

ROYAUME DU MAROC
SOCIETE NATIONALE DES AUTOROUTES DU MAROC

LES SYSTEMES DE RADIOCOMMUNICATION NUMERIQUE



Par : Ilham BARGACH

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION.....	3
II. CONTEXTE DES RADIOCOMMUNICATIONS AU MAROC	3
III. PRINCIPES ET INTERETS DES SYSTEMES DE RADIOCOMMUNICATION NUMERIQUE	3
III.1. Caractéristiques des réseaux radio numériques professionnels.....	3
III.2. Fonctions principales	4
III.3. Fonctions complémentaires	4
III.4. Rappel concernant les différences de performances entre l'analogique et le numérique .	5
IV. INVENTAIRE DES TECHNIQUES EXISTANTES	6
IV.1. Les évolutions dans les radiocommunications numériques professionnelles.....	6
IV.2. Les technologies numériques en présence	6
V. TECHNOLOGIE TETRA, ETAT DE L'ART	8
V.1. Architecture technique :.....	8
V.2. Vision fonctionnelle	8
V.3. Configurations possibles de réseau.....	9
V.4. Gestion de mobilité.....	9
VI. TECHNOLOGIE INTERMEDIAIRE DMR	10
VI.1. Architecture fonctionnelle	10
VI.2. Fonctionnement :.....	10
VI.3. Mobilité : Hand over et roaming	11
VI.4. Exploitation.....	11
VI.5. Services	11
VII. TECHNOLOGIE INTERMEDIAIRE KENWOOD NEXEDGE	11
VIII. TECHNOLOGIE SPECIFIQUE MOTOROLA ASTRO 25 (PROPRIETAIRE).....	11
IX. CONCLUSION SUR LES TECHNOLOGIES	12
X. CHOIX ADOPTE PAR ADM	13

I. INTRODUCTION

La sécurité des usagers et du personnel d'exploitation des autoroutes est au cœur des préoccupations des sociétés d'autoroutes. La rapidité et la qualité des interventions sont donc des éléments primordiaux pour les services d'exploitation.

Dans ce cadre, les performances du système de radiocommunications utilisé par les exploitants autoroutiers, doivent donc être d'abord évaluées à travers la garantie d'acheminement de la communication, l'analyse des risques d'interruptions de fonctionnement et des modes dégradés en cas de pannes et l'établissement des communications dans des délais extrêmement brefs.

A court terme, le réseau de la société des Autoroutes du Maroc couvrira 1 500 km, il se développe avec une cadence soutenue et voit son trafic croître régulièrement.

Afin de s'adapter à cette double croissance et d'améliorer son organisation, la société des Autoroutes du Maroc souhaite s'équiper d'un système de radiocommunications répondant à ses besoins d'exploitation des autoroutes, permettant une meilleure couverture/qualité et une évolution en termes de service pour son usage professionnel.

Le secteur des radiocommunications professionnelles est en évolution et les solutions techniques sont multiples, le présent rapport a donc pour objectif de présenter un résumé des solutions techniques les plus utilisées et le choix technique par ADM dans le sens de la meilleure efficacité.

II. CONTEXTE DES RADIOCOMMUNICATIONS AU MAROC

Il existe trois réseaux publics de radiocommunications au Maroc et deux exploitants de réseau public professionnel fonctionnant sur la norme Tétra (région Casablanca-Rabat et Maroc nord).

Les exploitants des autoroutes du Maroc utilisent déjà fréquemment la solution réseau public du type GSM ou UMTS. Toutefois l'utilisation de ces réseaux qui éviterait de réaliser des investissements n'est pas envisageable pour les exploitants. En effet aucun opérateur ne dimensionne son réseau pour les trafics de pointe, ils n'offrent donc pas de garantie d'acheminement du trafic. Par ailleurs, ils ne disposent pas des fonctions essentielles comme l'appel de groupe.

Le réseau professionnel existant dessert actuellement les grandes villes et leurs environs, les autoroutes ne sont pas couvertes, il n'est donc pas utilisable en l'état.

