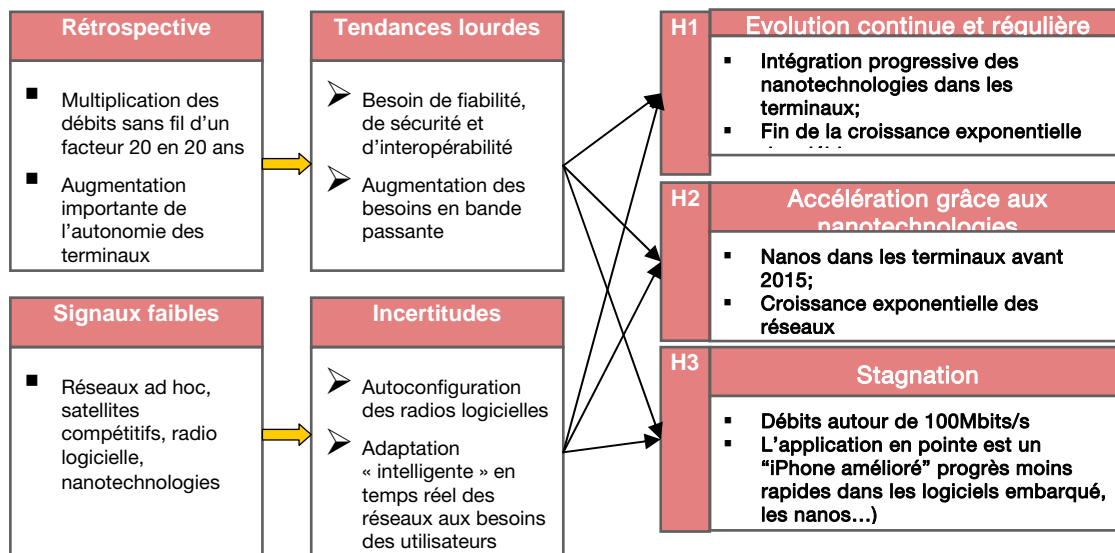


1.2.5 – Variable Mobilité/Ubiquité/Systèmes embarqués

Membre référent pour la Commission à l'Economie numérique : Christiane Schwartz



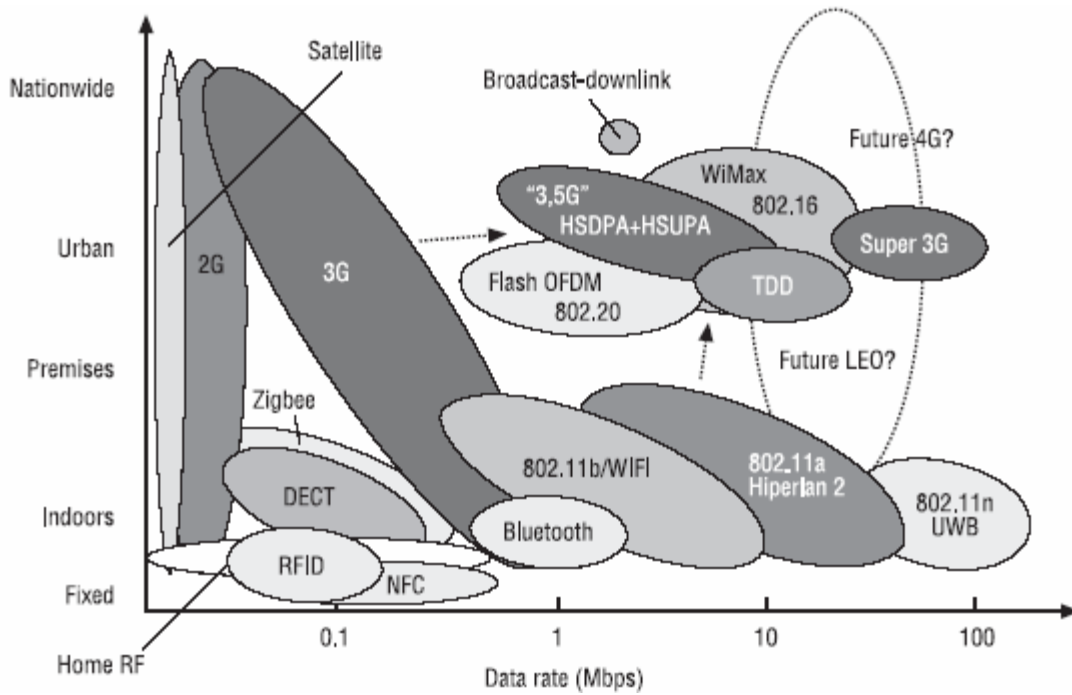
1 – Définition de la variable

La mobilité et l'ubiquité désignent la capacité pour un utilisateur de se connecter en tout lieu et à tout moment, de manière sûre et « sans couture ». Cela demande trois pré-requis :

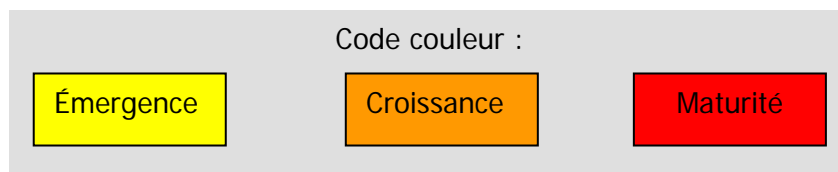
- des **réseaux**, qu'ils soient terrestres (xDSL, fibre optique...) ou sans fil (du GSM des années 1980 aux premiers réseaux 4G en 2010 pour la téléphonie mobile, en passant par le WiFi ou le WiMAX) ;
