

Recherche sur crédits incitatifs - Appel 2006

Proposition déposée par les groupes
Télécommunications Optiques de Télécom Paris et Optique de l'INT avec la
participation du Département Optique de l'ENST-Br

DÉPART : Dispositifs optoÉlectroniques Participant à l'Adaptation des Réseaux de Transport.

Contexte scientifique et stratégique :

La diffusion rapide des services à haut débit pour la fourniture de contenus numériques de plus en plus volumineux (internet, vidéo, jeux interactifs, bases de données, réseaux de calcul en grille, stockage, ...) entraîne une évolution considérable de la structure des réseaux de télécommunications au niveau local, métropolitain ou global. Leur mise en place, à grande échelle, nécessite la disponibilité de fonctionnalités et de dispositifs spécifiques lui procurant la *flexibilité* au sens le plus large (gestion des stocks, gestion du réseau, reconfigurabilité).

Le traitement et le transport optiques de l'information y tient une place importante tant dans son rôle dominant de support des liaisons point à point que dans celui, en développement, d'élément constitutif de l'intelligence du réseau. L'agrégation des débits sur des canaux à très haute densité constitue un élément-charnière dans cette évolution vers des systèmes plus fiables, plus adaptatifs et dont le coût de fonctionnement est maîtrisé.

Alors que le développement de réseaux de transport très longue distance et très haut débit a été le fer de lance de la recherche en télécommunications optiques à la fin des années 2000, les succès dans ce secteur et l'ampleur du développement de l'accès large bande tant chez le particulier que dans les entreprises ont orienté les préoccupations des industriels vers les **réseaux d'accès** et le réseau métropolitain. Les objectifs majeurs se situent alors sur de nombreux niveaux :

- celui du choix et de l'amélioration de protocoles (Ethernet versus ATM/SDH) adaptés à ces nouvelles réalités (haut débit, qualité de services, etc... ; voir à ce sujet le projet sur crédits incitatifs 2004 : TETRAM de Gagnaire/Morvan).
- celui de l'architecture spatial et logique des différents réseaux
- celui de dispositifs physiques adaptés aux nouvelles demandes incluant la contrainte majeure du faible coût tant de déploiement (CAPEX) que d'exploitation (OPEX).

Ces trois aspects sont, bien entendu, étroitement intriqués. La proposition de projet, associant les groupes Télécommunications Optiques de Télécom Paris et Optique de l'INT se positionne sur la troisième thématique.

Parmi les nouvelles générations de « besoins » auxquelles doivent répondre les réseaux métropolitains (20-200km), une application originale, exigeante sur les caractéristiques des réseaux, et potentiellement riche en retombées est celle de l'informatique répartie et des réseaux-grilles. Cette problématique a été prise comme objectif et comme plateforme d'analyse par le pôle [System@tic](#) dans le cadre des projets Cassiopee et Carriocas. Les deux

équipes du GET postulant pour le projet **DÉPART** sont intégrées dans le projet Carriocas de [System@tic](#). Ce dernier se concentre sur la fourniture des éléments matériels permettant la mise en place de la plateforme Cassiopee destinée au calcul réparti.

Le projet **DÉPART** possède alors deux objectifs parallèles. Le premier d'ordre technique sera développé dans les paragraphes qui suivent. Le second est de nature stratégique. Il vise à resserrer les liens entre les deux équipes du GET et améliorer les synergies existantes afin de renforcer leur poids au sein du pôle. Ainsi, nous souhaitons anticiper sur la mise en place du pôle afin de mobiliser des équipes, de former de jeunes chercheurs et offrir des réponses techniques plus percutantes et diversifiées dès le démarrage du projet Carriocas.

