Chapitre 03: réseaux ad-hoc, réseaux de capteurs et réseaux hybrides

I. Réseaux ad-hoc

L'évolution récente de la technologie dans le domaine de la communication sans fil et l'apparition des unités de calculs portables, poussent aujourd'hui les chercheurs à faire des efforts afin de réaliser le but des réseaux : « l'accès à l'information n'importe où et n'importe quand ».

Définition d'un réseau Ad Hoc

Un réseau mobile Ad Hoc appelé généralement MANET, consiste en une grande population relativement dense d'unités mobiles qui se déplacent dans un territoire quelconque. Le seul moyen de communication est l'utilisation des «ondes radio» qui se propagent entre les différents nœuds mobiles sans l'aide d'une infrastructure préexistante ou administration centralisée.

Dans un réseau Ad Hoc, un nœud peut communiquer directement (mode point-à-point) avec n'importe quel nœud s'il est situé dans sa zone de transmission, tandis que la communication avec un nœud situé en dehors de sa zone de transmission s'effectue via plusieurs nœuds intermédiaires (mode multi-sauts).

Avantages et inconvénients des réseaux Ad Hoc

Les réseaux Ad Hoc présentent plusieurs avantages, les plus importants sont :

o Déploiement facile, rapide et économique.

o Tolérance aux pannes.

Cependant, les réseaux Ad Hoc ne présentent pas que des avantages. Les données pour rejoindre le destinataire à partir de l'émetteur vont peut être devoir traverser de nombreuses machines et chaque relais traversé apportent un délai supplémentaire. Les réseaux Ad Hoc ont donc dans la plupart des cas une latence plus importante que les réseaux sans fil cellulaire. Le second inconvénient est lié à la nature même des réseaux Ad Hoc, en effet dans un réseau Ad Hoc tout les éléments coopèrent de manière à acheminer les données y compris les machines non-concernées par ces données. Il y a donc un problème évident de confidentialité, et il est donc obligatoire d'utiliser des outils de cryptage. Ceci entraîne aussi un autre problème, les machines servant de relais utilisent leurs ressources (batterie, carte réseau sans fil) pour acheminer des données qui ne les concernent pas, en retour d'autres machines font de même pour leurs transmissions. Enfin il est difficile voir impossible d'établir une qualité de service sur un réseau Ad Hoc puisque les éléments composant une route sont susceptibles de disparaître à tout moment.

I.5.4 Types des réseaux Ad Hoc

Nous décrivons les trois types de réseaux Ad Hoc à savoir : les réseaux mobiles Ad Hoc (MANETs), les réseaux de capteurs (WSN) et les réseaux maillés (WMN).

Bien que les MANETs et les WSNs présentent plusieurs caractéristiques communes, mais ils se diffèrent en plusieurs aspects :

o La caractéristique principale des nœuds constituants un MANET est la mobilité, tandis que les nœuds capteurs dans un WSN sont statiques.

o Dans les MANETs la communication peut s'effectuer entre des nœuds quelconques du réseau, tandis que dans un WSN la communication est toujours initiée vers ou à partir des nœuds puits ; de plus les communications capteur-à-capteur sont rares, mais les transmissions multicast et broadcast sont communes.

o Les MANETs sont caractérisés par une plus faible densité par rapport aux WSNs.

o Dans un MANET tous les nœuds sont égaux, de ce fait la panne de n'importe quel nœud a la même importance, tandis qu'un WSN est plus sensible à la panne des nœuds puits qu'à celle des capteurs.

o Les réseaux WMNs sont conceptuellement similaires aux MANETs dans le sens où la communication entre les mesh-routeurs s'effectue en mode multi-sauts.

Cependant, ils ont les particularités suivantes:

- Les mesh-routeurs dans un WMNs sont statiques.

- La consommation d'énergie dans les WMNs n'est plus un problème, car les routeurs sont directement alimentés en électricité.

