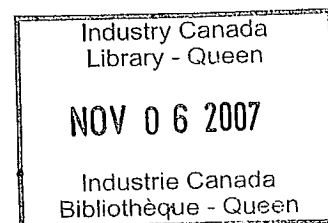


Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil



Rédaction : Nikola Sydor-Estable
Novembre 2006
Direction générale des technologies de l'information et des communications
Industrie Canada
Sydor-Estable.Nikola@ic.gc.ca
613 948-2779

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

À l'échelle mondiale, le portrait du sans fil est caractérisé, par une évolution sans fin, d'innovations rapides et de changements technologiques. Ces innovations agissent souvent comme un élément perturbateur pour les fournisseurs de services, puisque les forces du marché poussent les entreprises de télécommunications à mettre en place des réseaux toujours plus sophistiqués afin de demeurer compétitifs. Cependant, ces mêmes entreprises peuvent aussi générer de gigantesques profits en implantant des technologies qui permettent de faire un usage plus efficace du spectre disponible, et peuvent offrir une meilleure portée pour leurs clients, un service de qualité et un transfert de données à haut débit. Les fournisseurs d'équipement sont donc très motivés pour mettre au point de nouvelles technologies, alors que les avancées scientifiques ouvrent la voie à de nouvelles possibilités.

Ce document est une description de certaines des technologies et des nouvelles tendances qui se dessinent, et un aperçu de celles qui pourraient dominer le marché dans un avenir rapproché. Cette liste ne se veut pas exhaustive et même si ces nouveautés semblent être le centre d'attraction du moment, une technologie pleine de promesses où à la fine pointe du développement peut être rapidement déclassée par une autre avancée totalement imprévue.

Technologie Wi-Fi – Tendances pour le maillage de réseau

La *Wi-Fi Alliance* a été fondée vers la fin des années 1990; elle est composée de chefs de file dans le développement d'équipement qui répond à la norme 802.11 de l'IEEE pour l'Internet sans fil. Le Wi-Fi est en réalité un nom de marque enregistré avec la *Wi-Fi Alliance*, et la certification Wi-Fi est réservée aux produits qui se conforment aux normes de la *Wi-Fi Alliance*, assurant ainsi l'interopérabilité des équipements de réseautage de la norme 802.11. Même si le Wi-Fi est un nom de marque, le présent document désigne l'équipement basé sur la famille de normes 802.11 de l'IEEE.

L'utilisation du Wi-Fi dans les *W-LAN* (ou commutateurs de réseau sans fil comme, par exemple, les routeurs sans fil) est assez répandue et, pour cette application, le Wi-Fi peut être considéré comme une technologie arrivée à maturité. L'utilisation de cette technologie dans les réseaux maillés sans fil, qui est une application relativement nouvelle, peut cependant augmenter la zone desservie pour un point d'accès Wi-Fi.

Les réseaux maillés deviennent une méthode efficace pour faciliter le réseautage sans fil dans une zone donnée. Ils contrastent avec les autres configurations de réseaux sans fil, comme les réseaux point à point, alors que chacune des liaisons nécessite une interconnexion spécialisée (comme les liaisons Internet fixes, ou les liaisons sans fil qui utilisent un routeur sans fil pour assurer la connexion), ou les liaisons point à multipoint qui permettent que de nombreux appareils soient branchés à un seul point d'accès (comme les commutateurs traditionnels de réseau sans fil ou les réseaux cellulaires). Dans un réseau maillé, la zone est desservie par des noeuds qui relaient des paquets d'information aux points d'accès (lorsque le réseau est branché à Internet ou à un plus gros réseau de communications). Les points d'accès peuvent aussi servir de noeuds,

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

comme le peut aussi chacun des clients du réseau. Cette transmission d'informations entre les divers clients, nœuds et points d'accès (des sauts) sont la force des réseaux maillés, puisqu'elle peut être utilisée pour contourner les « congestions » (comme lorsque la bande passante disponible à un certain point d'accès est limitée ou lorsqu'un nœud ne fonctionne pas); ces réseaux permettent aussi de faire circuler les communications autour des obstacles physiques (en utilisant les nœuds pour contourner les obstacles). Les réseaux maillés sans fil peuvent être fixes ou mobiles, et peuvent contenir certaines connexions filaires. Les réseaux maillés n'ont pas été beaucoup déployés; ils sont utilisés dans les hôpitaux pour faciliter les communications mobiles destinées aux médecins et aux infirmières; ils servent aussi dans les environnements manufacturiers afin de contrôler et surveiller les processus industriels (ils permettent de relier différents types de capteurs et de systèmes de contrôle), et ils sont utiles pour les applications militaires en favorisant de solides communications mobiles pour les unités de campagne.

Avec la technologie actuelle, les réseaux maillés sont souvent beaucoup trop onéreux à mettre en place, ce qui a limité leur déploiement. Dans l'immédiat, les ventes de réseaux maillés seront confinées à quelques marchés verticaux, comme les soins de santé, l'enseignement supérieur et l'administration militaire.¹ L'augmentation des dépenses dans le secteur des communications sans fil de ces segments de marché devrait être le principal moteur de croissance au cours des prochaines années. De récentes avancées vers une nouvelle norme de réseautage maillé (le 802.11s) devraient accélérer le déploiement futur de réseaux maillés sans fil.

Kazam Technologies prévoit que le marché des réseaux maillés sans fil Wi-Fi croîtra pour atteindre une valeur de 976 M\$ CA en 2009.² Le Canada possède une solide expertise dans ce domaine et l'industrie canadienne du sans fil devrait tirer profit de la croissance de la demande. Plusieurs entreprises canadiennes conçoivent des équipements destinés aux réseaux maillés, dont *Tranzeo Wireless Technologies*, *Nortel* et *BelAir Networks*.