- des **terminaux**, qu'ils soient « fixes » (PC, Internet des objets...) ou **mobiles** dotés d'une autonomie énergétique suffisante (cf. fiche « Technologies de performance énergétique ») ou de débits d'information plus importants (réception comme émission) ;
- des **systèmes embarqués inter opérables** assurant le lien entre réseaux et terminaux.

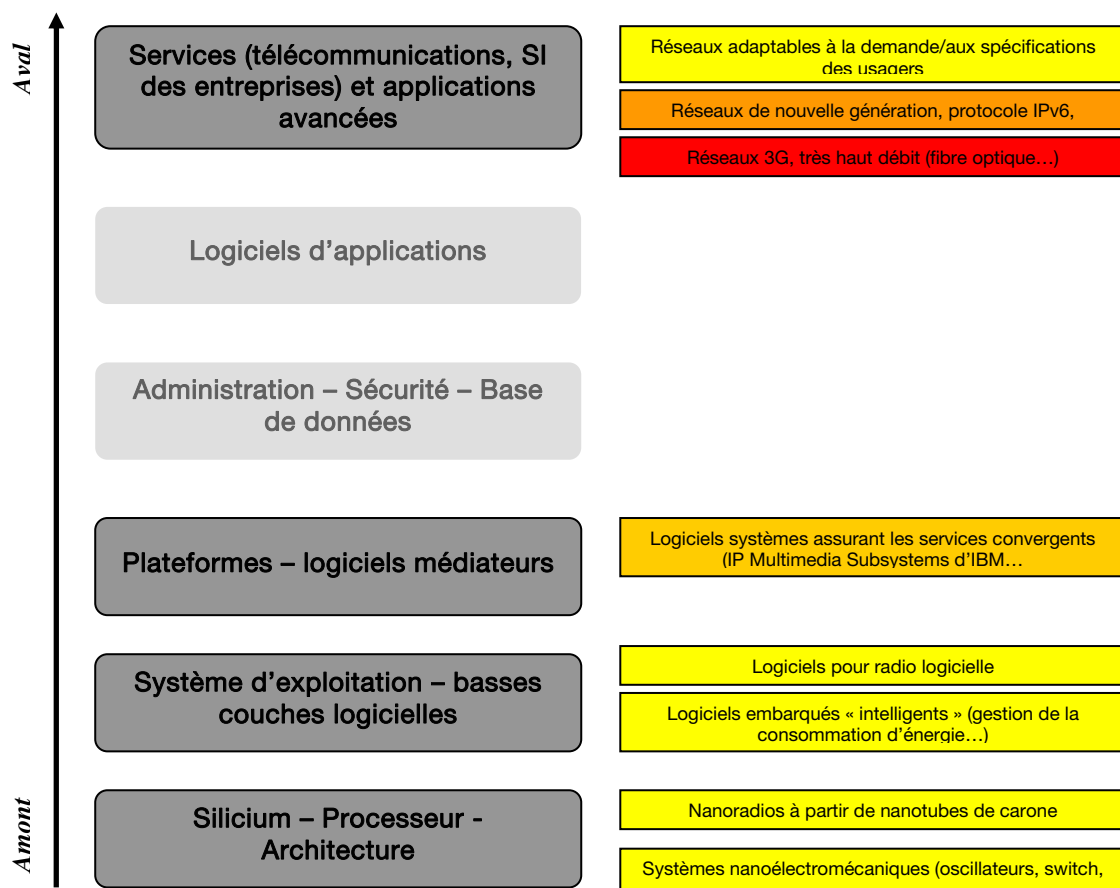
Le développement de l'ubiquité et de la mobilité dépend donc de la « rencontre » entre des réseaux et des terminaux suffisamment sophistiqués. Aujourd'hui, ce sont surtout les performances des terminaux mobiles qui freinent l'essor de la mobilité (autonomie énergétique, miniaturisation, etc.).

