



7 juillet 2015

---

## Notice d'information TETRA

# Radiocommunication terrestre à ressources partagées

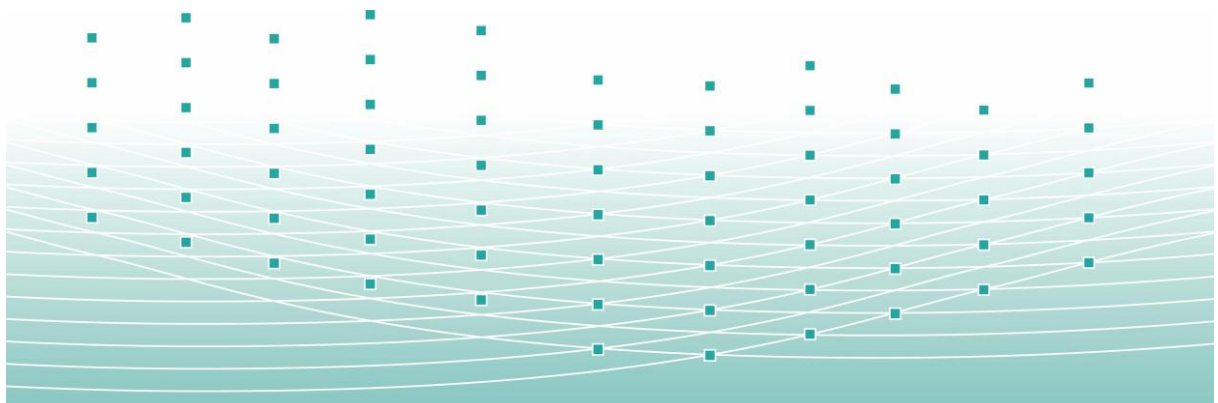
---

### Résumé

TETRA est un système numérique de radiocommunication à ressources partagées destiné à la transmission vocale et de données. Les systèmes à ressources partagées sont des systèmes de radiocommunication privés et publics utilisés par des professionnels et des organes de sécurité. La norme TETRA a été développée par l'organisme européen de normalisation ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Elle a été publiée en 1996, puis constamment réactualisée. Aujourd'hui, elle est l'une des principales normes mondiales de radiocommunication. Avec TETRA, la communication vocale et la communication des données sont plus sûres et plus fiables.

TETRA utilise le système TDMA (Time Division Multiple Access). Un canal radio comporte 4 canaux physiques (intervalles de temps). Dans sa version originale (Version 1), TETRA supporte des débits allant jusqu'à 4 x 7,2 kBit/s sur un canal radio d'une largeur de bande de 25 kHz, avec la modulation de phases  $\pi/4$ -DQPSK.

Avec la version 2 de TETRA (TETRA 2), de nouvelles fonctionnalités importantes ont été ajoutées à la norme dès 2006, par exemple TEDS (TETRA Enhanced Data Service). TEDS repose sur la technique multi-porteuses adaptative comprenant 8 sous-porteuses de 25 kHz ainsi que sur une modulation QAM linéaire. Avec des modes de modulation supérieurs et la commutation de 6 canaux de radiocommunication au maximum pour une largeur de bande de transmission de 150 kHz (soit en tout 48 sous-porteuses), on obtient des débits allant jusqu'à 134 kBit/s par intervalle de temps, voire supérieurs à 500 kBit/s en occupant 4 intervalles. TETRA 2 est un système à bande large.



Avec TEDS, TETRA 2 utilise la même structure TDMA que la version 1 et est totalement rétrocompatible.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Technologie</b> .....	<b>2</b>
2.1	TETRA Version 1 (TETRA 1) .....	2
2.1.1	TETRA V+D .....	2
2.1.2	TETRA PDO .....	3
2.1.3	TETRA DMO .....	3
2.2	TETRA Version 2 (TETRA 2) .....	4
2.2.1	Range Extension .....	4
2.2.2	TETRA Enhanced Data Service (TEDS) .....	4
<b>3</b>	<b>Services</b> .....	<b>5</b>
3.1	Téléservices: .....	6
3.2	Services supports (services de transmission de données) .....	6
3.3	Services additionnels .....	7
<b>4</b>	<b>Résumé et comparaison avec Tetrapol</b> .....	<b>7</b>
	<b>Abréviations</b> .....	<b>9</b>
	Littérature .....	9