Tendances vers les réseaux sans fil de technologie d'accès WiMAX

Comme la *Wi-Fi Alliance*, le *Forum WiMAX* (WiMAX pour *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) est un consortium industriel composé d'entreprises dominantes qui vise à promouvoir et certifier la compatibilité et l'interopérabilité des équipements de transmission sans fil à haut débit à longue portée, qui se conforment à la famille des normes 802.16 de l'IEEE. Le WiMAX n'est pas une technologie; c'est plutôt une certification accordée aux équipements qui répondent aux normes du *Forum WiMAX*. Pour simplifier la lecture, les termes *WiMAX* et *technologie WiMAX* sont utilisés pour décrire la technologie de transmission sans fil à haut débit à longue portée.

Le WiMAX est semblable au Wi-Fi, mais avec une plus grande zone desservie et une vitesse supérieure. Certains voient le WiMAX et le Wi-Fi comme des concurrents, mais

¹ Faulkner Information Services, *Mesh Networking Market Trends*, 2005. Doc. ID #00018896

² Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006. p.213

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

les deux technologies pourraient finalement se compléter, par la connectivité du WiMAX qui fournirait des liaisons terrestres aux points d'accès du Wi-Fi (c'est-à-dire la connexion des réseaux locaux du Wi-Fi et des réseaux maillés, aux principaux réseaux de communications). En plus de sa capacité à servir de liaison terrestre sans fil pour les réseaux locaux, une des plus grandes possibilités que possède le WiMAX est de rendre facile et peu dispendieux l'accès aux applications mobiles à large bande; la Corée du Sud a déjà commencé à déployer le WiBro, une technologie d'accès aux applications mobiles à large bande semblable au WiMAX. La technologie, qui dessert une zone étendue et dont le matériel WiMAX a l'avantage d'être relativement peu dispendieux et facile à installer, pourrait faciliter la connexion à large bande dans les régions rurales ou éloignées qui n'ont pas accès aux services Internet terrestres à large bande.

La technologie d'accès WiMAX pourrait aussi être utilisée comme dernière partie d'une connexion sans fil à large bande, en remplacement du câble et de la ligne d'accès numérique (DSL). Les réseaux métropolitains, ou *MAN*, ont une portée géographique inférieure aux réseaux longue distance, mais supérieure aux réseaux locaux (LAN) puisqu'ils relient ces réseaux locaux. Même s'ils peuvent être utiles pour créer, par exemple, des réseaux haute vitesse qui desservent plusieurs édifices à bureaux, les réseaux métropolitains peuvent représenter une trop forte dépense pour un grand nombre d'entreprises. Les réseaux locaux sans fil issus de la technologie d'accès WiMAX peuvent aider à rentabiliser la mise sur pied de ce type de réseau et ainsi favoriser une plus grande adoption de la technologie. Il existe deux principales technologies d'accès WiMAX qui sont conformes aux normes de l'IEEE : 802.16-2004 pour les applications sans fil fixes (qui permet aux résidences et aux entreprises d'avoir accès à la large bande) et 802.16-2005 pour les applications sans fil mobiles (semblable à celle des réseaux cellulaires).

Même si certaines caractéristiques de cette technologie d'accès sont encore en développement, le *Forum WiMAX* (un consortium qui regroupe plus de 250 entreprises de services de télécommunications et de fourniture de matériel, et qui cherche à stimuler l'adoption de la technologie d'accès WiMAX) est en pourparlers avec plusieurs gouvernements afin de garantir l'attribution des bandes de fréquences pour les applications WiMAX; l'attribution des mêmes bandes de fréquences à l'échelle mondiale aidera le déploiement de la technologie d'accès WiMAX. Comme il a déjà été mentionné, le WiMAX peut améliorer la technologie Wi-Fi et cette caractéristique devrait en accélérer le déploiement. Dans son analyse, *Faulkner* prévoit que la technologie d'accès WiMAX devrait suivre une courbe d'adoption semblable à celle du Wi-Fi et qu'elle devrait atteindre sa maturité vers 2008.³

La croissance du marché du WiMAX sera influencée par un certain nombre de facteurs : les questions réglementaires, l'interopérabilité des équipements, le coût des équipements et le niveau de coopération entre les différents intervenants tel que les fournisseurs d'équipement et, les fournisseurs de services, et les organismes de réglementation gouvernementaux. Il est néanmoins prévu que la demande soit forte pour cette technologie d'accès, lorsque les produits deviendront disponibles sur le marché. *Kazam*

³ Faulkner Information Services. *WiMAX Technology*, 2005. Doc. ID #00018874

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

Technologies estime que la valeur mondiale du marché du WiMAX dépassera les 3 G\$ CA en 2009.⁴

Le Canada est en excellente position pour tirer profit de sa participation au futur marché de la technologie d'accès WiMAX. Plusieurs entreprises canadiennes, dont *Redline Communications*, *Wavesat* et *Vecima Networks* (autrefois connue sous le nom de *VCom*), procèdent actuellement à la R-D et à la commercialisation de produits issus de la technologie d'accès WiMAX. Le système de distribution d'accès à large bande MILTON, développé par le Centre de recherche sur les communications du gouvernement fédéral, est compatible au WiMAX; de plus, *Wavesat* a récemment annoncé qu'elle avait obtenu la toute première certification accordée par le *Forum WiMAX* pour des installations d'abonné WiMAX, lorsque ses produits à large bande sans fil fixes ont été homologués au *WCA Symposium* de San Jose en Californie, en janvier 2006.

« Vienne, Autriche – 22 mai 2006) – *Redline Communications Inc* (un chef de file dans la fourniture d'accès évolué à large bande sans fil et de solutions pour liaisons terrestres) et *Wavesat* (un concepteur de puces WiMAX, de logiciels et d'outils de développement) présentent en première mondiale une démonstration en direct d'un réseau portable WiMAX, appuyé par des produits interopérables WiMAX. »⁵

En 2005, *Nortel* a déployé en Alberta le premier réseau commercial WiMAX, dans le cadre d'une initiative d'accès à large bande du gouvernement provincial (*Alberta SuperNet*); l'objectif était de fournir un accès à large bande sans fil aux communautés du sud-est de l'Alberta. *Inukshuk*, une coentreprise de *Bell Canada* et de *Rogers Communications*, fournit aussi un accès à large bande sans fil aux centres urbains, basé sur les normes pré-WiMAX, avec des équipements certifiés produits par *Nextnet Wireless* (une entreprise américaine, maintenant filiale de *Motorola*).

