

ANNEXE 1

LES SIX FACETTES DE L'INTERNET DU FUTUR

Il semble opportun de structurer les travaux relatifs à l'Internet du Futur autour de six thématiques :

1. Internet et technologies du cœur de réseau
2. Internet des réseaux d'accès
3. Internet des réseaux spontanés
4. Internet des objets
5. Internet des contenus
6. Internet des usages et des services

1 L'Internet et technologies du cœur de réseau

Cette approche, fortement soutenue par la communauté GENI aux Etats-Unis consiste à construire un réseau de cœur surdimensionné, simple, rapide, qui pourra par exemple être ensuite virtualisé pour construire une multitude de réseaux virtuels optimisés pour les besoins d'une famille d'utilisateurs ou d'un type d'applications.

Pour rappel, l'architecture technique actuelle de l'Internet repose notamment sur l'utilisation d'identifiants techniques qui permettent aux informations d'être acheminées au travers des différents réseaux constitutifs de l'Internet et à l'ensemble des composants de réseaux d'être identifiés de manière unique. Ces identifiants incluent entre autres les adresses IP (Internet Protocol) et les noms de domaines (tels que les extensions sous le .fr ou le .com, par exemple). Concernant les adresses IP, une évolution majeure à court et moyen termes est déjà annoncée, puisque les adresses actuellement utilisées (IP Version 4, IPV4) seront dans les toutes prochaines années épuisées ; la mise en œuvre des adresses IPV6 (dont le nombre est très important et devrait couvrir les besoins pour les prochaines décennies) dans l'ensemble des composants du réseaux (tant au niveau physique que logiciel) s'annonce comme un passage obligé pour l'ensemble acteurs du secteur. Concernant les noms de domaine, leur évolution annoncée tant en nombre qu'en nature (aujourd'hui seuls les caractères latins sont utilisés) pourra avoir un impact sur l'architecture future du réseau.

Au-delà de ces aspects liés aux identifiants techniques de l'Internet, l'évolution des routeurs et des liens à haut débit utilisés dans les cœurs de réseaux aura un impact majeur sur l'Internet du Futur. L'ensemble sera fondé sur l'optique. Cet axe fort de la communauté scientifique américaine est en symbiose avec l'industrie américaine dans ces domaines (CISCO) qui voit un futur avec des routeurs virtualisés et programmables. Cet axe est aussi considéré comme majeur dans les visions asiatiques ainsi que dans la vision européenne (cf. le Call 1 du 7ème PCRDT) à laquelle adhèrent de nombreux centres de recherche industrielle et des laboratoires académiques français (LIP6, INRIA, Institut Télécom) ainsi que certaines *start ups*.

Il semble extrêmement difficile de concurrencer CISCO dans le domaine des routeurs de cœur et donc pas forcément rentable d'investir dans une telle démarche. Néanmoins, il est possible que le rôle de ces routeurs de cœur soit moins prédominant dans les architectures de l'Internet du Futur. D'une part, l'optique est en pleine évolution et la commutation optique (commutation optique de rafales,

commutation optique de flux) est proche de devenir intéressante tant du point de vue technique qu'économique. D'autre part, des approches de routage sémantique, basées notamment sur des solutions du type « *application and/or traffic awareness* » déployées en overlay sur la « couche » IP réduiront également la prédominance du pur routage IP. En conséquence, la couche IP restera pendant des décennies, mais elle sera moins prédominante en ce qui concerne certaines fonctionnalités centrales de l'architecture, comme le routage. Elle sera attaquée de bas en haut par l'évolution de l'optique et du haut vers le bas par des overlays intégrant des approches innovantes de routage et de contrôle du trafic. La couche optique permettra de réduire le rôle de l'IP à l'encapsulation et l'adressage pour l'identification des flux et au support des architectures de service typiques de l'Internet. Bien sûr les fonctions de ces overlays pourront à terme descendre dans les routeurs qui par ailleurs pourraient intégrer des solutions de commutation optique. Ce domaine ouvre donc de nombreuses opportunités qui doivent être analysées dès maintenant.

Un des principaux problèmes du cœur de l'Internet (et des réseaux IP en général) est le routage inter-domaines. L'approche actuelle limite sérieusement la possibilité d'offrir des services de bout en bout en s'appuyant sur plusieurs fournisseurs de service, problème considéré comme majeur par les opérateurs, notamment dans le contexte des services aux entreprises de type VPN. Des solutions basées sur des overlays de routage inter-domaines sont à l'étude et représentent des opportunités de développement économique pour l'industrie française.

Les questions plus globales d'architecture du réseau du futur, qui sont au centre de l'approche de refondation, concernent la mobilité, la sécurité, le nommage et l'adressage, les nouvelles formes de routage, les interactions entre le réseau et les services, et plus généralement la distribution de l'intelligence entre CPE, réseau et services.

Parmi les points forts en France, citons tout particulièrement la position d'Alcatel-Lucent sur l'optique.

2 L'Internet des réseaux d'accès y compris les accès mobiles et nomades

Les réseaux d'accès permettent aux particuliers et aux entreprises de se connecter à l'Internet et d'accéder aux services. Ces réseaux sont responsables pour une grande part du succès de l'Internet et leur évolution vers le haut débit a permis le déploiement de nouveaux services tels que le triple play (l'offre Internet, Téléphonie et Télévision sur DSL). La conception et le déploiement de réseaux d'accès adaptés à l'évolution des besoins des utilisateurs de l'Internet est un enjeu majeur notamment dans le contexte :

- de l'amélioration des débits de l'accès sans fil (développement de nouvelles interfaces radio à 100 Mbit/s puis 1 Gbit/s) ;
- d'une meilleure utilisation du spectre notamment dans le contexte de la radio flexible et/ou cognitive et de l'auto-organisation des diverses technologies d'accès (2G, 3G/CDMA, LTE, WiFi, WiMax, Satellite, etc.) ;
- du développement du FTTH/FTTO (super PONs, fibres plastiques) ;
- du développement des réseaux communautaires et familiaux (on parle de home networking ou de groupes fermés d'utilisateurs) ;
- de la convergence des services entre les réseaux fixes et mobiles ; de la mobilité globale des services avec le maintien des services lors de la traversée de barrières technologiques ou entre opérateurs et lors du changement de terminal ;

- des modèles économiques pour des réseaux entièrement ouverts, notamment dans le contexte du sans fil.

