

LES RÉSEAUX PMR

*Par Michèle Germain
Présidente de l'atelier d'écriture de Forum ATENA*



Crédit photos/illustrations : Cassidian, ETSI, Kathrein, MESA

Ce livre blanc de la collection « Professeur ATENA » s'adresse à tous. Sa lecture ne nécessite pas de connaissances techniques approfondies. Ceux qui ne seraient pas familiers avec la radio trouveront les éléments nécessaires dans notre livre blanc « les bases de la radio » du Professeur ATENA.

Un livre blanc de Forum ATENA

SOMMAIRE

LES RÉSEAUX PMR	1
1 QU'EST-CE QUE LA PMR ?.....	4
1.1 DÉFINITION D'UN RÉSEAU PMR.....	4
1.1.1 Un réseau sécurisé.....	4
1.1.2 Un réseau privé.....	4
1.1.3 Les autres réseaux.....	4
1.2 POSITIONNEMENT DANS LE MONDE DE LA RADIO	4
1.3 LE MARCHÉ DE LA PMR.....	5
1.4 LES UTILISATEURS	5
1.5 LES SERVICES DE PHONIE.....	6
1.6 SERVICES DE DONNÉES DES RÉSEAUX BANDE ÉTROITE.....	7
1.7 SERVICES DE DONNÉES DES RÉSEAUX LARGE BANDE ET BOADBAND	7
1.8 MOBILITÉ.....	8
1.9 INTEROPÉRABILITÉ.....	8
1.10 QUALITÉS D'UN RÉSEAU PMR	8
2 LES SOLUTIONS.....	9
2.1 L'ARCHITECTURE RÉSEAU	9
2.2 LES TERMINAUX	9
2.3 LES ANTENNES.....	10
3 LES TECHNOLOGIES PMR.....	12
3.1 LA PMR ANALOGIQUE	12
3.2 LA PMR NUMÉRIQUE.....	12
3.3 LA PMR LARGE BANDE	13
3.4 LES TECHNOLOGIES ISSUES DU GSM	14
3.5 COMPARAISONS	14
3.5.1 Analogique vs. numérique.....	14
3.5.2 Réseau PMR vs. réseau public GSM	15
3.6 PROCESSUS DE STANDARDISATION.....	16
3.7 FRÉQUENCES.....	17
4 LE STANDARD TETRA	19
4.1 ARCHITECTURE ET ORGANISATION.....	19
4.2 L'INTERFACE AIR	19
4.2.1 L'accès au média	19
4.2.2 Description des canaux.....	19
4.2.3 La chaîne de transmission.....	20
4.2.4 Le retournement des terminaux.....	21
4.3 LES SERVICES DE BASE.....	22
4.3.1 L'adressage.....	22
4.3.2 La mobilité.....	22
4.3.3 L'alternat.....	23
4.3.4 Le trunking	23
4.4 LA TRANSMISSION RADIO	24
4.4.1 Le modèle cellulaire	24
4.4.2 la propagation radio	25
4.4.3 Le seuil de sensibilité	25
4.4.4 La couverture radio.....	25
4.5 LES SERVICES DE PHONIE	25
4.5.1 Les communications individuelles.....	25
4.5.2 Les communications de groupe.....	26
4.5.3 Traitement de la détresse	27
4.6 LES SERVICES DE DONNÉES	27
4.7 LE MODE DIRECT (DMO)	27
4.8 LA SÉCURITÉ	28
4.8.1 Chiffrement TETRA.....	28
4.8.2 Détection de jamming	28
4.8.3 Inhibition des mobiles	29
4.9 L'ISI (INTER SYSTEM INTERFACE)	29
5 LES AUTRES STANDARDS DE PMR NUMÉRIQUE	30

6	PERMANENCE DE SERVICE	32
6.1	REDONDANCE.....	32
6.2	MODES DÉGRADÉS	32
6.3	MODE DIRECT.....	32
7	LA CONCEPTION DU DISPATCHING	33
7.1	LE POSTE DU DISPATCHER	33
7.2	LES APPLICATIONS DE DISPATCHING	34
7.2.1	<i>Le CAD (Computer Assisted Dispatching)</i>	<i>34</i>
7.2.2	<i>Le suivi des véhicules</i>	<i>34</i>
7.2.3	<i>Le GIS (Geographical Information System)</i>	<i>34</i>
8	L'INTERCONNEXION DE RÉSEAUX	36
9	LES GRANDS PROJETS	37
9.1	LA SÉCURITÉ DES ÉTATS	37
9.2	EMTEL	37
9.3	MESA	38
10	ANNEXES	40
10.1	ACRONYMES.....	40
10.2	DÉFINITIONS.....	40
10.3	BIBLIOGRAPHIE.....	41
11	A PROPOS DE L'AUTEUR	42

1 QU'EST-CE QUE LA PMR ?

1.1 DÉFINITION D'UN RÉSEAU PMR

1.1.1 UN RÉSEAU SÉCURISÉ

Les réseaux PMR (ou LMR dans la dénomination anglo-saxonne) sont des **réseaux de radiocommunication sécurisés**, essentiellement axés sur des services de phonie et de mini messagerie, qui ont la particularité d'être conçus et exploités par leurs propres utilisateurs.

Ils s'adressent à des entités qui ont des **besoins forts en matière de confidentialité et de permanence de service**, en particulier aux forces de Sécurité Publique.

Le réseau PMR est celui qui doit continuer à fonctionner quand tout va mal !

En cas de crise majeure affectant les moyens de communication classiques radio et filaires, le réseau PMR est celui qui doit rester opérationnel pour organiser les secours et assurer un service minimal de communication. Priorité est donnée à la robustesse du système et c'est la raison pour laquelle les réseaux PMR sont basés sur des techniques éprouvées réputées fiables.

Toutes les transactions sont sécurisées par des moyens d'authentification et de chiffrement afin d'assurer la confidentialité et l'intégrité du réseau.

1.1.2 UN RÉSEAU PRIVÉ

Le réseau PMR appartient à son utilisateur qui en finance le déploiement et qui en assure l'exploitation. Le réseau est adapté à ses besoins en termes de capacité de trafic, de couverture et de services. Il fonctionne dans des bandes de fréquences qui lui sont propres, attribuées sous licence renouvelable.

Un réseau PMR représentant un investissement lourd, il arrive qu'un même réseau soit partagé par plusieurs utilisateurs, qu'on appelle des « organisations », qui en sont en quelque sorte copropriétaires. Ainsi en France, une structure de réseau unique est partagée par la police et par les pompiers. Même si elles partagent le même réseau, les organisations fonctionnent de manière indépendante les unes des autres avec leur flotte d'usagers, leurs communications propres et un quota de ressources réseau assuré.

1.1.3 LES AUTRES RÉSEAUX

Toute règle ayant bien sûr son exception, il existe aussi des réseaux PMR à couverture nationale qui appartiennent à des opérateurs qui vendent des services à des organisations trop petites pour avoir leur propre réseau. Ces réseaux portent le nom de **PAMR**. La majorité se trouve en Amérique du nord. En France, il n'y a eu que deux réseaux de ce type : Radiocom 2000 (fermé en 2000) et Dolphin lancé – et fermé – au début des années 2000.

Après la fermeture de Dolphin, des petits réseaux privés se sont développés dans des bandes de fréquence avec ou sans licence. Déployés à l'échelle d'une ville ou d'un département, ils sont administrés par des exploitants gérants de fréquences puis sous-loués aux utilisateurs finaux. Ces petits réseaux de PAMR portent le nom de **RPX** et utilisent les anciennes fréquences du réseau Dolphin.

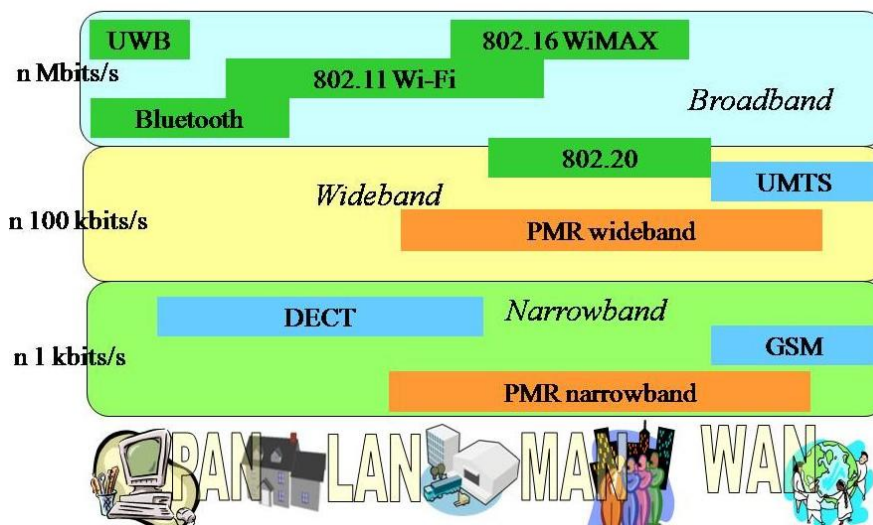
Après cette digression sur les RPX et autres réseaux PAMR, concentrons-nous sur les réseaux PMR.

1.2 POSITIONNEMENT DANS LE MONDE DE LA RADIO

Pour situer la PMR par rapport aux autres technologies radio, essayons de la positionner dans un repère à deux dimensions :

- En abscisses, la dimension des réseaux :
 - PAN : réseau à l'échelle de la personne ou de la maison,
 - LAN : réseau à l'échelle de l'entreprise,
 - MAN : réseau à l'échelle de la ville,
 - WAN : réseau à l'échelle nationale ou plus.
- En ordonnées le débit, réparti en trois catégories :
 - Réseaux à bande étroite (narrowband) : débit de quelques kbits/s,

- Réseau à large bande (wideband) : débit de quelques centaines de kbits/s,
- Réseau broadband : débit de quelques Mbits/s et plus.



Le tableau ci-dessus prend en compte deux types de réseaux : les réseaux PMR bande étroite, la majorité des réseaux actuellement en service, et les réseaux PMR large bande apparus plus récemment. Leur étendue est adaptée au champ d'application, du LAN pour un site industriel par exemple, au WAN pour un pays.

1.3 LE MARCHÉ DE LA PMR

Près de la moitié des utilisateurs sont les forces de Sécurité Publique (police, gendarmerie, pompiers...). Le reste se répartit entre les transports, l'industrie, les services (eau, gaz, électricité...) pour des parts allant de 10 à 20%. Une part à peu près égale rassemble des utilisateurs divers : centres commerciaux, prisons, garde rapprochée...

La Défense est un utilisateur relativement nouveau de la PMR. Depuis quelques années, les militaires se tournent volontiers vers des systèmes civils (COTS) pour toute application statique ou semi statique, réservant les systèmes tactiques durcis au théâtre d'opération. De ce fait, les réseaux PMR s'imposent de plus en plus souvent sur les bases d'entraînement et dans les opérations de maintien de la paix.

La motivation des utilisateurs est la **sécurité**. Comme nous l'avons dit plus haut, le réseau PMR est celui sur lequel on peut compter quand rien ne va plus. Ceci passe par deux contraintes :

- La **permanence de service**. En cas de défaillance partielle ou totale du réseau, il est indispensable qu'un service minimal soit assuré.
- La **confidentialité**. Il est impératif que les communications ne puissent être écoutées par des tiers non autorisés. De même, un usager non autorisé ne doit pas pouvoir s'introduire sur le réseau.

1.4 LES UTILISATEURS

Les réseaux PMR offrent des services de phonie, de données et de configuration à leurs utilisateurs qui se répartissent entre deux grands groupes :

• Les usagers

Les usagers nomades sont équipés de terminaux radio portatifs ou mobiles. Les usagers à poste fixe sont équipés de terminaux radio fixes avec alimentation secteur et combiné. Chaque terminal du réseau peut être associé à un terminal de données.

Certains usagers peuvent appartenir à un autre réseau radio ou filaire qui interopère avec le réseau PMR : usager d'un autre réseau PMR, poste téléphonique, terminal d'un réseau informatique.

• Les opérateurs

Il y a plusieurs fonctions d'opérateurs, même si dans certains réseaux une même personne remplit plusieurs d'entre elles :

- **L'opérateur technique** : il est chargé du maintien du réseau en conditions opérationnelles.
- **L'opérateur tactique** : il est chargé de la configuration des usagers et des missions, c'est-à-dire de l'organisation des communications sur le terrain et de la supervision opérationnelle du réseau. Il y en a un par organisation utilisatrice du réseau.

- **Le dispatcher** : il peut y en avoir plusieurs et son rôle est de coordonner les usagers sur le terrain. C'est par exemple celui qui depuis son poste de commandement dirige et coordonne une mission terrain. Il dispose de toutes les fonctions des postes d'usagers, plus certains services qui lui sont propres. Il dispose également d'un certain nombre des fonctions de l'opérateur tactique. Nous reparlerons de lui plus en détail.

1.5 LES SERVICES DE PHONIE

La communication de phonie est la fonction la plus utilisée sur le terrain.

Un impératif est que la phonie soit de bonne qualité. Un ordre mal reçu et mal interprété peut avoir dans ce domaine des conséquences particulièrement fâcheuses.

Dans un réseau PMR, les usagers communiquent au sein de groupes de communication, la communication privée entre deux individus étant exceptionnelle.

• **Les communications de groupe**

La communication de groupe, couramment nommée **talkgroup**, est une fonctionnalité fondamentale et indispensable des réseaux PMR. Elle concerne un ensemble d'individus engagés sur une même mission tactique, ou rattachés à un même service (par exemple le commissariat d'un arrondissement de Paris). Ces communications s'établissent quasi instantanément par une manœuvre simple, sur le modèle du canal ouvert.

Rappelons que le **canal ouvert** est une forme très simple de communication qui définit un canal radio sur lequel tout le monde peut parler et s'entendre. Les réseaux PMR améliorent le mode du canal ouvert en faisant une sélection des participants en fonction de groupes.

En fait, le modèle de la communication de groupe met en œuvre :

- une population, définie par son appartenance à un ou plusieurs **groupes**,
- une zone géographique, définie par un **ensemble de cellules**,
- éventuellement des **paramètres** supplémentaires (priorité...).

Les communications de groupe sont définies par les opérateurs tactiques et/ou les dispatchers en fonction des besoins opérationnels.

Toutes les communications PMR s'effectuent à **l'alternat (half duplex)** : un seul parle tandis que les autres participants ne peuvent qu'écouter.

L'alternat est une contrainte tant opérationnelle que technique. Une communication de groupe pouvant impliquer un nombre important de participants, sa bonne compréhension implique que plusieurs personnes ne puissent pas parler en même temps.

Un autre impératif est l'activation immédiate des communications. Pour parler, l'utilisateur n'a qu'une seule manœuvre à faire : appuyer sur la commande de prise d'alternat de son terminal (nommée **push-to-talk – PTT**) ; les autres passent automatiquement en réception.

• **Les communications individuelles (ou privées)**

Elles sont proposées par les réseaux PMR sans être vraiment indispensables. Ce sont des communications point à point de type téléphonique avec sélection du demandé par numérotation et décroché/raccroché. Elles peuvent faire intervenir un interlocuteur externe au réseau PMR, par exemple un usager téléphonique.

Le plan de numérotation est propre au réseau et représentatif de l'organisation tactique.

Là encore, par tradition, ces communications se déroulent à l'alternat, bien que certains réseaux proposent aussi des communications individuelles en full duplex. Le full duplex est surtout apprécié lorsque la communication implique un usager téléphonique qui par nature ne dispose pas de commande d'alternat.

Contrairement à la communication de groupe dont les participants sont prédéfinis, les participants de la communication individuelle sont définis à base communication par l'appelant (comme en téléphonie).

Certains standards permettent à un usager d'appeler un groupe et, de cette manière, de se joindre dynamiquement à une communication de groupe à laquelle il n'appartient pas.

• **Les communication de détresse (ou d'urgence)**

Exigées par les utilisateurs PMR, il s'agit de communications de groupe ou individuelles de très haute priorité et **préemptives**, déclenchées en cas d'urgence par une manœuvre simple. Elles doivent être acheminées quelque soit l'état du réseau.