## 1 Introduction

TETRA est un système cellulaire numérique de radiocommunication à ressources partagées destiné à la transmission vocale et de données. Les systèmes numériques à ressources partagées sont des systèmes de radiocommunication privés et publics utilisés par des professionnels et des organes de sécurité (PMR/PAMR<sup>1</sup>). Au contraire des anciens systèmes analogiques conventionnels à canal fixe (à chaque service et chaque utilisateur est attaché en tout temps un canal particulier), dans les systèmes de radiocommunication à ressources partagées, les fréquences sont attribuées aux différents utilisateurs et services de façon flexible. On peut ainsi exploiter le gain d'une liaison à ressources partagées et augmenter l'efficacité du spectre des fréquences. En outre, la technique numérique permet d'améliorer sensiblement la qualité et la sécurité des systèmes de radiocommunication.

Les systèmes de radiocommunication à ressources partagées se différencient des systèmes publics de téléphonie mobiles tels que l'UMTS ou le LTE surtout par la rapidité d'établissement de la communication, les appels de groupe, les appels prioritaires, le cryptage de bout en bout et la possibilité de relier directement deux stations mobiles sans passer par une station de base (mode direct).

Les systèmes de radiocommunication à ressources partagées sont utilisés principalement par des groupes d'utilisateurs fermés comme les services de transports (taxis, CFF, entreprises de transport, etc.), les aéroports, les entreprises d'énergie et les organes de sécurité (p. ex. la police, les pompiers, les services sanitaires, l'armée, la protection civile, le corps des gardes-frontières, etc.). Ces groupes d'utilisateurs disposent de leur propre système privé de radiocommunication à ressources partagées ou utilisent les services d'un opérateur de radiocommunication à ressources partagées.

Dès le milieu des années 1980, on a recherché des solutions adaptées pour les systèmes numériques PMR afin d'améliorer l'efficacité du spectre des fréquences et la sécurité technique, et de faciliter le cryptage des communications. C'est à cette époque que sont apparus les premiers systèmes PMR numériques, notamment ASTRO et iDEN (produits les deux par Motorola), EDACS (Ericsson), SR 440 (Bosch/Ascom) et Tetrapol (Matra Communication/EADS).

La création d'une norme unifiée pour les systèmes numériques PMR n'a toutefois été lancée qu'en 1989 lorsque les fabricants, les administrations et les groupes d'utilisateurs ont décidé d'élaborer au sein de l'ETSI une norme dénommée TETRA, qui a été publiée en 1996. Entre-temps, TETRA est devenue l'une des normes les plus complètes jamais développées par l'ETSI.

Avec la version 2 de TETRA (TETRA 2), de nouvelles fonctionnalités importantes ont été ajoutées à la norme dès 2006, par exemple TEDS (TETRA Enhanced Data Service). Avec des modes de modulation supérieurs et la commutation de 6 canaux de radiocommunication au maximum pour une largeur de bande de transmission de 150 kHz (soit en tout 48 sous-porteuses), on obtient grâce à TEDS des débits allant jusqu'à 134 kBit/s par intervalle de temps, voire supérieurs à 500 kBit/s en occupant 4 intervalles de temps. TETRA a donc muté d'un système NB (à bande étroite) à un système WB (à large bande). Les premiers réseaux compatibles TEDS ont été mis en service fin 2013.

Comme la plupart des systèmes de radiocommunication mobile, TETRA utilise la liaison duplex (sauf en mode direct). Les liaisons ascendante et descendante s'effectuent sur deux fréquences différentes, séparées par un "écart transmission/réception". La taille de cet écart dépend de la bande de fré-

---

<sup>1</sup> Le marché de la radiocommunication mobile professionnelle ou de la radiocommunication à usage professionnel est dénommé PMR (Private Mobile Radio) ou PAMR (Public Access Mobile Radio). Avec les applications PMR, le système de radiocommunication est exploité par l'utilisateur lui-même. Avec les applications PAMR, les services de radiocommunication à ressources partagées sont fournis par un opérateur de réseau indépendant. Les opérateurs PAMR offrent en général aussi un accès au réseau fixe.

