

## **Discours prononcé par Mérouane Debbah lors de l'inauguration de la chaire le 26 mai 2008**

### **Transparent 1.**

Monsieur le Président,  
Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs ;

C'est avec un immense plaisir que je vous accueille à Supélec pour l'inauguration des «un an » de la chaire radio flexible. Un anniversaire est toujours un moment particulier, c'est à la fois un moment de regret pour le temps qui s'écoule et un moment de joie pour les nouvelles opportunités qui s'annoncent. C'est également le temps du bilan de l'année passée et une manière de se projeter sur l'année à venir.

Et quelle année! La chaire Alcatel-Lucent Supélec a été créée il y a maintenant un peu moins d'un an. C'est à la fois beaucoup et peu. Beaucoup à l'échelle du temps et peu pour l'immense mission que nous nous sommes fixés. C'est dans cette logique que je me propose de vous décrire cette chaire par des mots simples.

Simplicité...ce n'est pas un vain mot ! Il est souvent, à juste titre d'ailleurs, reprocher au chercheur de vivre dans une tour d'ivoire et d'être difficilement compréhensible par ses pairs en société («Il n'est pas facile de comprendre ce que je fais...car cela est trop compliqué» est la réponse classique) . Dans le temps qui m'est imparti, je vais néanmoins m'efforcer de vous prouver le contraire et me soumettre à l'exercice difficile du chercheur « vulgarisant », sans perdre dans la pertinence du sujet.

Commençons donc par le titre de cette chaire...

### **Transparent 2.**

Il m'a été souvent demandé, par mon père d'ailleurs, si grâce à la radio flexible, il pourrait dans un futur proche se raser tous les matins avec son portable. Ma mère n'est pas en reste me demandant même récemment si son portable allait se reconfigurer en un ustensile de cuisine ou en chaussure. Malheureusement et bien que ses souhaits soient certes légitimes et compréhensibles, la flexibilité dont nous parlons dans le cadre de cette chaire correspond à autre chose.

### **Transparent 3.**

En l'occurrence, nous parlons de « réseaux radios intelligents » capable de s'auto-configurer et d'exploiter les degrés de liberté du medium radio, dans une logique de télécommunications. La flexibilité vient ici de la capacité à s'adapter en fonction de l'environnement. Cela peut vous paraître abstrait mais prenons un exemple plus concret pour illustrer mes propos.

## Transparent 4

Il existe de grandes similarités entre les réseaux de télécommunications et les réseaux routiers. Typiquement, si vous remplacez l'infrastructure routière par une infrastructure de télécommunication (câbles, stations de base) et les voitures par des usagers émettant/recevant des bits d'information, vous obtenez un réseau de télécommunication. Il est apparu très tôt, comme le montre cette vidéo, qu'il fallait des technologies capables de gérer le réseau pour assurer la sécurité, la fiabilité et les demandes en termes de temps de parcours des usagers, sans quoi, nous arrivions rapidement à des réseaux anarchiques. Cela s'est fait au cours du temps à travers un certain nombre de standards **figés** (le code de la route en l'occurrence...i.e feux de signalisation...) acceptés et appris par tous. Il apparaît aujourd'hui clairement que des réseaux flexibles permettraient de mieux répondre aux demandes des usagers et de personnaliser leurs requêtes. Typiquement, la nuit, il serait souhaitable, si un automobiliste est seul dans un carrefour et que le réseau puisse détecter cela, de le faire passer en priorité (le feu rouge devenant vert) au lieu d'une attente interminable. Nous parlons dans ce cas de réseaux cognitifs. Dans la journée, le réseau peut également faire varier les nombres de voies sur l'autoroute en fonction du trafic prédit. Pour sécuriser le réseau, la texture de la chaussée (en passant de lisse à rugueuse) pourrait également se modifier pour ralentir les automobilistes rapides. Enfin, dans le cas de voitures électriques, la chaussée pourrait récupérer l'énergie cinétique de certains véhicules pour la redonner à d'autres véhicules plus lointains en panne d'énergie par contact avec les roues. Cela réduirait une infrastructure onéreuse de pompes à essence...Nous parlons dans ce cas là de réseaux flexibles intelligents et voyons immédiatement les potentialités d'un tel réseau capable de faire transiter de l'information et l'énergie en toute transparence. C'est exactement l'objet de la « chaire en radio flexible» créée par Supélec et Alcatel-Lucent...créant un réseau dont la texture changerait de manière opportuniste. Bien sur, pour beaucoup, il apparaît clairement qu'avec toute l'intelligence du monde, nous pouvons améliorer de manière substantielle la capacité des réseaux actuels mais serons limités par la physique (infrastructure routière en l'occurrence pour le réseau routier ou énergie et spectre pour les réseaux de l'information). Malheureusement, c'est ici que s'arrêtent les analogies et j'espère également vous démontrer pas des mots simples que la bataille acharnée des ressources (spectre et énergie) n'aura pas lieu grâce aux réseaux flexibles.