• **Le mode direct (ou mode talkie-walkie)**

Le mode direct est une spécificité et une exigence très forte de la PMR, vital au même titre que l'appel de détresse, qu'il doit d'ailleurs supporter. Il désigne un mode sans infrastructure où les terminaux communiquent seulement grâce à leurs capacités intrinsèques et dans leur limite de portée.

• Les services

Les communications de phonie sont assorties de multiples services que nous détaillerons plus loin. L'identification du locuteur est un besoin fort, en particulier sur les communications de groupe.

Nous citerons aussi un besoin récurrent de la Sécurité Publique qui est l'enregistrement des communications, pour réécoute immédiate et pour archivage (témoignage).

1.6 SERVICES DE DONNÉES DES RÉSEAUX BANDE ÉTROITE

Ils sont assez modestes, bridés par les faibles débits des réseaux PMR.

Les services voix et données utilisent le même terminal et sont également disponibles sur la même couverture radio.

Le plus ancien concerne l'envoi de **status**, soit un octet d'information avec une signification convenue (exemple 1 = j'arrive sur les lieux, 2 = demande de renfort, etc.). La mini messagerie de type SMS est également utilisée. Status et SMS sont émis et reçus directement sur le terminal, comme en GSM.

D'autres services nécessitent le raccordement d'un équipement informatique (ordinateur portable, tablette...) au terminal qui fait en gros office de modem. Il s'agit de services de transfert de données (par exemple transfert d'une photo d'identité comprimée) et de consultation de bases de données (par exemple consultation du fichier des cartes grises).

A cause du faible débit de la liaison radio, les transactions ne portent que sur de faibles quantités d'information.

1.7 SERVICES DE DONNÉES DES RÉSEAUX LARGE BANDE ET BOADBAND

Le besoin s'est fait ressentir de débits plus élevés pour transférer davantage de données. Les différents acteurs de la PMR se penchent actuellement sur cette nouvelle demande et travaillent à définition de réseaux PMR large bande (wideband) et broadband. Le tableau ci-dessous dresse un panorama de cette demande.

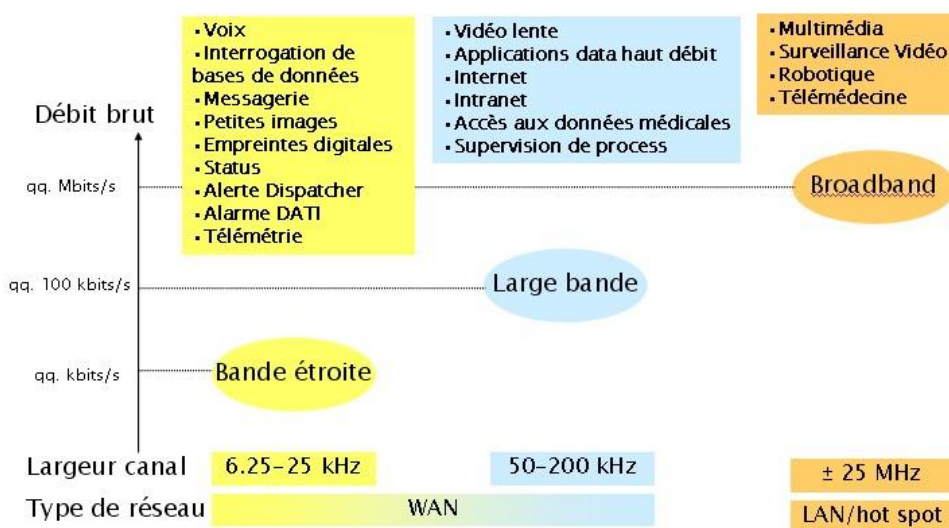


Planche Cassidian

• Les réseaux large bande

L'arrivée de réseaux large bande a permis l'ouverture de nouveaux services comme la vidéo, l'e-mail avec pièce jointe, l'accès à un intranet et à Internet, l'envoi de gros fichiers...

Des réseaux s'appuient sur les technologies des réseaux à bande étroite dont ils sont une évolution, en particulier en jouant sur la largeur de canal et sur la modulation, et ils gardent la structure de réseau LAN/WAN des réseaux bande étroite.

Des études sont également en cours sur des réseaux PMR s'appuyant sur des technologies dérivées de WiMAX ou LTE. Ces technologies présentent de réels atouts pour la PMR, notamment en matière de sécurité. Toutefois des adaptations sont nécessaires, au détriment du débit, pour s'adapter aux fréquences PMR et augmenter la taille des cellules. Ceci les ramène à des débits de l'ordre de 500 à 800 Mbits/s.

• Les réseaux broadband

Au-delà de des services offerts par les réseaux large bande, les utilisateurs de la PMR sont demandeurs d'applications haut débit multimédia, en particulier pour des applications de télé médecine, de vidéo haute

définition et de télésurveillance.

La conception d'un réseau broadband ne peut plus être de type LAN/WAN et s'orienterait sur la technique du hot-spot couvert par un réseau ad-hoc. Des études sont actuellement en cours sur ce sujet.

Dans cette configuration, le réseau est constitué d'un nuage de nœuds mobiles qui jouent à la fois le rôle de terminal et de routeur. Pour que ça marche, chaque nœud doit rester à portée d'au moins un autre afin qu'il n'y ait pas de discontinuité dans le réseau.

Un tel réseau n'est pas installé de manière permanente, mais apporté sur le terrain en fonction des besoins, par exemple sur le lieu d'un incendie.

Tout ceci implique un certain nombre de contraintes :

- déploiement quasi-instantané,
- mise à jour du routage avec une périodicité élevée, plus ou moins rapide selon le degré de mobilité des nœuds, ce qui impose des processeurs très rapides,
- monitoring du réseau afin de prévenir l'isolation d'un nœud ou d'une partie du réseau.

1.8 MOBILITÉ

Comme dans tout réseau radio, les utilisateurs exigent de disposer de l'ensemble des services du réseau quelque soit leur localisation (roaming) et de conserver leur communication lors de leurs déplacements. Ce dernier point est assuré par des fonctions de resélection de voie balise (ou resélection de cellule), le handover étant un luxe que n'offrent que quelques standards.

1.9 INTEROPÉRABILITÉ

Le réseau PMR n'est pas un monde à part et un usager PMR doit pouvoir communiquer avec des usagers d'autres réseaux : autre réseau PMR, réseau téléphonique, réseau de transmission de données. Cet interfonctionnement est assuré par le biais de passerelles (gateways).

1.10 QUALITÉS D'UN RÉSEAU PMR

Pour résumer, nous mettons ici en évidence les caractéristiques d'un réseau PMR :

- Haut niveau de sécurité : confidentialité, permanence de service.
- Bonne qualité de la phonie : les communications doivent être parfaitement audibles.
- Bandes de fréquences réservées (et sous licence) :
 - pour éviter tout risque d'interférence et de collision avec d'autres réseaux,
 - l'attribution d'une largeur de spectre radio aux réseaux est faite selon leurs besoins de trafic afin d'éviter les risques d'encombrement réseau.
- Optimisation des coûts : l'utilisateur va chercher à réduire le nombre de relais radio qui sont des éléments chers de son réseau dont il est le seul utilisateur.
 - cellules étendues pour une bonne couverture de zones rurales avec peu de relais,
 - bonne efficacité spectrale pour optimiser l'utilisation des fréquences dont la licence est chère.
- Interface air éprouvée sur des technologies qui ont fait leurs preuves :
 - résistance aux brouillages,
 - bonne pénétration dans les bâtiments (couverture indoor) ; ce point va aussi dans le sens de la réduction des coûts en évitant des équipements spécifiques pour les parties couvertes.
- Services voix et données intégrés sur le même équipement (terminal et infrastructure).
- Modularité – Extensibilité : l'accroissement des besoins d'un utilisateur ne doit pas remettre en cause l'investissement.

2 LES SOLUTIONS

2.1 L'ARCHITECTURE RÉSEAU

Ces différentes structures assurent une parfaite adéquation au besoin de l'utilisateur et garantissent l'évolutivité du système.

- **Structures de réseau avec infrastructure fixe**

La majorité des réseaux PMR sont à infrastructure fixe, organisés autour d'un ou plusieurs commutateurs radio et de relais en baies. Les composants sont connectés via des liaisons fixes (ligne téléphonique louée, fibre optique) ou par faisceaux hertziens.

Ce sont évidemment des installations permanentes de toutes tailles, depuis le site industriel jusqu'au réseau national.

- **Structures de réseau transportable**

D'autres réseaux PMR, dits à infrastructure transportable, sont utilisés pour des besoins ponctuels ou en complément d'un réseau existant, ou encore en l'absence de réseau d'infrastructure. Ils intègrent toutes les fonctions d'un réseau fixe.

Ils sont utilisés notamment dans le cadre d'opérations de maintien de la paix, d'opérations tactiques militaires ou pour palier la destruction des infrastructures fixes lors de catastrophes (inondation, tremblement de terre) et ouvrir un service de communication pour l'organisation des secours.

Le shelter, acheminé par camion ou hélicoptère, intègre un commutateur radio, un relais et les terminaux d'exploitation. Ce petit réseau peut fonctionner de manière autonome ou encore être intégré dans un réseau PMR à infrastructure fixe ou transportable. Il suffit d'en relier le commutateur radio à un de ceux de l'autre réseau, par voie satellite en l'absence de réseau de transmission.



- **Réseaux sans infrastructure : Mode direct**

Le mode direct est la forme la plus élémentaire de réseau PMR, puisqu'il ne comporte pas d'infrastructure. La communication se fait entre les terminaux dans la limite de leur portée, soit quand même quelques kilomètres en terrain dégagé.

Certains réseaux de très petite taille fonctionnent ainsi.

Pour les autres, le mode direct est l'ultime « roue de secours » en cas de panne : quand plus rien ne marche, il reste toujours le mode direct.

Outre les cas désespérés, heureusement rares, de panne totale, le mode direct est utilisé pour des opérations hors couverture. Il est également utilisé ponctuellement sous couverture du réseau par des usagers qui désirent constituer leur propre groupe de communication, par exemple sur le lieu d'un accident, en se mettant en marge des communications tactiques prédéfinies du réseau.

2.2 LES TERMINAUX

- **Types de terminaux**

Les réseaux PMR supportent différents types de terminaux que l'utilisateur choisira en fonction de ses besoins :

- Le terminal radio portatif est bien sûr le plus répandu. Il peut être utilisé avec un équipement micro-poire qui supporte les fonctions de phonie et la commande d'alternat, permettant ainsi à

l'utilisateur de porter le terminal radio à la ceinture ou dans un holster. Il peut être associé à un équipement informatique (tablette, ordinateur portable...).

- Le mobile radio, embarqué à bord d'un véhicule, dispose des mêmes fonctions que le portatif, avec une puissance accrue. Il peut également être associé à un équipement informatique.
- Le poste radio fixe, utilisé dans les bureaux se compose d'un terminal radio sur socle avec alimentation secteur et un combiné. Il peut également être associé à un équipement informatique.
- L'équipement discret, caché sous les vêtements et muni d'une oreillette, est destiné plus particulièrement aux opérations de surveillance et de garde rapprochée.
- Le poste du dispatcher combine les organes de phonie et d'informatique. Nous verrons plus en détail plus loin les différentes conceptions du poste de dispatching.



(Photos Cassidian)

• Conception du terminal

Le terminal intègre tout ce qui est nécessaire à la gestion des communications :

- Un rotacteur permet de sélectionner aisément une communication préprogrammée. Celles-ci sont en général des communications de groupe, rarement des communications individuelles.
- Un « bouton rouge » déclenche l'appel de détresse.
- La commande l'alternat (PTT) permet de prendre la parole.

Des versions « iSafe » du portatif à batterie blindée sont conçues pour fonctionner en milieu explosif.

Le terminal radio doit disposer d'une autonomie suffisante pour une mission (8 heures).



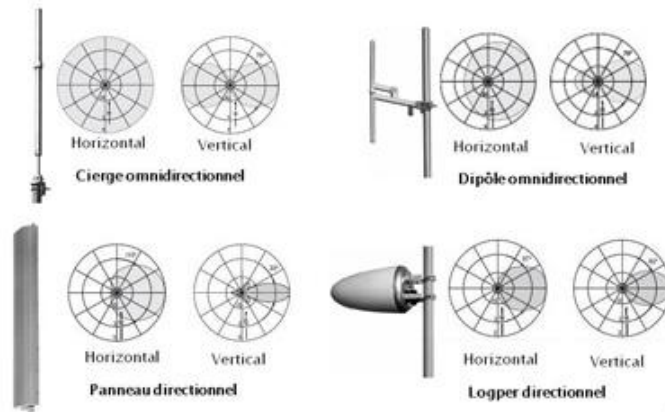
(Photo Cassidian)

2.3 LES ANTENNES

• Types d'antennes

On trouve des antennes PMR de différents types adaptés à l'usage demandé : cerce ou dipôle omnidirectionnel, panneau directionnel, logper directionnel (offrant en particulier une faible prise au vent).

Le choix se fait en fonction de la zone à couvrir.



Photos Kathrein

• Le couplage d'antenne

Le couplage d'antenne consiste à multiplexer/démultiplexer plusieurs canaux radio associés chacun à un TRX (émetteur/récepteur) sur une antenne unique. Il existe deux grandes techniques de couplage :

- Le couplage hybride :

C'est la méthode la plus simple qui consiste à coupler les TRX deux à deux sur une charge de dissipation. Toutefois, le couplage introduit une perte de 3 dB par étage, parfois davantage, qui devient rédhibitoire pour des relais de grande capacité. En pratique le couplage hybride n'est utilisé que pour des relais de 4 canaux maximum.

Sur l'exemple ci-contre, le couplage hybride de 8 canaux introduit 9 dB de pertes. Donc, pour émettre 25 W au niveau de l'antenne, chaque TRX doit fournir 200 W !

Un avantage du couplage hybride est qu'il n'impose pas de contraintes sur les fréquences des canaux radio (voir couplage par cavités ci-dessous).

Il est couramment utilisé dans des réseaux TDMA où le nombre de canaux par relais est bien inférieur à celui nécessité par les réseaux FDMA. Par exemple pour 16 voies de communication, un réseau FDMA TETRAPOL utiliserait 16 canaux radio et un réseau TDMA/4 TETRA n'en utiliserait que deux.

- Le couplage par cavités

Pour des relais de grande capacité et de grands réseaux, le couplage par cavités est préféré. Un tel couplage gère jusqu'à 8 canaux radio.

A chaque canal radio est associé à un résonateur accordé sur sa fréquence médiane. L'ensemble n'introduit qu'un affaiblissement de 3 dB sur chacun des canaux.

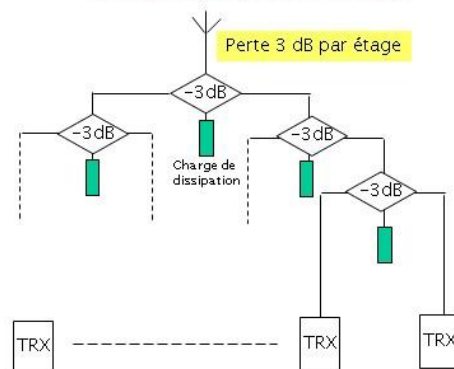
Pour que le couplage par cavité soit efficace, il faut que les canaux soient espacés de 150 kHz, voire davantage si possible. Pour cette raison, il ne peut être mis en œuvre que sur des réseaux disposant d'une large bande de spectre. Un autre inconvénient est la précision avec laquelle doivent être réglées les cavités, qui nécessite un temps important lors de l'installation.

• Couverture des zones confinées

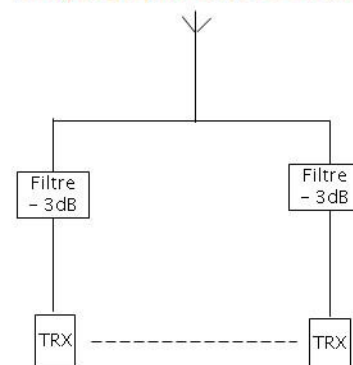
Il s'agit de prolonger la couverture du réseau dans des zones qui ne peuvent être atteintes par les relais. Il y a pour ceci diverses solutions, dont :

- L'installation de répéteurs passifs qui reçoivent et réémettent le signal après amplification. Les répéteurs sont couramment utilisés pour améliorer une couverture indoor, couvrir un tunnel, etc.
- Le câble rayonnant, malheureusement assez cher, utilisé notamment pour couvrir des surfaces complexes, là où la propagation directe par répéteur n'est pas possible.
- Une distribution par fibre optique depuis un répéteur en différents points confinés distants, comme les stations d'une ligne de métro.

