



Origine: Document 9/8

## Commission d'études 9 des radiocommunications

### PROJET DE MODIFICATION DE LA RECOMMANDATION UIT-R F.763-4

#### **Transmission de données sur les circuits à ondes décamétriques utilisant la modulation par déplacement de phase ou la modulation d'amplitude en quadrature**

(Question UIT-R 145/9)

(1992-1994-1995-1997-1999)

#### Résumé

Cette Recommandation présente des systèmes de transmission de données sur des circuits à ondes décamétriques utilisant la modulation par déplacement de phase ou la modulation par déplacement d'amplitude. L'Annexe 6 contient des informations pour des débits binaires compris entre 3 200-12 800 bit/s.

#### **2 Projet de modification**

Ajouter sous *recommande* le nouvel alinéa suivant:

**6** de doter le système à utiliser de préférence, pour la transmission de données à des débits binaires compris entre 3 200 et 12 800 bit/s, avec modems utilisant la transmission en série, des caractéristiques visées à l'Annexe 6.

Ajouter la nouvelle Annexe figurant en Pièce jointe.

#### **Pièce jointe: 1**

## Pièce jointe

### Annexe 6

#### **Signaux à débit binaire élevé (3 200/4 800/6 400/8 000/9 600/12 800 bit/s) transmis sur les circuits à ondes décimétriques (HF) au moyen des modems en série**

##### **1 Introduction**

La présente Annexe propose une description détaillée des signaux transmis au moyen de modems sur les réseaux de radiocommunication à ondes décimétriques (HF), la famille de ces signaux étant connue sous l'appellation STANAG 4539; il s'agit d'une famille de signaux très typés destinés à une transmission avec codage entre 3 200 et 9 600 bit/s (avec possibilité d'une exploitation sans codage à 12 800 bit/s). Grâce à la forme typée<sup>1</sup> des signaux de cette famille la modulation peut s'adapter rapidement à des conditions de canal changeantes. Les caractéristiques essentielles des signaux de cette famille se présentent comme suit:

- a) Aptitude à suivre un canal HF avec 3-5 ms d'évanouissements dus à des trajets multiples.
- b) Aptitude à corriger les erreurs causées par les évanouissements, les trajets multiples et le bruit.
- c) La largeur de bande de la bande passante doit se situer entre 300 et 3 050 Hz.
- d) Détection automatique du débit binaire et détection d'un entrelacement.
- e) Aptitude à tolérer un écart de  $\pm 75$  Hz entre la porteuse HF d'émission et la porteuse HF de réception.

##### **1.1 Présentation générale**

On trouvera ci-après la présentation de signaux transmis au moyen de modems soit avec codage à des débits binaires de 3 200, 4 800, 6 400, 8 000, 9 600 bit/s, soit sans codage à 12 800 bit/s.

En entrelaçant des blocs, on obtient 6 longueurs d'entrelacement entre 0,12 s et 8,64 s. Pour tous les débits binaires on utilise par ailleurs une seule option de codage, une longueur de contrainte de 7, un code convolutif de 1/2, ponctionné (punctured) à 3/4. Enfin, on a recours à la technique itérative du "full-tail-biting" pour produire à partir de ce code convolutif des codes de blocs de la même longueur que l'entrelacement.

Le débit binaire et la longueur de l'entrelacement sont transmis explicitement comme faisant partie du signal, d'abord dans le cadre du préambule initial, puis à intervalles réguliers en tant que préambule réinséré et aussi dans les blocs de symboles périodiques connus. Cette fonction d'auto-identification est importante pour l'élaboration de protocoles (ARQ) qui soient bien adaptés à des canaux qui sont à haute fréquence (HF). Le modem de réception est ainsi à même de déduire le débit binaire et la longueur d'entrelacement à partir soit du préambule, soit de la portion suivante des données du signal.

---

<sup>1</sup> Les symboles transmis aux stades du préambule et de la sonde des canaux indiquent le débit binaire et la "profondeur" de l'entrelacement.

## 1.2 Modulation

La rapidité de modulation est de 2 400 symboles par seconde pour tous les symboles, valeur qui doit être exacte à  $\pm 0,024$  symbole près par seconde (10 ppm) au moins lorsque l'horloge des données à l'émission est déclenchée, non par l'équipement terminal de traitement de données (ETTD), mais par le modem. Les techniques de modulation utilisées sont la modulation par déplacement de phase (MDP) et la modulation d'amplitude en quadrature (MAQ). La sous-porteuse (ou paire de sous-porteuses en quadrature dans le cas de la MAQ) est calée à 1 800 Hz, à  $\pm 0,018$  Hz près (10 ppm). La phase de la sous-porteuse en quadrature par rapport à la porteuse en phase est de 90 degrés. La densité spectrale de puissance du signal en sortie du modulateur est 20 dB au moins au-dessous du niveau du signal mesuré à 1 800 Hz, une fois testée à l'extérieur de la bande 200-3 400 Hz. Le filtre employé devrait introduire une ondulation qui ne devrait pas être supérieure à  $\pm 2$  dB dans la gamme 800-2 800 Hz; le filtre utilisé en l'occurrence est un filtre Nyquist à racine carrée dont la valeur alpha est égale à 0,35.