III. PRINCIPES ET INTERETS DES SYSTEMES DE RADIOCOMMUNICATION NUMERIQUE

III.1. Caractéristiques des réseaux radio numériques professionnels

Les systèmes de radiocommunications professionnels ne répondent pas aux mêmes objectifs que les réseaux commerciaux. A la différence de ces derniers qui ont en priorité un objectif de rentabilité commerciale, les réseaux professionnels doivent s'adapter aux besoins et activités des utilisateurs pour offrir un service garanti quelles que soient les conditions.

Ce qui se traduit par trois points importants :

- La prise en compte de la sécurité des biens et des personnes : l'outil de radiocommunications sert souvent à mettre en place des actions de sécurité.
- La prise en compte des pertes d'exploitation éventuelles en cas de panne de communication.
- La prise en compte des améliorations de productivité apportées par les radiocommunications.

Il est donc nécessaire par exemple de :

- Garantir l'écoulement du trafic (les communications doivent toujours s'établir et ne pas dépendre de l'environnement radioélectrique)
- Garantir l'aboutissement de l'appel dans un délai extrêmement court (les communications doivent s'établir quasiment sans délai)
- Fournir des outils d'amélioration de productivité (appels de groupe, mode direct, ..)

III.2. Fonctions principales

- Appel phonie avec sonnerie, à file d'attente avec informations d'appel et accusé de réception
- La transmission de données
- Les appels de groupe multi-sites
- Les appels prioritaires
- Les appels préemptifs
- Contrôle des communications à partir des centres d'exploitation ou par limitation des possibilités dans les terminaux (les terminaux émettent des demandes d'appels et c'est le centre qui autorisent les appels)
- Ces services d'établissement d'appels doivent se faire dans des délais inférieurs à la demi seconde.
- Fonctionnements en modes dégradés.

III.3. Fonctions complémentaires

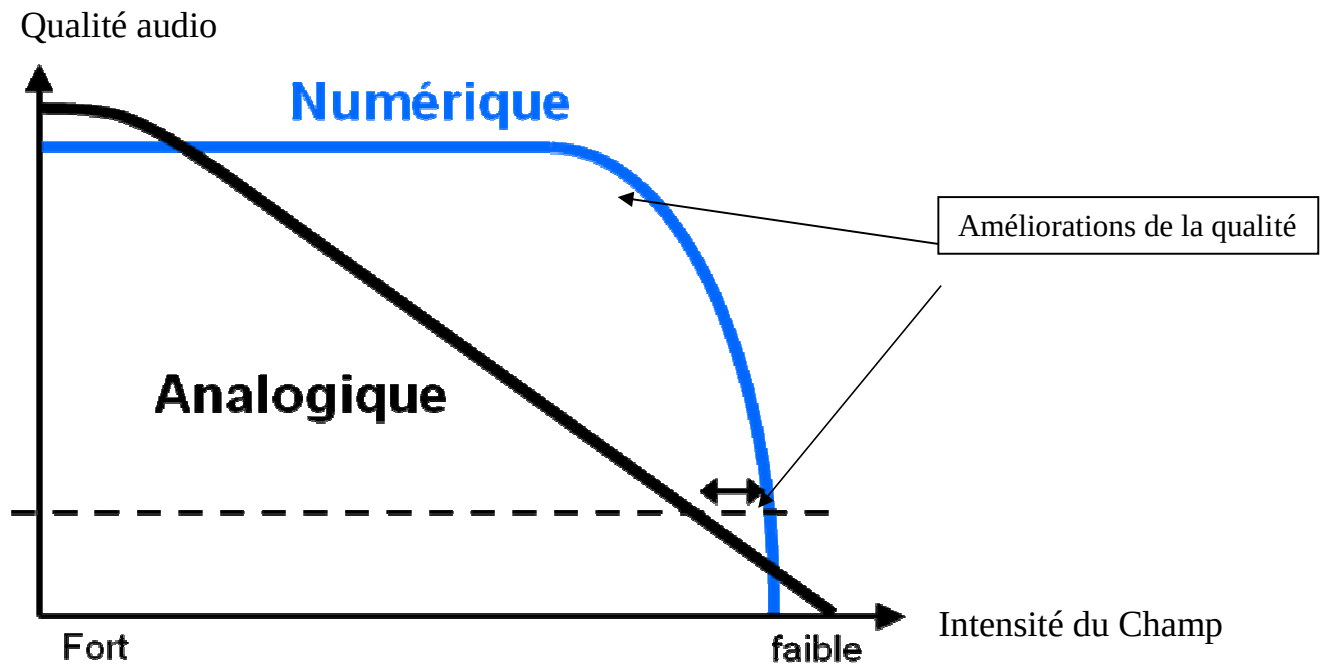
- Le mode direct
- Les appels individuels en mode duplex
- Suivi des communications lors des changements de cellule (hand over)
- Les connexions vers le réseau téléphonique interne de l'entreprise qui permet de joindre les services techniques de l'entreprise à partir de son mobile
- Les connexions vers le réseau téléphonique public
- L'accès à l'intranet de l'entreprise (GMAO en particulier)
- L'accès à internet
- Les services à valeur ajoutée comme la géo localisation