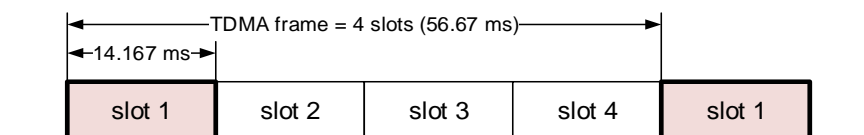
quences dans laquelle le système est exploité. Les terminaux TETRA (comme la plupart des systèmes PMR) fonctionnent généralement en mode semi-duplex, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas émettre et recevoir simultanément. Il faut presser sur un bouton pour passer au mode émission (push-to-talk).

## 2 Technologie

### 2.1 TETRA Version 1 (TETRA 1)

TETRA utilise le système d'accès au canal TDMA (Time Division Multiple Access) avec quatre canaux physiques (intervalles de temps) et donc quatre connexions d'utilisateur sur un seul canal radio d'une largeur de bande de 25 kHz. Pour obtenir des capacités de transmission plus élevées, l'utilisateur peut occuper plusieurs intervalles de temps (jusqu'à quatre).

La structure TDMA est expliquée dans le schéma ci-dessous. La ligne en gras montre la variation de la puissance d'émission d'un utilisateur sur l'intervalle 1.



#### Illustration 1: Structure TDMA de TETRA

La puissance d'émission des appareils mobiles est réglée en permanence au moyen de commandes de la station de base sur le minimum nécessaire à une communication de qualité (power control). Ce réglage de la puissance réduit les interférences et augmente la durée de vie des batteries des appareils mobiles. Avec TETRA, la puissance d'émission de la station de base n'est pas réglée.

TETRA repose sur le système de modulation  $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying), une procédure différentielle de modulation de phases sur quatre niveaux. Un filtre de modulation permet de réduire les émissions hors bande intempestives. Avec ce système, les variations d'amplitude dans le signal de mutation sont faibles. Elles nécessitent un amplificateur de puissance linéaire avec un rendement tendanciellement bas.

TETRA peut en principe être utilisé sur toutes les fréquences, mais de préférence inférieures à 1 GHz. Dans la pratique, seules les fréquences typiquement prévues pour les systèmes PMR dans les bandes des 160 MHz et des 400 MHz sont utilisées.

Les spécifications TETRA sont valables pour trois domaines d'applications totalement différents, à savoir :

- Voice plus Data (V+D);
- Packet Data Optimised (PDO)
- Direct Mode Operation (DMO)

Différentes normes ont été développées pour ces trois domaines, basés sur la même plateforme radio physique (modulation, écart entre les canaux, fréquences, etc.).

#### 2.1.1 TETRA V+D

La spécification V+D (Voice plus Data) est la plus importante norme TETRA [1]. Elle offre une palette diversifiée de services support, téléservices et services additionnels pour la transmission parallèle de voix et de données.

Le codeur-décodeur vocal (codec) de TETRA repose sur la procédure CELP (Code-Excited Linear Predictive). Le débit codec est de 4,6 kBit/s. Bien que ce débit ne représente qu'un tiers du débit codec GSM, la qualité vocale est presque identique [3]. La qualité vocale (MOS) est de 4 sur GSM, contre 3,6 sur TETRA. MOS (Mean Opinion Score) est une procédure d'évaluation subjective de l'intelligibilité vocale. L'appréciation va de 1 (mauvaise) à 5 (bonne).

Avec une modulation  $\pi/4$ -DQPSK, les débits de transmission de TETRA sur  $n$  intervalles de temps occupés ( $n = 1, 2, 3$  ou  $4$ ) pour différents codages sont :

- $n \times 7,2$  kBit/s (transmission non protégée, BER = 2,5%)
- $n \times 4,8$  kBit/s (transmission protégée, BER = 0,4%)
- $n \times 2,4$  kBit/s (transmission hautement protégée, BER = 0,01%)

Les BER (taux d'erreurs sur les bits) indiquent la sensibilité dynamique du récepteur TETRA dans un environnement donné.

En utilisant les quatre intervalles de temps pour une seule liaison, les débits maximums sont respectivement de 28,8 kBit/s, de 19,2 kBit/s et de 9,6 kBit/s. En conditions réelles, un débit TETRA typique est de 16 kBit/s par canal radio (25 kHz). Cette capacité se répartit éventuellement entre plusieurs utilisateurs dans une cellule.