Intel, qui est le chef de file pour le développement et le déploiement WiMAX, est en position pour être le grand gagnant de l'adoption généralisée de cette technologie (comme elle l'a été avec le Wi-Fi, pour son rôle prépondérant au début du développement de cette technologie); l'entreprise est aussi un fournisseur de premier plan de composantes WiMAX. Parmi les autres entreprises actives dans la production de composantes ou d'équipements WiMAX, notons : *Fujitsu*, *Division des semiconducteurs Philips*, *Broadcom*, *Motorola*, *Aperto Networks*, et les entreprises canadiennes *Nortel*, *Wavesat*, *Wi-LAN*, *Vecima Networks*, *DragonWave*, *Redline Communications* et *SiGe Semiconductor*.

⁴ Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006. p.144

⁵ Site Web de Redline Communications, *Redline and Wavesat Demonstrate World's First Portable and Interoperable WiMAX Network*, <http://www.redlinecommunications.com/news/pressreleases/2006/052206a.html>, mai 2006.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

Des recherches effectuées par la firme de consultants *Kazam Technologies* indiquent que le Canada est un chef de file dans ce secteur d'activités, avec de nombreuses entreprises qui poursuivent la R-D et la commercialisation des produits WiMAX.⁶

Progression des technologies cellulaires

À ses débuts, la téléphonie cellulaire reposait sur l'attribution de petites fractions de fréquences du spectre pour chacune des conversations. Cette méthode, nommée « accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) », porte maintenant le nom de téléphonie cellulaire analogique. Au cours des années 1990, deux nouvelles technologies cellulaires (numériques) sont apparues, rendant plus efficace l'utilisation du spectre; la première (accès multiple par répartition dans le temps-AMRT) attribue un petit créneau temporel en cycle pour chacune des conversations, permettant à plusieurs usagers de partager chacun des canaux de fréquence. La deuxième combine numériquement tous les usagers sur la même fréquence et assigne un code spécifique à des paquets (fragments de données vocales numérisées) pour chacune des conversations afin qu'elles soient reçues et déchiffrées par l'appareil récepteur (accès multiple par répartition de code-AMRC). Il existe plusieurs normes AMRT, qui comprennent les normes IS-54 et IS-136 en Amérique du Nord, et la norme GSM (*Global System for Mobile communications*, ou le réseau mondial de téléphonie mobile) qui est apparue en Europe. La différence entre ces normes tient à la largeur de bande (en kHz) et au nombre de créneaux temporels par canal. Même si ses origines sont Européennes, le *GSM* est aujourd'hui utilisé sur toute la planète et la norme qui connaît la plus forte croissance parmi les technologies cellulaires de deuxième génération (2G).

La troisième génération (3G) de technologie cellulaire est actuellement à divers stades de développement et de déploiement. La technologie AMRC a engendré les technologies *CDMA2000 1x-EV-DO* et *CDMA2000 1x-EV-DV*; la technologie AMRC large bande (*WCDMA*) se distingue comme une évolution de la norme *GSM*. Il est important de noter que ces deux normes de la troisième génération sont issues de la technologie d'interface hertzienne AMRC. Les systèmes de communications cellulaires 3G permettent des débits de transmission de données beaucoup plus rapides entre les appareils, stimulant des services de transmission de données comme la diffusion de signaux télévisuels sans fil et la lecture en transit de fichiers visuels (video streaming). De ces deux technologies en continu, le déploiement de la *CDMA2000 1x* est beaucoup plus répandu que celle de l'AMRC large bande. L'UIT a recensé 115 millions d'abonnés au *CDMA2000 1x* en 2004, contre 18,8 millions d'abonnés pour l'AMRC large bande.⁷

Il existe cependant la possibilité que la large bande sans fil offerte par l'évolution de la technologie AMRC large bande, l'accès par paquets en liaison descendante haut débit (accès *HSDPA*), lui permette de dominer le marché. L'accès *HSDPA* est une liaison

⁶ Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006. p. 164

⁷ Site Web de l'Union internationale des télécommunications, *CDMA 2000 1X Vs. W-CDMA Subscribers Worldwide*, <http://www.itu.int/osg/spu/newslog/CDMA+2000+1x++Versus+WCDMA+Subscribers+Worldwide.aspx>, octobre 2006.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

descendante modifiée de la technologie AMRC large bande, qui offre un débit de transmission de données beaucoup plus rapide. Il n'est toujours par établi si la technologie 3G concurrencera la distribution à large bande WiMAX, ou si les deux technologies se complèteront. *Nortel* travaille au développement de l'accès *HSDPA*, et a récemment (en mai 2005) mis en place un réseau d'essai en Israël, conjointement avec une entreprise de TIC du pays. Des essais sur une nouvelle évolution des réseaux AMRC large bande sont en cours, l'accès par paquets en liaison montante haut débit (*HSUPA*); il est possible qu'elle puisse excéder les capacités des réseaux AMRC large bande, particulièrement pour les applications à délais de réaction très courts comme la voix sur IP mobile (VoIP).

Entre-temps, le déploiement commercial du 3G au Canada (*Bell* et *Telus*) se poursuit depuis 2005. *Rogers*, et son fournisseur d'équipement *Ericsson*, ont commencé à mettre en place l'AMRC large bande 3G (pour être plus précis, ce sera un réseau 2,5G, puisque le débit de transmission est inférieur à la norme 3G établie par l'UIT). Avec ces améliorations au réseau, *Rogers* pourra aussi offrir des microcartes et des combinés téléphoniques supérieurs pour tirer avantage des améliorations du réseau (qui comprend le nouveau BlackBerry de *RIM*).

Les chefs de file internationaux du marché de l'équipement 3G sont *Alcatel*, *Ericsson*, *Lucent Technologies*, *Motorola*, *NEC Corporation*, *Nokia*, *Samsung Electronics* et *Siemens*. *Nortel* concentre ses efforts sur la technologie CDMA2000 et sur d'autres technologies sans fil (comme le WiMAX et le Wi-Fi en réseau maillé), et a cédé sa division 3G/UMTS (AMRC large bande) à *Alcatel*. Certaines entreprises canadiennes plus petites, comme *Til-Tek Antennae* et *SiGe Semiconductor*, sont aussi des intervenants dans le secteur du 3G.