## Transparent 5

Il est toujours formateur en sciences d'étudier et de comprendre l'histoire de la démarche scientifique. Dans le cas des réseaux de télécommunications, nous sommes passés par plusieurs générations de standards, typiquement la 2G qui correspond au GSM puis la 3G qui correspond à l'UMTS puis la 4G à travers les standards tels que Wi-MAX et LTE. Dans chaque cas, nous sommes passés par des technologies spécifiques du type TDMA (Time Division Multiple Access...pour le GSM) puis le CDMA (Code division multiple access pour l'UMTS) et l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) pour le Wi-MAX/LTE.

Pour illustrer les nuances entre ces différentes techniques d'accès, considérons une grande salle et un nombre important de personnes désireuses de communiquer par paires entre elles (on les appellera des couples même si elles ne le sont pas forcément !). Les couples veulent se parler entre eux et ne sont pas du tout intéressés par ce que disent les autres personnes. Afin que ces conversations puissent avoir lieu, tentons de définir les différentes possibilités pour chaque conversation.

Appliquons tout d'abord l'analogie aux systèmes d'accès multiple par accès de fréquence (ou OFDM qui est une version plus avancée dans le Wi-MAX/LTE). Ce système peut-être représenté par la construction de murs au sein de la salle, créant ainsi plusieurs petites salles (la construction des murs a d'ailleurs un cout qui correspond au spectre acheté). Chaque couple entrerait dans une salle et pourrait se parler sans être gêné par les discussions des autres couples.

Dans un système d'accès multiple par répartition de temps (TDMA dans le cas du GSM), chaque couple parlerait dans la grande salle chacun à son tour. Chaque couple aurait le droit de parler une vingtaine de secondes pendant lesquelles les autres couples se tairaient. Ils s'échangeraient ainsi le temps de parole à tour de rôle.

Dans le contexte d'accès multiple par répartition par code (CDMA dans l'UMTS), chaque couple parlerait une langue différente. Les couples peuvent parler en même temps de n'importe quel endroit de la salle. L'analogie réside dans le fait que les langues sont ici les codes. De plus, on suppose que les couples ne comprennent pas les langues des autres couples. Le langage apparaît ici comme un filtre si bien que les français ne peuvent pas comprendre la conversation du couple allemand ou celui de l'espagnol voisin. Cette technique a bien sûr des limites puisque nous ne pouvons plus ajouter de couples dès lors que le bruit ambiant généré par les autres discussions devient trop important (pour s'écouter) ou que plus aucune nouvelle langue n'est disponible. C'est ce qui nous arrive d'ailleurs dans les systèmes 3G.

Quelles sont maintenant les autres possibilités qui nous sont offertes ? Comment arriver à communiquer sans partage de ressource et ne plus acheter du spectre (notre pétrole) supplémentaire ? Existe-t-il une limite aux possibilités de communications sans fils ?

## **Transparent 6**

Pour cela, revenons aux fondamentaux des télécommunications. Pour servir les usagers, nous avons mis en place des infrastructures munis d'antennes (les stations de base que vous voyez sur les bâtiments). Il est apparu évident que pour mieux servir les utilisateurs, il fallait augmenter le nombre d'antennes mais en contrepartie, cela aboutissait à des interférences nuisibles au bon fonctionnement du réseau. Nous avons alors décidé de réduire les interférences en construisant des murs virtuels (avec un cout non-négligeable...l'achat de fréquences différentes pour chaque technologie) pour se protéger. Malheureusement, le mot interférences est une malencontreuse terminologie surtout lorsqu'elle n'est pas naturelle mais générée par l'homme. Les réseaux mobiles flexibles considèrent au contraire l'interférence comme un signal utile que l'on peut exploiter et construisent des ponts entre les systèmes. Ainsi, plus il y a d'interférences, plus il y a de câbles virtuels que nous pouvons utiliser pour faire transiter l'information vers les utilisateurs. Les auto-routes sont créées par les utilisateurs. De manière