Même si de nouvelles technologies de communications doivent être déployées pour répondre aux demandes de milliards d'utilisateurs mobiles, toujours plus « connectés » chaque jour, Internet restera « le » réseau de convergence grâce à sa technologie simple et flexible.

Les réseaux d'accès fixes sont historiquement construits sur l'infrastructure téléphonique (DSL) et sur le câble. Plus récemment, l'évolution des réseaux d'accès sans fil a connu un développement explosif (il y a plus de 2 milliards de téléphones portables dans le monde). Leurs évolutions futures, ainsi que celui des réseaux d'accès en fibre optique sont à fort impact industriel, économique et social.

Parmi les points forts de la France sur ces sujets, citons :

- la position d'Alcatel sur le DSL (leader mondial sur les multiplexeurs d'accès et plus généralement sur l'infrastructure de distribution du triple play") et le FTTH/FTTO ;
- la position de numéro 1 mondial de Thomson dans le triple play et bientôt le nPlay, qui offre une palette de nouveaux services ; la performance de Thomson et Sagem dans les équipements d'accès large bande (gateway) évoluant vers de véritables routeurs domestiques supportant une variété de services ;
- les travaux de l'Institut Télécom et de Supélec sur les couches physiques, le codage et le traitement du signal ;
- les travaux de l'INRIA sur les protocoles pour l'accès sans fil et de l'Institut Télécom sur les réseaux cellulaires. Alcatel-Lucent et l'INRIA viennent d'annoncer la création d'un laboratoire commun INRIA-Bell Labs sur les protocoles d'auto-organisation dans les réseaux d'accès sans fil de type cellulaire ;
- La présence réelle de ST Microelectronics sur certains composants notamment pour le traitement de flux vidéo MPEG.

De manière plus générale, l'Europe dispose d'atouts importants dans ce domaine, notamment un marché intérieur dynamique et bien équipé ainsi que de compétences reconnues internationalement.

3 L'internet des réseaux spontanés

Les réseaux spontanés (en anglais spontaneous networks) sont des réseaux qui se créent et s'organisent automatiquement et de manière opportuniste, selon les technologies de transmission disponibles, les appareils à connecter et les services requis. Dans le domaine filaire, l'exemple le plus connu est la création d'une communauté, puis la gestion automatique de l'autonomie de cette communauté. Dans le domaine du sans fil, ils permettent à des individus de communiquer et d'échanger du contenu en l'absence d'infrastructure et de service centralisés. Les domaines d'applications sont multiples. On peut maintenant envisager des réseaux sans fil sans opérateurs ; on utilise aussi ces architectures pour créer des réseaux spécifiques pour le domaine de la défense et des situations de crise. Parmi les premières incarnations des réseaux de ce type, citons les réseaux mobiles ad hoc (MANETS), les réseaux tolérants aux délais (DTN) et les réseaux maillés Wi-Fi.

L'Internet des réseaux spontanés sans fil est caractérisé par une très grande hétérogénéité de technologies de communication, de bandes passantes, et par l'absence de connectivité continue. Les réseaux de ce type posent des problèmes difficiles qui demanderont notamment :

- La prise en compte d'une connectivité aléatoire avec notamment la redéfinition du routage ;
- Des protocoles de communication prenant en compte les propriétés du lien radio et fondés sur une conception intégrée (*cross-layer integration*) ;
- Des besoins nouveaux en termes de gestion de la mobilité, de maintenance et de pérennité des données, etc.

Si les enjeux militaires sont particulièrement importants dans ce contexte, l'organisation de réseaux spontanés véhiculaires (automobile, aérien) est un des vecteurs de développement les plus prometteurs du point de vue économique.

Parmi les points forts en France, il convient de citer :

- De très bonnes équipes de recherche sur le pair-à-pair (Thomson, Paris 6, Paris 7, INRIA) ;
- OLSR (« *Optimized Link State Routing* ») un protocole de routage pour les réseaux mobiles ad-hoc conçu par l'INRIA et qui est très largement utilisé dans la communauté réseaux, entre autres par les militaires (US Navy, US Army, CELAR, DGA) et dont la version finale OLSRv2 sera bientôt un standard IETF ;
- La forte présence du LIP6 (UPMC) et de Thomson dans le cadre du programme SAC (*Situated and Autonomic Communications*) et des programmes européens IST FET. La présence des industriels et des académiques dans un nombre important de projets collaboratifs en tant que leader ou contributeur (Orange, Thales, CNRS, INRIA, Institut Télécom), notamment sur les réseaux véhiculaires.

4 L'Internet des objets

L'Internet des objets est le résultat de l'interconnexion du monde physique et de l'Internet au moyen de capteurs et de contrôleurs légers qui seront distribués sur une large échelle dans les véhicules, les équipements fixes, les milieux en mouvement, la grande distribution, etc. Il est probable que l'Internet du Futur incorpore des centaines de milliards de tels objets dans l'avenir à des fins d'observation, de contrôle, de développement de nouveaux services (habitat, sécurité, grande distribution, trafic routier, écologie, etc.). L'émergence de cet Internet des objets et de l'informatique diffuse dont il permettra le développement sont souvent cités comme les événements potentiellement les plus disruptifs dans tous les axes évoqués sur le futur de l'Internet :

- de par la création d'un gigantesque flux d'informations supplémentaires,
- de par la règle qui stipule que les revenus générés par un réseau sont proportionnels au carré du nombre de ses nœuds.