Figure 1 : Aperçu sur les caractéristiques des technologies sans fil (source : IPTS/JRC)



2 – Position dans la chaîne de la valeur informatique et degré de maturité des technologies

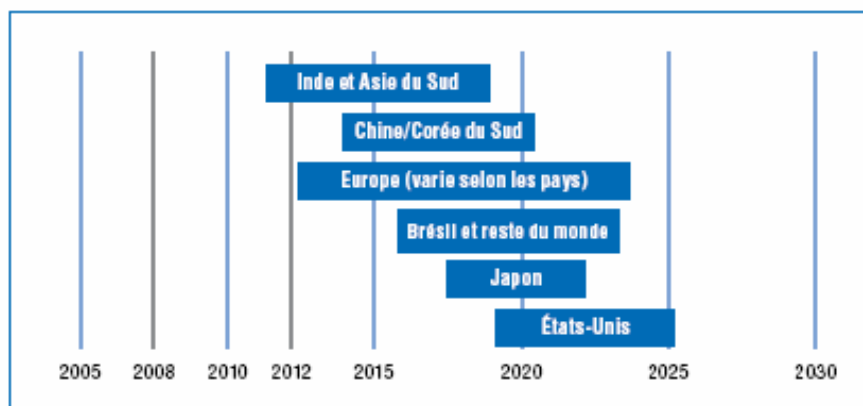




3 – Indicateurs pertinents (instruments de mesure pour évaluer la variable dans le temps)