TETRA possède plusieurs mécanismes pour transmettre des données de manière sûre. Une première protection réside dans le cryptage sur l'interface aérienne. Chaque utilisateur négocie individuellement avec les stations de base la clé de communication. Il existe aussi un cryptage de bout en bout qui crypte aussi les données échangées entre la station de base et le poste de commande.

La norme V+D a été massivement élargie au fil du temps (voir chapitre 2.2).

### 2.1.2 TETRA PDO

Les appareils conformes aux spécifications PDO (Packet Data Optimised) ne sont utilisables que pour les services de transmission de données par paquets. Vu que la norme V+D (voir chapitre 2.1.2) est plus complète, qu'elle est développée constamment et qu'elle supporte des services de transmission par paquets en plus de la transmission vocale, la norme PDO est devenue obsolète. A l'ETSI, cette norme n'est plus développée depuis 1998 (*statu quo*).

### 2.1.3 TETRA DMO

TETRA DMO (mode direct) permet d'établir une liaison directe de station mobile à station mobile, sans passer par une station de base (walkie-talkie). Le mode direct permet d'établir des communications simples dans des espaces non desservis ou lors de catastrophes qui supposent ponctuellement de gros volumes de trafic. Ce mode d'exploitation peut aussi être utilisé lorsque les utilisateurs se trouvent hors de la zone desservie.

Avec DMO, seule l'exploitation en mode simplex est possible. Les stations mobiles impliquées dans une communication fonctionnent toutes sur la même fréquence. Il est possible d'avoir simultanément jusqu'à deux liaisons simplex sur une seule porteuse.

Avec le répéteur DMO et le portail DMO, TETRA DMO possède deux autres fonctions spécifiques intéressantes.

- **Répéteur DMO** : Lorsque des stations mobiles DMO sont trop éloignées l'une de l'autre pour communiquer directement, elles peuvent être reliées entre elles *via* un répéteur DMO. Il s'agit d'une station mobile installée spécialement entre les utilisateurs et qui assure la connexion entre eux. Ce procédé permet d'étendre la portée du mode DMO et donc de communiquer aussi en dehors de la zone de desserte d'une station de base.

- **Portail DMO** : Une station mobile peut aussi être aménagée et exploitée en tant que portail DMO pour relier entre eux les utilisateurs DMO qui se trouvent en dehors de la zone de desserte d'une station de base. Grâce au portail DMO par exemple, une équipe de secours qui se trouve dans les sous-sols d'un grand bâtiment et communique en mode DMO peut rester en contact avec les autres utilisateurs et le poste de commande. Typiquement, une station mobile spéciale installée dans un véhicule peut faire office de portail DMO si le véhicule se trouve à proximité du bâtiment concerné et est relié à la station de base.

## 2.2 TETRA Version 2 (TETRA 2)

Comme les systèmes publics de radiocommunication mobile UMTS et LTE (la grande concurrence des systèmes PMR) se développent rapidement et qu'ils permettent des débits de données toujours plus élevés, TETRA a dû s'adapter pour répondre aux attentes croissantes des clients PMR. Fin 2005, l'ETSI publiait la version 2 de TETRA (TETRA 2), qui comprend notamment deux nouvelles fonctionnalités importantes :

- Range Extension
- TETRA Enhanced Data Service (TEDS)

Les deux fonctionnalités sont décrites en détail dans les chapitres ci-après.

TETRA 2 utilise le même système d'accès au canal TDMA que TETRA 1 et est totalement rétrocompatible.

### 2.2.1 Range Extension

En raison de la structure TDMA, la portée de TETRA 1 est limitée à 58 km. En modifiant l'intervalle de temps en liaisons ascendante et descendante ainsi que l'intervalle de protection entre les intervalles, il a été possible avec TETRA AGA (Air-Ground-Air) d'augmenter la portée jusqu'à 83 km. Avec AGA, les utilisateurs dans un avion peuvent communiquer *via* une station de base au sol, ce qui est intéressant surtout pour les organes de sécurité. AGA autorise les services V+D de TETRA 1, mais pas de TEDS.