Ces objets étant souvent petits et mobiles, la gestion économe de l'énergie est de toute première importance.

Dans le contexte particulier des étiquettes électroniques (RFIDs), l'idée est de "tout marquer" : produits et/ou palettes, équipements etc. soit avec des tags passifs à faible coût (actuellement les RFIDs sont des dispositifs passifs qui réagissent à une stimulation électromagnétique), soit dans le futur avec des tags actifs, éventuellement munis de GPS.

Une des premières applications est la gestion des stocks et de la production.

L'Auto ID Center, fondé au MIT en 1999 avec des financements industriels, avait déjà parmi ses objectifs celui de développer les standards permettant le déploiement massif de la RFID dans le domaine de la production et de la distribution, en remplacement des codes barres, et cela afin d'améliorer l'efficacité des chaînes de production et de distribution. En 2003, l'auto ID Center est devenu :

- d'une part, l'Auto ID labs (groupement de 7 laboratoires universitaires travaillant dans le domaine, dont deux Européens, un à Cambridge au Royaume Uni et l'autre à l'ETH en Suisse) ;
- d'autre part, l'EPCglobal <http://www.epcglobalinc.org> (EPC, *Electronic Product Code*), une organisation liée au GS1, qui est lui-même un organisme centré sur le contrôle de production <http://www.gs1.org>. Le comité de Direction de l'EPCglobal, présidé par Cisco, est composé de représentants de diverses multinationales ainsi que d'un représentant du Secrétariat à la Défense américain, des représentants des GS1 de divers pays dont la France et d'un des fondateurs de l'Auto ID Center, qui est toujours au MIT.

L'interface entre les mondes physique et numérique exige des approches nouvelles en termes d'architecture, de bases de données, de collecte de l'information, de gestion de la mobilité, de maintenance et de pérennité des données, etc.

Les standards de l'EPCglobal définissent en particulier les codes (EPC) et les services d'information (EPCIS, *EPC Information Services*). L'idée de base étant que les RFIDs ne pourront pas transporter l'ensemble des informations relatives aux objets et à leurs histoire et donc ces informations seront localisées de manière distribuée dans divers serveurs gérés par les divers acteurs de la chaîne de production et de distribution de l'objet. Se pose donc la question de comment associer le code (EPC) d'un objet avec la localisation des informations le concernant. L'architecture définit également l'ONS (*Object Naming Service*). Ce service permet d'associer un EPC avec la localisation de l'organisation qui a attribué le code à l'objet, en général le fabricant de l'objet. L'architecture de l'ONS est basée sur le DNS et plus particulièrement sur le domaine « .com ». Le code est d'abord traduit dans un nom de domaine « .com », puis le DNS est consulté pour obtenir les informations recherchées. Les serveurs ONS font ainsi partie de l'arborescence DNS. La racine de l'ONS est aujourd'hui administrée par l'entreprise VeriSign (qui gère également le domaine .com). Il est à noter qu'une racine française de l'ONS a été créée en mars 2008. L'intérêt majeur de la technologie de l'ONS est de permettre à l'ensemble des acteurs de la chaîne de fournir des services d'information et notamment de permettre une intégration de ces services. Diverses informations pourront être obtenues sur les objets et leur histoire. En particulier les RFIDs pourront fournir des informations de localisation et les informations de plusieurs RFIDs pourront être associées. Un champ de recherche important sera lié à la mise en place d'une architecture distribuée pour les serveurs racines de l'ONS. Cela devrait permettre de limiter la dépendance des entreprises européennes vis à vis des infrastructures américaines de l'ONS.

Les aspects technologiques sont aussi de première importance. La technologie NFC (*Near Field Communication*) permet de faire communiquer des cartes à puce sur des distances de l'ordre de la dizaine de centimètres et ouvre des perspectives nouvelles non seulement pour le contrôle de production mais aussi pour le paiement, les transports, le contrôle-commande.

Parmi les projets industriels dans ces domaines, on peut citer le projet Walmart aux Etats Unis; le projet de tag de l'ensemble des équipements militaires américains d'ici 2010, le projet Air-France ADP, etc.

Dans le futur, les puces RFID seront capables de communiquer à travers des interfaces basées sur des technologies de communication sans fil de courte distance, de s'auto découvrir et de constituer de manière spontanée et opportuniste des réseaux permettant d'échanger les informations concernant les

objets auxquels ils sont associés. Au delà de la gestion de la production et de la distribution, ces technologies seront à la base du développement de l'informatique diffuse ou « ambiante », qui sera organisée en réseau et répondra à des besoins variés des utilisateurs : transports intelligents, santé, domotique ou applications liées au tourisme ou au développement durable.

Les enjeux économiques de ces technologies pourraient se révéler cruciaux pour les économies européennes. Le plus direct et évident est la réduction significative des coûts de production et de distribution. Dans certains secteurs des gains de productivité importants peuvent en effet être réalisés. Mais l'évolution vers les puces RFID actives telles que décrite plus haut ouvre la porte à une multitude de nouveaux services. Ces services pourront améliorer significativement la qualité de vie des citoyens. L'Internet des objets est un exemple clair où la non participation aux évolutions technologiques permettant la mise en œuvre de nouvelles chaînes de production et de distribution peut laisser au bord du chemin une partie de l'économie du pays.