surprenante, les réseaux flexibles ne considèrent pas les ressources comme un « gâteau à partager » mais au contraire voient leur capacité augmenter par la présence utilisateurs. Plus il y a de nœuds, plus grande est la capacité car d'un seul coup, plus d'autoroutes virtuelles sont créées. Elles pourront également s'auto-configurer selon les différents utilisateurs. On peut monter qu'en théorie, ces réseaux n'ont aucune limite à part la densité spatiale (une différence importante subsiste néanmoins avec les réseaux totalement ad-hoc sur lesquels je n'insisterai pas par manque de temps). Nous pouvons effectivement sur une bande de fréquence donnée, avoir une capacité quasi-infinie... Pour revenir à l'exemple des couples, si les gens sont ASSEZ intelligents et ont un processeur suffisamment rapide pour apprendre/comprendre toutes les langues en même temps, la conversation de mon voisin, lorsque je parle, n'est plus un bruit mais de l'information que je peux aider à faire transiter. Plus personne n'a besoin de crier et nous pouvons tous discuter sereinement. Et plus il y aura de gens, plus d'opportunités de conversations se présenteront.

### **Transparent 7.**

Faire fonctionner les réseaux flexibles n'est cependant pas une mince affaire d'autant que les échelles de temps (en raison de la mobilité des utilisateurs) sur lesquelles tout ceci se déroule sont extrêmement rapides. Cela nécessite des compétences inter-disciplinaires remarquables dans la mesure où il faut arriver à exploiter et démêler les nombreux fils virtuels. Cela nécessite des compétences :

1) En physique des composants/antennes larges bandes/électroniques et reconfiguration dynamique. De ce point de vue, la chaire collabore de manière étroite avec les équipes de Supélec (à Rennes et Gif-sur-Yvette) en place spécialistes de ces domaines.

2) Des compétences en mathématiques et en physique pour modéliser et optimiser ces systèmes complexes avec de multiples interactions. Les outils avancés de la théorie des nombres (pour le codage espace temps distribué) aux techniques des matrices aléatoires/théorie des jeux/théorie des probabilités libres ou d'inférences bayésiennes sont utilisés. La chaire est d'ailleurs devenue une référence dans l'application de ces outils aux télécommunications sans fils.

De ce point de vue, il faut admettre que la France est bien placée et nous avons ici une occasion historique de mener la prochaine bataille des futurs standards. Contrairement à beaucoup de pays, nous avons l'avantage d'avoir une école de qualité formant des élèves, en sortie d'écoles d'ingénieurs, avec une forte capacité de manipuler/de traduire et de synthétiser en modèles mathématiques des concepts abstraits. Ceci est assez unique et fait la jalousie de beaucoup de nos partenaires. Ces derniers temps, la finance mondiale a jalousement accaparé le flux majoritaire de nos étudiants brillants mais il se trouve que les réseaux flexibles sont devenus une opportunité tout aussi importante pour eux d'exprimer leurs compétences. C'est en tout cas le sens que je donne aux différentes candidatures brillantes de thèse que j'ai eu au sein de la chaire cette année issues des filières du domaine de la physique et des mathématiques.

3) Enfin le tout reste englobée par une nouvelle théorie de l'information et des communications adaptée.

### **Transparent 8.**

En parlant de théorie de l'information et des communications, Les Bell Labs (les centres de recherche d'Alcatel-Lucent) possèdent une longue histoire dans le domaine des réseaux flexibles qui remonte à SHANNON (ancien chercheur des Bell-Labs et fondateur de la théorie de l'information). Dans ses premiers papiers de 1950, SHANNON décrivait déjà les premiers appareils cognitifs ainsi que les développements théoriques des machines flexibles dans des cas simplistes. D'ailleurs, il développa comme prototype une souris mécanique dénommée Theseus considérée par beaucoup comme le premier développement connu de machine intelligente. Tout comme cette souris intelligente, les recherches actuelles ont pour but de développer des réseaux intelligents à une plus grande échelle en prenant en compte des problèmes bien plus complexes.