Couplage hybride 8 TRX



Couplage par cavités 8 TRX



3 LES TECHNOLOGIES PMR

3.1 LA PMR ANALOGIQUE

Les plus anciens, technologiquement parlant, sont les réseaux analogiques dits 2RP et 3RP.

Ils sont particulièrement vulnérables vis-à-vis des écoutes indiscrètes réalisées au moyen de scanners bon marché du commerce. De plus, la phonie est souvent de qualité moyenne, se dégradant régulièrement au fur et à mesure que l'utilisateur s'éloigne du relais.

Les réseaux 2RP relèvent maintenant de l'histoire, mais il existe encore un marché pour les réseaux 3RP, justifié par leur faible coût, lorsque la confidentialité n'est pas une contrainte trop forte.

- **2RP : Réseaux Radio Professionnels**

Les premiers réseaux analogiques de première génération, dits 2RP ou « relais commun », datent des années 1930-40. Il s'agit de réseaux très simples, avec un relais diffusant sur **un ou plusieurs canaux ouverts**. En « canal ouvert », il n'y a pas de cloisonnement des utilisateurs : sur un même canal, tout le monde s'entend. Les usagers choisissent manuellement un canal selon leurs exigences opérationnelles.

Une première amélioration des 2RP a été l'introduction de signalisations dans la bande (par exemple la signalisation 5 tons utilisant 5 fréquences vocales) pour sélectionner les interlocuteurs d'une communication et ainsi limiter une communication à un groupe d'utilisateurs ou faire des communications individuelles.

A l'époque des 2RP, il n'y avait pratiquement pas de standardisation, chaque constructeur produisait ses propres spécifications.

- **3RP : Réseau Radioélectrique à Ressources Partagées**

L'évolution des réseaux s'est faite vers le **partage de ressources** afin d'optimiser l'utilisation du spectre radio.

La première innovation a été la réservation d'un canal au transport de la signalisation, la « **voie balise** » avec allocation dynamique des canaux radio en fonction du trafic, le « **trunking** ». L'utilisateur n'a plus à sélectionner un canal, le terminal se calant automatiquement sur la voie balise ou sur la voie de trafic allouée.

La seconde innovation a été le **modèle cellulaire** qui permet d'optimiser l'utilisation du spectre et d'accroître la capacité de trafic du réseau.

Ces réseaux utilisent des largeurs de canal de 12,5 à 25 kHz.

Le réseau Radiocom 2000, développé dans les années 1980 et conçu initialement en tant que réseau PMR opéré, est un exemple de réseau 3RP.

C'est avec les 3RP que sont apparus les premiers standards :

- **APCO 16** (1977), standard américain de la TIA, particulièrement présent en Amérique du Nord.
- **MPT 1327** (1980), standard anglais sur lequel repose la majorité des réseaux analogiques actuels en Europe.

Les réseaux 3RP bénéficient d'une grande diversité de services comparables aux réseaux numériques de la génération suivante, y compris la transmission de données.

- **La PMR 446**

Ainsi nommée car opérant dans une bande de fréquence de quelques canaux centrés sur 446 MHz, la PMR 446 définit de petits réseaux exclusivement en mode direct, avec une puissance réduite, donc de faible portée.

3.2 LA PMR NUMÉRIQUE

Malgré tout, les réseaux analogiques 2RP et 3RP ont rapidement trouvé leurs limites : qualité moyenne de la phonie, vulnérabilité vis-à-vis des écoutes indiscrètes, mauvaise efficacité spectrale, transmission de données limitée. Pour palier ces défaillances, des réseaux PMR basés sur des technologies numériques ont vu le jour dès la fin des années 1980.

Un autre but était d'optimiser l'utilisation du spectre radio, notamment en réduisant la largeur de canal. La transmission numérique s'accompagne d'une meilleure atténuation sur les canaux adjacents, permettant une meilleure réutilisation des fréquences dans le modèle cellulaire.

- **TETRAPOL (1987)**

TETRAPOL a été développé par MATRA Communication (à présent CASSIDIAN, une division d'EADS), initialement pour la Gendarmerie Nationale. Il s'agit d'un standard de fait puisque TETRAPOL n'est pas issu d'un organisme de standardisation.

Il s'appuie sur des techniques éprouvées dont certaines sont utilisées par le GSM. L'accès au média

FDMA sur des canaux 12,5 kHz lui confère une grande simplicité d'implémentation et une large dimension de cellule, propre à une bonne couverture nationale.

- **TETRA (1989)**

TETRA est le standard européen de PMR développé par l'ETSI. Sensiblement plus sophistiqué que TETRAPOL et en TDMA d'ordre 4 sur des canaux 25 kHz (6,25 kHz équivalent canal), il offre une meilleure efficacité spectrale, mais des cellules de taille inférieure. TETRA est bien adapté aux réseaux denses et a notamment rallié de nombreuses collectivités urbaines.

- **APCO 25 phase 1 (1989)**

Grand frère de l'APCO 16, il est également présent en Amérique du Nord. Sa conception est assez proche de celle de TETRAPOL avec une canalisation 12,5 kHz FDMA.

- **APCO 25 phase 2 (2010)**

L'APCO a continué ses travaux sur un standard APCO 25 phase 2, en TDMA d'ordre 2 (équivalent canal 12,5 kHz) pour une meilleure efficacité spectrale.

- **La DMR (2005)**

La DMR est un nouveau standard développé par l'ETSI. Son premier objectif est d'optimiser l'utilisation du spectre radio en TDMA. Le second objectif est de définir une technologie simple pour des systèmes numériques à coût réduit et prendre le relais de la PMR 446.

Il adresse toute la gamme de réseaux, dans des bandes de fréquence avec ou sans licence.

3.3 LA PMR LARGE BANDE

- **TEDS (2004)**

TEDS (TETRA Enhanced Data Service) est dérivé de TETRA et intègre les services TETRA existants. La couverture est la même que celle du réseau TETRA. La canalisation est variable de 25 à 150 kHz selon les performances demandées :

Largeur canal	25 kHz	50 kHz	100 kHz	150 kHz
Débit avec protection d'erreurs	48 kbits/s	96 kbits/s	192 kbits/s	288 kbits/s

Ces performances sont atteintes en utilisant des modulations plus performantes : 4 QAM, 16 QAM, 64 QAM.

Le réseau assure automatiquement un repli vers une modulation moins performante (contrôle de liaison adaptatif), et donc un débit moindre, lorsque les conditions de transmission se dégradent, et vice versa.

Bien que disponible depuis 2004, sa mise en œuvre est freinée, notamment en France, par la non disponibilité de canalisations supérieures à 25 kHz dans les bandes PMR.

- **Enhanced TETRAPOL**

Une évolution de TETRAPOL portant à la fois sur le codage et la modulation, à l'instar de TEDS, propose une solution voix et données avec un débit de l'ordre de 250 kbits/s, compatible avec les réseaux TETRAPOL existants.

- **LTE 400 PMR**

EADS Cassidian et Alcatel-Lucent proposent actuellement une solution conjointe de PMR large bande basée sur des technologies standardisées. Le choix était entre WiMAX et LTE, pour finalement se porter sur LTE, plus présent dans le monde via les réseaux grand public.

LTE fonctionne dans les bandes de fréquence 800 MHz, 1800 MHz, 2600 MHz, pour une canalisation de 1,4 MHz (20 MHz dans la bande 2600 MHz) et pour des terminaux mobiles jusqu'à 300 km/heure. Les performances atteignent un débit théorique de 300 Mbits/s dans le sens montant et 75 Mbits/s dans le sens descendant. Ce débit suppose néanmoins une canalisation 20 MHz.

LTE assure la sécurité des transactions au moyen de processus d'authentification mutuelle et de chiffrement mettant en œuvre des techniques éprouvées comme IP Sec, EAP et AES. Le chiffrement de bout en bout des données utilisateur est complété par le chiffrement de la signalisation. LTE intègre également des mécanismes de QoS indispensables aux échanges vidéo.

Pour la PMR, l'objectif vise un débit minimal de 400 kbits/s pour de la vidéo standard et 700 kbits/s pour de la vidéo de qualité. D'autre part, on constate que LTE contient de base des mécanismes de sécurité solides, aptes à satisfaire les besoins PMR.

Le développement d'un réseau PMR sur LTE passe par plusieurs contraintes :

- Le développement des services propres à la PMR (alternat, communication de groupe, mode direct, late entry etc.) qui ne sont pas incompatibles avec les spécifications de base de LTE.

- Le développement de services propres à la PMR.
- La transposition de LTE dans des bandes de fréquence propres à la PMR, ce qui ne pose pas de problème majeur.
- La disponibilité des fréquences requises, et c'est là surtout que le bât blesse car les bandes de fréquences allouées à la PMR sont actuellement trop étroites et trop morcelées.

Dans un premier temps, la solution va chercher à s'adapter aux contraintes de fréquences et à s'appuyer sur un réseau TETRA/TETRAPOL existant qui assurera les services de phonie et le mode direct, les services de données étant seuls pris en charge par le réseau LTE. De nouveaux terminaux sont compatibles avec les standards TETRA/TETRAPOL et LTE.

Ceci passe par l'adaptation de LTE aux bandes PMR actuelles entre 370 et 470 MHz. La largeur canal s'aligne sur celle de TEDS. Ces adaptations ont pour conséquence d'augmenter la taille des cellules, ce qui va dans le sens des besoins de la PMR et permet de s'adapter à la topologie du réseau PMR bande étroite associé. Ceci se fait par contre au détriment du débit qui va de 100 Kbits/s à 2 Mbits/s selon la distance, pour des cellules de 19 km.

Le grand avantage de LTE est de s'appuyer sur des composants standards, également utilisés par les réseaux publics 4G. Ceci permet de réduire les coûts de CAPEX et d'OPEX des réseaux PMR développés sur cette technologie. En outre, l'infrastructure radio (antennes, sites radio) du réseau initial TETRA/TETRAPOL est réutilisable.

Des évolutions des performances sont attendues avec l'ouverture d'une bande de fréquences dans les 700 MHz, sujet sur lequel travaillent en France l'ANFR et l'ARCEP.

D'autres acteurs de la PMR comme Motorola aux États-Unis et Thalès en France travaillent sur des réseaux PMR large bande basés sur LTE. Thalès de son côté a déjà lancé une solution sur WiMAX.

3.4 LES TECHNOLOGIES ISSUES DU GSM

Bien que n'étant pas une technologie PMR, moyennant quelques évolutions, le GSM peut offrir des services PMR simplifiés :

- Le **GSM-ASCI** propose des communications de groupe à l'alternat, appels généraux, priorité. Ces fonctions, limitées certes, sont aptes à satisfaire des besoins PMR basiques.
- Le **GSM-R**, « R » comme Rail, a été défini sur la base du GSM-ASCI avec des fonctions de configuration tactique spécifiques aux transports ferroviaires (adressage par métier, par numéro de train), besoins partagés d'ailleurs par les aéroports.

Ces réalisations PMR sur GSM utilisent des fréquences réservées, juste au-dessous de la bande GSM publique 890 MHz.

Le GSM-ASCI et le GSM-R présentent néanmoins de profondes lacunes par rapport à un réseau PMR classique :

- Les appels de groupe, construits sur le modèle de la téléconférence (passage par un pont de conférence), ne peuvent concerner qu'un nombre limité d'utilisateurs, de l'ordre de quelques dizaines (typiquement 50).
- Le temps d'établissement des communications est long.
- Les status ne peuvent être envoyés que vers un usager et non vers un groupe, ce qui est un handicap pour des applications PMR.
- Pas de chiffrement des communications de groupe (incompatible avec le pont de conférence qui opère par sommation des trames de parole).
- Pas de mode direct ni de modes dégradés.

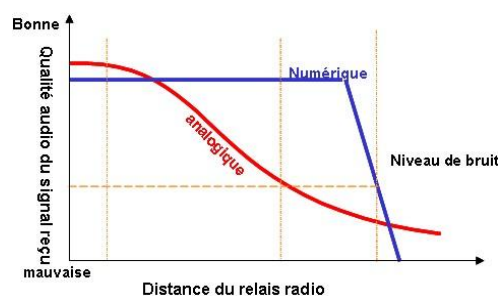
Malgré ces restrictions, ces technologies dérivées du GSM peuvent séduire un certain nombre d'utilisateurs, dont en France la SNCF. L'avantage est de se baser sur une technologie mature, largement répandue et de ce fait, de disposer d'équipements, tant terminaux que d'infrastructure, à des prix bien inférieurs à ceux des réseaux PMR classiques.

3.5 COMPARAISONS

3.5.1 ANALOGIQUE VS. NUMÉRIQUE

• Qualité de la phonie

Le signal numérique est de qualité constante sur toute la cellule et chute brutalement en limite de cellule, au contraire du signal analogique. L'avantage de l'analogique est que, même fortement dégradé on reçoit quand même un petit signal hors de la couverture nominale de la cellule.



Par contre, la transmission numérique est moins sensible aux perturbations que l'analogique.

- **Confidentialité**

On trouve dans le commerce pour un coût très modeste, des scanners qui permettent d'écouter les canaux radio analogiques.

En numérique, une première protection est assurée par le codage du canal. Ce n'est bien sûr pas invulnérable, mais l'écoute d'un canal radio numérique nécessite des compétences sérieuses dans le domaine et un équipement bien plus coûteux.

Il est bien sûr possible de chiffrer le signal radio. Sur un signal numérique, la fonction est aisée, puisqu'il ne s'agit que de modifier la séquence des bits qui constituent une information. En analogique, le chiffrement ne peut se faire qu'au moyen de boîtiers externes coûteux qui ont aussi l'inconvénient de dégrader la phonie.

- **Transmission de données**

Elle est native sur les réseaux numériques, conçus pour transporter des suites de « 1 » et de « 0 ». En analogique, il faut passer par un modem, avec des performances réduites.

- **Intérêt économique**

Malgré ces inconvénients, les réseaux analogiques sont toujours d'actualité pour leur faible coût auprès d'utilisateurs qui n'ont pas des besoins critiques en matière de sécurité.

Le réseau numérique préserve l'avenir et s'impose auprès des utilisateurs pour lesquels qualité de la phonie et confidentialité sont des exigences cruciales. On raconte qu'une des motivations des pompiers pour le passage en numérique est de faire en sorte que les journalistes, qui écoutent leurs fréquences analogiques, ne puissent plus être les premiers à arriver sur les lieux.

3.5.2 RÉSEAU PMR VS. RÉSEAU PUBLIC GSM

- **Couverture radio**

La différence est profonde puisque un réseau PMR est spécifié par l'utilisateur selon ses propres besoins de trafic et de couverture, tandis que le réseau public est spécifié en fonction des besoins moyens de la population.

Le réseau PMR ne couvre que la zone d'intervention de son utilisateur, et pas à côté, mais cette couverture est parfaite, sans trous. Au contraire, le réseau GSM va couvrir la totalité du territoire mais en tenant compte de son urbanisation. Il peut toujours rester des trous de couverture dans des zones peu ou pas habitées.

- **Écoulement du trafic**

Chaque réseau PMR utilise des fréquences qui lui sont propres, allouées dans des bandes de fréquences dédiées à la PMR. Ceci exclut, par essence même, l'impossibilité de saturation des ressources radio par un autre utilisateur.

En termes de capacité de trafic, le réseau PMR est dimensionné pour écouler un trafic de crise. Il est hors de question qu'une communication ne puisse être « passée » faute de canal radio pour la supporter. Ce n'est pas le cas du réseau GSM qui est dimensionné en fonction d'un trafic moyen. Tout le monde a fait au moins une fois l'expérience du « réseau saturé » sur une autoroute bloquée par la neige.

- **Communications de détresse**

Ce concept s'appuie sur des fonctions de priorité et de préemption présentes dans les réseaux PMR.

La notion de priorité existe dans le standard GSM mais n'est pas mise en œuvre sur un réseau public¹, partant du principe que tout le monde payant le même abonnement, il n'y a aucune raison pour que certains passent devant les autres.

Par contre, la notion de priorité se retrouve dans le GSM-ASCI utilisé par des réseaux PMR-GSM.