Parmi les points forts en France dans ces domaines, citons :

- la technologie HF (Haute Fréquence) pour les RFID, qui est une des meilleures technologies au niveau mondial (alors que la technologie UHF retenue aux Etats-Unis est moins bien adaptée aux besoins de l'Internet des objets) ;
- la position de GEMALTO ;
- les travaux de plusieurs équipes universitaires (dont POPS au LIFL/INRIA Futur).

5 L'Internet des contenus

L'évolution de l'Internet et son succès suivent l'évolution des contenus accessibles grâce au réseau. Si le web était avant tout un outil de transfert de fichiers, on a vu apparaître dès la fin des années 80 des applications temps-réel sur Internet: jeux, vidéo, téléphonie... Aujourd'hui, la télévision, la vidéo à la demande et la téléphonie sont des contenus classiques sur Internet, à la fois en accès fixe et en accès mobile.

La diversification des contenus pose différents types de problèmes au réseau, en particulier pour un transport efficace et rapide et pour une mise à jour facile et permanente des contenus.

- Il faut créer et coder des contenus adaptés afin qu'ils soient consultables sur chaque type d'appareil, en utilisant différents types de réseaux d'accès, en déplacement ou à domicile. Ceci est source de complexité en ce qui concerne le codage, le stockage, le transport et la restitution des contenus. Les techniques de codage conjoint source(s)-réseau(x) sont très importantes dans ce domaine.
- La transmission par paquets, les protocoles de contrôle de congestion, l'hétérogénéité des débits de transmission rendent difficile le contrôle de la qualité du service rendu. Contrôler la qualité de service requiert un monitoring précis du réseau, ce qui n'est pas toujours le cas aujourd'hui. Cela peut nécessiter aussi la mise en place de nouvelles technologies aussi variées que les CDN (afin de réduire les temps d'accès) ou les VPNs (afin d'isoler les flux) potentiellement associés à de la différenciation de services.
- La simultanéité de l'avènement de la mémoire bon marché, du coût réduit des ordinateurs et de l'accès DSL haut débit a permis à chaque utilisateur final de développer son propre serveur de contenu. De là sont nées les technologies dites de transmission de pair-à-pair qui remplacent

progressivement le modèle client-serveur de l'Internet. Il devient donc facile de générer et de distribuer des contenus. Les problèmes posés par le foisonnement des contenus générés par les utilisateurs sont nombreux: (1) contrôle de la nature du contenu ; (2) sécurisation des droits de propriété et de reproduction ; (3) mise à jour de ces contenus, et élimination des contenus obsolètes ; (4) accès à ces contenus grâce à des interfaces standards de type navigateur Internet.

- La mise à jour rapide du contenu est un problème majeur. Il devient nécessaire d'indexer et de structurer ces bases de connaissances. Il convient ensuite d'interagir avec ces objets numériques : requêtes, apprentissage, web sémantique, stockage en réseau, mécanismes de caches. Enfin, il faut pouvoir effacer les informations obsolètes. Aujourd'hui, une grande partie des informations stockées sur Internet est obsolète et aucun moyen simple ne permet de le savoir.
- La question de la pérennité des contenus est aussi un enjeu majeur. Chaque année, une quantité d'informations telle est produite sur Internet que la mole de bits n'est plus une unité absurde (alors que l'ensemble des textes de l'antiquité gréco-romaine tient sur un DVD). Comment évaluer la valeur de ces informations? Comment pérenniser la partie de cette masse d'informations ayant une valeur ? Comment procéder sur le moyen terme ou sur les très longs termes (échelles historiques)?

Dans ces domaines, les enjeux économiques et scientifiques sont à la fois considérables et protéiformes. Des nouveaux contenus (réalité augmentée, jeux en réseau, etc.) sont à la base d'applications développées par les utilisateurs, et font émerger de nouveaux modèles économiques. Le moment est bien choisi pour développer les technologies liées aux différentes formes de traitement des contenus (au sens physique et au sens sémantique), afin de permettre le développement de nouveaux services et de nouveaux usages.

Les contenus se sont jusqu'ici adaptés aux moyens de transmission et en particulier au protocole IP. Cette approche est en train d'évoluer et les moyens de transmissions, ainsi que la technologie du réseau, doivent aussi évoluer pour permettre un transport du contenu dans de meilleures conditions.

6 L'Internet des usages et services

Le service « historique » fourni par Internet est l'accès à des fichiers stockés sur des serveurs. Or les contenus et leurs traitements évoluent, et plus encore la façon de les consulter via l'Internet.

Le web des documents que nous connaissons actuellement se transforme en interface universelle d'accès à aux contenus et aux services de l'Internet. Il est devenu par ailleurs facile de créer sa propre application avec des langages comme Ajax et de la mettre en ligne à partir de son propre PC et d'une ligne DSL.

Si la diversité des services pose des problèmes de cohabitation des contenus sur le réseau, c'est avant tout la création de services et d'applications nouvelles qui reste l'enjeu majeur de l'Internet du Futur. De nombreux outils restent à inventer, ainsi que des applications nouvelles. Nous avons assisté récemment au succès des réseaux sociaux comme, FaceBook, Twitter ou LinkedIn. Bientôt, au delà des communautés basées sur la réalité virtuelle comme SecondLife ou les jeux en ligne, c'est la réalité augmentée, les réseaux de capteurs, ou la téléprésence qui accompagneront les utilisateurs dans leur vie quotidienne et offriront une gamme encore plus variée d'applications et de services. Ces applications doivent permettre d'accéder à des données stockées n'importe où sur le réseau. C'est l'architecture du Web qui est remise en cause, car cela revient à remettre en question la notion de "serveur" en remplaçant ce dernier par une multitude de services sur des sites différents qui, une fois assemblés, fournissent l'application finale. On ne peut plus parler de serveur car le contenu peut être stocké ou

émis depuis un téléphone portable ou un terminal personnel. Pour ce faire, il conviendra de résoudre des problèmes complexes d'interopérabilité des API et des services. Des réseaux virtuels privés avec des contraintes spécifiques aux applications devront être créés. Les différents aspects de la sécurité des personnes et des données posent aussi des problèmes importants aux utilisateurs : qui croire ? où et comment stocker des données personnelles ?, comment protéger son contenu, etc.