III.4. Rappel concernant les différences de performances entre l'analogique et le numérique

Globalement, les technologies donnent le choix entre :

- numérique et analogique
- le multiplexage temporel et fréquentiel

Pourquoi choisir une technologie numérique ?



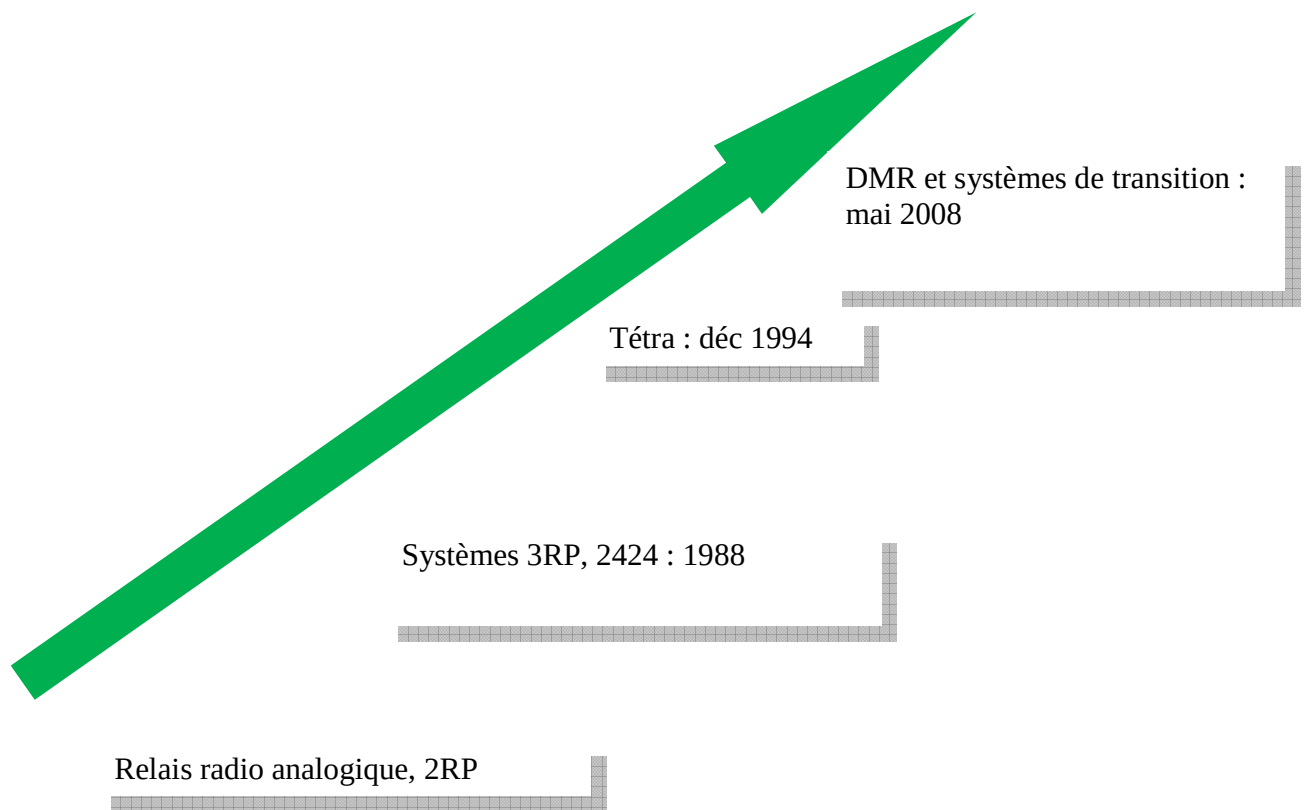
On constate que le numérique apporte une nette amélioration de la qualité audio.