### **Transparent 9.**

Supélec n'est pas en reste et a investi dès le début des années 2000 dans des programmes de recherche spécifique liés au domaine de la radio flexible. Je salue d'ailleurs le travail remarquable de mes collègues de Rennes de l'Equipe Signal, Communications et Electronique Embarquée, précurseur du domaine en France ainsi que l'Equipe Signaux et Systèmes Electroniques et le département télécommunications. Nous travaillons de manière complémentaire sur les thématiques de la radio flexible. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si l'Ecole en elle-même a rapidement pris le modèle d'Ecole (unique en France) en réseau flexible répartie sur 3 campus avec un enseignement unique.

### **Transparent 10.**

Enfin, au-delà des thématiques, une chaire est également le travail d'une équipe et de personnes coopérant ensemble. De ce point de vue, l'année écoulée nous a permis de nous entourer de plusieurs stagiaires, doctorants et post-docs de diverses nationalités et issus des meilleurs établissements nationaux et internationaux (Université du Chili, Université de Fortaleza (Brésil), Université del Cauca (Colombie), Université Princeton (USA), EURECOM (France), Ecole Polytechnique (France), l'Ecole polytechnique de Bucarest (Roumanie) et La « Vietnam National University » au Vietnam (Vietnam)).

### **Transparent 11.**

Cette jeune équipe a accompli également beaucoup de choses en peu de temps. Ses premiers travaux ont déjà reçu la reconnaissance de la communauté internationale fin 2007: le « Best Paper Award » à l'IEEE GlobeCom 2007 en novembre et le « Best Student Paper Award » à Valuetools 2007 en octobre. D'autre part, une technologie appelée VFDM (Vandermonde Frequency Division Multiplexing) vient d'être brevetée par la chaire permettant d'augmenter de manière significative les transmissions OFDM multi-utilisateurs classiques et de réduire les interférences. Cette technologie très prometteuse pour la radio cognitive est encore à l'étude. A cela s'ajoute le

développement d'autres schémas pour le standard LTE (Long Term Evolution) actuel tel que le alpha-OFDM et les techniques de détection/synchronisation en bordure de cellule. Enfin, la chaire développe également des schémas innovants pour sécuriser les réseaux en exploitant les propriétés du canal (réciprocité en mode TDD, ..) comme clé de cryptage. Ces travaux sont illustrés par une production scientifique conséquente dans les meilleures revues du domaine, que je vous encourage à consulter sur le site web de la chaire.

### **Transparente 12.**

Cette chaire collabore également de manière étroite avec les grandes institutions de recherche française, telles que le CNRS et l'INRIA avec lesquelles des co-directions de thèses ont été mises en place. Elle collabore avec le Réseau Thématique de Recherche Avancée « Digiteo Labs » à Saclay et participe activement aux projets du pôle System@tic. Sa participation est également sollicitée par différentes entreprises du secteur avec lesquels des thèses ont été mis en place, en accord avec Alcatel-Lucent. Je tiens d'ailleurs à remercier tous ces partenaires ainsi que nos contacts de la chaire à Alcatel-Lucent pour la confiance accordée sur les thématiques abordées. Vous ne serez pas déçus.

### **Transparent 13.**

Je finirai ce discours par un point qui me tient à cœur. Cela concerne la formation dans le cadre de cette chaire. Contrairement à d'autres domaines et en raison des échelles de temps considérées (entre 1 an et 3 ans), les relations entre chercheurs et doctorant/élèves ne sont pas des relations classiques. Dans la majorité des cas, la candidature d'un élève relève d'une forte admiration pour la personnalité du directeur de thèse qui influence considérablement la vie du doctorant (« Combien d'entre nous avons choisi une carrière uniquement en raison de l'admiration pour notre professeur »). Au cours de cette année, j'ai été surpris par le dévouement et le sacrifice quasi-instantané de mes doctorants à la mise en place de cette chaire, bien au-delà de leur fonction. Je les remercie d'ailleurs vivement. Me confier ainsi leurs avenir est une lourde charge, dont je suis conscient. C'est aussi le signe que la recherche de la science, du génie et de l'intelligence reste une valeur importants d'identification pour les jeunes, en ces temps d'incertitude. Il ne faut donc pas les décevoir et continuer à rayonner...rayonner et encore rayonner de toute notre intelligence, ce qui requiert de nous une attitude exemplaire. Car, plus que jamais, il ne faut pas oublier qu'en enseignant de l'or, nous récoltons des diamants.