Contenu scientifique et état de l'art

D'un point de vue technique, l'optimisation de la couche physique d'un réseau de type métropolitain dédié à une application précise (calcul réparti, réseaux de stockage) est confrontée à des challenges intéressants. Au plan de la transmission, les distances et les débits sont suffisamment importants pour que les problèmes rencontrés sur le réseau global dans les transmissions « long haul » : dispersion, non-linéarité des fibres optiques, interviennent de manière significative. La différence de taille étant que le coût du système ne peut en aucun cas avoisiner celui des liaisons interurbaines ou transocéaniques du fait du nombre réduit d'utilisateurs finaux concernés. En particulier, le développement de transpondeurs haut débit (10G, 40G) à coût réduit et l'adaptation du canal aux caractéristiques de ce dernier constitue un élément fondamental. Parallèlement, l'architecture des nœuds du réseau détermine le dimensionnement des liaisons et des routeurs. Les technologies de commutation et de routage destinées aux réseaux métropolitains sont variées, mais aucune d'entre elles ne peut prétendre avoir pris le dessus sur les autres sachant qu'actuellement le cœur des routeurs reste exclusivement électronique. Néanmoins, l'adjonction localisée de multiplexeurs optiques à insertion-extraction (OADM), particulièrement s'ils sont reconfigurables (ROADM), est partout citée comme une avancée importante.

Les demandes du projet Carriocas envers les équipes du GET adressent ces deux aspects : adaptation des sources et des lignes et conception des nœuds de réseau. Le projet **DÉPART** vise à associer les compétences des équipes du GET afin d'afficher une offre cohérente, d'anticiper sur cette demande et enfin de dépasser celle-ci dans le dessein de présenter des idées originales et cohérentes lors de futurs appels à projet du pôle [system@tic](#).

Les sources optiques sélectionnées par Carriocas sont des ILM : laser-modulateurs monolithiquement intégrés. Il s'agit de l'association sur un même substrat d'un laser semi-conducteur DFB à 1550 nm et d'un modulateur à électro-absorption. Ce choix se justifie par rapport à la concurrence en matière d'émetteur : il permet d'obtenir une source bon marché et encapsulable dans des boîtiers compacts (Small form-factor SFF . XFP,...) contrairement à la solution « long-haul » (laser + modulateur niobate de Lithium) qui reste cependant beaucoup plus performante à haut débit que la solution du laser directement modulé.

[Etat de l'Art : Les sources optiques pour les systèmes de télécom sont nombreuses et variées sur le marché. Même si les coûts individuels ont été réduits, l'association, laser DFB et modulateur externe reste onéreuse tant du point de vue « composant » que du point de vue « encombrement » et « connectivité » sur des cartes « sources ». Il n'en reste pas moins que les performances de ces composants individuels sont exceptionnelles : puissance, largeur de raie, accordabilité pour les lasers, fréquence de modulation pour les modulateurs (40Gb/s, voir plus pour le niobate de lithium), absence de chirp pour les modulateurs Mach-Zehnder, chirp limité et faible tension de commande pour les modulateurs à électro-absorption (MEA). Récemment d'excellents

MEA sont apparus sur le marché. . À l'autre extrémité du spectre, on note une compétition acharnée pour la maîtrise de la mise en boîtier type SF de source laser à modulation direct à débit élevé (10Gb/s), (ce qui, en soit, est un exploit) afin de minimiser les coûts de maintenance des système locaux (accès, métropolitain) L'intégration laser + modulateur intégré est beaucoup plus délicate et maîtrisée par peu d'industriels].

Cette solution développée par le GIE Alcatel-Thales III-V dans le cadre de Carriocas n'en reste pas moins difficile à maîtriser pour des débits de 40G. Son « chirp », glissement de fréquence lors de la modulation, impose un ajustement des paramètres de contrôle du composant (points de fonctionnement du couple laser/modulateur, excursion,...) et un ajustement de la ligne de transmission (management de dispersion) subtil. Le premier point requiert une compréhension et des mesures précises du composant en condition de fonctionnement. Pour ceci, le laboratoire de Télécom Paris est bien armé grâce à sa plateforme OLRC permettant une inspection interne du composant (C. Palavicini et al, Optics Lett., vol. 30, n° 4, pp. 361-363), sa plateforme 10Gb/s permettant une analyse « en condition » (I. Fsaifes et al, Photonics North'2005, Ottawa), voire son système de récupération de rythme procurant une évaluation des composants sur une application précise (Ware C. et Erasme D – CLEO-EUROPE'05, Munich, CI3-5-MON). Cependant dans ce type de système, le couple émetteur/ligne forme un ensemble indissociable. La conception de la liaison (place des amplificateurs, place et importance des modules de compensation) passe par des étapes de modélisation/simulation pour lesquelles l'ENST et l'INT ont toutes deux une expérience sérieuse. . (P. Lazaridis, et al, (JOSAB),: 2003. 20, n° 7, pp. 1508-1512, Y. Frignac, et al, OFC'04, Vol 1, 23-27) ...