Voix sur IP mobile (VoIP)

Les anciens circuits de transmission de la voix utilisaient des équipements spécialisés pour numériser, transmettre et activer les dispositifs d'appel pour les communications vocales. Le lien physique qui est associé à ce service (comme la téléphonie) fixe la limite de ce système. La voix sur IP mobile (ou *Voice over Internet Protocol — VoIP*) est une technologie différente de la téléphonie traditionnelle par la conception de son réseau. Les commutateurs de réseaux IP échangent les messages (ou paquets) sur tous les chemins du réseau, alors que les anciens réseaux utilisaient des circuits spécialisés. La technologie d'échange de paquets fournit habituellement une plus grande efficacité, en matière de largeur de bande, que les circuits dédiés.

Les anciens systèmes (ou hérités) exigent différents types de réseaux pour transmettre les différents types de données. L'entreprise de téléphonie transmettait de la voix sur le réseau téléphonique public commuté (RTPC), alors que les signaux de télévisions étaient transmis dans le câble coaxial de l'entreprise de câble, et que les transmissions sans fil se faisaient sur un réseau cellulaire par une entreprise sans fil. La téléphonie sur Internet (ou téléphonie IP) a tout changé. Le protocole Internet (IP) peut voyager par ligne commutée, par ligne d'accès numérique (DSL), par câble coaxial à l'aide du modem-câble, et par les technologies cellulaires 3G. Le protocole Internet transmet la voix, les données et la vidéo sur un seul réseau : le réseau IP.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

Pour simplifier, l'information numérisée (voix, données ou vidéo) est transportée sur le réseau fédérateur large bande jusqu'à destination. Pour la téléphonie IP, la voix est d'abord numérisée par un processeur de signal numérique contenu dans une passerelle, un téléphone IP ou un ordinateur; la voix numérisée est alors fractionnée (par exemple, en fragments de 20 ms) et encodée avec un numéro de séquence unique. Les fragments sont alors emballés dans un paquet IP contenant les adresses IP de la source et du destinataire, et ils sont envoyés dans le réseau. Des routeurs à l'intérieur du réseau déterminent quel chemin, les paquets suivront pour se rendre à destination. Lorsque les paquets arrivent à destination, ils sont assemblés dans l'ordre initial et convertis en son par un processeur de signal numérique.

Même s'il est possible que les communications sur réseau IP soient transmises sur le réseau Internet public, il demeure que c'est une méprise fréquente de penser que c'est le seul mode de transmission possible. Au niveau d'une entreprise, il existe plusieurs choix pour le déploiement d'un réseau IP; elle peut bâtir son propre réseau spécialisé en utilisant des circuits loués ou spécialisés, ou elle peut opter pour une solution offerte par un fournisseur de services: un service IP géré, qui pourrait être un réseau de commutation multiprotocole par étiquette (*MPLS*). Une combinaison des solutions proposées ci-dessus peut être utilisée pour interconnecter les différents sites d'une entreprise. Les transmissions vocales privées sur IP peuvent se faire par autocommutateur privé (un IP-PBX, qui est en fait un commutateur privé) entre les divers points du réseau IP de l'entreprise. Ces réseaux privés exigent cependant d'avoir un accès au réseau public pour atteindre des destinations hors réseau.

Les transmissions vocales sans fil sur IP doivent utiliser le Wi-Fi pour relier le combiné téléphonique au réseau IP, qui transmet alors le signal dans le réseau. Pour tirer avantage des économies liées aux appels IP, le consommateur doit être près d'un point d'accès lorsqu'il veut téléphoner. Les téléphones cellulaires qui ont accès au Wi-Fi peuvent généralement alterner entre les transmissions sur Wi-Fi et les transmissions cellulaires, en fonction de l'emplacement, et permettent, lorsque possibles, à l'appelant de faire ses appels sur IP et sur le réseau cellulaire lorsqu'il le faut. L'adoption du sous-système multimédia IP (*IMS*) pour la technologie cellulaire 3G pourrait améliorer le service, les caractéristiques et la zone desservie pour les transmissions vocales sans fil sur IP. Plusieurs entreprises, comme *ZTE*, *Nortel* et *Sierra Wireless*, sont à des stades variés de développement et de déploiement de cette technologie.

Les transmissions vocales sur IP peuvent aussi être étendues à un réseau de radiocommunication. La radio sur réseau IP (RoIP) peut aussi offrir certaines économies par rapport aux réseaux de radiocommunication classiques. De plus, les paquets d'informations se prêtent bien aux systèmes hiérarchiques de communications (lorsque les transmissions de certaines radios ont la priorité sur la transmission des autres radios); la RoIP peut donc être utile aux réseaux hiérarchisés, comme les équipes d'intervention d'urgence.

Les réseaux mobiles large bande de haute capacité, conformes aux normes 802.15-2005 (WiBro et WiMAX mobile) pourraient convenir aux transmissions vocales sur IP de la

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

large bande sans fil.⁸ Récemment, *Samsung* a procédé au lancement d'un téléphone mobile pour les réseaux WiBro (WiMAX); les autres entreprises de télécommunications vont certainement suivre le pas. De plus, *Sprint* vient d'annoncer son intention de déployer un réseau WiMAX aux États-Unis, qui permettra les connexions mobiles sur Internet et les transmissions vocales sur IP.

Les combinés téléphoniques

Puisque les réseaux 3G (et, avec le temps, les réseaux 3.5G et 4G⁹) sont développés et déployés et qu'il existe une convergence accrue de technologies (les réseaux cellulaires à large bande, les transmissions vocales sur IP, etc.), des services de contenu de plus en plus sophistiqués seront offerts sur ces réseaux. Cette situation a des effets évidents et directs sur la technologie des combinés, qui devront pouvoir être offerts et capables de tirer avantage de ces nouveaux services que les entreprises de télécommunications voudraient offrir. La dimension de l'écran et du clavier est un facteur limitant pour le réseautage et la visualisation du contenu sur les appareils mobiles; il peut être peu plaisant ou difficile de regarder des données sur un écran minuscule ou de taper ses messages sur un clavier de petite taille. Il faut généralement accepter le compromis entre la portabilité et la fonctionnalité, mais plusieurs entreprises travaillent au développement d'écrans repliables qui auraient l'avantage d'être de bonne dimension et transportable. Dans l'ensemble, la conception physique des combinés mobiles (ANP et téléphone cellulaire) s'est stabilisée.