- **Les services**

La PMR utilise des services qui lui sont particuliers et qui ne se trouvent pas sur les réseaux publics, comme la communication de groupe et la communication à l'alternat avec établissement instantané.

Certains opérateurs GSM publics ont ouvert sur le GSM public des fonctions de communication de groupe et d'alternat. Les performances (nombre de participants, temps d'établissement) sont réduites et de toute façon ce n'est pas de la PMR, car il n'y a aucune sécurisation.

Enfin, le réseau PMR, personnalisable, peut supporter des fonctions particulières à un cadre

¹ A part quelques exceptions dûment encadrées et réservées à un contexte de sécurité publique.

d'utilisation : suivi de véhicules par GPS, protection du travailleur isolé...

- **Délai d'accès au service**

Le champion est ici le GSM, puisque tout nouvel utilisateur n'a qu'à pousser la porte d'une agence pour en sortir un quart d'heure plus tard avec un terminal en état de marche.

La mise en place d'un réseau PMR suit un processus beaucoup plus laborieux :

- spécification de besoins et élaboration des cahier des charges,
- appel d'offres,
- spécifications techniques,
- acquisition des sites,
- déploiement,
- recette et mise en service.

Cette démarche prend au bas mot plusieurs mois, voire plusieurs années dans le cas d'un réseau national.

- **Coût d'exploitation**

L'utilisateur GSM est lié à la politique tarifaire de son opérateur, ce dernier pouvant à tout moment changer la règle du jeu.

Inversement, le coût d'exploitation d'un réseau PMR est totalement maîtrisable. Rappelons qu'il appartient à son utilisateur et est exploité par celui-ci. Le coût du déploiement (CAPES) est parfaitement connu dès la commande. En phase d'exploitation, le coût récurrent (OPEX) se compose d'éléments connus et maîtrisables :

- coûts de personnel (opérateurs, techniciens de maintenance),
- contrat de maintenance,
- baux des sites loués,
- location des lignes d'infrastructure,
- licence d'exploitation des fréquences,
- etc.

3.6 PROCESSUS DE STANDARDISATION

- **Spécifications de besoin**

Le processus commence dans des **comités d'utilisateurs** de la PMR :

- TETRA Association en Europe pour les évolutions de TETRA,
- TETRAPOL User's Club pour les évolutions de TETRAPOL,
- l'APCO aux États-Unis,
- le forum Européen PSCE dédié à la Sécurité Publique (créé en 2007).

Ces comités produisent des spécifications de besoins en vue de la définition de nouveaux standards ou de l'évolution de standards existants.

- **Spécifications techniques**

Les spécifications de besoins produites par les comités d'utilisateurs sont transmises à l'**organisme ou forum de standardisation** auxquels ils se réfèrent :

- l'ETSI en Europe pour les spécifications et évolutions de TETRA,
- le TETRAPOL Forum pour les spécifications et évolutions de TETRAPOL,
- la TIA aux États-Unis pour les spécifications et évolutions de l'APCO 25,
- l'ARIB au Japon, qui a produit le standard IDRA (1993) et qui collabore avec la TIA et l'ETSI sur de nombreux projets,
- etc.

Les recommandations d'organismes transverses (APCO, PSCE) sont prises en compte par les organismes de standardisation de leur zone.

Les organismes de standardisation sont responsables de la production, de la maintenance et de l'édition des spécifications techniques des standards.

- **Spécifications d'exploitation**

Viennent ensuite les **organismes de régulation** qui définissent le cadre d'application des standards, essentiellement l'attribution des fréquences et les puissances d'émission. Le but est d'assurer la cohabitation sur un large territoire de réseaux de diverses technologies.

L'ITU (UIT) qui produit des standards est également organisme de régulation. L'organisation est pyramidale, l'ITU définissant le cadre d'utilisation des fréquences au niveau international.

D'autres organismes nationaux ou internationaux, la FCC aux États-Unis, la CEPT en Europe, définissent leurs propres règles dans le cadre fixé par l'ITU. La définition finale se fait ensuite dans chaque état ou pays, en France par l'ANFR qui alloue des fréquences aux utilisateurs et l'ARCEP qui délivre les licences d'exploitation.



Planche Cassidian

- **Administrations**

D'autres acteurs interfèrent dans ce processus. Il s'agit d'**Administrations** comme la Commission Européenne et l'OTAN qui établissent leurs propres standards et leur propre plan de fréquence, ceci en relation avec les organismes de standardisation et de régulation afin d'assurer la cohabitation des divers utilisateurs.

3.7 FRÉQUENCES

- **Spectre radio**

Le spectre radio est une ressource extrêmement convoitée dont l'allocation est régie par des organismes internationaux (ITU, CEPT) et nationaux (ANFR en France).

Historiquement, les fréquences ont été allouées de manière désordonnée dans tous les pays du globe. Ceci a pour conséquence de nuire à l'interopérabilité des réseaux. Les organismes de régulation, dont il a été fait état ci-dessus, œuvrent afin de mener à bien une certaine harmonisation des fréquences. Chacun de ces organismes édicte ses règles dans le cadre fixé par l'organisme de rang supérieur : ITU pour la CEPT et la CEPT pour l'ANFR.

En marge de ces organismes, l'Union Européenne est intervenue pour uniformiser les fréquences utilisées par les Forces de Sécurité Publique dans tous les pays de l'Union (Accord de Vienne), afin de rendre possible l'interopérabilité des polices prévue par l'accord de Schengen. Suite à cet accord, les polices de tous les pays de l'Union Européenne utilisent la même bande 380-400 MHz, dite « bande de Schengen ».

Voyons la répartition des fréquences PMR en France.

Les fréquences de la PMR analogique sont dans la bande VHF (30- 300 MHz) et celles de la PMR numérique dans la bande UHF (300-3000 MHz). Le tableau suivant peut en donner une petite idée bien que toutes les bandes de fréquence, surtout en PMR analogique, ne soient pas citées.

Bande	Utilisation
30 – 40 MHz	PMR analogique
68 – 85,5 MHz	PMR analogique PMR numérique (Gendarmerie)
137 – 174 MHz	PMR analogique
165,7 – 171,3 MHz	RPX

Bande	Utilisation
380 – 400 MHz	PMR numérique Sécurité Publique Europe (Schengen)
310 – 340 MHz	PMR analogique
410 – 430 MHz	PMR numérique
450 – 470 MHz	PMR numérique dont RPX (et PMR 446 analogique)
870 – 960 MHz	PMR (ultérieurement large bande), actuellement occupée par le GSM

Ce tableau est valable pour la France

On peut noter quelques exceptions. La PMR 446, analogique, est dans la bande UHF. Le réseau RUBIS, numérique, de la Gendarmerie Nationale est dans la bande VHF, l'utilisateur ayant souhaité, lors de la migration au numérique, conserver ses anciennes fréquences.

D'autres pays d'Europe utilisent également une bande PMR 870-960 MHz, non disponible en France, car initialement allouée au GSM.

- **Canalisation**

La PMR utilise des canaux radio multiples de 12,5 kHz. Les réseaux analogiques fonctionnent souvent avec des canalisations de 25 kHz. Quelques rares réseaux utilisent une canalisation 10 kHz.

Chaque canal radio est duplex, c'est-à-dire composé d'un canal dans le sens montant et de son homologue dans le sens descendant, séparés par un espace duplex dont la valeur dépend de la bande de fréquence (10 MHz dans les bandes de fréquence 300-400 MHz).

4 LE STANDARD TETRA

Il serait très ambitieux de décrire ici tous les standards de PMR. Nous allons ici nous concentrer sur TETRA, le standard le plus répandu en Europe.

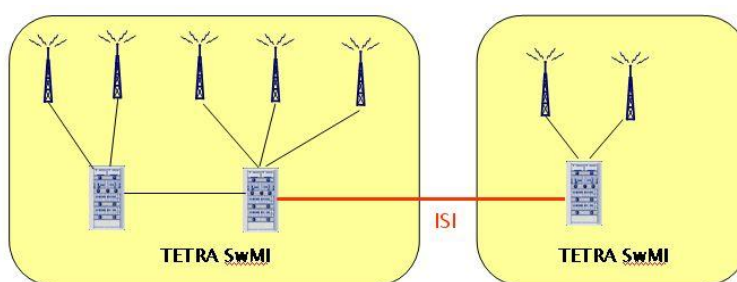
4.1 ARCHITECTURE ET ORGANISATION

TETRA introduit la notion de **SwMI** (Switching and Management Infrastructure).

Le SwMI est l'entité réseau qui contient un ou plusieurs commutateurs radio (**DXT** Digital eXchange for TETRA), les postes d'exploitation (O&M) et les relais (**TBS** TETRA Base Station). Ils offrent des services radio à des terminaux (Mobile Station **MS** dans la terminologie TETRA) et que nous désignerons par le terme « **mobile** ».

Le backbone du SwMI est constitué par un réseau IP qui raccorde les DTX, les TBS et les passerelles vers le monde extérieur, en particulier vers le monde téléphonique.

Des SwMI TETRA peuvent être interconnectés via une Interface Inter Systèmes (**ISI**). Ceci permet de construire de très grands réseaux ou encore de faire interopérer des réseaux TETRA appartenant à des utilisateurs différents.



4.2 L'INTERFACE AIR

4.2.1 L'ACCÈS AU MÉDIA

TETRA est en **TDMA 4 slots**. Chaque canal de 25 kHz supporte 4 slots (intervalles de temps – IT), présentant donc un équivalent canal 6,25 kHz.

Cette technique a plusieurs implications. Tout d'abord, la transmission ne se fait pas en continu mais par « burst », dans les créneaux de temps alloués. Ceci va avoir une influence directe sur la taille des cellules, laquelle est définie par la puissance moyenne d'émission. Par rapport à un système FDMA qui émet en continu, à puissance identique, un système TDMA/4 présentera une puissance moyenne égale au quart de la puissance d'émission, avec au final une réduction de la taille des cellules.

Par contre, la transmission en TDMA ménage des temps d'inactivité pour une transmission donnée, qui seront mis à profit mettre en œuvre des fonctions telles que le full duplex et le handover.

4.2.2 DESCRIPTION DES CANAUX

• Les canaux physiques

Un canal physique est défini par un slot de la trame TDMA. Du fait de l'aspect duplex des canaux radio, un canal physique occupe 25 kHz dans le sens montant et autant dans le sens descendant, les deux séparés d'un écart duplex de 10 MHz.

La TBS supporte trois types de canaux physiques :

- La voie balise (Control Physical channel – CP) qui véhicule la signalisation réseau et des transmissions de données courtes en mode paquet.
- Des voies de trafic (Traffic Physical channel - TP) qui transportent la voix et des données en mode paquet ou en mode circuit.
- Des voies non allouées (Unallocated Physical Channel – P) qui ne sont jamais allouées à une communication et qui sont réservées pour des messages broadcastés.

• Les canaux logiques de la voie balise

La voie balise (ou Control Channel CCH) supporte plusieurs canaux logiques, multiplexés sur la multitrane afin de constituer des sous-canaux de plus faible débit. Mais nous n'allons pas les détailler ici.

• Les canaux logiques des voies de trafic

Il sont désignés sous le terme générique de « **Voie de Trafic** » (Traffic Channel – **TCH**). Selon le type

de flux à transporter, on distingue :

- Les canaux utilisés par la parole (Speech Traffic Channel – TCH/S)
- Les canaux utilisés par les données en mode circuit (Data Traffic Channel – TCH/D)

4.2.3 LA CHAÎNE DE TRANSMISSION

La chaîne de transmission comporte différents étages entre la saisie de la phonie et l'envoi à l'antenne.

- **Le vocodage**

Cette opération consiste à numériser la phonie. Il est bien sûr impossible d'utiliser un codage par échantillonnage G711 à 64 kbits/s sur un canal radio. Nous allons donc utiliser une technique de vocodage pour minimiser le débit.

Le vocodage est basé sur l'analyse spectrale de la voix qui quantifie l'altération d'une fréquence fondamentale par des signaux à d'autres fréquences. Il en résulte des nombres représentatifs des fréquences modificatrices. Les nombres relatifs à des fréquences non audibles sont éliminés ainsi que ceux qui n'apportent pas grand chose à la reconnaissance du signal initial.

TETRA utilise un vocodeur A-CELP (4,567 kbits/s) : un échantillon de 60 ms de phonie utilise 274 bits qui vont être mis en 2 blocs de 144 bits.

Les blocs de données sont insérés directement dans la chaîne de transmission.

- **Le chiffrement**

TETRA supporte deux modes de chiffrement, tous deux optionnels, utilisables ensemble ou indépendamment l'un de l'autre :

- Le chiffrement E2E (de bout en bout) : le signal est chiffré au niveau de l'émetteur, et déchiffré par les récepteurs. Seul les flux utilisateur, voix et données, sont chiffrés.
- Le chiffrement A/I (air interface), qui ne porte que sur la partie radio de la transmission, soit entre le mobile et la TBS. Ici tout est chiffré : flux voix/données et signalisation (voie balise). Intervenant à ce niveau, le chiffrement ne porte pas sur les en-têtes ajoutés par le codage.

Quelque soit le mode utilisé, le chiffrement n'intervient pas sur la longueur de la trame.

- **Le codage canal**

Le codage canal consiste à introduire de la redondance en combinant les bits de la trame initiale et en ajoutant un CRC. La trame codée est donc plus longue que la trame initiale.

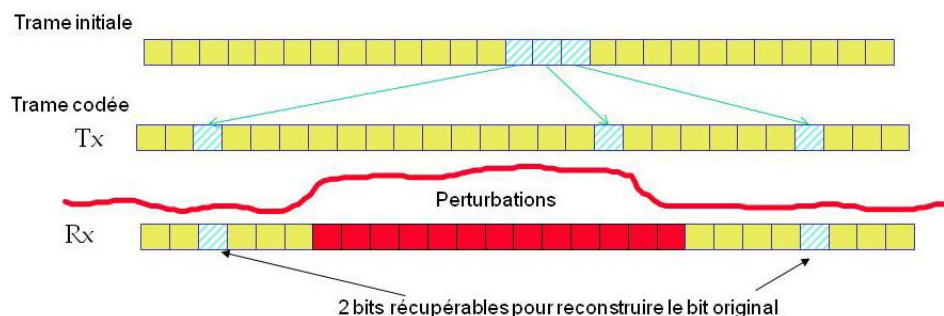
La transmission radio, soumise à des perturbations, ne se fait pas sans pertes. Le but du codage est, en cas de perte d'un bit, d'avoir la possibilité de le reconstituer.

Le codage donne deux blocs résultants de 216 bits soit 432 bits.

- **L'entrelacement**

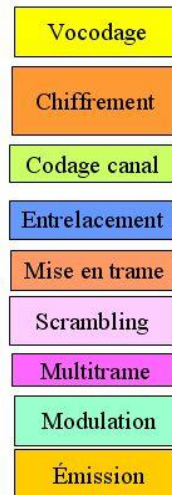
Une perturbation affecte rarement un seul bit et va faire disparaître plusieurs bits consécutifs. La redondance introduite par le codage canal se retrouve sur des bits consécutifs. Donc, la perturbation va faire disparaître en même temps plusieurs bits et la possibilité de les reconstituer...

L'entrelacement pallie ce problème en modifiant l'ordre des bits de la trame, afin qu'une altération partielle du signal radio ne conduise pas la perte d'une partie complète d'information. L'entrelacement ne change pas la longueur de la trame.



- **Construction de la trame**

Le bloc codé et entrelacé est encapsulé dans une trame de 510 bits qui va utiliser un slot (ou Intervalle de Temps **IT**) de la trame TDMA.



- **Le scrambling**

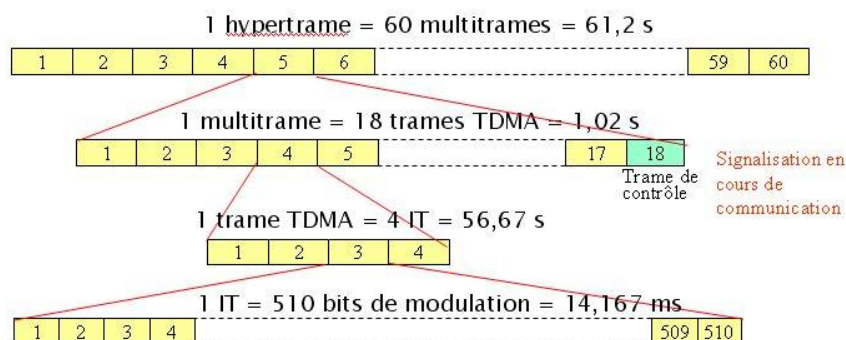
Une fois constituée, la trame est modifiée par un code de scrambling. Les trames de phonie ou de données sont modifiées selon un code de scrambling transmis en début de communication. Les trames de la voie balise et le mode direct utilisent un code propre au réseau.