### 2.2.2 TETRA Enhanced Data Service (TEDS)

Alors que les premiers systèmes TETRA étaient utilisés surtout pour la communication vocale, les applications basées sur la transmission de données sont de plus en plus répandues aujourd'hui. TETRA Enhanced Data Service (TEDS), la principale nouveauté de TETRA 2, a permis non seulement une modulation de phases  $\pi/8$ -D8PSK, mais aussi l'introduction d'une technique multi-porteuses robuste avec des sous-porteuses QAM modulées.

La technique multi-porteuses de TEDS permet l'introduction de 8 sous-porteuses par canal radio (25 kHz) avec un écart entre les fréquences de 2,7 kHz. Le débit symbole pour le symbole QAM sur ces sous-porteuses est de 2,4 ksymbols/s. Sur le principe, la technique multi-porteuses ressemble beaucoup à la procédure OFDM, utilisée notamment avec le LTE et la radiodiffusion numérique. Toutefois, contrairement à la procédure OFDM, les symboles sont filtrés dans la bande de base et les émissions hors bande intempestives sont fortement réduites. La technique multi-porteuses est utile dans des conditions de diffusion difficiles avec beaucoup réflexions.

Les sous-porteuses peuvent être modulées comme suit :

- 4-QAM (pour la desserte des bords de cellule)
- 16-QAM (pour des débits faibles)
- 64-QAM (pour de hauts débits, avec une bonne qualité de signal)

Les variations d'amplitude sont très grandes avec la technique multi-porteuses et la modulation QAM. Elles peuvent même être plus importantes qu'avec la modulation de phases de TETRA 1. Il faut donc utiliser des amplificateurs très linéaires et complexes ou diminuer la puissance d'émission. Cette dernière mesure réduit le rayon maximum des cellules pour TETRA 2.

TEDS permet de connecter 2, 4 ou 6 canaux radio de 25kHz et d'obtenir pour une seule connexion des largeurs de bande de 50 kHz, de 100 kHz ou de 150 kHz.

Avec TEDS, en liaison descendante, 34 symboles QAM sont transmis par intervalle de temps (14,17 ms) et par sous-porteuse. Avec une largeur de bande maximale de 150 kHz (48 sous-porteuses), cela correspond à 1632 symboles QAM par intervalle de temps. Le tableau ci-après indique le débit binaire de canal sur TEDS (à ne pas confondre avec le débit binaire utile).

**Tableau 1: Débit binaire du canal de TEDS en liaison descendante [kBits/s]**

modulation type	channel bandwidth			
	25 kHz	50 kHz	100 kHz	150 kHz
	(8 subcarrier)	(16 subcarrier)	(32 subcarrier)	(48 subcarrier)
4-QAM (2 bits/symbol)	38.4	76.8	153.6	230.4
16-QAM (4 bits/symbol)	76.8	153.6	307.2	460.8
64-QAM (6 bits/symbol)	115.2	230.4	460.8	691.2

Après la réduction du surdébit de la couche physique (symboles d'en-tête, de synchronisation et pilotes), de la redondance du codage de canal et des en-têtes des couches de protocole inférieures (MAC, LLC), il est possible avec 4 intervalles de temps [2] d'obtenir le débit binaire maximum suivant pour la transmission de paquets IP :

**Tableau 2: Débit maximum de TEDS avec une occupation de 4 intervalles de temps en liaison descendante [kBit/s]**

modulation type and coding rate	channel bandwidth			
	25 kHz	50 kHz	100 kHz	150 kHz
$\pi/4$ -DQPSK ( $r = 2/3$ )	15			
$\pi/8$ -D8PSK ( $r = 2/3$ )	24			
4-QAM ( $r = 1/2$ )	10	26	55	86
16-QAM ( $r = 1/2$ )	20	51	110	173
64-QAM ( $r = 1/2$ )	30	77	164	259
64-QAM ( $r = 2/3$ )	40	103	219	345
64-QAM (uncoded)	60	154	329	518

En liaison ascendante, les débits sont 10% inférieurs.

Avec une protection d'erreur active dans des conditions de diffusion réelles, on obtient un débit de transmission de 80 kBit/s avec une largeur de bande de 50 kHz, respectivement de 150 kHz avec une largeur de bande 250 kHz. Cette capacité se répartit éventuellement entre plusieurs utilisateurs dans une cellule.