Sécurité dans les réseaux Ad Hoc

N'importe quel algorithme de routage doit intégrer dans son système un mécanisme de sécurité qui dépendra de plusieurs facteurs (authentification, intégrité, confidentialité et disponibilité) et qui concerne deux aspects : la sécurité du routage et la sécurité des données. Ces deux aspects comportent certaines vulnérabilités et sont exposés à plusieurs attaques.

Les caractéristiques des réseaux Ad Hoc

Les réseaux Ad Hoc sont caractérisés principalement par :

o Une topologie dynamique: La topologie des réseaux ad hoc changent rapidement et aléatoirement, ceci est causée par la mobilité arbitraire des nœuds du réseau. Le changement de la topologie change les routes entre les nœuds et provoque la perte de paquets.

o Bande passante limitée: Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé (ondes radio). Ce partage fait que la bande passante réservée à un hôte soit modeste.

o Contraintes d'énergie: Les hôtes mobiles sont alimentés par des sources d'énergie autonomes comme les batteries ou les autres sources consommables. Le paramètre d'énergie doit être pris en considération dans tout contrôle fait par le système.

o Sécurité physique limitée: Les réseaux mobiles Ad Hoc sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé.

o Erreur de transmission: Les erreurs de transmission radio sont plus fréquentes que dans les réseaux filaires.

o Interférences: Les liens radios ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence utilisant des fréquences proches peuvent interférer entre eux.

o Absence d'infrastructure: Les réseaux Ad Hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructures préexistante et de tout genre d'administration centralisée. Les hôtes mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau d'une manière continue.

o Nœuds cachés: Ce phénomène est très particulier à l'environnement sans fil. Les nœuds ne s'entendent pas à cause d'un obstacle qui empêche la propagation des ondes. Les mécanismes d'accès au canal vont permettre alors à ces nœuds de commencer leurs émissions simultanément. Ce qui provoque des collisions au niveau du nœud.

o La qualité de service: De nombreuses applications ont besoin de certaines garanties relatives par exemple au débit, au délai ou encore à la gigue. Dans ces réseaux Ad Hoc, ces garanties sont très difficiles à obtenir. Ceci est dû à la nature du canal radio d'une part (interférences et taux d'erreur élevés) et au fait que des "liens" entre des mobiles peuvent avoir à se partager les ressources (alors qu'en filaire, deux liens sont par définition indépendants).

II. Réseaux de Capteurs

Les récentes avancées dans les domaines des technologies sans-fil et électroniques ont permis le développement à faible coût de minuscules capteurs consommant peu d'énergie (solution low-cost et low-power). Ces capteurs ont 3 fonctions :

 Capter des données (de type son, vibration, lumière,...)

 Calculer des informations à l'aide de ces valeurs collectées

 Les communiquer à travers un réseau de capteurs

Un réseau de capteurs est composé d'un nombre souvent très important de nSuds qui sont, soit posés à un endroit précis, soit dispersés aléatoirement (souvent déployés par voie aérienne à l'aide d'avions ou hélicoptères).

Ce dispersement aléatoire des capteurs nécessite que le protocole utilisé pour les réseaux de capteurs possède des algorithmes d'auto organisation. Afin de résister aux déploiements, ces capteurs doivent être très solides et de plus, ils doivent aussi pouvoir survivre dans les conditions les plus extrêmes dictées par leur environnement d'utilisation (feu ou eau par exemple).

En plus des contraintes environnementales, une contrainte très importante est l'économie de batterie.

En effet, un réseau de capteurs ne peut survivre si la perte de nSuds est trop importante car ceci engendre des pertes de communication dues à une trop grande distance entre les capteurs. Donc il est très important que les batteries durent le plus longtemps possible étant donné que dans la plupart des applications ils sont placés aléatoirement (impossible de retourner changer les batteries).