Remarque : l'accès à des composants laser/modulateur (sous forme de puce) pourra être assuré même avant le début de Carriocas et ce grâce à des relations informelles.

Dans le cadre de l'architecture des nœuds de routage, l'INT souhaite exploiter ses compétences acquises en particulier à travers diverses études sur le filtrage optique et sur l'agilité en longueur d'onde (B.-E. Benkelfat et al, IEEE PTL, vol. 16, n° 4, pp. 1098-1100, 2004). L'exploitation des solutions amène une flexibilité et une efficacité importantes au niveau du nœud de routage mais en influence radicalement sa structure avec par exemple l'exploitation d'OADM ou de ROADM. De tels dispositifs, essentiels dans les architectures de transmission et de commutation multi-longueur d'onde, peuvent être réalisés en optique massive ou en optique intégrée (optique planaire). Pour leur mise œuvre, nous mettrons, bien évidemment, à profit les filières technologiques disponibles au sein du GET et celles qui sont mises à notre disposition par nos partenaires. Nous mettrons l'accent essentiellement sur :

- la faisabilité de dispositifs optiques à gabarits spectraux prédéfinis répondant à une demande propre aux transmissions WDM (Wavelength Division Multiplexing) haut débit.
- la reconfiguration, ou l'accordabilité, en longueur d'onde des paramètres caractéristiques des filtres ainsi réalisés (bande passante, par exemple).
- l'optimisation des temps de commutations.
- la simplicité de mise en œuvre des structures proposées et leur très faible consommation.

Les dispositifs développés à l'INT (en association avec le LPN, pour certains, l'ENSTBr pour d'autres) seront étudiés dans le cadre du projet à l'aide des moyens d'investigation de Télécom Paris mentionnés précédemment.

En outre, il existe une forte interdépendance entre la structure des nœuds, celles des lignes de transmission qui les interconnectent et des sources situées aux interfaces. Le routage et l'kes technologies qu'il utilise ne peut se concevoir qu'à la lumière de la qualité de la transmission entre nœuds. Le signal issu d'un nœud doit pouvoir se propager sur les distances requises.

Une partie de l'étude consistera à analyser l'adéquation des solutions proposées par l'INT à l'aune des caractéristiques de la transmission plus particulièrement étudiée par Télécom Paris.

Critères de sélection

Scientifique :

Le groupe Optique du département EPH de l'INT a acquis une expérience reconnue dans la conception et la caractérisation des filtres optiques, en particulier à diversité de polarisation qui constitue la base de l'architecture des noeuds expérimentés. Il a de plus une expérience dans le domaine de la simulation de système.

Le Groupe GTO de Télécom Paris associe des compétences importantes sur l'analyse fonctionnelle des composants particulièrement en relation avec leur introduction dans des systèmes. Il a une expertise reconnue en simulation de système et met à disposition du projet ses plateformes de mesure et de test (OLCR, 10Gb/s).

Les études du projet seront axées sur des composants issus soit des laboratoires des partenaires du projet Carriocas soit par l'ENSTBr. Les lasers/modulateurs intégrés de GIE Alcatel-Thales III-V servent de base à l'étude des transpondeurs. Le laboratoire CNRS du LPN avec lequel l'INT a des relations suivies mettra à notre disposition les structures à base d'ilôts quantiques réalisées dans le cadre d'une ACI du Ministère de la Recherche et dans laquelle l'INT est partenaire. Enfin, l'introduction de technologie de l'ENSTBr permettra de faire un pont entre celle-ci et le pôle parisien.

Projets structurants :

Le projet proposé se trouve au cœur de la problématique des projets structurants SOIF, MICADO et CFO. Les projets SOIF et CFO intègrent l'étude de nouvelles fonctions destinées à l'optimisation des transmissions et des réseaux optiques et couvrent efficacement ce projet. Parallèlement, les plateformes de caractérisation de MICADO seront mises à contribution (et conséquemment testées et améliorées) pour l'analyse des composants, dispositifs et architectures étudiées.