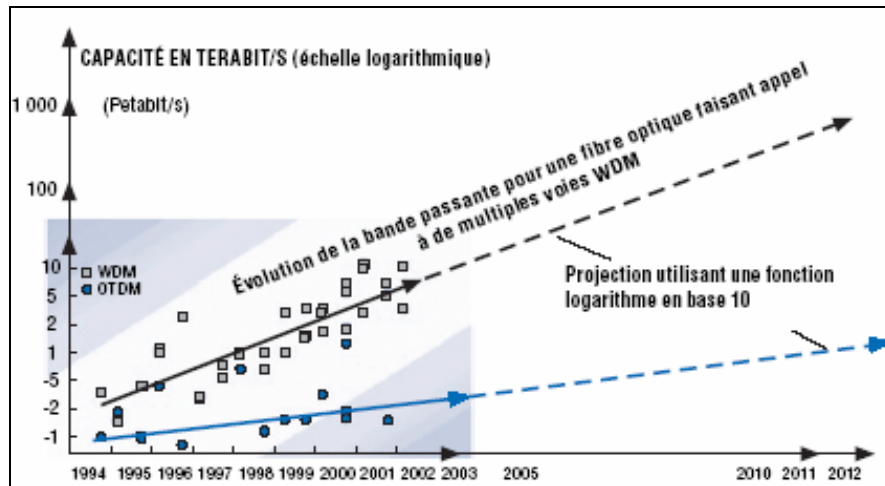
- Les réseaux de nouvelle génération : la convergence des réseaux d'accès optiques et radio avec une infrastructure tout-IP

Figure 2 : Dates de la transition des réseaux optiques et radio vers le tout-IP

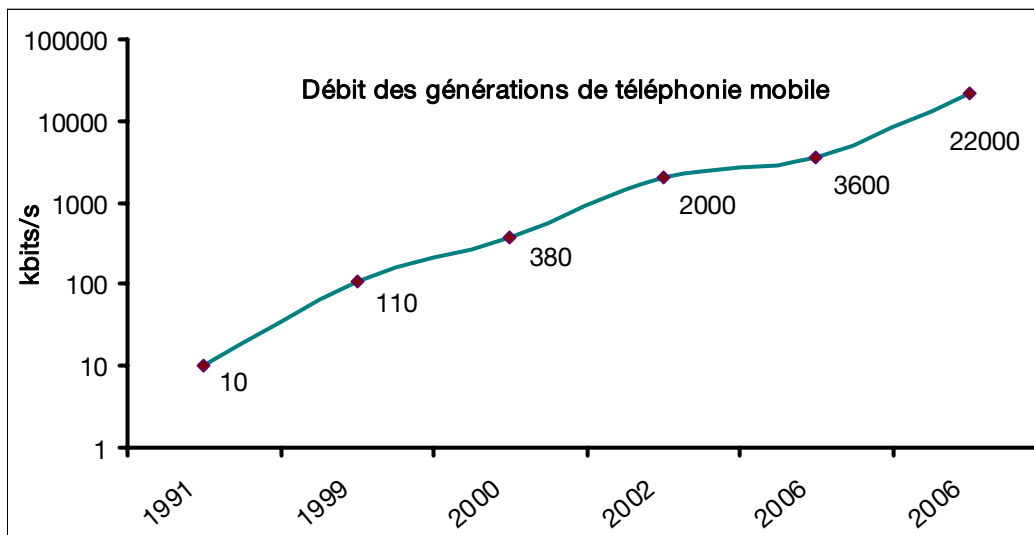


Source : OCDE

- Les projections des capacités de la fibre optique d'ici 2012 (source : OCDE)