TEDS sert essentiellement à la transmission de paquets de données IP sur l'interface aérienne. Grâce à une adaptation dynamique de la largeur de bande et de la modulation en fonction des conditions de diffusion, il est possible de maintenir une liaison permanente et fiable entre un appareil mobile et le poste de commande *via* intranet ou internet.

### 3 Services

Pour simplifier, on peut dire que le système TETRA offre presque les mêmes possibilités que les systèmes PMR conventionnels, tout en permettant en plus la transmission de données, qui occupe une place toujours plus importante.

Toutefois, la structure de TETRA, flexible aussi bien sur le plan du système que sur celui de l'interface, offre de nombreuses autres possibilités. Pour clarifier, une distinction a été faite entre les différents groupes de services, soit les téléservices, les services supports (ou services de transmission de

données) et les services additionnels. Beaucoup de ces services ne sont pas (encore) implémentés dans les systèmes publics de radiocommunication mobile.

La liste non exhaustive ci-dessous contient uniquement une sélection de services qui peuvent être fournis avec TETRA.

### 3.1 Téléservices:

- **Individual Call (appel individuel)** : Ce service correspond à la communication dans un système public de téléphonie mobile (GSM, UMTS, LTE). Un utilisateur appelle un autre utilisateur; une liaison est alors établie entre eux.
- **Group Call (appel de groupe)** : Un utilisateur appelle un groupe prédéterminé. Chaque membre du groupe peut entendre la conversation et y participer. L'appel groupé peut être organisé de sorte que les différents membres du groupe accusent réception de la communication ou non. Un groupe peut être modifié de manière dynamique; des membres peuvent être ajoutés ou supprimés.
- **Direct Mode (mode direct)** : Le mode direct permet la communication entre deux ou plusieurs stations mobiles, sans passer par une station de base (walkie-talkie).
- **Broadcast Call (communication de diffusion)** : Il s'agit d'une liaison point-multipoint unidirectionnelle dans une zone définie. La zone et les utilisateurs sont déterminés préalablement. Les différents utilisateurs n'accusent pas réception de l'appel. L'appelant ne peut donc pas contrôler qui a reçu l'appel.
- **Emergency Call (appel d'urgence)** : Une touche d'urgence permet d'établir une communication à haute priorité avec un répartiteur ou un groupe d'utilisateurs prédéfini.
- **Include Call** : Cette fonction permet, pendant une conversation, d'appeler d'autres utilisateurs et de les faire participer à la discussion.
- **Open Channel** : Un groupe d'utilisateurs peut avoir une conversation sur un canal particulier pendant un certain temps. Tous les membres du groupe entendent la conversation et peuvent y prendre part en tout temps. Dans le cas de TETRA, ce service n'est pas expressément harmonisé, mais il peut être installé (voir [4]) à l'aide de toute une série de services additionnels (p. ex. "pre-emptive priority call" et "call retention").

### 3.2 Services supports (services de transmission de données)

- **Status Transmission** : Des messages très courts et prédéfinis peuvent être transmis par le répartiteur aux stations mobiles et vice-versa, ou entre les stations mobiles.
- **Short Data Service** : Des messages prédéfinis peuvent être envoyés aux différents utilisateurs ou à un groupe.
- **Services de transmission de données sur des lignes (TETRA 1)** :
  - Transmission de données non protégée  $n \times 7,2 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ ou } 4$ )
  - Transmission de données protégée  $n \times 4,8 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ ou } 4$ )
  - Transmission de données hautement protégée  $n \times 2,4 \text{ kBit/s}$  ( $n = 1, 2, 3 \text{ ou } 4$ )( $n =$  nombre d'intervalles de temps par liaison).



- **Services de transmission de données par paquets**
  - **TCP/IP Access** : Cet important service de transmission de données permet aux stations mobiles d'obtenir un accès à l'internet ou aux serveurs basés sur le protocole TCP/IP. Avec TEDS (voir chapitre 2.2.2), avec une largeur de bande de 50 kHz, le débit de données atteint en moyenne 80 kBit/s.