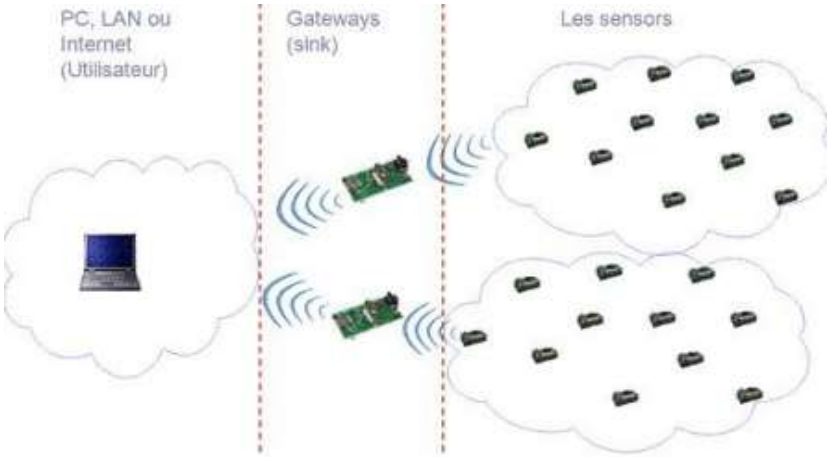
Cette utilisation liée à l'autonomie des capteurs (1 année maximum pour les technologies actuelles) fait intervenir un paramètre non négligeable qui est le prix. Aucune application ne serait rentable si le rapport heures d'utilisation / prix était trop élevé. Il a donc été nécessaire d'allier technologie et low-cost.

Les réseaux de capteurs peuvent être programmés à un grand nombre de fins, telles que le contrôle d'intrusions, le calcul de températures, le calcul de changements climatiques, la surveillance des déplacements d'animaux (avec récepteurs GPS), surveillance de malades.

A. Architectures et Applications

1. Architecture d'un RCSF

Un RCSF est composé d'un ensemble de noeuds capteurs. Ces nSuds capteurs sont organisés en champs « sensor fields » (voir figure suivante). Chacun de ces noeuds a la capacité de collecter des données et de les transférer au nSud passerelle (dit "sink" en anglais ou puits) par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits transmet ensuite ces données par Internet ou par satellite à l'ordinateur central «Gestionnaire de taches» pour analyser ces donner et prendre des décisions.



2. **Applications des RCSF**

Les RCSF peuvent avoir beaucoup d'applications. Parmi elles, nous citons :

 Découvertes de catastrophes naturelles : On peut créer un réseau autonome en dispersant les nSuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tel que feux de forêts, tempêtes ou inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours.

 Détection d'intrusions : En plaçant, à différents points stratégiques, des capteurs, on peut ainsi prévenir des cambriolages ou des passages de gibier sur une voie de chemin de fer (par exemple) sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo.

 Applications métier : On pourrait imaginer devoir stocker des denrées nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température (min ou max). Dans ces applications, le réseau doit pouvoir collecter ces différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés.

 Contrôle de la pollution : On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe.

 Agriculture : Des nSuds peuvent être incorporés dans la terre. On peut ensuite questionner le réseau de capteurs sur l'état du champ (déterminer par exemple les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité). On peut aussi imaginer équiper des troupeaux de bétail de capteurs pour connaître en tout temps, leur position ce qui éviterait aux éleveurs d'avoir recours à des chiens de berger.

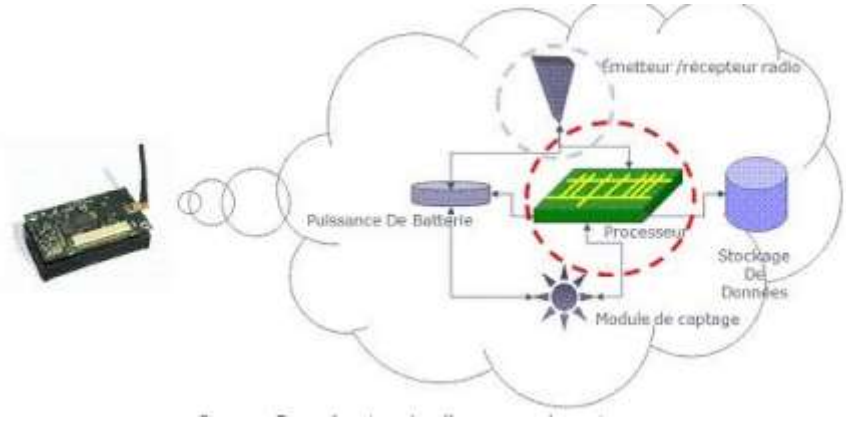
 Surveillance médicale : En implantant sous la peau de mini capteurs vidéo, on peut recevoir des images en temps réel d'une partie du corps sans aucune chirurgie pendant environ 24h. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle.