La conception d'*overlays* applicatifs passant à l'échelle est un des aspects clés du développement des nouveaux services. Un tel *overlay* est un intergiciel déployé sur un réseau permettant l'exécution d'une tâche commune par un très grand nombre de pairs qui peuvent être tour à tour processeurs, relais, mémoires etc. (ce processus est souvent nommé « cloud-computing »). Grâce à de tels *overlays*, le réseau lui-même devient à la fois calculateur universel, mémoire universelle et bibliothèque ouverte de toutes les applications; en un mot, il devient le siège d'une nouvelle forme d'intelligence collective. Plus concrètement ces mécanismes permettront aussi une virtualisation de la couche applicative et en particulier le développement de réseaux privés, sécurisés, optimisés pour un usage ou un utilisateur, sur une infrastructure commune. Ils nécessitent des travaux de recherche fondamentale en algorithmique distribuée.

Un des enjeux centraux est la conception d'architectures de communication et de terminaux spécifiques à ces nouveaux services et aux nouveaux contenus qui leurs sont associés. Les applications pourront tirer parti d'informations de localisation de l'utilisateur, ou lui proposer des services dépendant du contexte (« context-aware ») ou de son profil utilisateur. Par ailleurs, de nouvelles idées d'architectures vont certainement émerger autour de modèles proches des réseaux programmables.

Pour complexifier cette situation, les utilisateurs veulent désormais accéder à une multitude de services sur de nombreux types de terminaux (console de jeu, téléphone, ordinateur, etc.). Ils veulent aussi connecter tous les objets à l'Internet: électronique grand public, capteurs divers, véhicules, etc. Il est par conséquent nécessaire de placer l'Internet du Futur dans un contexte de mobilité généralisée (entre technologies, domaines administratifs, terminaux etc.), où les services de communication sont fondés sur la localisation des usagers.

En résumé, nous sommes à une période charnière entre l'Internet technologique et l'Internet des nouveaux services et des nouveaux usages. Notre économie doit saisir les opportunités qui sont associées à ces mutations.

Les moteurs de recherche resteront dans l'Internet du Futur un enjeu essentiel. Ils sont en effet devenus l'une des "infrastructures" essentielles de l'Internet, et sont devenus pour les contenus et les services ce que les serveurs de DNS sont pour les réseaux IP. Le lien historique fort entre moteur de recherche et régie publicitaire (le trafic de recherche étant une condition indispensable au "bootstrapping" d'une régie publicitaire Internet), ce service d'infrastructure technique (ou d'usage) est devenu également un service de nature économique, une sorte de "banque de l'Internet", ce qui est financé par la publicité. C'est ce qui rend l'existence d'une pluralité d'acteurs compétitifs aussi critique. Il est en particulier souhaitable que l'Europe soit présente dans le secteur des moteurs de recherche du futur, car l'indépendance à terme de l'ensemble de l'économie numérique européenne et de ses acteurs est fortement liée à l'existence, ou la possibilité d'existence de régies indépendantes et de services à haute valeur ajoutée sur Internet.

Dans le contexte de contenus toujours plus variés et riches, dont tous les contenus multimédia (voix dans les podcasts, vidéo, musique, etc.), l'un des enjeux majeurs pour les moteurs va être d'indexer les "média riches" d'une manière intelligente, par exemple en indexant la transcription textuelle des podcasts ou de la bande son des vidéos, ou encore en faisant une indexation sémantique des images (en utilisant les pixels de l'image et non seulement le texte autour de l'image, comme c'est le cas

aujourd'hui). C'est l'objectif du projet QUAERO initié par l'AIJ et financé maintenant par OSEO que de s'assurer que les sociétés européennes possédant un savoir faire en la matière se fédèrent pour espérer pouvoir commercialiser des produits leur permettant de rester compétitifs sur un marché devenu hyper-concurrentiel.

Le foisonnement actuel dans le domaine des services, qui n'est pas pleinement pris en compte dans les plans de GENI et FIND, devrait être une force d'entraînement bien plus déterminante pour le futur des architectures de réseaux que celles considérées dans ces programmes. Il peut être plus intéressant et opportun de développer en Europe la recherche sur les services Internet et de déduire de celle-ci des architectures de réseaux innovantes que de suivre l'approche qui consiste à développer des tuyaux et à voir ensuite quels services cela rend possible. Et même si la France est de moins en moins présente dans le domaine des terminaux, le développement d'applications utilisant les nouvelles fonctionnalités des terminaux est une voie pleine de potentiel.

Tout comme aux Etats-Unis durant ces deux dernières décennies, une nouvelle industrie et de nouveaux modèles économiques vont émerger d'une part des laboratoires de recherches académiques et industriels et d'autre part en fonction des pratiques des internautes. Il est important de noter qu'une part importante des nouveaux services à haute valeur ajoutée est fondée sur des idées où l'innovation technologique en tant que telle joue un rôle limité (Facebook, Myspace, LinkedIn, Twitter).

A chaque fois que des potentialités nouvelles ont été créées sur les réseaux, soit par le développement du nombre d'utilisateurs (propice à l'émergence de services marchands ou non), soit par la croissance des débits (ouvrant notamment accès au transport de l'image animée) ou encore par l'amélioration de leur fiabilité (permettant le transport de la voix et de l'image en temps réel), les usages ont exploité les capacités techniques des réseaux jusqu'à leurs limites. Une des voies nouvelles à explorer concerne la réduction de la latence des réseaux. Cela pourrait se révéler indispensable pour le développement des technologies de réalité augmentée ou de simultanéité à distance.