IV. INVENTAIRE DES TECHNIQUES EXISTANTES

IV.1. Les évolutions dans les radiocommunications numériques professionnelles

Au fur et à mesure des évolutions technologiques (codage de la parole, modulation, processeurs et mémoires), les technologies ont évoluées en intégrant ces nouvelles technologies.

Ceci nous donne la symbolisation de l'évolution technologique suivante :



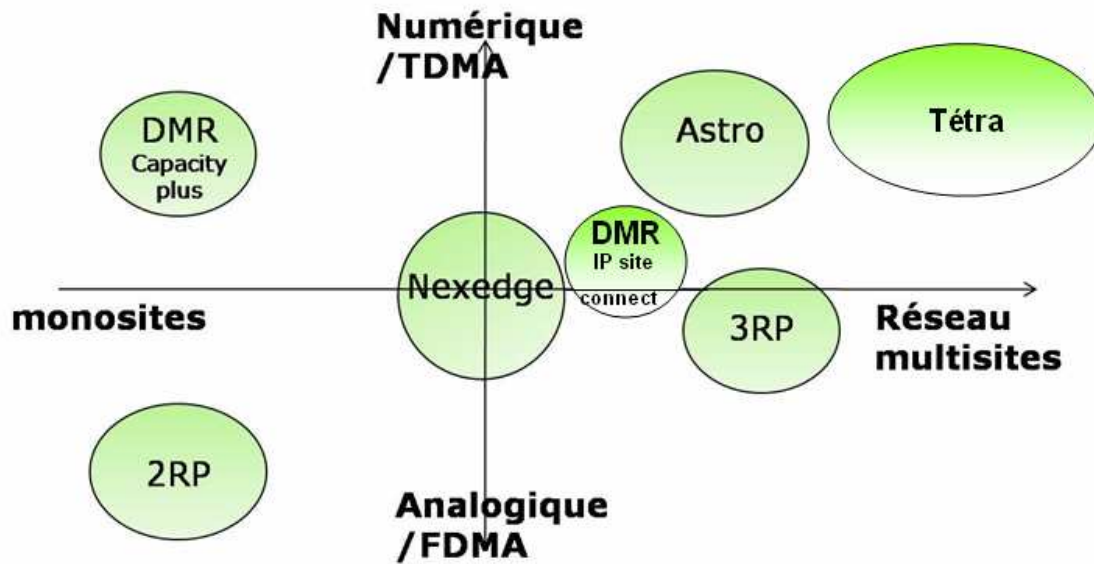
Les dates indiquées sont celles de première publication des normes.

IV.2. Les technologies numériques en présence

Il existe sur le marché plusieurs technologies remplissant les critères des systèmes de radiocommunications professionnelles numériques :

- Tétra (TDMA)
- Technologies intermédiaires DMR (TDMA) et Nexedge
- Technologies spécifiques : Astro

Ci-dessous une présentation du positionnement des technologies en l'état actuel des développements.