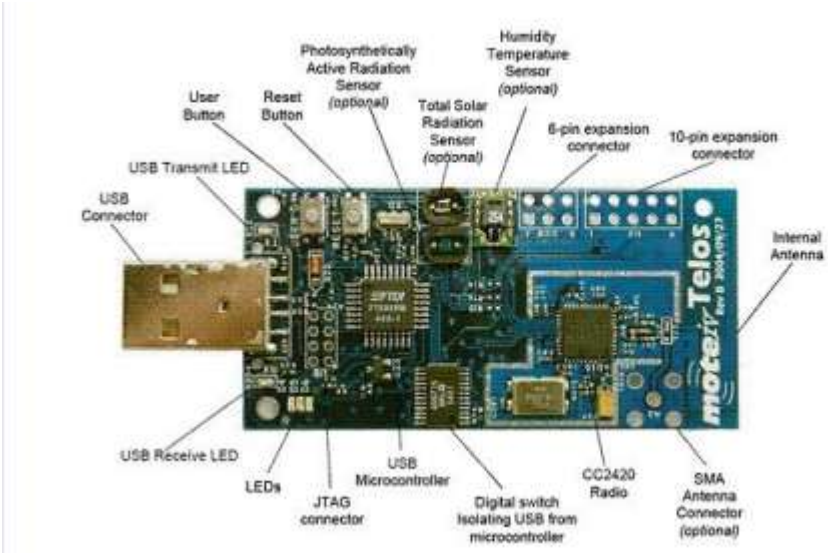
 Contrôle d'édifices : On peut inclure sur les parois des barrages des capteurs qui permettent de calculer en temps réel la pression exercée. Il est donc possible de réguler le niveau d'eau si les limites sont atteintes. On peut aussi imaginer inclure des capteurs entre les sacs de sables formant une digue de fortune. La détection rapide d'infiltration d'eau peut servir à renforcer le barrage en conséquence. Cette technique peut aussi être utilisée pour d'autres

constructions tels que ponts, voies de chemins de fer, routes de montagnes, bâtiments et autres ouvrages d'art.

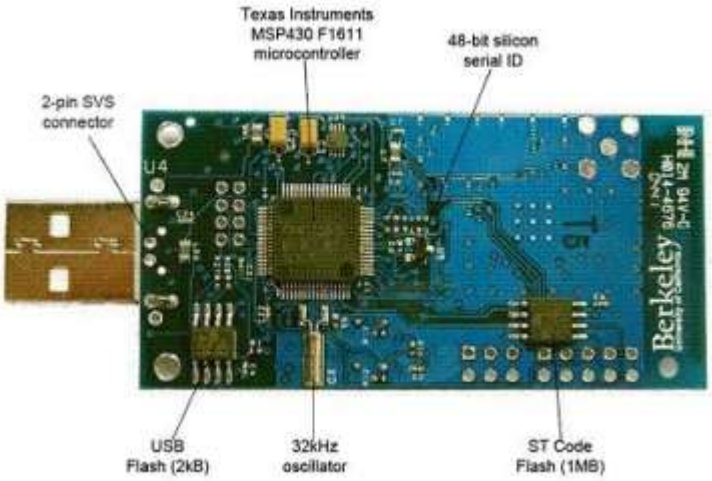
3. **Anatomie d'un noeud capteur**

Un noeud capteur (dit "mote" en anglais) est composé principalement d'un processeur, une mémoire, un émetteur/récepteur radio, un ensemble de capteurs, et une pile (voir figure suivante). Il existe plusieurs modèles commercialisés dans le marché. Parmi les plus célèbres, les "mote" MICAx et TelosBe de Crossbow.