7 Activités et enjeux liés aux six facettes

On trouvera ci-dessous une table synthétique des activités (menées par des acteurs français) et des enjeux relatifs aux six facettes. Par nature, une telle table est fortement réductrice et ne prétend pas à l'exhaustivité.

Facette	Acteurs industriels	Bénéfices attendus	Marchés potentiels
Cœur de réseau	Alcatel-Lucent (optique) PMEs	Service Oriented Networking Monitoring Virtualisation	Opérateurs Entreprises
Réseaux d'accès	Alcatel-Lucent	Améliorations :	IPTV, VoD, VoIP

	Orange Thales Thomson PMEs	Accès radio DSL Accès fibre	triple play Domotique
Réseaux spontanés	Thales PMEs	Réseaux sans infrastructure Réseaux communautaires Réseaux opportunistes pair-à-pair	Défense Environnement Transport
Internet des objets et WSANs	Gemalto Orange PMEs	Domaine émergent fusion des mondes physique et numérique	Grande distribution Productique Transport Santé, Sécurité Environnement
Internet des contenus	Diffuseurs, Opérateurs Thomson Nouveaux entrants	Data Centric Internet Data centers Toile sémantique Pérennité des contenus	Convergence Opérateurs/Diffuseurs
Services et usages	Equipementiers Opérateurs PMEs	Services fondés sur la localisation Orchestration de services Réseaux sociaux Téléprésence Jeux	Tous domaines

ANNEXE 2

Groupes de Réflexion et Programmes sur l'Internet du Futur

Cette annexe passe en revue un certain nombre de groupes de réflexion et grands programmes de recherche sur l'Internet du Futur.

1 Etats-Unis

1.1 GENI et FIND

Les Etats-Unis ont pris les premiers des initiatives importantes il y a 4 ans avec le programme GENI, un pré-projet de la NSF né sous l'impulsion de personnalités très connues de la communauté académique des réseaux aux Etats-Unis (par exemple R. Katz, S. Shenker ou J. Rexford). GENI est un programme de recherche ambitieux souvent qualifié de "télescope des chercheurs en réseaux de communication" par analogie avec les investissements importants réalisés en astronomie. Afin de préparer GENI, les chercheurs américains, avec la NSF principalement, ont mis en place une structure de gouvernance et un programme de recherche annuel d'environ 20 millions de dollars qui doit permettre de préparer GENI dont le budget pourrait s'élever à environ 350 millions de dollars sur 5 ans et de se positionner sur l'Internet du Futur, avec comme premier objectif de maintenir la position de leader des Etats-Unis sur l'Internet actuel.

Le projet se concentre sur une vision de ce que seront les grands équipements utilisés dans les cœurs de réseaux. Cet axe fort de la communauté scientifique américaine est en symbiose avec l'industrie américaine dans ces domaines (notamment CISCO) qui prépare un futur avec des routeurs virtualisés et programmables. GENI est centré sur les aspects plate-forme et expérimentation et a pour but de faire bénéficier la communauté réseaux d'une partie des financements fédéraux pour les grands équipements.

FIND est un programme de recherche de la NSF (20 millions de dollars annuel depuis 2006) qui accompagne GENI et qui prend en compte les limitations de l'approche plate-forme et expérimentation de GENI. FIND est plus orienté vers la recherche fondamentale et disruptive (architecture, algorithmique, contrôle et modélisation des grands réseaux).

1.2 ITFAN

La task force ITFAN (Interagency Task Force on Advanced Networking) fait la synthèse des recommandations établies par les 11 agences fédérales US pour la programmation et le financement des recherches avancées en réseaux sur les 10 prochaines années. Elle a publié plusieurs rapports au cours des dernières années qui rappellent que toutes les avancées majeures dans le domaine des réseaux ont été initialement financées par des budgets fédéraux focalisés sur un tissu académique d'exception, et que l'avance écrasante des US dans ce domaine est un corollaire direct de cette politique. Elle milite en faveur de la poursuite de ce type d'incitation.

1.3 Universités

Aux Etats-Unis, les universités construisent aussi des programmes de recherche ambitieux autour de l'Internet du Futur. C'est le cas d'UC Berkeley, par exemple, qui aborde le problème du stockage du contenu dans Internet (la fragilité des centres d'hébergement de données est considérée comme un problème majeur aux Etats-Unis). L'université de Stanford vient de mettre en place un clean slate program autour de 8 industriels triés sur le volet pour la qualité de leur recherche et de leurs travaux sur le thème de l'Internet du Futur. Ces industriels vont contribuer à hauteur de 150.000 euros chaque

année pendant 3 ans. Ils ont accepté de relocaliser une partie de leurs chercheurs à l'université de Stanford afin qu'une véritable fertilisation croisée ait lieu.

2. Les initiatives menées au niveau de l'Union Européenne

2.1. Les Groupes de Réflexion

Un groupe de réflexion a été créé par le Réseau d'Excellence Euro-NGI (6ème PCRDT), piloté par l'Institut Telecom. Ce groupe est constitué de 16 experts de divers pays européens et a produit un document "Vision" en mai 2006. Le Réseau d'Excellence continue dans le 7ème PCRDT et est maintenant appelé Euro-NF.

EIFFEL est une « support action » retenue par la Commission Européenne lors du premier appel du 7ème PCRDT. Elle est issue d'un groupe de réflexion organisé par la Commission sur l'Internet du Futur (environ 20 personnes). Ce groupe de réflexion a produit en décembre 2006 un document de synthèse contenant en particulier une liste de recommandations. Le projet EIFFEL a pour objectif de constituer un pool d'experts sur ces questions. L'Institut Télécom est l'un des six membres de ce projet.