La solution Nexedge de Kenwood est dans un positionnement intermédiaire entre les solutions normalisées 2RP, DMR, 3RP et Tétra. Elle permet aux clients une migration facile.
nota : Nexedge est un standard non normé

V. TECHNOLOGIE TETRA, ETAT DE L'ART

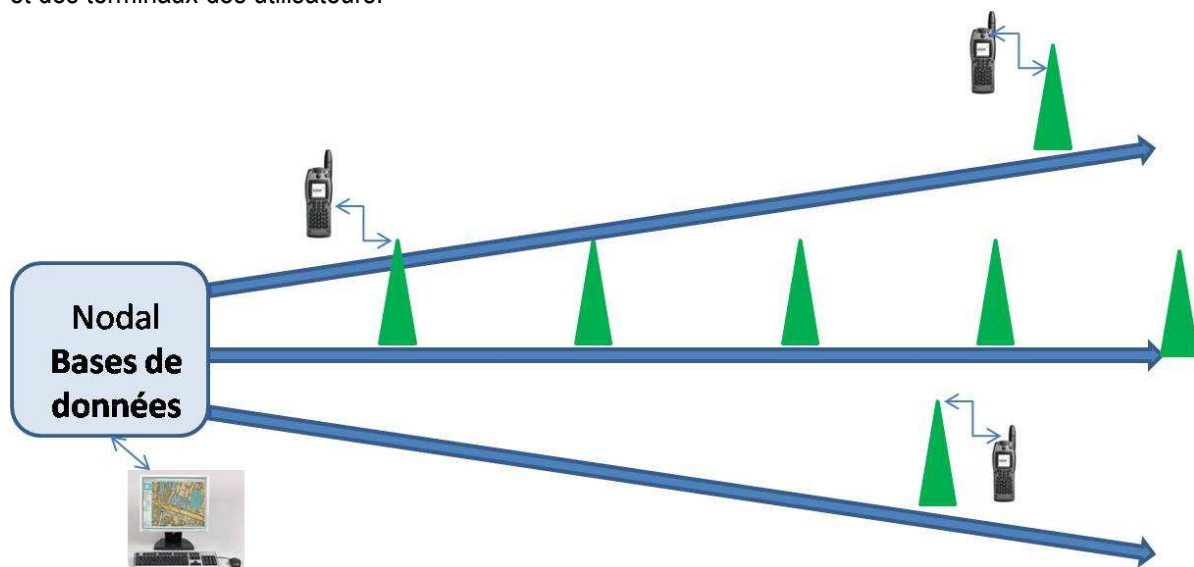
Basée sur les expériences des réseaux professionnels 2RP et 3RP, Tétrà dispose de nombreuses fonctions évoluées et notamment la gestion centralisée de réseau de télécommunication phoniques et data de grandes tailles ; et est devenue la référence dans le domaine des radiocommunications professionnelles privés.

V.1. Architecture technique :

Le réseau est composé d'un nodal relié à des sites radio par un réseau de transmissions et de terminaux.

Les principes architecturaux et les techniques ont considérablement évolué avec l'arrivée d'IP et avec l'accroissement des capacités de calculs des équipements, offrant ainsi une plus grande sécurité de fonctionnement aux utilisateurs.

Le réseau est composé d'un nodal et de sites radio reliés entre eux par un réseau de télécommunications et des terminaux des utilisateurs.



V.2. Vision fonctionnelle

- **Nodal** : il détient les bases de données qui constituent le réseau et les abonnés. A partir du nodal on peut donc modifier ou étendre le réseau et changer sa structure, on peut également ajouter ou retirer des abonnés et leur attribuer des droits.
- **Sites radio** : ils représentent l'interface du réseau avec les utilisateurs. Leur implantation ou répartition est réalisée à partir d'études de propagation et d'analyse du besoin des utilisateurs. Il est en effet fondamental de connaître leur répartition géographique pour mettre en place le nombre de canaux nécessaires pour écouler le trafic dans toutes les conditions.
- **Les terminaux** : terminaux radio ou filaire. Les terminaux reliés au réseau par voie radioélectrique, sont des mobiles installés dans les véhicules avec une antenne externe ou des portatifs. Les différences tiennent aux puissances rayonnées et aux performances des antennes.