Telos B



Telos B verso

4. Système d'exploitation pour les réseaux de capteurs : TinyOS

Caractéristiques de TinyOS

 Concurrence : utilise une architecture orientée événement

 Modularité

- Application composée de composants

- OS + Application compilés en un seul exécutable

 Communication

- Utilise un modèle event/command

- Ordonnancement FIFO non préemptif

 Pas de séparation noyau/utilisateur Aperçus générale de TinyOS

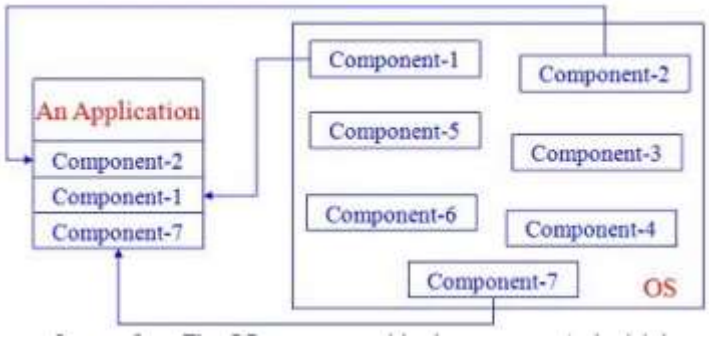
 Système d'exploitation pour réseaux de capteurs embarqués

 Ensemble de composants logiciels qui peuvent être reliés ensemble en un seul exécutable sur un mote

Aperçus générale de TinyOS

 Système d'exploitation pour réseaux de capteurs embarqués

 Ensemble de composants logiciels qui peuvent être reliés ensemble en un seul exécutable sur un mote



 Fonctions minimales

- Deux threads: tâches et handlers d'événements matériels

- Pas de gestion de la mémoire...

Modèle mémoire de TinyOS

 Allocation statique de la mémoire

- Pas de heap (malloc)

- Pas de pointeur sur function

- Pas d'allocation dynamique

 Variables globales

- Disponibles per-frame

- Conservation de la mémoire

- Utilisation de pointeurs

 Variables locales

- Sauvegardées sur la pile (stack)

- Déclarées dans une méthode

nesC : le langage de programmation de TinyOS

nesC est un langage conçus pour incarner les concepts structurant et le modèle d'exécution de TinyOS. C'est une extension du langage C orientée composant ; il support alors la syntaxe du langage C et il est compilé vers le langage C avant sa compilation en binaire.

III. Réseaux hybrides :Hybridation des systèmes de communication par satellite

Le satellite s'avère être un médium adapté pour la résorption des zones blanches et grises grâce à sa large couverture et son accessibilité depuis des zones non couvertes par les infrastructures terrestres.

Le développement du très haut débit (THD) conduit à l'émergence de nouveaux services et usages, en particulier de plus en plus basés sur des médias audiovisuels très contraignants pour les supports de communication.

A court et moyen terme, dans un contexte où les technologies de l'information et de la communication prennent une importance croissante dans tous les secteurs et dans le quotidien des citoyens, la prise en compte des améliorations des services existants sur les réseaux et la flexibilité à intégrer rapidement de nouveaux services, permises par le très haut débit, deviennent un enjeu majeur pour les opérateurs de télécommunication.

Les enjeux de ces efforts se traduisent, pour les opérateurs de télécommunications par satellite, par la nécessité d'hybrider pour faire converger, d'une part les réseaux broadcast et bidirectionnels satellites (pour les services fixe et mobile) et d'autre part, les réseaux terrestres, afin de fournir un accès plus performant, transparent et globalisé, aux applications et services de plus en plus gourmands en ressources réseaux.

L'offre d'un service ubiquitaire (always on) est aujourd'hui une des exigences pour la conception des nouvelles infrastructures réseau. Les concepts NGN et 4G sont totalement en phase avec cette approche.