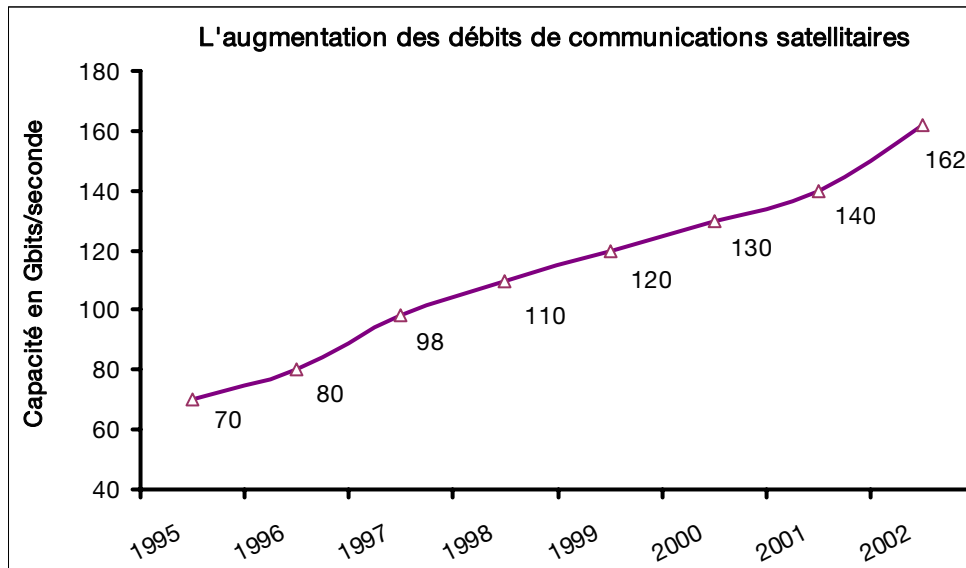


- L'évolution des réseaux de téléphonie mobile (débit...)



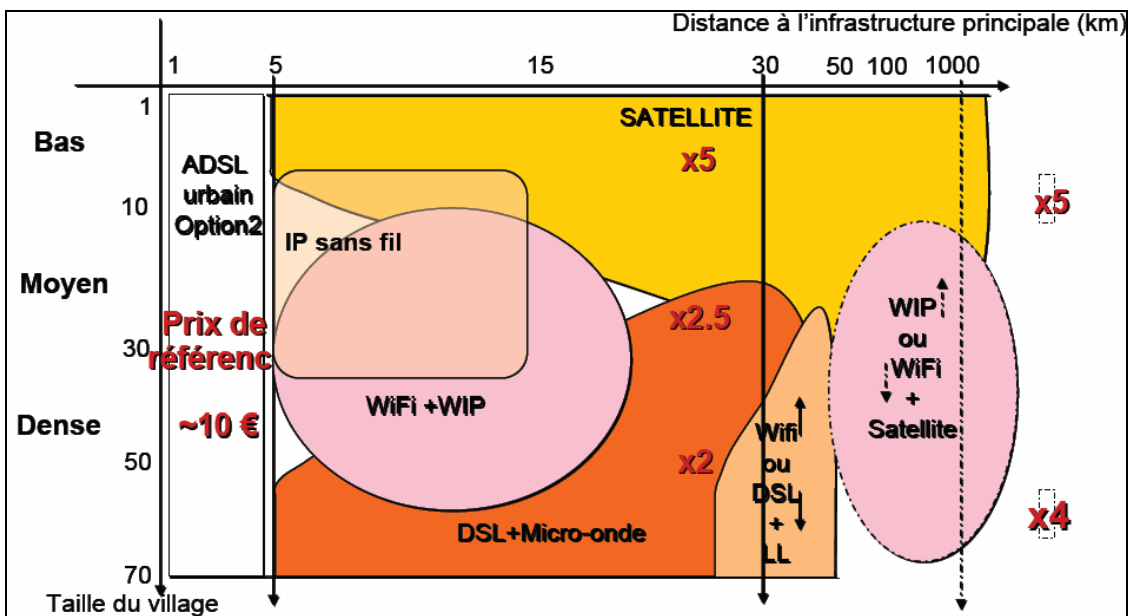
Source : données constructeurs

- L'autonomie des téléphones portables et/ou applications nomades de masse (cf. fiche « Technologies de performance énergétique »).
- La rétrospective de l'évolution des débits des communications par satellite depuis 15 ans.



Source : OCDE

- Un comparatif possible des coûts des communications actuelles (et à venir)



Source : CSTI

4 – Rétrospective (les 20 dernières années ; quoi, comment et par qui ?)

Comme le montre un des indicateurs ci-dessus, l'augmentation des débits des réseaux de communications sans fil a été quasiment **exponentielle** depuis 20 ans. Entre le GSM (5kbit/s en 1991) au WiMAX (22mbits/s en 2006), la progression a été d'un facteur 20. Dans le même temps, les **accumulateurs** ont vu leur **densité volumique d'énergie quadrupler** (cf. fiche « Technologies de performance énergétique »), menant à la diffusion rapide, en moins de 10 ans, des téléphones portables. Ce phénomène a été relativement mal prédit à l'époque.