Les téléphones hybrides sont maintenant sur le marché (des cellulaires qui ont accès au Wi-Fi et qui peuvent faire des appels sur IP lorsqu'ils sont près de points d'accès et être transférés sur les réseaux cellulaires lorsqu'ils sont en dehors de ces zones). Ces téléphones peuvent réduire les factures de téléphonie, ainsi que permettre un accès beaucoup moins dispendieux au furetage Internet si l'appareil est utilisé en mode mobile (si l'appareil accède à Internet seulement dans un point d'accès sans fil). Plusieurs défis doivent être relevés dans le domaine des téléphones hybrides Wi-Fi, comme le passage entre les réseaux Wi-Fi et cellulaire, la sécurité, le brouillage lié aux autres appareils qui fonctionnent sur la bande sans licence Wi-Fi, et les coûts. Néanmoins, le déploiement se poursuit en Asie, en Europe et en Amérique du Nord, et il devrait stimuler la demande pour ces hybrides.

La convergence se poursuit entre les téléphones intelligents (qui intègrent les fonctions d'un ordinateur portatif), les cellulaires à reconnaissance vocale, à activation par la voix, et les ANP à reconnaissance des données. Alors que les téléphones intelligents deviennent toujours plus sophistiqués, avec des applications plus élaborées et des services pour y répondre, il devient possible qu'ils empiètent le marché des ANP, comme le BlackBerry de *RIM*. Certains avancent que la nouvelle génération de téléphones intelligents déclassera les ANP. À l'inverse cependant, les ANP à activation vocale offrent les mêmes services de téléphonie que ces cellulaires; de plus, l'ANP est un plus

⁸ Silicon.com, *VoIP Could Be The Key To Wimax*, <http://networks.silicon.com/mobile/0,39024665,39127948,00.htm>, février 2005.

⁹ Il faut souligner que contrairement au 2G et au 3G, le 4G ne désigne pas de norme établie, mais vise plutôt une technologie qui remplacera ou améliorera les technologies cellulaires actuelles. Elles peuvent inclure, par exemple, la transmission vocale mobile sur IP WiMAX.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

gros appareil qui rend l'entrée de données, l'envoi de courriels et la visualisation d'informations beaucoup plus plaisants que le petit cellulaire. Sans oublier que le prix des téléphones intelligents est souvent plus élevé que le prix combiné d'un ANP et un cellulaire classique. Pour résumer, les deux types d'appareils devraient coexister à moyen terme, mais il est prévu, à long terme, qu'ils convergeront pour ne devenir qu'un seul appareil.

Les téléphones intelligents de l'avenir pourront faire fonctionner plus d'une application au contenu graphique élaboré. Si les enjeux liés au coût élevé de ces appareils peuvent être réglés, alors la demande pour les appareils et pour les services augmentera; les concepteurs de composantes graphiques (comme *ATI Technologies* récemment achetée par *AMD*) en sortiront gagnants. Il est prévu que d'ici quelques années, 25 % des téléphones vendus seront dans la catégorie des téléphones intelligents, suivant la courbe descendante des coûts et la courbe ascendante de l'évolution des appareils (intégration au *Bluetooth*).¹⁰

La technologie des visiophones est sur le marché depuis quelque temps. Le premier visiophone a été inventé en 1955 par l'inventeur philippin Gregorio Zara; cette technologie avait cependant été commercialisée d'une toute autre façon à l'époque... L'arrivée de la technologie des visiophones remonte aux démonstrations faites par AT&T il y a environ 40 ans. Ces dernières années, la conception d'appareils plus sophistiqués, ainsi que les avancées technologiques en matière de réseau et de capacité, a permis à la visiophonie d'être utilisable avec des terminaux mobiles. Cependant, de nombreux problèmes restent à régler (comme la stabilité, la petitesse de l'écran et les délais d'attente), avant d'assister à la croissance à long terme de la demande pour cette technologie, du moins comme outil de vidéoconférence !

La troisième génération des réseaux cellulaires a rendu possible la diffusion de vidéos en continu sur les appareils mobiles et cette technologie est de plus en plus acceptée et adoptée. Parmi les autres moyens de transmission vidéo, citons le téléchargement de contenu Internet sur le réseau Wi-Fi (ou bientôt sur le WiMAX). Il existe encore une autre méthode plus efficace (pour l'utilisation du rare espace sur le spectre); il suffit de posséder un cellulaire qui capte les signaux télévisuels avec, par exemple, la norme DVB-H (*Digital video Broadcast - Handheld*). Les réseaux DVB-H (radiodiffusion vidéo numérique sur combiné) sont déployés aux États-Unis et dans plusieurs pays européens. La vidéo en continu et la vidéophonie sont des évolutions technologiques positives, du moins pour les concepteurs et les fabricants de cartes graphiques, et pour les entreprises spécialisées en infrastructures pour le sans fil.

Même si la sophistication technologique et la capacité des combinés téléphoniques conçus pour les marchés développés devraient se poursuivre, il existera aussi une demande pour des appareils mobiles bon marché à l'intention des marchés émergents. Le *GSM Association's Emerging Market Handset program* (ou Programme de combinés pour les marchés émergents de l'Association GSM) vise à fournir ces combinés bon

¹⁰ Faulkner Information Services, *Smartphones Market Trends*, 2005. Doc. ID #00018004.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

marché (moins de 30 \$US) aux économies moins développées.¹¹ La chute des prix pour les combinés aux fonctions simples devrait stimuler la conception d'infrastructures de réseaux dans les marchés émergents. Le Canada possède une certaine expertise dans le développement et le déploiement d'infrastructures dans le domaine du sans fil; des efforts visant à concevoir des infrastructures très abordables de technologie sans fil permettraient à l'industrie canadienne de pénétrer des économies souffrant d'un sérieux sous-développement et qui ont rarement reçu beaucoup d'attention.