Le scrambling n'est pas un moyen de chiffrement, mais un outil de filtrage d'erreurs d'aiguillage. Le scrambling appliqué à la voie balise et propre à un réseau interdit à un mobile de tenter de s'inscrire sur un réseau qui n'est pas le sien, car il ne pourra pas en reconnaître la voie balise. Le scrambling appliqué aux trames de phonie ou de données interdit à un mobile non concerné par la communication de l'intercepter.

- **Construction de la multitrame**

TETRA définit une multitrame de 18 trames TDMA. Seules les 17 premières transportent des blocs codés. On peut remarquer qu'après modulation, la transmission d'une trame modulée dure 14,167 ms et que les trames relatives à une même communication sont espacées de 56,67 ms, et ceci pour un échantillon initial de 60 ms. La vitesse de modulation est donc plus rapide que la vitesse de codage, ce qui permet de libérer la 18^{ème} trame de la multitrame pour des signalisations en cours de communication, évitant ainsi le vol de trame. C'est grâce à cette 18^{ème} trame que TETRA gère le **handover**.

Les multitrames sont ensuite regroupées en **hypertrames** de 60 multitrames. L'hypertrame intervient dans le processus de chiffrement pour le changement de vecteur.



- **La modulation**

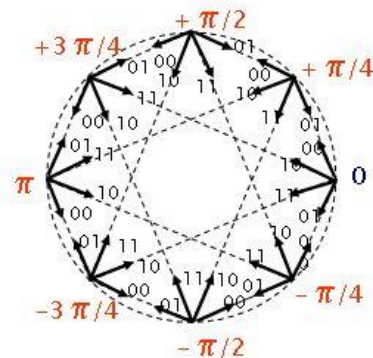
TETRA utilise une modulation $\pi/4$ DQPSK qui contient 2 bits par symbole. La vitesse de modulation est de 36 kbits/s.

A chaque transition, le changement de phase est :

- 00 tourne de $+\pi/4$
- 01 tourne de $-\pi/4$
- 10 tourne de $+3\pi/4$
- 11 tourne de $-3\pi/4$

On remarque que les transitions ne repassent jamais par zéro, ce qui limite les risques de perte de phase.

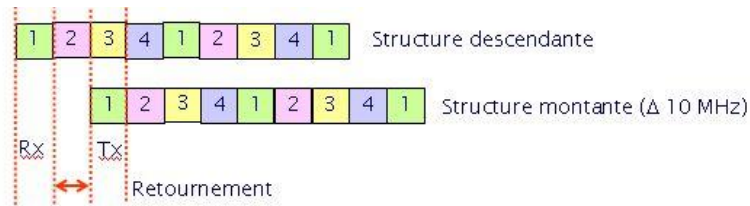
Par contre, cette modulation est sensible aux interférences ($C/I = 19$). Elle est à enveloppe non constante et nécessite des amplificateurs linéaires.



4.2.4 LE RETOURNEMENT DES TERMINAUX

Pour gérer le full duplex, TETRA mise sur le fait que la transmission d'une transaction n'utilise que le quart de la trame TDMA sur un canal radio duplex.

Le terminal engagé dans une communication full duplex va pendant la durée d'une même trame TDMA passer en réception puis en émission sur le sens descendant puis sur le sens montant. Pour cela, les trames montantes et descendantes sont décalées de 2 slots (IT), afin que le terminal ait le temps de « se retourner ». Ceci (mode ping-pong) permet d'utiliser des mobiles qui sont conçus comme des terminaux half duplex, donc moins coûteux que des terminaux full duplex qui nécessiteraient des circuits émission et réception totalement dédoublés.



4.3 LES SERVICES DE BASE

4.3.1 L'ADRESSAGE

TETRA utilise un adressage universel **ITSI** pour les adresses individuelles de terminaux et **GTSI** pour les groupes, toutes prises dans un plan de numérotation unique : **MCC MNC SSI**

- MCC : Mobile Country Code (10 bits) représentatif du pays
- MNC : Mobile Network Code (14 bits) représentatif du réseau TETRA
- SSI : Short Subscriber Identity (24 bits) représentatif de l'utilisateur ou du groupe.

Sur l'ITSI, l'adressage complet ITSI ou GTSI est obligatoire. Au sein d'un même SwMI le SSI est suffisant, décliné en **ISSI** ou **GSSI** selon qu'il s'agit d'un terminal ou d'un groupe.

4.3.2 LA MOBILITÉ

• L'inscription

Bien sûr, on retrouve à la base la notion de cellule couverte par le rayonnement radioélectrique d'un relais.

Pour pouvoir trafiquer sur le réseau, un mobile doit s'**inscrire**, opération au cours de laquelle il est identifié et authentifié par le réseau.

La notion d'inscription rappelle le mécanisme du GSM en introduisant :

- La **location area** (LA), constituée de une ou plusieurs cellules dans lesquelles le mobile peut se déplacer sans informer le SwMI. Chaque relais diffuse l'identité de sa LA aux mobiles de sa cellule.
- La **registration area** (RA) composée de 1 à 8 LA dans lesquelles le mobile peut se déplacer sans se réinscrire. La localisation du mobile se fait donc au niveau de la RA.

L'inscription a lieu quand le mobile est mis sous tension, quand il change de LA, et aussi quand il sort du mode direct.

La plupart des réalisations TETRA définissent la RA égale à une seule LA, elle-même constituée d'une cellule unique.

• Le changement de cellule

Lorsque le mobile change de cellule en cours de communication individuelle, il effectue un **handover**, fonction qui lui permet de « récupérer » sa communication sur sa nouvelle cellule de façon totalement transparente à l'utilisateur.

Si par contre il change de cellule au cours d'une communication de groupe, il fait une **resélection de cellule**, opération complexe qui revient à chercher dans les cellules voisines celle qui supportera la même communication de groupe, allant dans les cas extrême au balayage complet du spectre radio alloué au réseau. Contrairement au handover, la resélection de cellule introduit une légère coupure dans la communication.

• Les bases de données

Les services de mobilité s'appuient sur deux bases de données relatives aux usagers, présentes dans chaque DXT.

- Le **HLR** (Home Location Register)

Il contient pour chaque mobile qui a été déclaré dans ce DXT : ses droits et sa localisation courante définie par l'identité du DTX qui contrôle la RA où il est inscrit.

La consultation de ce registre permet de retrouver la localisation courante d'un mobile pour lui présenter une communication entrante.

- Le **VLR** (Visited Location Register)

Il contient pour chaque mobile inscrit dans une RA qu'il contrôle : une copie temporaire de ses droits (transmise par son HLR lors de l'inscription) et l'identité de la RA dans laquelle il est présentement inscrit.

La consultation du VLR permet de vérifier directement les droits d'un mobile lors d'une communication

sortante (parfois entrante) sans avoir besoin d'aller interroger le HLR distant.

4.3.3 L'ALTERNAT

Les communications de phonie sont gérées en général à l'alternat (half duplex) : **un seul parle, les autres écoutent**.

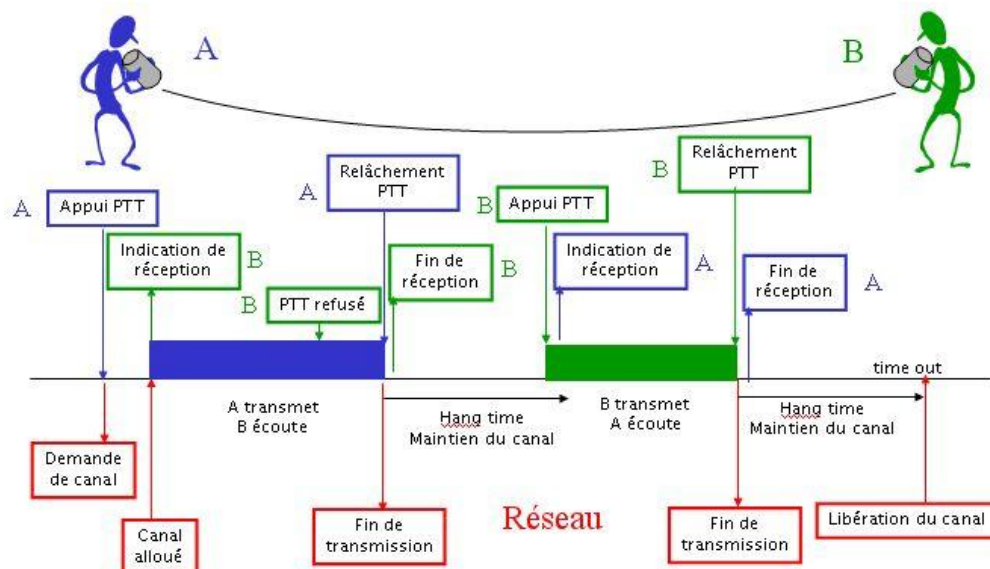
La prise de parole se fait au moyen du bouton **Push To Talk** (PTT) du mobile appelant.

Ceci génère sur l'interface air un signal **PTT** de demande d'alternat (ou de demande de prise de parole). Cette demande n'est acceptée que dans la mesure où personne d'autre ne parle à ce moment, c'est-à-dire si aucune transmission n'est en cours entre les participants à la même communication.

C'est le commutateur radio qui est chargé de régler les conflits. L'utilisateur demandeur est averti que sa demande a été acceptée par d'un signal **TI** (Transmit Indication) qui allume un voyant d'acquiescement sur son mobile. Un signal **RD** (Receive Detection) est envoyé vers tous les autres mobiles participant à la communication afin de les passer en réception.

A chaque fois qu'un usager appuie sur PTT, une voie de trafic (TCH) est allouée à la communication.

Pour éviter des allocations/désallocations successives de ressources en cas de prises d'alternat rapprochées, la voie de trafic est maintenue après la fin de transmission pendant un temps dit de **hang-time** qui permet à un autre usager de répondre sans repasser par le mécanisme d'allocation de voie de trafic. En fin de hang-time, si personne n'a repris la parole, la voie de trafic est libérée.



4.3.4 LE TRUNKING

- **L'allocation des canaux radio**

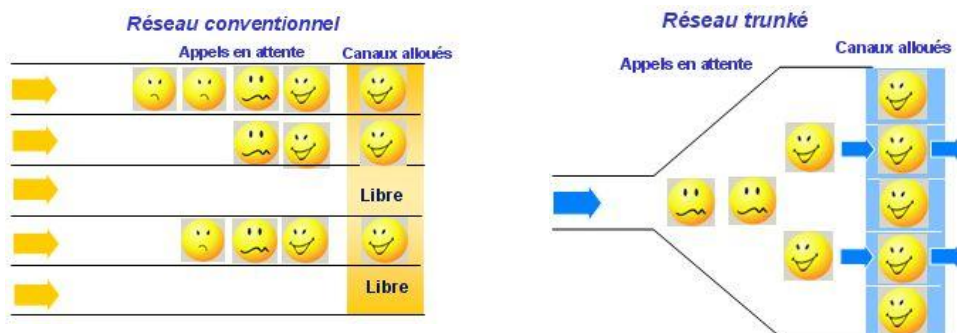
La ressource radio est rare et chère... il faut l'économiser.

Dans un réseau type 2RP (conventionnel), les communications sont associées de manière fixe à un canal radio. Si plusieurs communications sont candidates sur un même canal, la première est active et les autres attendent, même si les autres canaux sont libres. Il en résulte une attente excessive des communications sur certains canaux et une sous utilisation d'autres canaux si le trafic n'est pas équilibré.

C'est ici qu'intervient la notion de **trunking**, apparue avec les réseaux 3RP et étendue aux réseaux numériques. Le trunking consiste à allouer dynamiquement les canaux radio (TCH) aux communications qui en font la demande et qui attendent dans une file d'attente unique. L'avantage est double : tout d'abord réduire les temps d'attente et ensuite optimiser l'utilisation de la ressource radio, ce qui peut avoir comme conséquence, par rapport au cas précédent, de réduire le nombre de canaux des relais pour écouler un trafic identique.

Le nombre de voies de trafic est déterminé par le trafic à écouler sur le relais, sur le même modèle que le dimensionnement des lignes téléphoniques (lois d'Erlang).

Le trunking va de pair avec l'utilisation d'une voie balise par laquelle le commutateur radio pourra diriger chaque communication sur un canal donné et la définition de la voie de trafic.



En fait, le modèle est un peu plus compliqué à cause des notions de priorité et de preemption, utilisées dans les réseaux PMR pour définir différents niveaux d'urgence aux communications.

Une communication prioritaire peut « griller » la file d'attente en passant devant les communications en attente de priorité inférieure. Lorsqu'elle arrive en tête de la file d'attente, elle peut « dégager » une communication de priorité inférieure pour utiliser sa voie de trafic.

• Les différents modes de trunking

- Le **trunking à base activation** est celui qui est décrit dans ci-dessus pour définir l'alternat. La voie de trafic est allouée pendant la durée de la transmission, prolongée par un hang-time. Il est utilisé par les communications de groupe.
- Le **trunking à base transmission** correspond à une allocation de la voie de trafic strictement limitée à la durée de la transmission. Il est utilisé (plus rarement) par les communications de groupe. Il s'assimile à un trunking à base activation avec un hang-time nul.
- Le **trunking à base message** correspond à une allocation de la voie de trafic pendant toute la durée de la communication. C'est le cas des communications individuelles pendant lesquelles la voie de trafic est allouée dès l'établissement de la communication et relâchée lors du raccroché. Il s'assimile à un trunking à base activation avec un hang-time infini.

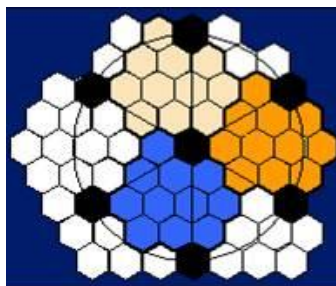
De ce fait, les communications individuelles sont extrêmement gourmandes en ressource radio et c'est la raison pour laquelle elles sont très peu utilisées.

4.4 LA TRANSMISSION RADIO

4.4.1 LE MODÈLE CELLULAIRE

Cette notion est aussi apparue avec les réseaux 3RP.

Le modèle cellulaire permet d'accroître la capacité de trafic d'un réseau et d'optimiser l'utilisation du spectre. Il est basé sur un motif répétitif de réutilisation des fréquences.



Le nombre de cellules du motif dépend du facteur C/I qui définit le ratio signal sur interférence acceptable.

Pour TETRA, ce ratio est $C/I = 19 \text{ dB}^1$, ce qui permet de réutiliser les fréquences selon un motif à 17 cellules, contre 12 pour TETRAPOL et souvent 21 ou plus pour les réseaux analogiques.

Pour s'assurer de la conformité du réseau, le spectre du signal émis doit être compris dans un gabarit imposé par l'ETSI (ETS-300113) qui fixe les émissions maximum sur les canaux adjacents, et par là influe

¹ Ceci est la valeur donnée par le standard, mais des expérimentations ont montré que ce rapport était plus près de 15 dB (milieu urbain avec mobiles se déplaçant à 50 km/h), réduisant du même coup le motif à 15 cellules.

directement sur la réutilisation des fréquences.

4.4.2 LA PROPAGATION RADIO

La propagation des ondes ne se fait pas toujours en ligne droite et un même signal radio peut, du fait de réflexions, se subdiviser en plusieurs trajets (trajets multiples). Ainsi, le récepteur reçoit plusieurs fois le signal émis, les réceptions multiples étant espacées d'un délai proportionnel à la différence de longueur entre les différents trajets.

L'unité de réception prise en considération est le symbole, qui est l'unité élémentaire du signal modulé. Avec une modulation GMSK, la longueur du symbole est de 1 bit. Avec la signalisation $\pi/4$ DQPSK de TETRA, la longueur du symbole est de 2 bits. Pour une modulation plus complexe, le symbole est beaucoup plus long, par exemple 16 bits pour une modulation 16-QAM.