5 – La situation actuelle (dynamique en cours et signaux faibles)

Le développement exponentiel des débits des réseaux sans fils semblerait **s'essouffler**, pour deux raisons : les performances des réseaux augmentent déjà fortement¹ et les terminaux ne disposent pas de l'autonomie énergétique pour prendre en charge de tels débits. Les investissements dans les générations précédentes (3G puis 4G dans la téléphonie, ADSL et fibre optique pour les réseaux fixes) doivent par ailleurs être rentabilisés.

En considérant les temps de conversion aux réseaux tout IP (jusqu'à 2025 pour les Etats-Unis), les durées de retour sur investissement dans la téléphonie mobile, la longueur des débats sur la normalisation, il est fort probable que les **réseaux majoritairement utilisés par les consommateurs en 2025 soient déjà connus aujourd'hui**. D'autre part, les réseaux de quatrième génération sont déjà très performants² : des débits plus conséquents pourraient s'avérer inutiles en regard - entre autres - des capacités de stockage numérique des serveurs et des terminaux nomades.

Quelques **technologies de rupture** sont toutefois envisageables dans les réseaux³ :

- la **radio logicielle** peut être décrite comme une « radio universelle » capable de recevoir et émettre tous types de signaux (GPS, UMTS, WiFi, satellite...);
- dans le concept « **d'intelligence ambiante** », autorisé par les **réseaux en « filet »** (appelés aussi *Mesh* ou réseaux ad hoc), les terminaux mobiles deviennent des relais, à la fois émetteurs et récepteurs. Si la principale force de cette technologie d'origine militaire est sa souplesse⁴, elle pose des problèmes d'interopérabilité ainsi que de sécurisation des accès et des flux entre des terminaux de plus en plus nombreux et « hétérogènes » (cf. fiche « Technologies de sécurité et de contrôle »);
- les **satellites** sont souvent évoqués pour les télécommunications du futur, bien qu'ils aient déjà connus des échecs (la constellation Iridium durant les années 1990) et des limitations certaines (temps de latence incompressibles, puissance d'émission...). Les fréquences spatiales sont élevées (entre 10 et 65GHz) et permettent de faire transiter des flux d'information importants. De plus, le principal défaut de ce moyen de communication, son « **assymétrie** », est en passe d'être résolu : depuis quelques années, il n'est plus nécessaire de disposer - comme par le passé - de stations terrestres relativement puissantes pour envoyer un signal au satellite (des terminaux mobiles sont en cours d'expérimentation). Les réseaux en *filet/ad hoc* ou des stations de base localement implantées⁵ sont des pré-requis au développement des télécommunications spatiales dans des zones déjà couvertes (et donc concurrentielles) par les infrastructures terrestres, les zones (péri)urbaines en premier lieu.

Les terminaux nomades sont également l'objet de nombreuses recherches et innovations :

- Les **nanotechnologies** promettent de nombreuses évolutions (cf. fiche « Nanotechnologies ») :
 - ⇒ A Berkeley, des **nanotubes de carbone** reliés à des électrodes ont été utilisés comme **antennes de réception-émission nanométriques**, ouvrant la voie à des RFID en logistique ou des nanosondes communicantes en médecine ;

(1) Les stations de base émettrices ne sont pas limitées par leur consommation énergétique.

(2) En Corée du Sud, Samsung a testé avec succès des réseaux 4G offrant des débits descendants de 100Mbps/s. Un film entier serait ainsi téléchargé en quelques minutes seulement.

(3) Cette fiche se concentre surtout sur les réseaux et les systèmes embarqués. L'autonomie des terminaux mobiles, facteur déterminant dans l'avènement de « l'intelligence ambiante », est traitée dans la fiche « Technologies de performance énergétique ».