Il existe aussi des entreprises canadiennes qui conçoivent et fabriquent des combinés mobiles, comme *RIM* (fabricant du BlackBerry) et *Ascalade Communications*, qui conçoit et vend des téléphones sans fil de transmission vocale sur IP pour PC. La croissance continue de la demande de connectivité sans fil fournira de futures occasions d'affaires pour ces entreprises.

Puisque les combinés sont appelés à remplir plus de fonctions, la demande en énergie augmente aussi. Réussir à trouver l'équilibre entre la puissance et la taille des piles est un enjeu crucial; il est assez évident qu'à l'avenir les concepteurs et les fabricants y consacreront beaucoup d'attention. Les cellules alimentées au méthane pourraient être une possibilité (les entreprises japonaises *AquaFairy* et *DoCoMo* ont déjà proposé des solutions aux marchés). Récemment, des chercheurs de l'Université de Toronto ont conçu un système photovoltaïque issu de la nanotechnologie qui peut être intégré aux fibres des vêtements : les vêtements deviendraient une source d'énergie solaire, utilisable pour alimenter les appareils sans fil.¹²

Communications par satellite

Le Canada était, et continue d'être, un chef de file mondial dans le domaine des communications par satellite. Dernièrement, les satellites ont commencé à démontrer leur utilité pour fournir l'accès à Internet dans les régions éloignées qui sont privées de la large bande. Le satellite canadien ANIK F2 fournit l'accès à Internet à de nombreuses communautés canadiennes et américaines; le satellite ANIK F3 devrait être lancé en 2006.

Même si les satellites ont la capacité de brancher rapidement de grandes régions géographiques avec un minimum d'infrastructures (le client n'a besoin que d'une petite soucoupe et d'un modem; les infrastructures requises se limitent à un petit appareil qui transmet et reçoit le signal Internet du satellite), il existe aussi des problèmes technologiques qui sont difficiles à corriger : les réparations et les mises à jour sont impossibles, puisqu'elles nécessitent une mission spatiale. Avec des vitesses de téléchargement vers l'amont de 2 Mb/s et de 0,5 Mb/s en aval (avec ANIK F2), la connexion internet par satellite est plus lente que d'autres types d'accès à Internet (comme la DSL).

¹¹ Site Web du Programme de combinés pour les marchés émergents, *GSM Association Forges Sub 30\$ Mobile Phone Segment for Developing Countries*, http://www.gsmworld.com/emh/news/emh2_press_gsma270905.html, septembre 2006.

¹² Site Web de la Canadian Broadcasting Corporation (CBC), *Solar Revolution*, <http://www.cbc.ca/toronto/features/solar/sargent.html>, décembre 2006.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

Les plates-formes stratosphériques équipées de matériel de télécommunications pourraient être des solutions de rechange aux satellites. Elles sont moins dispendieuses à lancer qu'un satellite géostationnaire et peuvent être ramenées sur terre pour des mises à jour périodiques et pour l'entretien. Leur plus faible altitude (juste sous l'orbite terrestre) réduit les délais d'attente puisque la transmission des données voyage sur une plus courte distance et améliore grandement la vitesse de téléchargement, particulièrement en amont. Les intercommunications en sont considérablement améliorées. Cependant, une plate-forme ne couvre pas une aussi grande zone géographique qu'un satellite de télécommunications.

Les plates-formes stratosphériques ne sont pas sans problèmes; certains perçoivent le coût d'entretien de ces dirigeables comme un obstacle majeur. De plus, les grands édifices des régions urbaines pourraient bloquer la réception (comme s'ils faisaient de l'ombre); il faudrait alors des infrastructures additionnelles pour rediriger les signaux d'un récepteur au sommet de l'édifice vers les combinés et les appareils au sol (les réseaux Wi-Fi pourraient être la solution).

Technologie de bande ultralarge (UWB)

L'UWB peut transmettre à très haut débit les données, mais seulement sur une courte distance. Cette technologie est idéale pour le branchement de divers appareils électroniques (comme un téléviseur et une chaîne stéréophonique), ou pour activer par le réseau sans fil les clés USB.

Cette technologie utilise simultanément plusieurs fréquences; elles font souvent partie bandes de fréquences autorisées. En raison de la faible distance parcourue par les signaux de l'UWB les situations de brouillage avec les autres réseaux ne sont pas problématiques; elles peuvent cependant devenir conflictuelles lorsque les limites d'émission UWB sont choisies incorrectement.

Même si l'UWB est utile pour les réseaux personnels, sa portée limitée pourrait restreindre l'utilisation de cette technologie. La convergence avec la technologie Bluetooth pourrait en accélérer l'adoption, en obligeant la création d'une norme et en permettant la compatibilité rétroactive de l'UWB et de Bluetooth.

Deux groupes importants font partie de cette industrie : *WiMedia Alliance* (menée par *Intel*) et le *Forum UWB* (mené par *Motorola*); les deux parties ont des vues divergentes sur la norme qui devrait être adoptée. Cette mésentente sur l'adoption de normes a quelque peu freiné le déploiement commercial de la technologie. Si cette mésentente et d'autres questions de réglementation étaient surmontées, la technologie UWB pourrait trouver sa place dans certaines applications spécifiques.

Le groupe de consultants *Kazam Technologies* souligne que le Canada prend du retard dans le domaine des produits de communications UWB.¹³ Il y a cependant quelques

¹³ Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006: p. 164

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

intervenants canadiens associés à cette technologie, dont *Icron* (concepteurs d'une clé USB sans fil) et *Wireless 2000*.

Identification par radiofréquence

L'identification par radiofréquence (*RFID*) n'est pas vraiment une nouvelle technologie. Ce qui est nouveau cependant est l'évolution de ses applications dans des domaines liés à la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Les puces RFID, qui émettent un signal d'identification contenant différentes informations, peuvent être facilement ajoutées à des marchandises ou à des emballages afin d'en faciliter le pistage ou l'identification. Les puces RFID pourraient un jour remplacer les omniprésentes barres à code, mais pour ce faire, leur prix unitaire devra diminuer.