La durée de transmission d'un symbole dépend de la vitesse de modulation. Ainsi, pour une modulation GMSK à 8 kbits/s, la durée de transmission d'un symbole est 125 μ s. Avec une modulation $\pi/4$ DQPSK à 36 kbits/s, la durée de 60 μ s.

Les processeurs de traitement du signal corrigent l'effet « réceptions multiples », ceci d'autant plus facilement que la durée du symbole est longue par rapport aux différences de trajet, augmentant ainsi la longueur du recouvrement des différents signaux reçus. On voit ici qu'il sera plus efficace avec une modulation GSMK qu'avec la modulation $\pi/4$ DQPSK.

4.4.3 LE SEUIL DE SENSIBILITÉ

La sensibilité de la TBS ou du mobile est le minimum de puissance minimum du signal capté pour assurer une réception correcte. Il s'exprime en dBm : -115 dBm pour la TBS, -112 dBm pour le mobile.

4.4.4 LA COUVERTURE RADIO

Il est difficile de donner une taille de cellule, celle-ci étant impactée par divers facteurs, en tout premier lieu par la topologie du terrain, mais aussi par des facteurs environnementaux, météorologiques, etc. Le tableau suivant donne des valeurs typiques :

Environnement	Mobile 10 W	Portatif 1 W
Rural	17,5 km	6,5 km
Suburbain	10 km	4 km

4.5 LES SERVICES DE PHONIE

4.5.1 LES COMMUNICATIONS INDIVIDUELLES

Ces communications sont établies entre deux usagers identifiés par leur adresse ITSI ou ISSI. Des numéros sont réservés dans le plan de numérotation ITSI pour assurer l'interopérabilité avec le monde téléphonique.

La communication individuelle utilise une voie de trafic sur la TBS où sont inscrits les mobiles demandeur et demandé. Si les deux sont inscrits sur la même TBS, une seule voie de trafic est nécessaire.

Il existe deux types de communications individuelles :

- **La communication individuelle avec décroché**

On l'appelle aussi « communication individuelle de type téléphonique ». Elle se déroule de la même façon qu'un appel téléphonique classique : numérotation, vérification des droits du demandeur et du demandé, sonnerie, décroché, conversation, raccroché et elle peut se dérouler en full duplex.

Un usager téléphonique peut être demandeur ou demandé d'une telle communication.

- **La communication individuelle express**

On l'appelle aussi « appel direct » (ne pas confondre avec « mode direct »). Elle s'établit en pressant le push-to-talk juste après la numérotation. Il n'y a pas de sonnerie et le mobile demandé décroche automatiquement en mode mains-libres.

Contrairement à la communication individuelle avec décroché, elle ne peut pas faire intervenir d'usager téléphonique et ne peut se dérouler qu'en half-duplex.

Si le mobile demandé ne supporte pas ce mode, la communication se replie en mode avec décroché.

- **Services supplémentaires**

Le standard TETRA prévoit la majorité des services téléphoniques : identité de l'appelant, renvoi, transfert, contrôle d'accès, rappel automatique... Mais attention, ils sont optionnels dans le standard TETRA et sont implémentés ou non selon le choix du constructeur.

On trouve également des services typiquement PMR comme l'écoute d'ambiance (non préemptable) et le list search call.

L'**écoute d'ambiance** est dérivée de la communication express half-duplex, mais en plus, le mobile demandé passe automatiquement en transmission. Aucune indication n'est visible sur le terminal. Il n'y a pas de sonnerie, et étant en transmission, il ne peut pas recevoir de phonie. Cette fonction est notamment utilisée par le dispatcher qui veut savoir de manière discrète ce qu'il se passe sur les lieux d'une mission, en particulier pour s'assurer que les personnes ne sont pas en danger.

La fonction **list search call** est l'équivalent de l'appel dans un groupement de la téléphonie. Elle permet d'appeler au sein d'une liste d'utilisateurs le premier qui répond.

4.5.2 LES COMMUNICATIONS DE GROUPE

TETRA définit un modèle unique de communication de groupe.

- **Définition de la communication de groupe**

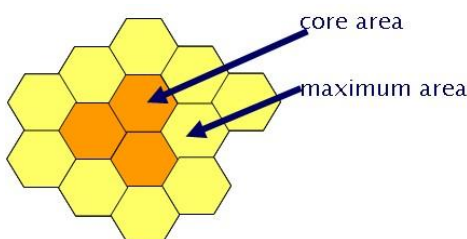
Une communication est définie par :

- un groupe d'utilisateurs qui seront habilités à participer à la communication,
- une adresse de groupe GTSI/GSSI qui identifie le groupe ci-dessus,
- une couverture, dite Group Area.

La **définition des groupes** est une opération annuelle qui définit des **membres permanents** et des **membres visiteurs**.

La composition des groupes peut être modifiée dynamiquement par les dispatchers grâce au service supplémentaire TETRA « Dynamic Group Assignment ».

La **Group Area** désigne un ensemble de cellules (donc de TBS) qui pourront supporter une communication de groupe. Elle se compose d'une « maximum area » et d'une « core area » incluse dans la précédente :



- **Les participants**

Les participants sont les membres du groupe, permanents et visiteurs, des dispatchers, des interfaces filaires qui raccordent par exemple un enregistreur ou un relais radio PMR conventionnel. Les mobiles doivent être inscrits sur une TBS de la couverture.

- Les membres permanents peuvent participer aux communications de groupe dans la core area et la maximum area.
- Les membres visiteurs ne peuvent participer aux communications de groupe que dans la core area.

Par contre status et SMS sont distribués aux permanents et aux visiteurs dans la core et dans la maximum area.

- **Déroulement de la communication de groupe**

Les communications de groupe se déroulent toujours à l'alternat.

Pour participer, les mobiles doivent avoir préalablement sélectionné la communication en numérotant son GTSI/GSSI. On dit qu'ils ont « candidats ». La transmission est immédiate dès que l'un des utilisateurs candidats appuie sur le Push-to-Talk de son mobile. A ce moment, une signalisation RD est envoyée à tous les autres mobiles candidats qui passent automatiquement en réception sur le groupe. On dit alors que la communication est « active ».

La communication de groupe utilise une voie de trafic duplex sur chacune des TBS qui constituent la couverture.

- **Services supplémentaires**

Le **Late entry** permet à un mobile qui ne serait pas candidat au moment de l'activation d'y participer en continuant à diffuser la signalisation d'activation pendant que la communication est active.

Cette fonction a l'inconvénient de charger la voie balise et n'est pas systématiquement mise en œuvre.

Le **Scanning** permet à un mobile d'être simultanément candidat à plusieurs communications de

groupe décrites dans une liste. Il participe à la première d'entre elles qui s'active.

4.5.3 TRAITEMENT DE LA DÉTRESSE

TETRA gère des communications de détresse de groupe ou individuelles, de priorité préemptive.

La communication est établie par appui sur un bouton spécifique du terminal ou en numérotant un numéro reconnu par le commutateur radio comme étant un numéro de détresse (ex. 112, 911...).

4.6 LES SERVICES DE DONNÉES

TETRA gère les services suivants :

- Short data service (SDS) qui est l'équivalent du SMS en GSM
- Status
- Données paquet IP
- Données circuit commuté (défini dans le standard, mais peu utilisé)

- **Status et SDS (Short Data Service)**

Ils sont reçus et émis par le mobile et utilisent la voie balise.

Les SDS sont utilisables au travers de gateways pour interopérer avec les SMS du GSM.

Les status sont des SMS réduits à un octet dont la signification est conventionnelle, mais certains ont une signification prédéterminée :

- Le **call back**, envoyé à un usager ou à un groupe, est utilisé pour demander au destinataire de rappeler son émetteur. Il est beaucoup utilisé par les dispatchers.
- La **demande urgente** (urgent request) est envoyée par un mobile vers un dispatcher en cas d'une urgence qui ne justifie pas un appel de détresse.
- La **demande de détresse** (emergency request) est envoyée par un mobile vers un dispatcher pour signaler une urgence extrême. Elle est généralement suivie de l'établissement d'une communication de détresse par le dispatcher. L'utilisation d'un status, plutôt qu'une communication phonique, évite de congestionner le réseau dans le cas où de nombreux usagers seraient confrontés à la même situation de détresse.

- **Service de données en mode circuit**

C'est un mode de transmission performant qui ouvre la possibilité de transmettre en utilisant plusieurs slots de la trame TDMS pour améliorer le débit.

Il utilise un trunking à base message : autrement dit, une voie de trafic est conservée pendant toute la durée de la transmission.

Le débit dépend à la fois du niveau de protection (défini par le codage de l'information) et du nombre de slots utilisés sur la trame TDMA.

Protection	1 slot	2 slots	4 slots
Non protégé	7,2 kbits/s	14,4 kbits/s	28,8 kbits/s
Protection moyenne	4,8 kbits/s	9,6 kbits/s	19,2 kbits/s
Forte protection	2,4 kbits/s	4,8 kbits/s	9,6 kbits/s

La couverture décroît avec l'augmentation niveau de protection, mais transmettre en mode « non protégé » n'est pas réaliste.

Premier mode de transmission de données défini dans le standard TETRA, il est très peu utilisé, au profit de la transmission en mode paquet. En particulier, aucune réalisation n'existe à ce jour en transmission sur 2 ou 4 slots.

- **Services de données en mode paquet IP**

Pour utiliser ce service, le mobile doit être raccordé à un terminal informatique ou bien être pourvu d'une fonction WAP.

Ce service étend les communications data TETRA vers un réseau IP externe en utilisant un ou plusieurs canaux radio dédiés (un slot) ou sur un sous-canal de la voie balise.

La communication avec les serveurs de données externes au réseau se fait travers d'un routeur raccordé au DTX du SwMI.

4.7 LE MODE DIRECT (DMO)

Rappelons que le mode direct met en relation des mobiles dans leur limite de portée radio, sans passer par un relais radio. Chaque mobile peut être en relation avec des mobiles à portée mais ne peut effectuer

de transit vers des mobiles plus éloignés.

Le mode direct utilise une signalisation et une définition de trame spécifiques. L'initiateur de la communication est maître, les autres sont esclaves.

Il supporte une ou deux communications simplex par canal sur 1 ou 2 slots. Le slot 3 est réservé à une signalisation de demande de préemption pour devenir maître.

Très puissant, le mode direct TETRA supporte la majorité des services voix et données TETRA.

Le gros problème de ce mode direct réside dans la synchronisation, puisqu'il n'y a pas de relais pour la donner. La synchronisation se fait donc en début de transmission au moyen de bursts émis par le maître. Ceci ne convient que pour des transmissions de courte durée car au-delà la dérive de synchro des terminaux devient rédhibitoire.

Certains constructeurs se sont repliés sur un mode direct plus frustré, se contentant d'un mode canal ouvert en mode FDMA sur la totalité du canal physique 25 kHz.

4.8 LA SÉCURITÉ

4.8.1 CHIFFREMENT TETRA

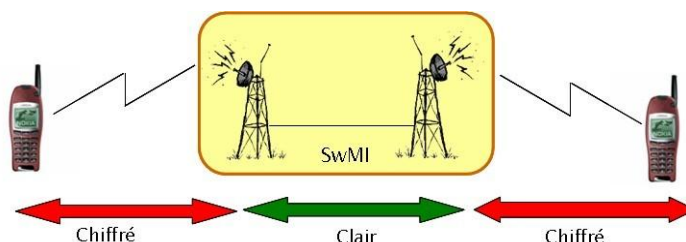
- **Authentification**

Avant de s'inscrire sur le réseau, un terminal doit « montrer patte blanche ». L'authentification est basée sur l'envoi par le DTX d'un nombre aléatoire (challenge) au terminal qui le chiffre au moyen de sa clé d'authentification et d'un algorithme. Le résultat est renvoyé au DTX qui le compare avec son propre calcul.

- **Chiffrement air interface (A/I)**

Il est défini par l'ETSI Security Algorithms Group of Experts (SAGE). C'est le seul mode de chiffrement qui soit d'origine dans le standard TETRA. Il utilise un algorithme défini par le standard.

L'intégralité du flux radio entre le relais et le terminal est chiffré, en particulier la voie balise (CCH). Par contre, la phonie et les données utilisateurs sont en clair dans la partie infrastructure du SwMI et sur l'ISI, ce qui est perçu comme un inconvénient par certains utilisateurs.



- **Chiffrement de bout en bout (E2E)**

Le chiffrement de bout en bout prévoit le chiffrement d'une transaction (voix ou données) depuis le terminal émetteur jusqu'aux terminaux récepteurs. En particulier, le flux reste chiffré à l'intérieur du SwMI, palliant le reproche fait au chiffrement A/I. Par contre, il n'est pas possible de chiffrer la voie balise, ce qui est perçu comme un inconvénient par certains utilisateurs.

Pour satisfaire tout le monde, les deux modes de chiffrement E2E et A/I peuvent être utilisés simultanément. Le flux utilisateur est donc doublement chiffré sur l'interface air.

Le chiffrement de bout en bout est spécifié pour les services voix et données, en marge du standard ETSI qui ne définit que le cadre. Les spécifications sont l'œuvre de divers forums d'utilisateurs (ex. Sécurité Publique) et sont basées sur des standards de chiffrement (AES). Le vecteur de chiffrement est transmis par vol de trame, ce qui peut dégrader la phonie.

L'implémentation n'a pas été suivie par tous les constructeurs et avant de mettre en œuvre le chiffrement E2E sur des communications de groupe, il est nécessaire de s'assurer que tous les terminaux utilisateurs du réseau le supportent et qu'ils sont compatibles. Par contre, sur des communications individuelles impliquant des terminaux non compatibles, la communication se replie en clair.

4.8.2 DÉTECTION DE JAMMING

Cette fonction de TETRA permet de se protéger contre les brouillages, car le brouillage est aussi une façon d'attaquer un réseau.

Le signal reçu est analysé sur des fenêtres glissantes de 16 slots de trames consécutives afin de vérifier qu'il présente une modulation TETRA conforme.

Si 5 trames consécutives sont non conformes, il y a émission d'une alarme (pas de correction

automatique). C'est à l'opérateur du réseau de décider de bloquer le canal brouillé et, si c'est la voie balise, de la passer sur un autre canal. L'alarme disparaît lorsque 3 trames consécutives sont correctes ou si le signal brouillé passe au dessous de -121 dB.

4.8.3 INHIBITION DES MOBILES

Un mobile peut être perdu ou pire, volé. Il est impératif de l'inhiber afin d'éviter que des personnes non habilitées puissent accéder au réseau.

Cette opération se fait à distance depuis le poste du dispatcher.

Il y a trois niveaux d'inhibition :

- Interdit permanent : c'est fini, le mobile ne peut plus trafiquer et, s'il est retrouvé, doit repasser en usine.
- Interdit temporaire : le mobile ne peut plus trafiquer, mais s'il est retrouvé il peut être remis en service par le dispatcher. Dans cet état, il peut être mis en « ambiance listening » par le dispatcher.
- Interdit temporaire suivi : le mobile ne peut plus trafiquer mais il continue à s'inscrire.

Selon configuration, le mobile interdit temporaire peut ou non être autorisé à émettre des appels de détresse.

4.9 L'ISI (INTER SYSTEM INTERFACE)

L'ISI est une interface standardisée dans le cadre de TETRA qui permet d'interconnecter des réseaux TETRA en assurant la continuité des services voix, données et mobilité entre les réseaux interconnectés, ainsi que la plupart des services supplémentaires.

La connexion se fait sur lignes louées, faisceaux hertziens, réseau téléphonique, réseau IP (Intranet), etc.

L'ISI est une interface ouverte sur laquelle les autres réseaux PMR pourraient se raccorder pour interfonctionner avec un réseau TETRA. Il n'y a aucune réalisation à ce jour.