(4) La station émettrice de base peut être éloignée ou inaccessible directement ou endommagée que le réseau se reconfigure automatiquement et de manière optimale.

(5) Par principe, le signal est géré par exemple par une antenne sur le haut des immeubles, puis relayé par CPL, WiFi (ou tout autre réseau) à l'intérieur du bâtiment.

- ⇒ Les « **systèmes nano-électro-mécaniques** » (NEMS pour *Nanoelectromechanical systems*) trouveront peut-être bientôt des applications comme oscillateurs ultra haute fréquence (horloge des appareils numériques...), convertisseurs de signaux analogiques en signaux numériques, filtres...

6 – Les principaux acteurs concernés

	France	Europe	Reste du Monde
Recherche fondamentale et appliquée	Télécom Paris/Bretagne ; INT ; LIP6 ; INRIA ; Supélec ; équipes mixtes CNRS (IETR...)		Berkeley University ; MIT (ambient intelligence) ; GeorgiaTech
Industrie	Safran ; SFR, Orange/France Télécom ; Alcatel-Lucent	Philips ; Nokia ;	<ul style="list-style-type: none"> • Asie : LG, Samsung ; Sony, NTT • Etats-Unis : Verizon, AT&T...
PP, instances de régulation, de normalisation et de concertation, etc.	Images et réseaux (Bretagne), Solutions communicantes sécurisées (PACA), System@Tic (volet télécommunications); CGTI ;	Celtic (projet Eurêka) ; e-mobility ; plateforme technologique NEM	IETF ; ONU-ITU

7 – Les usages associés (enjeux et impacts en termes d'applications pour les e-activités)

Les usages associés aux systèmes ubiquitaires sont des plus vastes et même invasifs. La pénétration, en autres chez les particuliers, des systèmes numériques est directement lié à la capacité à se soustraire des liaisons filaires. Les derniers mètres, ou centaines de mètres dans le cas du téléphone mobile ou du WiMax, d'une liaison numérique utilisent et utiliseront de plus en plus la voie hertzienne. Cette évolution va même être renforcée avec l'Internet des objets qui dans bien des cas s'appuiera sur une identification radiofréquence (RFID).

Ces techniques sont, par essence, particulièrement adapté au domaine militaire et la mobilité et le reconfiguration permanente du réseau propre aux champs d'intervention.

Les limites sont de trois ordres :

- les ressources spectrales dont l'un moyen palliatif sera la mise en œuvre de réseaux cognitifs reconfigurables ;
- la capacité des batteries (voir fiche sur les technologies d'économie d'énergie) ;
- la puissance avec les conséquences pour la santé qu'elle peut induire.

8 – Prospective (les 20 prochaines années)

(Les tendances lourdes et les incertitudes majeures, la différence entre les hypothèses étant construites sur les incertitudes)

- Les tendances lourdes sont de plusieurs ordres :
 - ⇒ les **caractéristiques des réseaux** (XG, fibre optique, *Mesh* et *ad hoc*...) qui connecteront la majorité des personnes en 2025 (les plus importants sur le plan socio-économique) sont **déjà connues**, étant donné les durées de retours sur investissements et les processus de normalisation ;