Les puces RFID, le moteur des étiquettes RFID, peuvent être autant passives qu'actives. Les puces actives ont besoin de leur propre source d'énergie et peuvent générer un signal plus puissant contenant plus d'informations. Les puces passives réagissent simplement au signal émis par un lecteur sans fil qui déchiffre alors le signal réfléchi. Deux tendances se dessinent actuellement dans le domaine des RFID : les puces toujours plus petites (issues de l'évolution nanotechnologique) et les puces toujours plus sophistiquées qui peuvent transmettre un plus fort volume d'informations.

Les puces RFID réinscriptibles existent déjà; elles peuvent enregistrer de nouveaux renseignements émis par les lecteurs RFID et permettent une utilisation plus poussée de cette technologie. Par exemple, il devient ainsi possible de chiffrer de l'information sur un colis muni de ces puces RFID pour connaître le trajet exact du colis et l'horaire de son transport jusqu'à la livraison.¹⁴ Les étiquettes RFID réinscriptibles sont utilisées pour la logistique par l'*US Department of Defence*, par *Michelin*,¹⁵ et un système d'étiquettes réinscriptibles RFID a été conçu par *Maxell* pour les tubes d'essais en laboratoire.¹⁶

In Stat, une entreprise spécialisée en étude de marché, estime que la croissance mondiale de la valeur du marché des étiquettes RFID pourrait atteindre 2,8 milliards de dollars d'ici 2009 (chiffres cités par *Kazam Technologies*). *Kazam Technologies* a indiqué que « mis à part quelques entreprises comme *Psion Teklogix* ... les entreprises canadiennes auront à relever de nombreux défis dans le domaine des étiquettes RFID. »¹⁷ Il semble improbable que le Canada puisse assumer un rôle de chef de file pour cette technologie; il est cependant possible que le Canada ait plus de chances de faire sa marque en concentrant ses efforts sur la conception et la fabrication des lecteurs que sur celle des puces.

¹⁴ Site Web RFID Talk, *Impinj Introduces Zuma: Industry's Longest-Range Field Rewritable RFID Solution*, <http://www.rfidtalk.com/showthread.php?threadid=715>, mars 2004.

¹⁵ Site Web RFID Journal online, *Michelin Embeds RFID Tags in Tires*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/269/1/1/>, janvier 2003.

¹⁶ Site Web RFID Update online, *Maxell Introduces RFID Test Tube Tracking System*, <http://www.rfidupdate.com/articles/index.php?id=779>, février 2005.

¹⁷ *Kazam Technologies, The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006. p. 98, p. 155

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

L'inquiétude du public pour la protection de la vie privée pourrait être un facteur qui limite ou ralentisse l'utilisation à grande échelle de la technologie RFID. Les gouvernements auraient intérêt à mettre en place des politiques et des réglementations afin d'atténuer les aspects indésirables qui sont nuisibles à l'adoption généralisée de la technologie RFID.

Radio réalisée par logiciel

La radio réalisée par logiciel (RRL) est une technologie qui permet, à l'aide d'un logiciel, de définir ou de modifier les paramètres de fonctionnement de la fréquence radio, comme (mais sans s'y limiter) la gamme de fréquences, le type de modulation ou la puissance de sortie. La radio cognitive a la capacité de détecter et reconnaître son cadre d'utilisation, d'être programmée pour ajuster ses paramètres de fonctionnement radio de façon dynamique et autonome, et d'apprendre des résultats de ses actions et de son cadre environnemental d'exploitation.

La radio réalisée par logiciel et la radio cognitive sont deux applications pleines de promesses pour le domaine des télécommunications sans fil et elles peuvent être conçues pour travailler ensemble sur un seul appareil. Si les combinés peuvent être équipés de la RRL (qui est encore trop dispendieuse pour être déployée commercialement à grande échelle) et de la radio cognitive, ils pourront analyser leur environnement et adapter leur fonctionnement en fonction de la disponibilité des réseaux sans fil dans leur environnement. Par exemple, il deviendrait possible pour un Canadien de faire fonctionner son cellulaire dans toutes les régions de la planète en téléchargeant le logiciel lorsqu'il est requis. Il existe aussi un autre avantage : le RRL pourra accepter de nouvelles technologies, qui n'avaient pas encore été inventées au moment de la fabrication de l'appareil, en faisant une simple mise à jour du logiciel. La radio cognitive ouvre la voie pour une utilisation plus efficace du spectre, puisqu'il est capable de détecter et d'utiliser les bandes de fréquence inutilisées.

La disponibilité croissante des services pour l'utilisateur du RRL deviendra un avantage important, avec des choix plus nombreux, moins dispendieux et dans des délais plus courts. Un utilisateur pourrait se voir offrir de multiples services pour un seul appareil radio, sans devoir déboursier pour acheter plusieurs appareils. Par exemple, imaginez n'avoir qu'un seul appareil RRL qui pourrait servir de cellulaire (dans des environnements GSM ou AMRC), d'ouvre-porte de garage, de récepteur télé et de récepteur GPS.

Le RRL pourrait aussi améliorer l'interopérabilité entre les différents services radio, grâce à sa capacité de traitement des différentes normes de transmission. Cette qualité serait très avantageuse dans des domaines comme la sécurité publique; par exemple, les appareils des forces de l'ordre ou de l'armée pourraient être reprogrammés rapidement afin de fonctionner avec les autres systèmes de radiocommunications, comme les pompiers ou les ambulanciers.

Le Canada est un chef de file mondial dans ces domaines. Les entreprises canadiennes comme *Spectrum Signal Processing*, *IP Unwired* et quelques autres, fournissent autant les composantes matérielles que logicielles pour la technologie RRL. De plus, le Centre de recherche sur les communications (CRC) est très actif dans la recherche sur la RRL et

Direction générale des TIC, Industrie Canada

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

la radio cognitive, sans oublier la conception de systèmes de radio cognitive moins sensibles au brouillage et la conception d'appareils radio munis de la technologie RRL pour les services d'urgence afin qu'ils puissent fonctionner sans égard aux types de réseaux utilisés par chacun.