5 LES AUTRES STANDARDS DE PMR NUMÉRIQUE

• Tableau comparatif

Nous venons de décrire les grandes lignes de TETRA, mais ce petit tableau donne les principales caractéristiques des grands standards numériques de PMR bande étroite :

	TETRA	TETRAPOL	APCO 25 P1	APCO 25 P2
Accès au média	TDMA/4	FDMA	FDMA	TDMA/2
Modulation	$\pi/4$ DQPSK (36 kbits/s)	GMSK (8 kbits/s)	C4FM (9,6 kbits/s)	H-CPM/H-DQPSK (12 kbits/s)
Vocodeur	A-CELP	RP-CELP	IMBE	AMBE half rate
Débit	(4,6 kbits/s)	(6 kbits/s)	(4,4 kbits/s)	(2,4 kbits/s)
Sensibilité TR/BS statique	-112/-115 dBm	-119/-121 dBm	-113/-116 dBm	-116 dBm
Largeur canal	25 kHz	12,5 kHz	12,5 kHz	12,5 kHz
Équivalent canal	6,25 kHz	12,5 kHz	12,5 kHz	6,25 kHz
Bande de fréquences	400 et 800 MHz	80 et 400 MHz	100, 400 et 800 MHz	100, 400 et 700 MHz
Taille de la cellule	17,5 km	28 km	35 km	n.c.
Simulcast	non	oui	oui	non
Chiffrement	A/I et E2E	E2E	E2E	E2E
Handover	oui	non	non	oui
Full duplex	oui	non	non	oui

Nous n'allons pas reprendre une description détaillée de chacun, mais juste expliquer certaines différences entre ces réseaux et TETRA.

• Le simulcast

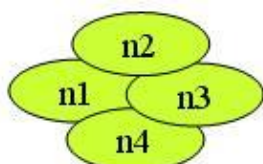
On trouve cette fonction sur TETRAPOL et APCO 25 phase 1, en fait sur des réseaux FDMA.

Revenons sur la notion de couverture radio.

Au niveau élémentaire, la cellule est la zone couverte par le rayonnement électromagnétique d'un relais. Le relais diffuse sur plusieurs canaux radio calés chacun sur une fréquence centrale donnée.

Une couverture radio est définie comme un ensemble de cellules. Il en existe deux types :

- Modèle cellulaire :



Il comporte plusieurs cellules basées sur des relais qui utilisent des canaux de fréquences différentes. Il n'est pas nécessaire que toutes les relais aient le même nombre de canaux.

Ici, le nombre de canaux nécessaires est $N = n1 + n2 + n3 + n4$ et la couverture constituée par ces 4 cellules peut supporter au maximum N communications.

Ce modèle est bien adapté à des réseaux avec un fort trafic.

- Modèle simulcast



Il comporte également plusieurs cellules mais à la différence du modèle cellulaire ci-dessus, ces relais utilisent les **mêmes canaux**, donc les mêmes fréquences. Une synchronisation de haute précision par horloge GPS évite les interférences. Le nombre de cellules est limité (typiquement jusqu'à 4).

L'ensemble est vu comme une cellule unique et les terminaux qui se déplacent entre des relais du simulcast n'ont pas à se réinscrire.

Pour couvrir la même zone que ci-dessus, on utilisera toujours 4 relais mais seulement $N = n1$ canaux. Par contre le nombre maximum de communications supportées sera limité à $n1$.

Ce second modèle est particulièrement attractif pour des trafics faibles sur une zone étendue, car économique en spectre. Il est souvent employé pour couvrir des sites industriels.

Le simulcast est incompatible avec le TDMA, c'est pourquoi on ne le trouve que sur des technologies FDMA.

• Taille des cellules

Un réseau FDMA (TETRAPOL, APCO 25 phase 1) offre des cellules plus grandes pour une couverture optimale de grandes superficies et des zones rurales, notamment dans le cadre de réseaux nationaux.

En FDMA, le canal radio est alloué sans interruption pendant une transmission, celle-ci se faisant en continu, et non par burst comme en TDMA. Nous avons vu plus haut que la taille des cellules était

directement influencée par la puissance moyenne émise. En FDMA, celle-ci est égale en gros à la valeur crête, alors qu'en TETRA (TDMA/4) elle n'est que le quart – la moitié pour APCO 25 phase 2.

- **Chiffrement**

Le chiffrement E2E est la règle générale dans les réseaux PMR. TETRA tire son chiffrement air interface du GSM. N'oublions pas que ces deux standards sont issus de l'ETSI.

6 PERMANENCE DE SERVICE

Nous l'avons vu au début, le réseau PMR est celui qui continue à fonctionner lorsque tout va mal, y compris lorsque lui-même est « malade ».

6.1 REDONDANCE

Une première mesure consiste à redonder les équipements vitaux : commutateurs radio, bases de données techniques et tactiques. Il s'agit d'une redondance passive. Une chaîne est opérationnelle et la seconde ne fait que se tenir à jour.

6.2 MODES DÉGRADÉS

Vu leur nombre, les relais radio ne sont pas redondés et les pannes sont gérées par des modes dégradés. Dans tous les cas décrits ci-dessous, les communications individuelles sont perdues. Rappelons que la communication individuelle n'est pas une priorité de la PMR et en cas de panne partielle du réseau, celui-ci n'assure plus que le service des communications de groupe.

Un **premier cas de mode dégradé** est la panne qui isole un commutateur radio du reste du réseau. On se retrouve alors avec deux demi-réseaux, chacun supportant des relais qui continuent à fonctionner normalement. Les communications de groupe qui impliquent des relais gérés dans les deux sous-réseaux sont scindées en deux.

Un **second cas de mode dégradé** est la panne qui isole un seul relais de son commutateur radio. Dans ce schéma, le relais continue à fonctionner. Les communications de groupe qui l'impliquent sont scindées, une partie restreinte au relais isolé, et l'autre partie gérée par le reste du réseau.

Un **troisième cas de mode dégradé** est une panne sur le relais lui-même. Nous avons vu qu'un relais radio se compose des équipements de transmission (équivalent de la BTS du GSM) et d'un étage de commutation (équivalent de la BSC). Lors d'une panne de la BSC, le relais perd ses fonctions de commutation et est incapable de gérer les communications. Comme ci-dessus, la communication de groupe continue à vivre sur les autres relais de sa couverture. Le relais en panne passe en mode canal ouvert sur un de ses canaux radio (en général celui qui était voie balise, scrutée par tous les terminaux hors transmission) afin de continuer à assurer un service dans la zone qu'il couvre.

Un problème soulevé par les modes dégradés est celui de l'inscription. Celle-ci nécessite un dialogue avec le commutateur radio, qui ne peut plus se faire en mode dégradé. Le mobile qui arrive sous le relais isolé ne peut pas s'inscrire et, en toute rigueur ne devrait pas être autorisé à accéder au réseau. En PMR, ceci est inacceptable, car n'oublions que nous sommes dans un contexte de sécurité. Il va falloir « faire comme si » et concéder au mobile une *inscription à priori* qui sera régularisée en sortie de mode dégradé, afin de ne pas le priver d'accès au réseau.

6.3 MODE DIRECT

Nous sommes ici dans un cas extrême qui est la panne totale d'un relais, voire d'une partie du réseau. L'ultime « roue de secours » est le mode direct qui va permettre aux mobiles de continuer à communiquer entre eux, du moins dans les limites de portée de leur terminal.

7 LA CONCEPTION DU DISPATCHING

Le dispatcher est un personnage important dans le monde de la PMR. C'est lui qui coordonne les actions sur le terrain et pour ce faire, il est en relation avec ses équipes opérationnelles et sa hiérarchie.

Selon le type de mission, le dispatcher opère seul ou en équipe. Ce sera par exemple le coordinateur qui depuis son camion dirige une mission de combat d'un incendie de forêt. Ce sera aussi le poste de commandement de la police d'une grande ville où sont reçus les appels police-secours et d'où sont lancées les actions sur le terrain, en relation avec des commissariats de quartier et d'autres entités (pompiers, SAMU...).

7.1 LE POSTE DU DISPATCHER

Le poste de dispatching peut revêtir des formes plus ou moins complexes.

- **Poste radio fixe**

Le poste de dispatching le plus fruste est un mobile qui pourra être monté sur un socle d'alimentation secteur et pourvu d'un combiné, à partir duquel le dispatcher dispose des services voix et données des usagers radio avec quelques droits supplémentaires. C'est tout.

- **Poste de dispatching autonome**

Il se présente sous la forme d'une plate-forme informatique associée à une interface de phonie avec PTT (micro, haut parleur ou microcasque).

Le dispatcher dispose des services voix et données du réseau et de droits particuliers comme ci-dessus. Le poste informatique lui offre en plus un certain nombre de fonctions qui relèvent de l'exploitation tactique du réseau (gestion des communications, liste des communications en cours,...) ou d'exploitation technique avec incidence tactique (modes dégradés...).



Poste radio fixe



Poste de dispatching autonome



Salle de contrôle (Photos Cassidian)

- **Salle de contrôle**

... ou Dispatch Centre, ou Control Room.

Cette forme la plus évoluée du dispatching est réservée aux grands centres de commandement, centres d'appels d'urgence pour la réception et le traitement des appels du public (Police Secours, SAMU, Pompiers...). On peut citer comme exemple la SIC (Salle d'Intervention et de Commandement) des Préfectures de Police qui concentrent les appels de police secours et gèrent les opérations sur la ville, surveillance de routine et opérations spéciales allant du contrôle des manifestations à l'encadrement des cortèges officiels.

La salle de contrôle est en relation avec le réseau radio et ses usagers, mais aussi via le réseau téléphonique avec les particuliers, les administrations et les salles de contrôle d'autres entités, éventuellement vers un autre réseau radio via un gateway spécifique. Elle est également, via un routeur, en relation avec les serveurs informatiques qui supportent les bases de données du réseau et des applications.

Elle a à sa disposition des applications informatiques d'aide au dispatching, des applications cartographiques, des moyens vidéo (transmission des images captées par les caméras de vidéosurveillance), etc.

La salle de contrôle regroupe plusieurs dispatchers qui se partagent le trafic. Les interfaces vers les dispatchers, vers le réseau radio, vers le réseau téléphonique, vers les réseaux externes sont gérés par un PABX dit « commutateur de voies radio¹ », qui fait de la salle de contrôle un nœud d'interfonctionnement entre réseaux.

L'équipement est souvent complété par un enregistreur des communications radio et téléphoniques,

¹ Appellation historique et fautive puisque maintenant il commute des voies radio et des tas d'autres choses.

pour écoute immédiate ou différée et archivage.

Un des rôles du dispatcher est de traiter les appels du public (appels « 17 » ou « 18 » par exemple) et d'engager par radio et/ou téléphone les opérations nécessaires. Pour des opérations d'envergure, les dispatchers de la salle de contrôle pourront se coordonner avec ceux d'une autre entité, sur un autre réseau (par exemple sur les lieux d'un accident, coordination gendarmerie, pompiers, SAMU). Ils peuvent également recourir à des services externes, par exemple les services météorologiques et hydrologiques s'il s'agit d'opérations de secours liées à des inondations.

7.2 LES APPLICATIONS DE DISPATCHING

Ceci concerne les salles de contrôle. Ces applications sont en général du « sur mesure » conçues ou adaptées en fonction des besoins de l'utilisateur.

7.2.1 LE CAD (COMPUTER ASSISTED DISPATCHING)

Cette fonction assiste le dispatcher dans son travail.

Une fonction simple du CAD est la montée automatique de l'adresse lors de la réception d'un appel téléphonique... au moins pour vérification mais parfois aussi pour l'avoir car nombre de personnes paniquées appellent les pompiers pour dire qu'il y a le feu chez eux et raccrochent sans avoir dit où ils habitent !

Le CAD offre aussi des fonctions annuaires et le poste offre des fonctions d'appel en cliquant simplement sur un numéro ou une icône.

Ceci ne constitue que quelques exemples des fonctions supportées par le CAD, les autres étant plus spécifiques des besoins propres à l'utilisateur.

7.2.2 LE SUIVI DES VÉHICULES

Le but de cette fonction (**AVL** – Automatic Vehicle Localisation) est de recueillir les coordonnées géographiques des véhicules et de les reporter sur un support cartographique.



(Photo Cassidian)

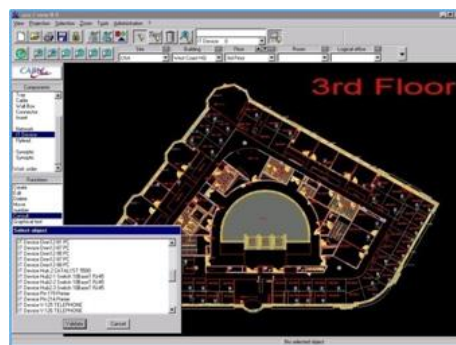
La localisation est acquise au moyen d'un récepteur GPS associé au mobile radio du véhicule. Elle est envoyée à un serveur de localisation au travers du réseau radio, sous forme d'un datagramme qui utilise la voie balise.

Des postes de visualisation, en général associés aux postes des dispatchers, supportent les applications cartographiques sur lesquelles sont reportées les positions des véhicules supervisés. Associé à l'AVL, le CAD permet d'appeler un véhicule en cliquant sur son icône.

Outre le suivi des véhicules, cette application est par exemple utilisée pour le suivi des containers dans les zones portuaires.

7.2.3 LE GIS (GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM)

Le but est mettre fournir au dispatcher un support cartographique interactif qui va l'aider à prendre rapidement les bonnes décisions. Sur ce support figurent les voies de communication, les points remarquables (par ex. bornes d'incendie, domicile de personnes handicapées, dépôts de carburants, points à risques...) et des informations de localisation.



(Photo Cassidian)

Un clic souris sur un bâtiment ou un véhicule permet de générer automatiquement un appel téléphonique ou radio vers le point désigné. La localisation des véhicules sur la carte peut être réalisée manuellement ou au moyen de la fonction de suivi des véhicules ci-dessus.

Par exemple, les fonctions GIS sont utilisées par les pompiers sur les lieux d'un incendie. Les mobiles sont associés à un récepteur GPS qui permet d'envoyer des status et des détresses géolocalisés. Les contours de feu et la position des hommes sont représentés à partir de status transmis par les pompiers sur le terrain et maintenus à jour sur le GIS pour optimiser le déploiement des unités.

8 L'INTERCONNEXION DE RÉSEAUX

• L'ISI TETRA

Nous avons parlé de l'ISI de TETRA qui permettrait à des réseaux hétérogènes d'interopérer... si l'ISI avait été mis en œuvre sur les réseaux autres que TETRA.

• Le gateway TETRAPOL

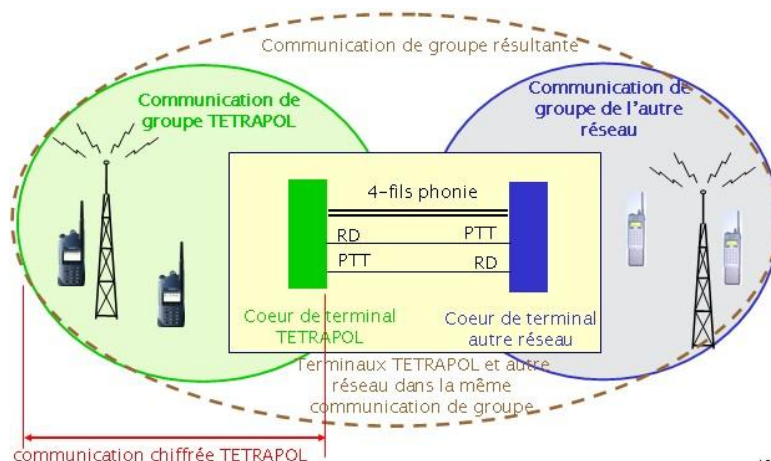
TETRAPOL procède par un moyen simple mais efficace, basé sur un cœur de terminal TETRAPOL et un cœur de terminal du réseau externe pour abouter des communications de groupes de deux réseaux hétérogènes.

Il est donc constitué d'un cœur de terminal de chacun des réseaux reliés par :

- 4 fils pour le transport de la phonie sous forme analogique
- 1 fil pour le PTT qui devient l'indication de réception (RD) de l'autre côté
- 1 fil pour le RD qui correspond au PTT opposé.

Chacun des cœurs de terminaux est configuré pour participer à une communication de groupe de son propre réseau. Le résultat est une fusion de deux communications de groupe, respectivement dans chacun des réseaux.

Il faut un gateway de ce type par couple de communications à abouter.



On peut remarquer que chacune des communications aboutées est chiffrée dans son propre réseau. Le seul passage en clair est à l'intérieur du gateway. Celui-ci étant un équipement à part entière (et fermé), le risque d'interception de la communication peut être considéré comme négligeable.