Considérations stratégiques :

L'intégration des équipes du GET dans le pôle de compétitivité [System@tic](#) constitue une opportunité extrêmement importante pour la recherche du groupe. Il nous a semblé important que les deux équipes impliquées dans Carriocas puissent afficher une cohérence maximale entre elles, le projet sur crédit incitatif pouvant être mis à profit pour renforcer les liens entre nos deux équipes. Par ailleurs, il apparaît clairement que la structuration du projet Carriocas demandera une mobilisation immédiate des équipes dès son démarrage malgré les incertitudes et éventuels retards en ce qui concerne les procédures de financement. Une anticipation au niveau du GET permettra à nos équipes de se préparer, de sélectionner et de former les doctorants amenés à prendre part à Carriocas et de renforcer la synergie de nos équipes. En parallèle, l'introduction, bien que modeste, de la technologie de l'ENSTBr dans le projet permet de créer une passerelle entre les logiques GET et pôle de compétitivité.

Opportunités et adéquations aux thèmes prioritaires de l'appel 2006:

Dans le cadre des pôles de compétitivité, il apparaît clairement que la réactivité actuelle de nos équipes constituera un atout important pour notre intégration à de futures actions. Parallèlement les sujets développés et les interactions pourront être la base à des collaborations élargies dans le cadre des projets type RNRT ou européens. Les thèmes scientifiques abordés sont en effet au cœur même des préoccupations des recherches et développements actuels dans le domaine des télécommunications optiques. Ainsi le projet

répond aux thèmes prioritaires de l'appel 2006 suivants :

- 1- Technologie réseau : Technologies optiques innovantes
- 4- Technologie support des communications et traitement de l'information : Nouveaux composants optiques.

Organisation :

Le projet **DÉPART** sera articulé autour de réunions régulières des deux équipes. Les avancements seront régulièrement mis en ligne sur le site web prévu à cet effet qui a déjà été mis en place pour FDRO (2003) et OPTAV (2004). Enfin, Les plates-formes de Télécom Paris seront mises à disposition du groupe de l'INT moyennant la définition d'un protocole précis. Coordinateur général : Didier Erasme, Télécom Paris : INT : Badr-Eddine Benkelfat, avec la collaboration de B. Vinouze ENSTBr

Calendrier

- $T_0 \rightarrow T_0+3$: Tests de faisabilité de la fonction insertion-extraction en utilisant divers filtres disponibles; évaluation des performances (INT)
Caractérisation de lasers/modulateurs intégrés en vue de leur utilisation système (Telecom Paris)
Conception et caractérisation des étages dynamiques du filtre, optimisation des process technologiques (ENST-Br.)
- $T_0+3 \rightarrow T_0+9$: Etude et conception de filtres à gabarit spectral prédéfini (INT).
Mise au point par simulation de carte de dispersion adaptée à des situations prédéfinies. (Telecom Paris, INT)
Tests d'accordabilité et optimisation de la fonctionnalité recherchée (INT-ENST-Br)
- $T_0+9 \rightarrow T_0+12$: Caractérisation fonctionnelle et évaluation de performance sur la plateforme WDM pour les filtres et les sources (Telecom Paris -INT)

Budget et implications des équipes :

Telecom Paris : 20k€

<u>Investissement (contribution)</u> (récepteur 40GHz)	16 k€
<u>Fonctionnement (missions)</u>	4 k€
<u>Personnel</u> 6 mois CDD,	

Permanents impliqués (H-M): D. Erasme (1) (coord., encad.) , Y. Jaouen(0,5) (expertise), C. Ware(0,5) (Plateforme, validation) , G. Debarge(1) (expertise, analyse numérique).

INT: 20k€

<u>Investissement (contribution)</u> (récepteur 40GHz)	16 k€
- achat de lames anisotropes et supports micrométriques	
- achat de fibres lentillées	
- traitements antireflets sur composants	
<u>Fonctionnement (missions)</u>	4 k€
<u>Personnel</u> 6 mois CDD	

Permanents impliqués (H-M):: B.-E. Benkelfat (1), Y. Gottesman (1), Q. Zou (0,5)

ENSTBr: 6k€

<u>Investissement (contribution)</u> (supports et fibres pour le "packaging")	3 k€
<u>Fonctionnement (missions)</u>	3 k€
<u>Personnel</u> 4 mois CDD	

Permanents impliqués (B. Vinouze, L. Dupont)