- ⇒ la transparence et la **fiabilité des interconnexions entre réseaux différents** (poids de la *legacy*, de la nature, l'âge...);
 - ⇒ la **complexité de la gestion** du fonctionnement des logiciels et le développement d'applications répartie « **sûres** » ;
 - ⇒ le **besoin de bande passante** augmente fortement (User Generated Content...).
- Il y a beaucoup de recherches et d'innovations dans le domaine, notamment sur la conception même des terminaux (tout-en-un, adaptés à un usage, morcelés autour d'un réseau d'objets personnels...). Voici quelques incertitudes majeures, portant sur les capacités des terminaux nomades (consommation énergétique, qualité de réception du signal...), mais aussi sur les réseaux du futur :
 - ⇒ les terminaux mobiles doivent pouvoir gérer au mieux leur consommation d'énergie. Si les progrès matériels sont nécessaires (cf. fiche « Nanotechnologies »), **les logiciels embarqués** sont des sources de progrès majeurs (cf. fiche « Technologies cognitives ») ;
 - ⇒ l'ampleur des capacités de la **radio logicielle à s'adapter** rapidement - voire « intelligemment » par automatisation et **auto-configuration** optimisée - et sans heurts à des protocoles, fréquences et réseaux différents ;
 - ⇒ les **nanoradios** semblent représenter une rupture majeure pour l'avènement de « l'intelligence ambiante » (cf. fiche « Nanotechnologies »). En corollaire, la gestion d'objets de plus en plus nombreux pose des problèmes pour les architectures et la gestion des réseaux (exemple du besoin de « ping » très court pour les réseaux de senseurs) ;
 - ⇒ le besoin d'un nouveau **protocole successeur d'IPv6** (autour de 2020), plus sûr ;
 - ⇒ la **capacité pour les réseaux de s'adapter à l'utilisateur** (GBN pour *Goal Based Networks*) est importante. En fonction de l'usage (qualité de la communication, sécurité des conversations et des échanges d'information, fiabilité et stabilité du signal...), les réseaux du futur doivent pouvoir déterminer et optimiser en temps réel leurs communications avec des terminaux aux spécifications diverses : ils vont ainsi privilégier la qualité de service (QoS), le cryptage, les codes correcteurs, les dispositifs contre les dysfonctionnement, etc. ;
 - ⇒ les principales caractéristiques des **télécommunications spatiales** devraient évoluer avec l'introduction possible d'IPv6, des connexions multi-pinceaux, du routage à bord, etc. Les satellites pourraient ainsi devenir une solution intéressante dans certains cas, notamment en zones rurales (PME hors de portée de la fibre optique nécessitant des débits importants ; « dernier kilomètre » pour les communes mal reliées pour les particuliers, l'éducation, la culture...).

Hypothèse 1 : L'évolution continue et régulière

(taux de pénétration de 120 % du mobile et meilleurs services de multimédia et Internet)

- ⇒ les terminaux intègrent progressivement les nanotechnologies (NEMS en 2015, les nanoradios en 2020 ?...);
- ⇒ les débits des réseaux n'augmentent plus exponentiellement ; la 3G - lancée en 2004 - est remplacée lentement par la 4G (2020 ?) ou le WiMAX.

Hypothèse 2 : L'accélération due aux nanotechnologies et l'essor des réseaux sociaux

- ⇒ les nanotechnologies (nanoradios, NEMS, etc) sont intégrées en masse dès 2015 dans les terminaux ;
- ⇒ la croissance quasi-exponentielle des performances des réseaux se poursuit ;
- ⇒ toutefois, les réseaux n'offrent pas la fiabilité, l'interopérabilité et la sécurité espérées (l'auto-reconfiguration par exemple bute sur les faibles avancées en technologies cognitives) ; « l'intelligence ambiante » n'est pas encore une réalité.

Hypothèse 3 : La stagnation des progrès

(taux de pénétration actuelle du mobile et « iPhone amélioré »)

- ⇒ les réseaux majoritairement utilisés ont des débits autour de 100 Mbits/seconde. Leur fiabilité ne s'améliore que lentement ;
- ⇒ les terminaux mobiles intègrent peu de progrès en comparaison de la période 1995-2005. Les nanotechnologies n'ont des applications que tardivement (2020 ?) et la radio logicielle reste peu efficace ;
- ⇒ les logiciels embarqués n'acquièrent pas un degré de sophistication suffisant pour permettre la réduction considérable de la consommation d'énergie.

*Rédacteur : Jean-Loup Loyer
Relu et corrigé par Christiane Schwartz*

Mise à jour : 08/10/2008