Convergence :

La *convergence* est un terme qui prend de plus en plus d'importance dans le lexique des entreprises de télécommunications; il englobe tout, de la convergence des multiples applications et des services pour le combiné unique qui tient dans la main, jusqu'aux objectifs en matière de génie visant le transfert imperceptible entre les réseaux filaire et les réseaux sans fil. Cette tendance a d'importantes conséquences pour le secteur du sans fil.

La tendance vers des réseaux qui seront entièrement basés sur le protocole Internet (IP) pourrait, fondamentalement, créer un mode de communications universel. Une application ou un service basé sur IP pourrait être transposé sur un réseau sans fil. L'objectif est de rendre les services transparents sur tous les réseaux : donner aux consommateurs un service intégré qui leur permet de profiter des services vocaux, de données, de vidéo et de mobilité.

Conclusions :

Les technologies décrites dans ce document sont relativement nouvelles et à des stades divers de développement et de déploiement dans le marché. Au moment d'écrire le document, ces technologies évoluent et semblent prometteuses. Il est cependant possible qu'elles ne soient pas à la hauteur des attentes techniques, ou que les consommateurs et les personnes en charge de l'adoption commerciale des produits n'y trouvent aucune valeur, ou qu'elles soient supplantées par des technologies nouvelles et supérieures qui sont arrivées plus rapidement que prévu sur le marché.

Même si le rythme effréné des découvertes novatrices est important, ce n'est pas le seul moteur du dynamisme de l'industrie du sans fil. L'environnement des entreprises du secteur du sans fil, sur les plans national ou international, change aussi à un rythme endiablé. Les entreprises doivent continuellement élargir leur gamme de produits, changer de marché, se départir de services pour se concentrer sur leur raison d'être, impartir, fusionner, acquérir son concurrent et procéder à des scissions.

Le dynamisme d'un tel contexte commercial peut, non seulement accélérer la croissance ou l'effondrement d'une entreprise en fonction du succès ou de l'échec d'une technologie, mais aussi voir le succès ou l'échec d'une technologie être influencé par des circonstances qui n'ont aucun rapport direct avec les produits de l'entreprise issus de la technologie. Le succès dans un tel environnement (pour la Canada et pour les entreprises canadiennes) exige des stratégies fondées sur ce dynamisme et conçues pour en tirer profit.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

Sources

Exonération de responsabilité :

Certains renseignements figurant dans Strategis ont été fournis par des sources extérieures. Industrie Canada décline toute responsabilité quant à l'exactitude, l'actualité et la fiabilité de l'information fournie par de telles sources. L'utilisateur soucieux de la fiabilité de l'information devrait consulter directement la source de l'information.

Réseau maillé WiFi

Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006.

Faulkner Information Services, *Mesh Networking Market Trends*, 2005. Doc. ID #00018896

Faulkner Information Services, *Wireless Mesh Networking*, 2005. Doc. ID #00018819

Wikipedia, *Wireless Mesh Network*,
http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh_network, octobre 2006.

Wikipedia, *IEEE 802.11*, http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11, octobre 2006.

WiFi Alliance, <http://www.wi-fi.org/>, octobre 2006.

Tendances vers les réseaux sans fil de technologie d'accès WiMAX :

Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006.

Faulkner Information Services, *WiMAX Technology*, 2005. Doc. ID #00018874

Faulkner Information Services, *WiMAX Market Trends*, 2005. Doc. ID #0001891

Faulkner Information Services, *Metropolitan Area Networks Market Trends*, 2005. Doc. ID #00017741

Wikipedia, *WiMAX*, <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, octobre 2006.

Wimax Forum, <http://www.wimaxforum.org/home/>, octobre 2006.

How Stuff Works.com, *How WiMAX Works*,
<http://computer.howstuffworks.com/wimax1.htm>, octobre 2006.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

Progression des technologies cellulaires

Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006.

Faulkner Information Services, *3G Wireless Networks*, 2005. Doc ID #0017395.

Wikipedia, *3G*, <http://en.wikipedia.org/wiki/3G>, octobre 2006.

Voix sur IP mobile

Voix sur réseau IP et téléphonie sur IP. Direction générale des technologies de l'information et de communications, Industrie Canada, 2004.

Silicon.com, *VoIP Could Be The Key To WiMAX*, <http://networks.silicon.com/mobile/0,39024665,39127948,00.htm>, février 2005.

Les combinés téléphoniques

Faulkner Information Services, *Smartphones Market Trends*, 2005. Doc. ID #00018004.

Site Web Emerging Market Handset Program, *GSM Association Forges Sub 30\$ Mobile Phone Segment for Developing Countries*, http://www.gsmworld.com/emh/news/emh2_press_gsma270905.html, septembre 2006.

Communications par satellite

Site Web de l'agence spatiale canadienne, <http://www.space.gc.ca/asc/eng/default.asp>, octobre 2006.

Wikipedia, *Communications Satellite*, http://en.wikipedia.org/wiki/Communications_satellite, octobre 2006.

Wikipedia, *Stratellite*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Stratellite>, octobre 2006.

Technologie de bande ultralarge

Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*. Industrie Canada, 2006.

Wikipedia, *Ultra Wide-band*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband>, octobre 2006.

Principales technologies et nouvelles tendances dans le domaine du sans fil

Identification par radiofréquence

Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*, Industrie Canada, 2006.

Site Web RFID Journal Online, <http://www.rfidjournal.com/>, octobre 2006.

Site Web RFID Talk, <http://www.rfidtalk.com>, octobre 2006.

Site Web RFID Update online, <http://www.rfidupdate.com>, octobre 2006.

Radio réalisée par logiciel

Kazam Technologies, *The Canadian Wireless Industry: Analysis, Positioning and Capabilities 2006-2008*, Industrie Canada, 2006.

Site Web du Centre de recherche sur les communications,
<http://www.crc.ca/en/html/milton/home/home>, octobre 2006.

Wikipedia, *Software Defined Radio*, http://en.wikipedia.org/wiki/Software_radio, octobre 2006.

Wikipedia, *Cognitive Radio*, http://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive_radio, octobre 2006.