Les terminaux filaires sont reliés par liaison physique au réseau. Basés sur des PC, appelés dispatchers, outre la phonie, ils disposent de fonctions évoluées par rapport aux terminaux radio.

- **Les services** : Les services sont nombreux : appel individuel en semi duplex, en duplex, appel de groupe, mode direct, informations d'appel, appel prioritaire ou préemptif, communications avec les réseaux extérieurs (RTC ou autocommutateur entreprise) de tous les points du réseau.
- **Le réseau de transmissions** : basé sur des commutateurs, la structure du réseau évolue avec la mise en place des transmissions sous IP. Il est possible d'utiliser comme support de transmission la fibre optique ou les faisceaux hertziens.

Authentification : la connexion au nodal permet une identification permanente des terminaux. La mise en ou hors service (cas des vols) se fait immédiatement à partir du centre d'administration du réseau, de même pour les changements de droits (émission d'appels d'urgence, connexions au RTC, accès internet, ..).

Services à valeur ajoutée : la géo localisation est présente dans l'ensemble des constructeurs. D'autres services peuvent être implantés.

Nota : les évolutions techniques permettent de transférer de plus en plus d'informations dans les sites radio qui deviennent alors quasiment autonomes par rapport au nodal. Ceci va dans le sens d'une grande amélioration de la sécurité.

V.3. Configurations possibles de réseau

Les configurations sont fonctions des réseaux de transmission, il existe deux principes : étoile (sans IP) ou chaînage (avec IP).

Avec l'utilisation de la transmission des communications ou signalisation sous IP, les configurations possibles pour les réseaux ne sont plus limitées. On dispose alors d'arborescences.

Il est possible de réaliser des pseudo-étoiles en encapsulant les messages sous IP.

V.4. Gestion de mobilité

La mobilité présente deux aspects :

- **Le roaming** (localisation des terminaux)
- **Le hand over** (suivi des communications pendant un changement de station de raccordement).

La gestion de la fonction roaming se fait via le nodal qui détient les tables d'abonnés. Toutefois les évolutions des technologies transfèrent ces tables d'abonnés dans les sites radio qui sont alors à même d'accueillir les terminaux. La mise à jour des droits, des localisations utilisent encore les ressources du nodal.

La fonction de hand-over, changement de cellule en cours de communication, est gérée par la norme Tétra. Suivant les constructeurs et les évolutions logicielles, elle nécessite la connexion avec le nodal ou se fait par communications entre cellules.

VI. TECHNOLOGIE INTERMEDIAIRE DMR

La normalisation de la première partie a été publiée pour la première partie en mai 2008. La dernière partie dite tiers 3 doit permettre de réaliser les communications intersites, une publication devrait intervenir courant 2010.

Dans l'état actuel de la norme (tiers 2), les communications individuelles ne sont possibles qu'en monosite (c.à.d. une seule cellule de couverture). Pour un appel multisites (entre deux sites radio différents) il est nécessaire de faire un appel « conférences », tous les mobiles dont la programmation comprend le numéro de l'appel se portent en écoute et il faut nommer (en phonie) le destinataire de l'appel individuel. Ce mode de fonctionnement est similaire à celui utilisé actuellement à Autoroutes du Maroc

Les largeurs des canaux en PMR et en DMR étant identiques, 12,5 kHz, la solution DMR permet de conserver et/ou de faire cohabiter un réseau analogique existant avec un nouveau réseau numérique moderne donc de conserver le réseau PMR analogique actuel avec les fréquences radio à 12,5 KHz et de ne pas remplacer tout le parc d'équipements radio existant d'un seul coup.

Deux variantes DMR sont identifiées selon la structure du réseau radio :

- Multisites, « IP site connect » : 14 sites à une seule porteuse
- Monosite, « Capacity plus » : un seul site à 12 porteuses

La DMR « Capacity plus » est sans intérêt pour « Autoroutes du Maroc » car son fonctionnement est basé sur une architecture monosite avec composante capacité importante, qui peut aller jusqu'à 12 porteuses.

