

Green Concept Appliqué aux Réseaux Radiomobiles 4G de Type PMR

Mots clés :

- **Directeur de thèse** : LIRIDA NAVINER
- **Co-encadrant(s)** :
- **Unité de recherche** : Laboratoire Traitement et Communication de l'Information
- **Ecole doctorale** : École Doctorale Informatique, Télécommunications, Électronique de Paris
- **Domaine scientifique principal**: Divers

Résumé du projet de recherche (Langue 1)

Cette thèse traite du problème de la consommation énergétique des systèmes de communication PMR (Private ou Professional Mobile Radio) dans un contexte 4G. Le monde PMR, en effet, évolue et sort du cadre "bande étroite" dans lequel il se trouvait jusqu'alors via les standards TETRA [1], TETRAPOL[2] et APCO P25 [3] pour se tourner vers des solutions plus "bande large" en s'appuyant sur les évolutions 4G LTE [4]/WiMAX[5]. Des travaux pour une convergence entre solutions commerciales 4G et contraintes PMR sont en cours aussi bien du côté des acteurs industriels majeurs de l'écosystème PMR (Cassidian/Motorola/Thalès/Harris) que des acteurs de la standardisation (3GPP/ETSI/TIA). Cela fait notamment suite aux décisions prises en 2007/2008 par les autorités américaines de la sécurité publique d'opérer sur une base LTE dans la bande de 700MHz des réseaux PMR en bande large ([6],[7]). Parmi les questions que cette convergence soulève, nous pouvons souligner l'adaptation aux caractéristiques RF des solutions PMR (bandes de fréquence basses 400/700 MHz), le faible écart duplex (10 à 30 MHz), la faible largeur de bande (au plus 5MHz), l'optimisation des modes de diffusion utilisés pour les appels de groupe en mode "Push to Talk et le mode direct entre terminaux. Une des caractéristiques essentielles des réseaux PMR est le compromis capacité/couverture que l'on cherche à atteindre et à optimiser. Le faible nombre d'utilisateurs opérant sur une large couverture géographique oblige la PMR à travailler avec de larges niveaux de puissance côté station de base et côté terminaux. Cette puissance devient un paramètre particulièrement critique pour ces systèmes PMR évoluant vers la 4G. La montée annoncée des débits permettant d'offrir de nouveaux services aux acteurs de la sécurité publique augmentera en conséquence la consommation énergétique des équipements. Cette thèse constitue une contribution aux travaux centrés sur les concepts « GREEN » émergés depuis trois ans. Ces travaux ont fait l'objet de quelques projets et initiatives européennes (cf. références [59] à [62]), ont donné lieu à quelques spécifications (cf. références [63], [64]) ou sont reportés dans de nombreux articles scientifiques (cf. références [54] à [58]). Dans le cadre de cette thèse, les travaux seront menés avec le souci constant de proposer des solutions devant être intégrées dans les standards 4G en cours de normalisation, ce qui signifie le cas échéant proposer des évolutions auprès des organismes de standardisation correspondants (3GPP/WiMAX Forum/IEEE). Le travail de recherche débutera par une large phase bibliographique permettant de comprendre d'une part les spécificités des réseaux PMR actuels ([8]), d'autre part les solutions 4G publiques en se focalisant principalement sur le standard LTE ([9],[10],[11]). On cherchera dans cette étape à comprendre les adaptations à effectuer: HD-FDD([12],[13]), e-MBMS([14]), IMS ([15]), OMA PoC([16]) mais également les verrous à surmonter du point de vue de la consommation énergétique pour engager la PMR dans la voie 4G. Afin de réduire la consommation énergétique.