Diverses ETPs (*European Technology Platforms*, voir http://cordis.europa.eu/technology-platforms/home_en.html) ont été constituées. Chaque ETP a produit un document Strategic Research Agenda dans lequel les priorités par domaine sont identifiées. A titre d'exemple, la plateforme NEM (Networked and Electronic Media) est dirigée par Thomson.

2.2. Les programmes européens

Les programmes cadre de recherche et de développement technologiques (PCRDT) européens regroupent l'ensemble des initiatives communautaires liées à la recherche sous un chapeau commun (voir http://cordis.europa.eu/fp7/understand_en.html). Un des objectifs majeurs de ces programmes est de promouvoir la recherche collaborative, au niveau européen, entre les mondes académique et industriel afin de garantir un leadership européen permettant de soutenir la croissance, la compétitivité et l'emploi.

Les PCRDT disposent de plusieurs outils. Les outils du 7ème PCRDT sont les suivants: les IPs (Integrated Projects), les NoE (Networks of Excellence), les STREP (*Specific Targeted REsearch Projects*) et les CSA (*Coordination and Support Actions*). Le 7ème PCRDT regroupe les IPs et les STREP sous le terme CP (*Collaborative Projects*).

2.2.1. ICT, The Network of the Future, Call 1

Le *Call 1* a financé l'objectif intitulé "The Network of the Future" à hauteur de 200 millions d'Euros. Il s'agit d'un effort considérable, parmi les plus importants au niveau international.

Des efforts sont en cours pour faciliter la coordination entre les 60 projets qui ont été financés. Les 60 projets couvrent le domaine de manière large, des réseaux de capteurs aux réseaux tout optiques, en passant par la mobilité et le post-IP.

2.2.2. ICT-FIRE (Future Internet Research and Experimentation)

En 2003, la Commission a lancé l'*Autonomic Communication Forum* qui a ensuite donné lieu au programme SAC (*Situated and Autonomic Communication*) dans le cadre de l'unité FET (*Future and Emerging Technologies*) de la direction F de la DGINFSOC de la Commission européenne. Le budget de SAC était de 20 millions d'euros en 2005.

FIRE (*Future Internet Research and Experimentation*) a été créé dans le but de coordonner des efforts de recherche amont et d'expérimentation sur des plates-formes réseau. Un premier appel à projet doté de 40 millions d'euros a été lancé en 2007 dont les résultats ont été officiellement publiés en février 2008. Une douzaine de projets ont été sélectionnés ; les chercheurs académiques et industriels français y sont très bien représentés. FIRE finance divers types de projets et notamment des plates-formes du type Onelab, piloté par le LIP6 et associant Orange Labs.

La Commission a décidé d'un budget de 50 millions d'euros pour un deuxième appel à projet FIRE lancé fin 2008.

2.3 Les clusters Eurêka

En complément des programmes communautaires, les « clusters » Eurêka sont des initiatives industrielles à long terme qui visent à développer les technologies génériques les plus essentielles pour la compétitivité européenne, notamment dans le secteur des TIC. Lancé par l'industrie et en étroite collaboration avec les autorités nationales chargées du financement, chaque cluster élabore une feuille de route définissant ses principaux domaines stratégiques. L'un des principaux atouts d'Eurêka est sa flexibilité : les feuilles de route et les projets sont sans cesse adaptés en fonction des évolutions de l'environnement technologique et de la demande du marché.

2.3.1 Cluster ITEA

Le cluster ITEA 2 (*Information Technology for European Advancement*), successeur d'ITEA (1999-2005), soutient les efforts de R&D industrielle européenne dans le domaine des systèmes à logiciel prépondérant. Le cluster prévoit de mobiliser 3 milliards d'euros sur la période 2006-2014, avec une part majeure de l'effort de recherche réalisée par les partenaires industriels. La feuille de route d'ITEA 2 est structurée autour de domaines d'applications et d'axes technologiques dont certains sont étroitement liés aux problématiques de l'Internet des objets et de l'intelligence ambiante.

2.3.2 Cluster CELTIC

Lancé en 2003, le cluster CELTIC (*Cooperation for a European sustained Leadership in Telecommunications*) a pour objectif de soutenir le dynamisme européen dans le secteur des télécommunications. Le cluster prévoit de mobiliser 1 milliard d'euros sur la période 2003-2011, pour des efforts de R&D industrielle notamment associés aux nouvelles infrastructures de télécommunications.

3 France

3.1 Les programmes de l'ANR

L'Agence nationale de la recherche, créée en janvier 2007, finance des projets sélectionnés dans le cadre d'appels à projets (AAP) visant à développer des partenariats. Dans le domaine des télécommunications, elle a poursuivi l'action établie dès 1998 par le RNRT (Réseau national de la recherche en télécommunications, arrêté fin 2007) en soutenant des programmes partenariaux entre le monde académique et l'industrie. Des projets sur les réseaux de télécommunications et l'Internet peuvent être financés soit dans le cadre de l'appel « Télécommunications » (depuis appelé « Réseaux du futur et services »), soit - dans une moindre mesure - dans le cadre du programme « Blanc ». Pour le premier, les projets sélectionnés sont, en moyenne, financés à hauteur de 900Keuros et impliquent 5 partenaires. Ils traitent de problèmes allant de la couche physique aux usages.

3.2 Les pôles de compétitivité

Les pôles de compétitivité sont issus d'une volonté de création de synergies au niveau des divers acteurs, grands et petits, industriels et académiques, autour d'une thématique technologique commune. Ils ont amené un dynamisme incontestable dans la création de projets de R&D structurants dans le domaine des TICs.