On focalisera notre étude ci-dessous sur la variante « IP site connect » qui correspond plus à l'architecture réseau radio des « Autoroutes du Maroc ».

VI.1. Architecture fonctionnelle

Le réseau est composé de sites radio juxtaposés couvrant la zone à desservir. La structure maximale permise en l'état actuel des technologies est de 15 sites : 14 sites de couverture et un site de supervision.

Le nombre maximum de terminaux est de 120 0 par réseau.

Cette architecture serait utilisable dans le cas des Autoroutes du Maroc en créant un sous-réseau par centre d'exploitation, soit au total à termes 7 sous-réseaux pour 7 centres d'exploitation.

VI.2. Fonctionnement :

- Le mobile scanne les fréquences pour se mettre en écoute des canaux de signalisation. Il peut alors lancer ou recevoir des appels.
- le mobile prend automatiquement le premier canal pour établir la communication, il n'y a donc pas besoin de communiquer avec un nodal.
- Si le canal est déjà utilisé le mobile prend le canal de signalisation, ce qui permet de disposer de deux canaux en cas de surcharge (utile pour les réseaux dont le trafic est très faible et dépasse exceptionnellement une communication à la fois).
- Les données (mobiles autorisés) sont chargées dans le calculateur du site. Il n'y a donc pas besoin de lien avec un « nodal ».
- Nodal : il n'y a pas de nodal pour les communications, il est plus correct de parler d'administrateur de réseau. Il s'agit d'un PC équipé du logiciel RDAC.

VI.3. Mobilité : Hand over et roaming

- Les communications s'effectuent à l'intérieur du réseau de 14 sites soit en individuels en monosite, soit en mode diffusion ou conférence en intersites
- La fonction de hand over (changement de cellule pendant la communication) n'est pas possible.
- Le roaming est géré par le mobile qui se déclare sur le site radio lorsqu'il détecte la porteuse.

VI.4. Exploitation

La mise à jour des données concernant les postes radio doit se faire sur chaque «nodal » de chaque sous réseau, il n'y pas de gestion centralisée de la totalité des sites.

VI.5. Services

La technologie DMR offre certaines fonctions de base des systèmes Tétra, mais uniquement sur une seule cellule du réseau.

Il n'est pas possible d'interrompre les communications pour établir un appel d'urgence, ni d'être interrompu durant le fonctionnement en mode direct, ce qui en fait une limitation de taille pour la gestion des urgences.

Les transmissions de données ont un débit plus réduit et nécessitent une porteuse supplémentaire si l'utilisation est fréquente.

VII. TECHNOLOGIE INTERMEDIAIRE KENWOOD NEXEDGE

Le multiplexage fréquentielle FDMA simplifie beaucoup de points techniques et permet de disposer de récepteurs très sensibles donc de couvertures plus étendues.

Basé sur des relais monocanaux, le système est conçu pour des petites installations monocanales. Pour réaliser de grandes structures il faut coupler les éléments entre eux.

L'architecture et l'ensemble des caractéristiques sont présentés au §5.1.5.

VIII. TECHNOLOGIE SPECIFIQUE MOTOROLA ASTRO 25 (PROPRIETAIRE)

La solution Astro est disponible dans les bandes de fréquence 136 à 174MHz et 380 à 520MHz.

Motorola indique avoir basé sa technologie Astro 25 sur la norme Project 25, compatible analogique numérique toutefois l'organisme de normalisation n'apparaît pas clairement.

La gamme Motorola est complète et va du nodal aux équipements mobiles en passant par les sites radio et les consoles de dispatchers. Le produit est donc complet.

La Technologie Astro est hautement sécurisé avec cryptage très robuste.

La modulation utilisée est le C4FM.

