un réseau piloté « pour et avec la communauté », résulte d'une volonté de proposer un réseau de qualité et ouvert, 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 notre communauté.

La nécessité de disposer d'un tel réseau, la disponibilité de nouvelles offres d'infrastructures et de nouvelles technologies, la volonté de construire pour le futur et non seulement pour l'immédiat ont été les éléments dominants de l'étude.

Ainsi, infrastructure optique en « fibre noire » et DWDM, protocoles ATM et Gigabit, services à valeur ajoutée et administration en représentent les éléments de réponse tout en constituant un ensemble cohérent ouvert sur un large spectre de possibilités tant dans le domaine des débits que des protocoles et des services offerts.

Une organisation susceptible de fournir une réponse adaptée à la maîtrise complète du réseau par notre communauté est proposée. Placé dans un rôle d'opérateur, il faut en assumer les contraintes ; l'ouverture vers l'externalisation des fonctions les plus exigeantes dans ce domaine en reste l'élément clé.

Enfin, sur le plan financier, si l'innovation peut apparaître dans une première approche d'un coût d'investissement relativement élevé, il faut la rapporter au grand nombre d'établissements concernés (26), de sites connectés (80) et à la garantie de perspectives de communication sans commune mesure avec l'existant ni même avec une offre « opérateur ». Quant au budget de fonctionnement, il est en deçà des offres opérateurs tout en offrant un ensemble de services et de possibilités très largement supérieures.

■ Annexe

Liste des membres du groupe de travail.

NOM	ETABLISSEMENT REPRESENTE
Yvonne GIRARD	PARIS 1
Pierre Yves GRAS	PARIS 2
Christophe BONNET	PARIS 3
Khadja DIB	PARIS 4
Patrick DE CARNE	PARIS 5
Jean-Claude GIRARD et Jacky THIBAUT	PARIS 6
Patrice PERRIN	PARIS 7
Vijaya CHARI	PARIS 9
Jean-Pierre LE MOAN	Rectorat / SIRIS
Guy ORRADO et Bruno MABBOUX	CNAM
Isabelle MOREL	Ministère / Direction Administration
Claude RIBEYROL	Ministère / Direction Affaires Financières
Jean-Paul GAUTIER	CNRS / UREC
Dominique PIGEON et Gérard VICENTE	INSERM

Sous la tutelle de la Direction de la Recherche :

Guy-René PERRIN	Ministère / Direction de la Recherche
Yves MAILLAUX	Ministère / Direction de la Recherche
Jean-Paul LE GUIGNER	Comité Réseau des Universités