Sur le même modèle, il est possible d'aboutir une communication de groupe du réseau PMR et une communication en mode direct. C'est ce qu'on appelle l'**extension de couverture**. Voyons-en l'utilité. Soit une petite vallée non couverte par un relais du réseau et dont la faible importance ne justifie pas l'installation d'un relais (cher) pour la couvrir. Les usagers de la petite vallée fonctionnent en mode direct et ils sont reliés au reste du monde par un tel gateway placé (en haut de la montagne ?) en vue radio du relais le plus proche et des mobiles en mode direct.

• L'ISSI

L'ISSI a été spécifiée par la TIA afin de proposer une interface universelle sur laquelle pourront se raccorder des réseaux radio hétérogènes. L'interconnexion se fait au moyen d'un VPN. Les services sont basés sur SIP et RTP de la ToIP pour les communications de phonie, incluant la gestion de l'alternat et de la mobilité.

L'ISSI définit les services suivants :

- Traitement des appels (SIP)
- Transport de la phonie (RTP) avec chiffrement de bout en bout
- Services annuaires basés sur LDAP
- Gestion des usagers
- Gestion de la mobilité, localisation, inscription
- Sécurisation par IPsec sur les flux SIP

9 LES GRANDS PROJETS

9.1 LA SÉCURITÉ DES ÉTATS

Des projets internationaux sont menés par les organismes de standardisation, généralement sous l'impulsion des acteurs de la Sécurité Publique, pour définir de nouveaux moyens et de nouvelles technologies avec en particulier :

- l'interopérabilité des réseaux,
- l'évolution des technologies vers le wideband et le broadband,
- le développement des technologies de l'information.

Le but est de lutter efficacement contre le terrorisme, le trafic de drogue, l'immigration incontrôlée, etc. et de doter les états de moyens de sécurisation des transports aériens, de surveillance des frontières et de gestion des crises.

Ceci définit une solution complète qui intègre communications, surveillance aérienne, salles de contrôle, outils d'identification, bases de données, etc. Ce concept de Homeland Security a ainsi été mis en œuvre aux États-Unis.

9.2 EMTEL

Ce projet est poussé par l'ETSI et l'UIT pour l'Europe.

Ses objectifs sont les suivants :

- harmonisation du service « 112,
- coordination des communications entre organisations et entre organisations et citoyens,
- harmonisation des fréquences, en particulier dans les zones frontalières.

L'évolution technologique prend en compte les technologies bande étroite actuelles (TETRA, TETRAPOL, APCO 25) en encourageant l'interopérabilité, et considère le large bande comme une évolution de ces réseaux. Enfin, EMTEL préconise l'utilisation de technologies existantes pour définir le broadband.

Le projet EMTEL identifie différents types de communication avant et pendant les crises, selon le tableau suivant :



Le projet traite en particulier les deux axes suivants :

• Appel d'urgence 112

Ceci commence par la normalisation du numéro 112 en tant qu'appel d'urgence public. La problématique de la localisation est également traitée, en particulier pour les téléphones mobiles et IP.

Pour un téléphone fixe, elle est donnée par l'opérateur, mais ici intervient le problème posé par la diversité des opérateurs et la multiplication des bases de données

Pour un téléphone mobile, elle est donnée par sa localisation ou par GPS si le mobile en est pourvu.

Pour un téléphone IP, la localisation porte sur l'adresse IP fournie par l'administrateur du réseau, mais elle peut être erronée si la communication passe par un VPN.

Des moyens d'appel 112 doivent également mis en place pour les malentendants, par Internet ou

autre, mais ces appels ont les mêmes restrictions que ceux issus des téléphones IP.

Les appels d'urgence arrivent à la salle de contrôle de l'Autorité compétente où l'opérateur doit avoir la possibilité de rappeler l'appelant.

- **La prévention et le traitement des crises**

Le premier point est l'alerte de la population, par voie de radio/télévision, SMS, appels automatiques...

La salle de contrôle est au cœur de l'opération pour coordonner les actions entre les différents intervenants.

Pendant et après la crise, on considère que les moyens de communication sont partiellement ou totalement détruit, ou au moins saturés. Reste le réseau PMR, ou au moins ses mobiles en mode direct dans les cas extrêmes, à partir duquel vont être menées les opérations de sauvetage, d'évacuation et de regroupement de la population.

L'appel 112, dans la mesure où les réseaux sont encore opérationnels, sert à localiser les rescapés.

Après une crise, les survivants ont le souci d'appeler leurs proches. Un poste d'appel peut être installé sur le réseau PMR, mais le nombre de communications reste limité, priorité étant donnée aux communications de service. Un autre dispositif, moins gourmand en ressources, est le IAA (I Am Alive) qui consiste à utiliser le réseau PMR pour envoyer un message vers une base de données que les proches peuvent consulter par Internet ou par serveur vocal.

9.3 MESA

Lancé en 2000, MESA (Mobility for Emergency and Safety Applications) est mené par la TIA et l'ETSI. Pour la petite histoire, MESA est aussi le nom de la ville de l'Arizona où a été signé l'accord entre ces deux organismes. Il implique tous les utilisateurs des PPDR (Public Protection & Disaster Relief) et des organismes de maintien de la paix.

Le but est de produire les spécifications d'un réseau numérique de pointe au delà des technologies actuelles, mais en s'appuyant sur celles-ci. Un réseau MESA fait appel à des composants issus des technologies existantes (système de systèmes), MESA ne spécifiant que des compléments à ces standards pour s'adapter à certaines contraintes des PPDR. Les spécifications sont élaborées par les organismes de standardisation (SDO) et forums compétents.

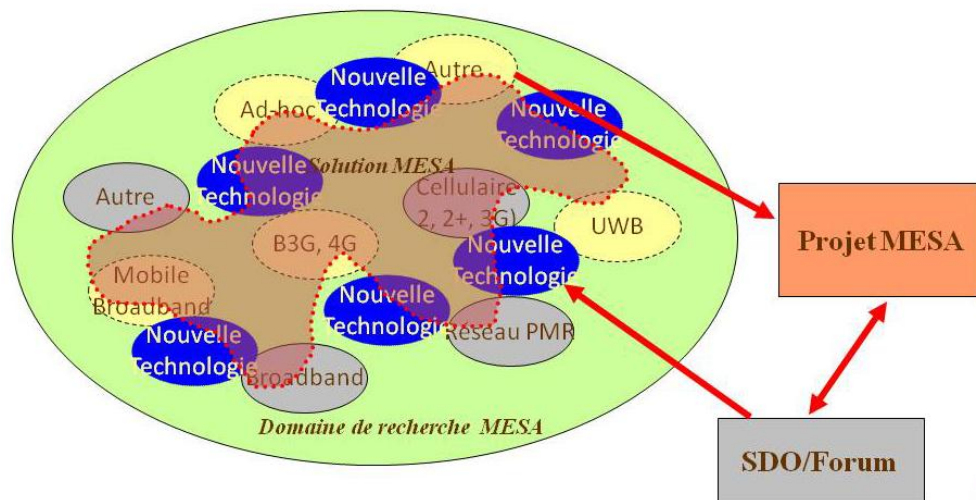


Illustration ETSI

La première phase de MESA est une spécification de besoin (SoR) dans laquelle ont été répertoriés tous les besoins des PPDR : police, pompiers, gardes côtes, gardes forestiers, secours médical d'urgence...

Ceci débouche sur un certain nombre de contraintes :

- indépendance vis-à-vis des infrastructures publiques,
- indépendance vis à vis des fréquences utilisées par les réseaux publics,
- déploiement rapide,
- déployable au niveau national/international,
- auto établissement et rétablissement des réseaux ad-hoc,
- infrastructure globale broadband (par exemple fibre optique et/ou satellite),

- transparence vis-à-vis des protocoles de chiffrement afin que chaque utilisateur reste maître de ses spécifications en matière de cryptologie,
- communications de phonie et transmission de données haut débit.

• **Le hot spot mobile**

Dans sa réalisation, MESA fait appel aux réseaux ad-hoc pour des interventions de type hot spot, comme l'illustre la figure ci-dessous.

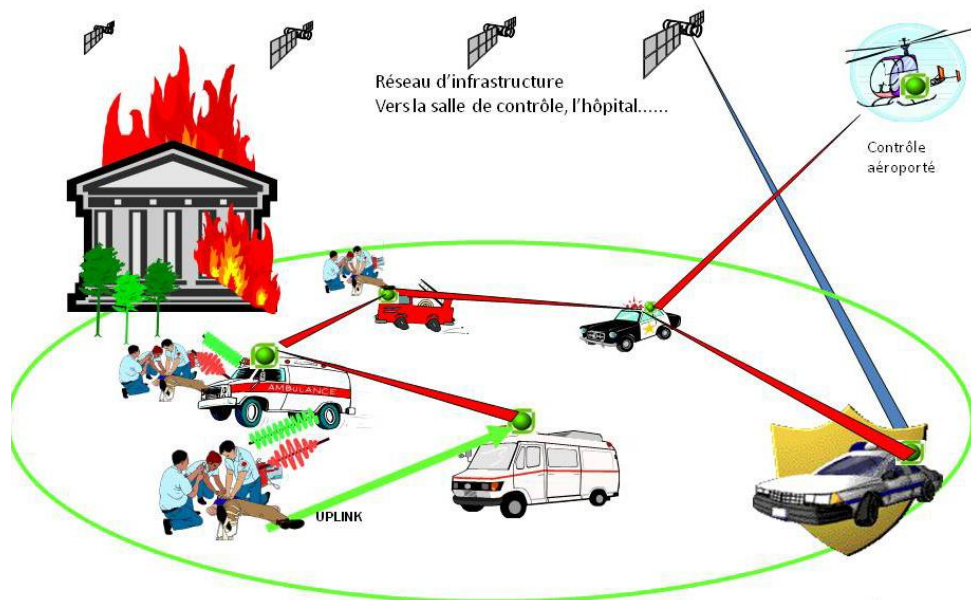


Illustration Projet MESA

Sur chaque point d'intervention, les usagers correspondent en mode ad-hoc au moyen de leurs terminaux. Ces différents points sont reliés entre eux par la même technologie de réseau ad-hoc, mais au moyen de terminaux de plus grande puissance (dans les véhicules), donc de portée plus étendue. On peut même voir ici une liaison avec un hélicoptère qui supervise la zone.

Enfin, une passerelle par satellite met les usagers en relation avec la salle de contrôle d'où est pilotée l'information, et le cas échéant avec l'hôpital ou toute autre entité intervenante.

• **Le pompier MESA**

Une autre réalisation, toujours en mode ad-hoc, est l'équipement du pompier, car il est indispensable de veiller à la sécurité du personnel d'intervention.

Notre pompier MESA est pourvu de capteurs qui donnent la température du vêtement et celle du corps, la pression sanguine, le rythme respiratoire, etc. Un compteur Geiger peut compléter l'équipement dans les zones radioactives.

Toutes ces données sont envoyées en temps réel à la salle de contrôle d'où, en cas de situation anormale, est prise la décision de porter secours au pompier en difficulté.

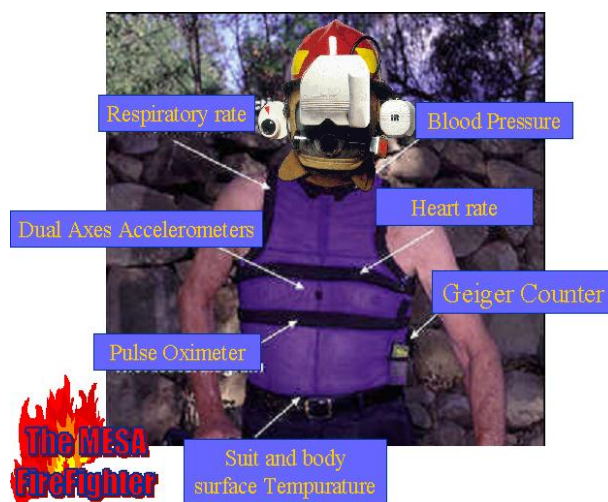


Photo Projet MESA

10 ANNEXES

10.1 ACRONYMES

Le lecteur pourra aussi se reporter au lexique du numérique et des télécoms, téléchargeable sur le site de Forum ATENA.

2RP	Réseaux Radio Professionnels
3RP	Réseaux Radio à Ressources Partagées
AES	Advanced Encrytion Standard
AVL	Automatic Vehicle Localisation
APCO	Association of Public safety Communications Officials
CCH	Control Channel (voie balise)
COTS	Commercial Off The Shelf
DMO	Direct Mode
DMR	Digital Mobile Radio. Standard de l'ETSI pour PMR optimisée.
DXT	Digital eXchange for TETRA
FDMA	Frequency Division Multiple Access : Une technique de multiplexage qui permet de transporter différentes communications sur autant de sous-canaux d'un même canal radio.
GSM ASCI	GSM Advanced Speech Call Items
GSM-R	GSM Rail
GTSI	Group TETRA Subscriber Identity
IPSec	IP Security
ISI	Inter System Interface
ISSI	Inter RF-SubSystem Interface
IT	Intervalle de Temps (ou Time Slot, ou slot)
ITSI	Individual TETRA Subscriber Identity
LA	Location Area
PAMR	Public Access Mobile Network
PMR 446	Radio analogique en mode direct sans licence
PSCE	Public Safety Communication Europe
PTT	Push To Talk
RA	Registration Area
RPX	Réseaux administrés par des exploitants gérants de fréquences puis sous-loués aux utilisateurs finaux.
RTP	Real Time Protocol
SDS	Short Data Service
SIP	Session Initiation Protocol
SwMI	Switching and Management Interface
TBS	TETRA Base Station
TCH	Traffic Channel (voie de trafic)
TDMA	Time Division Multiplex Access : Une technique de multiplexage qui permet de transporter différentes communications sur autant d'intervalles de temps d'un canal radio.
TEDS	TETRA Enhanced Data Service
TETRA	TErrestrial Trunked Radio
ToIP	Telephone over IP
TRX	Transmitter/Receptor
WAP	Wireless Application Protocol

10.2 DÉFINITIONS

Canal Ouvert Définit un canal de communication sur une fréquence dans lequel tout usager peut participer sous réserve qu'il soit sous couverture du relais.

Late entry Fonction qui permet à un usager de participer à une communication déjà active lorsqu'il s'inscrit ou sélectionne la communication.

Half-duplex Mode de communication en phonie de base de la PMR qui n'autorise qu'un seul locuteur à la fois.

Alternat Voir half duplex

Full duplex Mode de conversation en phonie qui autorise deux sens de conversation simultanément pour chaque usager engagé dans une communication.

Efficacité spectrale Mesure de l'optimisation de la ressource radio. En première approximation peut se mesurer en nombre de communications supportées par kHz de bande passante.

10.3 BIBLIOGRAPHIE

<Réf. 1> Réseaux mobiles professionnels : État des lieux – Actes de l'ARCEP (mai 2013)
http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/synth-cp-PMR-mai2013.pdf

11 A PROPOS DE L'AUTEUR

Michèle Germain est ingénieur de l'Institut Supérieur d'Électronique de Paris (ISEP).

Pour Matra Communication et EADS elle a participé à de grands projets de téléphonie et de radiocommunications (Matracom 6500, Radiocom 2000, réseaux PMR...).

Elle anime l'atelier d'écriture de Forum ATENA et elle a participé comme co-auteur et coordinatrice à la production de plusieurs des ouvrages de la Collection ATENA.

A l'ISEP, elle a enseigné les techniques de radiocommunications professionnelles PMR.

Elle est auteur des livres « Informatique et numérique à l'usage des Seniors » et « Du téléphone au smartphone » (Éditions du puits fleuri).

Les idées émises dans ce livre blanc n'engagent que la responsabilité de son auteur et pas celle de Forum ATENA.

La reproduction et/ou la représentation sur tous supports de cet ouvrage, intégralement ou partiellement, est autorisée à la condition d'en citer la source comme suit :

© **Forum ATENA 2014 – Introduction à la PMR**

Licence Creative Commons

- Paternité
- Pas d'utilisation commerciale
- Pas de modifications



L'utilisation à but lucratif ou commercial, la traduction et l'adaptation sur quelque support que ce soit sont interdites sans la permission écrite de Forum ATENA.