IX. CONCLUSION SUR LES TECHNOLOGIES

Ci-après, un tableau de comparaison des technologies de radio communications numériques :

Technologie	Avantages	Inconvénients
TETRA	• Solution complète de télécommunication adaptée aux structures en réseau professionnel à haut niveau de sécurité. • Interconnexion avec le réseau public RTC ou autocom privé • Evolutif sans difficulté. • Supervision centralisée donc simple et économique. • Exploitation peut être centralisée pouvant être déporté par CEX. • Nombreux services à valeur ajoutée • Meilleur rapport CAPEX/OPEX avec une exploitation centralisé	• Investissement initial important • Migration par CEX
DMR	• Investissement initial faible	• 8 réseaux indépendants de 14 sites de couvertures max dont deux pour le centre d'exploitation de Marrakech • Communications en mode diffusion en intersite • Migration par CEX • Services limités de bases • Pas de hand over. • Pas de communication entre les sous-réseaux • Pas de connexion RTC ou autocom
Nexedge	• Très souple, migration très facile et progressive. Grande couverture des sites grâce à la bonne sensibilité des équipements.	• Solution propriétaire mais ouverte à plusieurs constructeurs. Montage des baies peu élaboré, donc nécessité de support technique
Astro	• Très économique, grande zone de couverture car fréquence basse et puissance forte • sécurisé avec cryptage très robuste	• Solution propriétaire Motorola, cout élevé

La technologie Tétra présente les garanties et les performances techniques nécessaires à la construction d'un réseau de grande envergure pour les Autoroutes du Maroc.

Le système Tétra est fiable et offre des services data et voix riches couvrant les besoins actuels et potentiels futures des Autoroutes du Maroc, le système Tétra donne aussi en cas d'autorisation de l'ANRT la possibilité de commercialiser certains services tout en assurant la confidentialité et la sécurité des informations des Autoroutes du Maroc.

L'installation du système Tétra inclus de base le service de géo localisation.

La technologie DMR fournit un fonctionnement réduit en termes de service en configuration multisites, il est similaire au système analogique actuel des Autoroutes du Maroc, avec toutefois une qualité numérique et un service data bas débit.

La DMR couvre les besoins basiques actuels mais sans évolution possible pour les besoins futurs tel que les communications individuels, évolution de la transmission de données, l'exploitation centralisée, la gestion d'appel d'urgence, les services à valeur ajoutée comme la géo localisation.

La technologie Nexedge développée par Kenwood peut présenter une solution alternative économique mais non normalisée et présente donc l'inconvénient d'une solution propriétaire.

X. CHOIX ADOPTÉ PAR ADM

Les différentes technologies présentent de nombreuses références sauf Nexedge qui est très récente, toutefois Tétra est la plus ancienne et dispose de références plus nombreuses et plus éprouvées.

Seule la technologie Tétra est à même de réaliser un réseau unifié, couvrant toute la longueur des autoroutes, permettant de réaliser des communications individuelles ou de groupes d'un bout à l'autre du réseau. Cette solution permet aussi d'interconnecter le réseau Tétra à l'autocom d'ADM et au réseau public.

Cette structure centralisée et unique permet d'exploiter et de superviser le réseau à partir d'un seul point, ce qui réduit les coûts d'exploitation et de supervision mais impose un investissement de départ plus important.

La technologie DMR impose de réaliser plusieurs sous réseaux indépendants. Les fonctionnalités sont réduites en multisites, la transmission de données est moins performante et les services type connexions aux réseaux externes ne sont pas prévus. Plusieurs sites d'exploitation et de supervision sont nécessaires ce qui impose plusieurs centres d'exploitation et augmente les coûts d'exploitation, l'investissement de départ est notablement moins élevé.

Les deux technologies Astro et Nexedge sont des technologies propriétaires donc peu ouvertes à la concurrence.

Sur une vision à long terme, le meilleur rapport CAPEX/OPEX provient notamment de la centralisation de l'exploitation et de la supervision, solution offerte uniquement par la technologie Tétra.

Vu ce qui précède, ADM a choisi de mettre en place un réseau de radiocommunication numérique basée sur la technologie Tetra. Le réseau sera basé sur un nodal redondant et des stations de base assurant la couverture globale du réseau. L'interconnexion des stations de base et du nodal sera assurée par le réseau de transmission d'ADM basé sur la fibre optique.