Résumé du projet de recherche (Langue 2)

L'objectif de cette thèse de doctorat est de déterminer un ensemble de solutions innovantes permettant de minimiser l'énergie globalement dépensée dans un système PMR orienté 4G. Pour atteindre cet objectif, les activités couvriront plusieurs aspects du problème :

2.1 Optimisations RF L'amplification de puissance demeure le point critique de la conception des étages RF d'un système de communication sans fils notamment au niveau de la signature énergétique dégagée ([17]). Les modulations à enveloppe constante (GSM/GPRS/TETRA/EDGE) ont été progressivement remplacées par celles à enveloppe non constante (EDGE/UMTS/HSPA/LTE). Cette évolution requiert des amplificateurs optimisant le compromis linéarité/rendement tout en intégrant la contrainte de PAPR (Peak to Average Power Ratio) encore raisonnable en EDGE (3dB) mais de plus en plus importante depuis l'UMTS (6 à 10dB). Par ailleurs, plus le PAPR est grand, plus le rendement de l'amplification de puissance diminue augmentant donc la consommation énergétique. Chaque optimisation apportée a un impact sur la durée d'autonomie des terminaux, ce qui dans un contexte PMR se traduit par la durée de mission d'urgence. Dans le cadre de cette thèse, outre les techniques Doherty ([18]), nous nous proposons d'explorer la technique "d'Enveloppe Tracking" ([19],[20],[21]). Selon cette technique, l'optimisation du rendement de l'amplificateur est basée sur l'établissement d'un lien entre la tension d'alimentation de l'amplificateur et le signal à moduler. L'un des défis principaux réside dans la formalisation de ce lien ([22],[23]). Les travaux auront pour objectif, d'une part, de contribuer à cette formalisation et, d'autre part, de déterminer les optimisations nécessaires pour rendre efficace cette approche très prometteuse.

2.2 Schémas MIMO optimisés La bande spectrale utilisée dans les réseaux PMR est basse (400 Mhz en Europe et 700 MHz sur le continent nord américain), si on la compare aux 900 MHz, 1800 MHz, 2000 MHz ou 2600 MHz théoriquement accessibles au monde 2G/3G/4G public. Dans cette zone fréquentielle, les techniques MIMO ([24]) préconisées en 4G ne sont pas très adaptées car, pour espérer obtenir des gains acceptables, une forte decorrélation entre antennes est requise. C'est naturellement en jouant sur la distance entre antennes que cette decorrélation est permise. Mais comme la distance inter antenne à respecter se caractérise en longueur d'onde, dépendante de la fréquence de travail, la conception du réseau d'antenne nécessaire devient extrêmement complexe lorsque l'on se place à 400 ou 700 MHz dans un cadre PMR. Nous explorerons l'usage de techniques nouvelles de type MIMO "Spatial Modulation" ([25],[26]), pour lesquelles une seule antenne parmi N possibles est utilisée à chaque transmission de symbole. Le choix de l'antenne utilisée pour la transmission devient ainsi une source d'information supplémentaire pour le récepteur. Une telle technique permet de bénéficier d'un gain en efficacité spectrale (même s'il est inférieur à ceux des schémas MIMO traditionnels), mais en ayant l'avantage d'ouvrir la voie à une consommation énergétique maîtrisée et à relâcher les contraintes sur le design du réseau d'antennes Tx/Rx aussi bien du côté station de base que du côté mobile.

2.3 Optimisations MAC/RRM Les dimensions MAC (Medium Access Control) et RRM (Radio Resource Management) ont pour mission l'usage et l'accès de la dimension radio à tout mobile ayant décidé de se connecter à une source de transmission/réception jugée attractive. Actuellement, seule la dimension QoS associée à chaque flux usagers est réellement considérée à ce niveau dans les réseaux Radiomobiles publics. Dans cette thèse, nous intégrerons la prise en compte de la logique énergétique dans cette double dimension RRM/MAC ([27]). Le travail portera sur l'étude de nouvelles stratégies, en s'inspirant des évolutions du standard 802.11: EC-MAC ([32]), PAMAS([33]). En effet, plusieurs actions peuvent être menées au niveau de l'admission, de la coordination entre cellules permettant d'optimiser les figures d'interférence, de la coopération entre les réseaux (axe RRM – [28], [29], [30]) mais aussi au niveau d'un scheduling intégrant la dimension énergie (axe MAC – [31]).