Les services ou applications sont conçus indépendamment d'un type de réseau d'accès particulier (sans fil, cellulaire, filaire, optique, etc.) mais sont basés sur un cœur de technologie IP, qui est aujourd'hui la pierre angulaire de la convergence des services téléphoniques et données. Dans les NGN ou les réseaux 4G, le paradigme du « toujours connecté » est conçu comme une généralisation de la mobilité pour les services utilisateurs, avec un changement de réseau d'accès complètement transparent tant qu'il est compatible. Les applications, ainsi que les protocoles sous-jacents, doivent être persistantes aux changements de réseaux. Cette exigence reste néanmoins très ambitieuse car les réseaux sont hétérogènes et potentiellement opérés par une grande variété d'acteurs.

ARCHITECTURE RESEAU : INTEGRATION DES RESEAUX HYBRIDES

L'intégration des réseaux par satellite dans les réseaux terrestres peut être faite de plusieurs manières. De nombreuses solutions techniques peuvent être envisagées à ce propos mais le critère principal d'intégration sera principalement dicté par les modèles de rôle et de business qui en découlent. Il est toutefois possible de définir trois types d'intégrations génériques :

1. une intégration à fort couplage, dans laquelle le système mobile (3G, LTE, WIMAX) est étendu pour prendre en charge le media satellite comme un canal d'accès alternatif, de manière complétement transparente ;

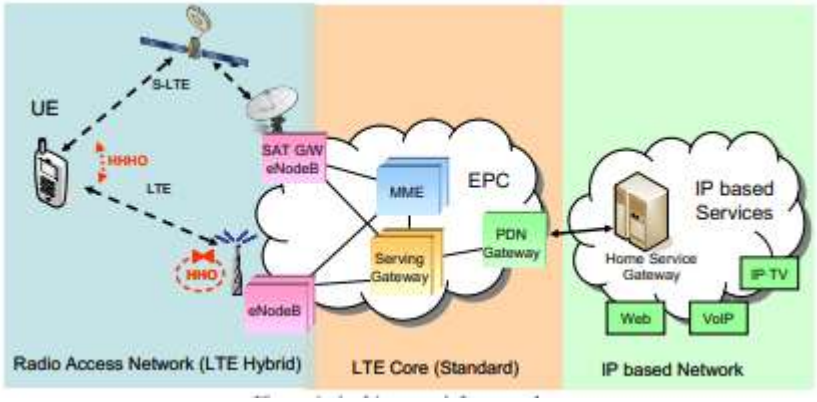
2. **une intégration relai,** dans laquelle le satellite est intégré à l'infrastructure du réseau mobile, non pas directement au niveau de l'interface air mais à travers un relai spécifique (gateway) permettant l'accès au cœur de l'infrastructure mobile ;

3. une intégration à faible couplage, où une interface spécifique au système satellite est ajoutée au terminal mobile satellite afin de permettre aussi l'accès à un réseau IP terrestre par cette interface. Des terminaux multimodaux et multitechnologies capables de gérer plusieurs interfaces et leurs protocoles spécifiques (par exemple DVB-RCS+M) sont donc nécessaires.

INTEGRATION A FORT COUPLAGE : UNE APPROCHE INTEGREE

Avec l'approche « Intégration à fort couplage », le satellite est complètement fusionné dans le système mobile ciblé (3G, LTE, WIMAX), de manière transparente pour l'utilisateur mobile. L'interface d'accès radio est étendue (infrastructure et protocoles) pour intégrer un canal satellite comme interface alternative d'accès pour l'utilisateur mobile.