Listons les activités des pôles les plus en relation avec l'objet de cette consultation:

- le pôle breton Image & Réseau est centré sur la diffusion de contenus et les services multimédia ;
- le pôle Solution Communicante Sécurisés de Sophia est centré sur les aspects matériels et logiciels de la sécurité ;
- le pôle System@tic est centré sur les systèmes complexes et comporte un axe sur les réseaux de communication ;
- le pôle Cap Digital est centré sur la création de contenus et les services de communication multimédia incluant notamment des activités sur le pair-à-pair et sur les jeux.

Notons que le thème de l'Internet du Futur n'est mis en avant dans aucun d'entre eux de manière spécifique, alors que chacun des quatre pôles mentionnés ci-dessus a une pertinence sur certaines des problématiques évoquées.

4 Quelques autres initiatives nationales

Il y a de nombreuses initiatives similaires, dans les divers pays de l'Union européenne, en Asie, en Australie, en Amérique du Sud. Tous ont mis en place des programmes de recherche ambitieux sur l'Internet du Futur en exploitant les spécificités de leur recherche et de leur industrie.

Voici quelques exemples:

- Allemagne : le projet G-lab, financé par le BMBF (Ministère de l'éducation et de la recherche), est un programme de 30 millions d'euros sur 3 ans pour développer une infrastructure nationale d'études de l'Internet du Futur. Cette initiative regroupe des partenaires académiques et industriels. Elle a pour objet de concentrer les efforts dans le domaine de l'Internet du Futur, en insistant sur deux aspects complémentaires: - développer une recherche théorique et fondamentale, - l'associer à une plate-forme expérimentale.
- Royaume Uni : Le projet Super Janet de l'EPSRC.
- Australie : Travaux sur l'Internet du Futur dirigés par NICTA.
- Corée : FIF (*Future Internet Forum*) Ce forum créé en 2006, a pour but de réfléchir à l'Internet du Futur et a proposé un ensemble de projets de recherche au MIC (ministère de l'information et des communications). Des projets sur 3 ans viennent de commencer sur les sujets suivants: « switching » de haute capacité, nommage, services fondés sur la localisation, sans fil.
- Japon : programme AKARI (<http://akari-project.nict.go.jp/eng/index2.htm>).

ANNEXE 3

GLOSSAIRE

ADP	Aéroports de Paris
AFNIC	Association Française pour le Nommage Internet en Coopération
AII	Agence de l'Innovation Industrielle
ANR	Agence Nationale de la Recherche
API	Application Programming Interface
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung / Ministère de l'éducation et de la recherche allemand
CDMA	Code Division Multiple Access
CE	Commission Européenne
CELAR	Centre d'Electronique de l'Armement
CELTIC	Cooperation for a European sustained Leadership in Telecommunication
CMU	Carnegie Mellon University
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CP	Collaborative Projects
CPE	Customer Premises Equipment
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DGA	Délégation Générale pour l'Armement
DGE	Direction Générale des Entreprises
DGINFSOC	Information Society and Media Directorate-General – European Commission

DGRI	Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
DSL Forum	Digital Subscriber Line Forum
EPC	Electronic Product Code
DTN	Réseaux Tolérants aux Délais
EPSRC	Engineering and Physical Sciences Research Council
ETP	European Technology Platform
EIFFEL	Evolved Internet Future For European Leadership
Euro-NGI	Euro - Next Generation of Internet
Euro-NF	Euro – Network of the Future
FET	Future and Emerging Technologies
FIF	Future Internet Forum
FIND	Future Internet Design
FIRE	Future Internet Research and Experimentation
FTTH/FTTO	Fiber To The Home / Fiber To The Office
GEANT	permet de connecter - via leurs réseaux nationaux de recherche - plus de 3000 institutions de recherche et d'enseignement dans un grand nombre de pays d'Europe, tout en offrant une connectivité avec les chercheurs sur d'autres continents. GEANT dispose de la plus grande capacité et de la plus grande couverture géographique de tous les réseaux de ce type au monde.
GENI	Global Environment for Network Innovation
G-lab	Projet et Plateforme sur l'Internet du Futur en Allemagne

GPS	Global Positioning System
GRIF	Groupe de Réflexion sur l'Internet du Futur
HF	Haute Fréquence
HP	Hewlett Packard
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICT	Information Communication Technology
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Subsystem
INRIA	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
IP	Internet Protocol
IPs	Integrated Projects
ISO	International Organization for Standardization
IST FET	Information Society Technologies -Future and Emerging Technologies
IST Onelab	Information Society Technologies Onelab
IT	Information Technology
ITFAN	Interagency Task Force on Advanced Networking
LIP6	Laboratoire d'Informatique de Paris 6
LTE	Long Term Evolution
MANET	Mobile Ad-hoc Network
MIC	Ministère de l'Information et des Communications – Corée du Sud
MIT	Massachusetts Institute of Technology

MPEG	Moving Pictures Experts Group
NAT	Network Address Translation
NEM	Networked and Electronic Media
NFC	Near Field Communication
NICTA	National ICT Australia
NSF	National Science Foundation
OLSR	Optimized Link State Routing
OLSRv2	Optimized Link State Routing Protocol v2
ONS	Object Naming Service
PCRD	Programmes Cadre de Recherche et Développement
PI	Propriété Intellectuelle
PME	Petites et Moyennes Entreprises
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Service
R&D	Recherche et Développement
RENATER	Réseau National de Télécommunications pour la Technologie l'Enseignement et la Recherche
RFID	Radio Frequency IDentification
RNRT	Réseau National de la Recherche en Télécommunications
STREPs	Specific Targeted REsearch Projects
TCP	Transmission Control Protocol
UCB	University of California, Berkeley

UHF	Ultra Haute Fréquence
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UPMC	Université Pierre et Marie Curie
vBNS	very high-speed Backbone Network Service
VM	Machine Virtuelle
VoD	Video on Demand
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access