### 3.3 Services additionnels

- **Discreet Listening** : Cette fonction permet à une personne autorisée d'écouter les communications sans que les utilisateurs ne le remarquent.
- **Ambience Listening** : Cette fonction permet au répartiteur, lors de situations peu claires ou dangereuses, d'entendre, sans se faire remarquer, les conversations tenues dans un véhicule. Ce service est notamment important pour la police et les organes de sécurité.
- **Priority Call (appel prioritaire)** : Cette fonction permet à un utilisateur d'attribuer la priorité à un appel, qui est alors traité avant les appels ayant un degré de priorité inférieur. Lorsqu'il n'y a plus de ressources de réseau disponible (p.ex. lorsque tous les canaux sont occupés), les ressources nécessaires peuvent être libérées grâce au "pre-emptive priority call". Les communications d'un degré de priorité inférieur sont interrompues.
- **Late Entry** : Cette fonction permet à un utilisateur d'intégrer une conversation de groupe déjà entamée, par exemple parce qu'il était occupé au moment de l'appel ou qu'il n'avait pas enclenché son appareil.

etc.

## 4 Résumé et comparaison avec Tetrapol

Le tableau ci-après résume brièvement les principales données techniques de l'interface aérienne de TETRA.

**Tableau 3: Données techniques de l'interface aérienne de TETRA**

	TETRA 1		TETRA 2 (TEDS)	
access scheme	TDMA 4 physical channels/RF channel		TDMA 4 physical channels/RF channel	
channel bandwidth (CBW)	25 kHz		25 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 150 kHz	
duplex separation	10 MHz, 45 MHz		10 MHz, 45 MHz	
modulation class	phase modulation		Multi-Carrier filter-bank based QAM	
modulation type	$\pi/4$ -DQPSK		4-QAM, 16-QAM, 64-QAM	
peak-to-average power ratio (PAPR)	3.2 dB		up to 11 dB	
modulation rate	36 kbit/s		2'400 symbols/s/subcarrier	
max. user bit rate (1 timeslot)	<i>high protected:</i>	2.4 kbit/s	<i>4-QAM, r = 1/2, CBW = 50 kHz:</i>	6.5 kbit/s
	<i>low protected:</i>	4.8 kbit/s	<i>16-QAM, r = 1/2, CBW = 50 kHz:</i>	12.8 kbit/s
	<i>no protected:</i>	7.2 kbit/s	<i>64-QAM, r = 1/2, CBW = 50 kHz:</i>	19.3 kbit/s
max. user bit rate (4 timeslots)	<i>high protected:</i>	9.6 kbit/s	<i>4-QAM, r = 1/2, CBW = 150 kHz:</i>	86 kbit/s
	<i>low protected:</i>	19.2 kbit/s	<i>16-QAM, r = 1/2, CBW = 150 kHz:</i>	173 kbit/s
	<i>no protected:</i>	28.8 kbit/s	<i>64-QAM, uncoded, CBW = 150 kHz:</i>	518 kbit/s
typical user bit rate (4 timeslots)	<b>16 kbit/s</b>		<i>CBW = 50 kHz:</i>	<b>80 kbit/s</b>
			<i>CBW = 150 kHz:</i>	<b>250 kbit/s</b>
nominal transmit power user equipment	0.56 - 30 W (typically 1 W)		0.18 - 30 W (typically 1 W)	
transmit power base station	0.6 - 40 W (typically 25 W)		0.6 - 40 W (typically 10 W)	
cell range suburban (400 MHz) [2]	5.2 km		<i>64-QAM, r = 2/3, CBW = 50 kHz:</i>	2.4 km

Dans le tableau 3, pour calculer le rayon de la cellule, on a utilisé pour TEDS la même puissance d'émission sur la station mobile que pour TETRA 1 (1 W). Toutefois, en raison des grandes variations d'amplitude du signal, la puissance d'émission doit probablement être réduite afin que les émissions hors bande ne dépassent pas la valeur limite.

TETRA et Tetrapol sont les deux systèmes numériques à ressources partagées les plus connus en Europe. Malgré la ressemblance de leurs noms, ils sont très différents. Comme mentionné ci-dessus, TETRA a été développé par l'organisme européen de normalisation ETSI, en collaboration avec l'industrie. Tetrapol est une spécification propriétaire de l'entreprise Matra Communication (actuellement EADS) et n'est pas une norme européenne ou internationale. Tetrapol répond avant tout aux besoins des organes de sécurité et s'est implanté avec succès dans ce secteur. Le tableau ci-dessous résume les avantages et inconvénients des deux systèmes.