2.4 Usage de multiples technologies radio Une manière possible pour diminuer la consommation énergétique serait de s'appuyer sur une technique radio accessible et plus efficace. Cependant, les réseaux PMR sont des systèmes autonomes centrés sur eux-mêmes, ne s'appuyant jamais sur d'autres technologies radio que leur standard natif. Ce projet de recherche vise à l'optimisation du compromis débit offert/énergie dépensée en privilégiant l'identification et l'utilisation de la technique sans fil la plus accessible, la moins consommatrice d'énergie en regard du service PMR à établir. Le premier verrou à lever sera la mise au point d'une stratégie d'identification de technologies radio voisines accessibles et attractives. Ce verrou sera d'autant plus important dans le cas d'une limitation de l'énergie à y consacrer. Une fois déterminée la présence de voisins acceptables la logique de resélection ou de handover (dit aussi vertical handover) doit être pensée non plus par rapport à un besoin de QoS mais aussi par rapport à une exigence d'efficacité énergétique ([34] à [41]). Enfin, une voie coopérative peut être envisagée entre ces solutions radio offertes aux mobiles, allant de l'agrégation de flux à la transmission/réception conjointe en passant par des logiques locales de type "peer to peer", afin de réduire la signature énergétique des usagers PMR mobiles ([42], [43]).

2.5 Apport des Femtocells Les cellules PMR sont a priori grandes. Bien plus grandes que leurs homologues 3G/4G publiques déployées sur la même aire géographique. La faible densité de population, l'offre de services très bas débits (voix/short data) et le coût d'une densification du réseau pour le client final ont conduit, d'une part, au compromis capacité/couverture actuellement observé sur les réseaux PMR et, d'autre part, au fait que ces réseaux soient accessibles par l'usage de puissance fortes aussi bien du côté des stations de base que des terminaux. Avant de remplacer définitivement la PMR actuelle (que l'on peut qualifier de 2G), la PMG 4G se devra de coexister avec ce réseau. Le client PMR acceptera une légère sur-densification de son réseau 4G mais il souhaitera au maximum réutiliser les sites et les cellules existantes. Comme l'exigence de débit a augmenté, l'usage de plus fortes puissances pour garantir ce compromis capacité/couverture risque d'aboutir à des niveaux irréalistes et inacceptables notamment pour les terminaux. La coexistence PMR 2G/4G peut être facilitée par l'usage de femtocells (Home-eNodeB dans la logique LTE/3GPP [44],[45]). Il s'agit de mini stations de base 4G, que l'on vient positionner en bordure de cellule et qui seront particulièrement utiles pour les mobiles loin de la station de base principale. Leur apport peut être appréhendé dans le cadre du point 2.4 précédent via la triple logique de resélection/handover/ coopération ([46], [47]). Un point d'optimisation possible réside dans l'usage de techniques proposées en 2008 et fédérées sous l'expression "Interference Alignment" (IA, [48], [49]). L'approche classique pour résoudre le problème d'un canal potentiellement utilisé par K usagers est d'offrir une logique d'accès multiple basée sur l'orthogonalisation du canal par la dimension temps (TDMA), fréquence (FDMA), spatiale (SDMA) ou par un mélange des trois dimensions. On divise ainsi la capacité du canal est équitablement répartie entre les K usagers. Chaque usager peut espérer obtenir 1/K ème de la ressource globale. Avec la technique IA, c'est théoriquement la moitié de la ressource globale que peut espérer chacun des K usagers amenant la capacité globale à être K/2 fois plus importante qu'avec les techniques de partage traditionnelle et même de graduellement augmenter proportionnellement aux nombres d'usagers K. D'un point de vue théorique, ce concept est désormais largement validé ([50],[51],[52]), mais d'importantes restrictions sont nées à l'approche IA puisque par nature une station accueille peu de connections (au plus 8) et n'est réellement attractive (via la faible puissance qu'elle offre) que pour des usagers proches ([53]). Compte tenu des objectifs de réduction de consommation énergétique mentionnés dans ce travail, nous envisageons ainsi d'étudier, qualifier et optimiser l'apport de cette technique.

Informations complémentaires (Langue 1)

Cette thèse est réalisée dans le cadre du projet européen GreenNet.

Informations complémentaires (Langue 2)

Thèse réalisée dans le cadre d'un contrat CIFRE avec CASSIDIAN, avec co-encadrement de M. Christophe Gruet.