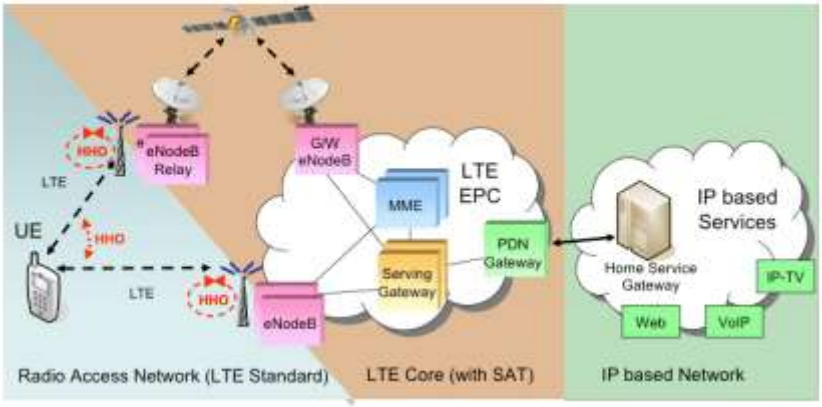
Cette approche est considérée comme l'étape ultime dans l'intégration du satellite dans le réseau hybride. Le système satellite est conçu pour être totalement compatible avec les protocoles mobiles et est complètement intégré dans le cœur du réseau, au travers de l'interface standard eNodeB. C'est également l'approche la plus puissante du point de vue de l'utilisateur. Malheureusement, c'est aussi la plus complexe car elle requiert de très grandes performances du matériel, au niveau du terminal mais aussi au niveau du satellite, afin de conserver des équipements portatifs de petite taille. Le terminal est un terminal hybride car il peut interagir avec le satellite ou une antenne terrestre en utilisant la même pile de protocoles (LTE voire WIMAX). La gestion de la mobilité est prise en charge par ces protocoles, au niveau de la couche accès, comme dans un réseau cellulaire terrestre classique.



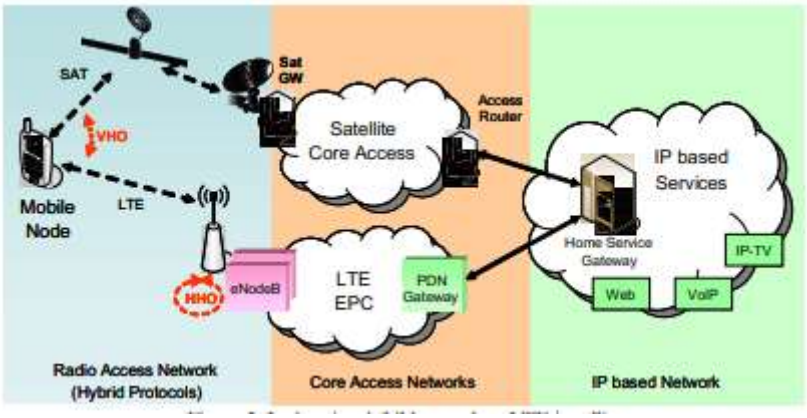
INTEGRATION RELAI

Avec le modèle « Intégration relai », le satellite est intégré dans le réseau mobile en tant que relai. De fait, il n'est pas positionné à l'interface radio avec le mobile mais en tant que relai spécifique pour permettre l'accès au cœur du réseau mobile. Ainsi, le terminal mobile est un terminal classique, respectant le standard du réseau mobile visé (par exemple LTE ou Wimax). Ce n'est plus un équipement dual et l'interface satellite reste aussi une interface satellite fixe classique (Fixed Satellite Service). Le mobile est connecté à un eNodeB classique, lui-même

interconnecté au réseau de cœur par une liaison satellite. C'est au réseau satellite de s'interfacer avec le cœur du réseau mobile terrestre. Dans un modèle LTE, il pourrait jouer le rôle de eNodeB ou de Serving Gateway (SGW).



INTEGRATION A FAIBLE COUPLAGE

Avec « l'intégration à faible couplage », une interface spécifique au satellite est ajoutée au terminal pour s'interconnecter au réseau IP par un réseau d'accès spécifique. Elle est à différentier de la première approche, par le fait que cette fois-ci l'interface supplémentaire respecte les standards d'un réseau mobile satellite classique (MSS). Il n'y a pas d'intégration par un protocole spécifique au système mobile terrestre comme dans les approches précédentes. Cette approche met en œuvre des terminaux mobiles multitechnologies, gérant des interfaces classiques avec des protocoles dédiés (pour le satellite une architecture DVB-RCS+M peut être utilisée).

Cette architecture peut être généralisée à toutes les technologies, non limitées à LTE. Le terminal mobile s'interconnecte à un réseau IP à travers des réseaux d'accès hétérogènes.