**Tableau 4: Avantages et inconvénients de TETRA par rapport à Tetrapol**

<i>Avantages de TETRA par rapport Tetrapol</i>	<i>Inconvénients de TETRA par rapport à Tetrapol</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les débits de données sont nettement plus élevés (avec TEDS, 4 intervalles de temps et une largeur de bande de 50 kHz jusqu'à un facteur 20).</li> <li>▪ TETRA permet de transmettre des communications vocales et des données simultanément.</li> <li>▪ L'exploitation duplex est possible sans séparateur d'antenne, grâce au système d'accès au canal TDMA, et donc facile à réaliser.</li> <li>▪ L'efficacité d'utilisation du spectre est plus élevée avec TETRA qu'avec Tetrapol (de 1,16 à 2,0 fois plus, selon l'environnement).</li> <li>▪ TETRA est une norme européenne reconnue, alors que Tetrapol n'a pas encore été acceptée comme norme ETSI.</li> <li>▪ TETRA est un système particulièrement flexible. Il peut être utilisé pour toutes les applications PMR, aussi bien pour la radiocommunication de sécurité que pour les systèmes PMR/PAMR conventionnels.</li> <li>▪ Le réseau d'antennes nécessaire à la station de base est moins coûteux, puisque grâce au mode TDMA (système des créneaux), 4 canaux sont à disposition pour chaque fréquence porteuse.</li> <li>▪ Avec la version 2 de TETRA (TEDS) et la technique multi-porteuses, il est théoriquement possible, avec une largeur de bande de 150 kHz, d'atteindre des débits de données supérieurs à 500 kBit/s. En situations réelles, le débit est de 250 kBit/s. TETRA est désormais un système à large bande.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le rayon maximal des cellules de TETRA est près de 30% plus court que celui de Tetrapol (avec la même puissance d'émission de crête). TETRA nécessite deux fois plus de stations de base que Tetrapol pour une même zone.</li> <li>▪ Les émissions hors bande intempestives sont plus élevées sur TETRA. L'assignation des fréquences est plus difficile. Il faut si possible attribuer des blocs de fréquences entiers et non des fréquences isolées.</li> <li>▪ La radiocommunication à fréquence unique est plus difficile à mettre en place sur TETRA et nécessite des appareils terminaux dotés d'égaliseurs puissants (MS Class E).</li> <li>▪ Les appareils avec accès TDMA ont généralement des puissances d'émission plus élevées et peuvent provoquer des perturbations basses fréquences audibles dans les appareils électro-acoustiques.</li> </ul>

## Abréviations

BER	Bit Error Rate (taux d'erreurs sur les bits)
CELP	Code-Excited Linear Predictive
D8PSK	Differential 8 Phase Shift Keying
DMO	Direct Mode Operation (mode direct)
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (puissance apparente rayonnée)
ETSI	Institut européen de standardisation des télécommunications
FDD	Frequency Division Duplex
GSM	Système mondial de communications mobiles
LLC	Logical Link Control
MK	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MOS	Mean Opinion Score
NB	Narrowband (bande étroite)
OFCOM	Office federal de la communication
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PAMR	Public Access Mobile Radio
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PDO	Packet Data Optimised
PMR	Private Mobile Radio
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
TDD	Time Division Duplex (duplex par séparation temporelle)
TDMA	Time Division Multiple Access (accès multiple par répartition dans le temps)
TEDS	TETRA Enhanced Data Service
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UIT-R	Union internationale des télécommunications, Secteur Radiocommunication
V+D	Voice plus Data
WB	Wideband (large bande; 400 à 500 kBit/s)

## Littérature

- [1] ETSI TS 100 392-2: Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI). (2013)
- [2] ETSI TR 102 580: Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Release 2; Designer's Guide; TETRA High-Speed Data (HSD); TETRA Enhanced Data Service (TEDS). (2007)
- [3] Ketterling, Hans-Peter: Introduction to Digital Professional Mobile Radio, Boston. (2004)
- [4] ETR 120: ETSI Technical Report; TETRA Voice plus Data (V + D); Open channel. (1994)