### 1.2.1 Symboles connus

Pour tous les symboles connus, la modulation utilisée est du type MDP, le mappage établi entre les symboles étant illustré au Tableau 1 et à la Fig. 1. Aucun embrouillage n'est appliqué aux symboles connus.

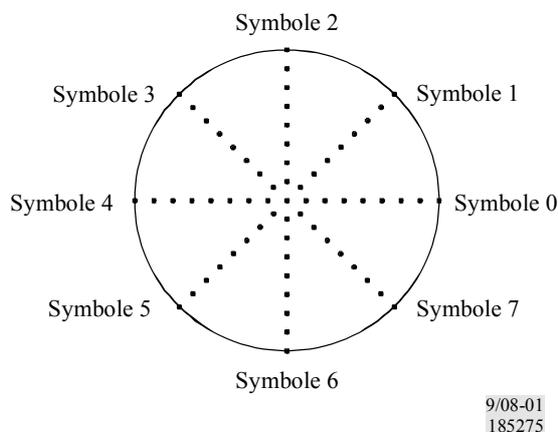
TABLEAU 1

**Mappage entre les symboles avec MDP-8**

Numéro du symbole	Phase	En phase	Quadrature
0	0	1,000000	0,000000
1	$\pi/4$	0,707107	0,707107
2	$\pi/2$	0,000000	1,000000
3	$3\pi/4$	-0,707107	0,707107
4	$\pi$	-1,000000	0,000000
5	$5\pi/4$	-0,707107	-0,707107
6	$3\pi/2$	0,000000	-1,000000
7	$7\pi/4$	0,707107	-0,707107

FIGURE 1

Constellation des signaux avec MDP-8 et mappage des symboles



### 1.2.2 Symboles de données

Pour les symboles de données, la modulation utilisée dépendra du débit binaire. Le Tableau 2 décrit la modulation qui est utilisée avec chaque débit binaire.

TABLEAU 2

Modulation utilisée pour obtenir chaque débit binaire

Débit binaire (bit/s)	Modulation
3 200	MDPQ
4 800	MDP-8
6 400	MAQ-16
8 000	MAQ-32
9 600	MAQ-64
12 800	MAQ-64

Les deux constellations à MAQ-16 et MAQ-32 emploient plusieurs anneaux MDP pour maintenir de bons rapports valeur de crête/valeur moyenne, et la constellation à MAQ-64 est une variante de la constellation à MAQ carrée standard, modifiée pour améliorer le rapport en question.

#### 1.2.2.1 Symboles de données MDP

Pour les constellations MDP, on établit une distinction entre les bits de données et le numéro du symbole afin d'embrouiller la modulation MDPQ pour qu'elle soit indiquée MDP-8 en exploitation. L'embrouillage est appliqué comme adjonction en modulo 8 d'une séquence d'embrouillage au numéro des symboles avec MDP-8. Le transcodage est une opération qui relie un symbole devant être émis à un groupe de bits de données.

### 1.2.2.1.1 Mappage des symboles MDPQ

Dans le cas du débit binaire utilisateur à 3 200 bit/s, on procède au transcodage en reliant un des symboles indiqués au Tableau 1 à un ensemble de deux bits de données consécutives, ou dibit, selon l'illustration du Tableau 3. Dans ce Tableau, le bit le plus à gauche du dibit est le bit le plus ancien, c'est-à-dire pris à l'entrelaceur avant le bit le plus à droite.

TABLEAU 3

#### Transcodage pour 3 200 bit/s

Dibit	Symbole
00	0
01	2
11	4
10	6

### 1.2.2.1.2 Mappage des symboles MDP-8

Dans le cas du débit binaire utilisateur à 4 800 bit/s, on procède au transcodage en reliant un symbole à un ensemble de trois bits de données consécutives, ou tribit, selon l'illustration du Tableau 4. Dans ce Tableau, le bit le plus à gauche du tribit est le bit le plus ancien, c'est-à-dire pris à l'entrelaceur avant les deux autres, le bit le plus à droite étant le bit le plus récent.

TABLEAU 4

#### Transcodage pour 4 800 bit/s

Tribit	Symbole
000	1
001	0
010	2
011	3
100	6
101	7
110	5
111	4

### 1.2.2.1.3 Symboles de données MAQ

Pour les constellations MAQ, aucune distinction n'est établie entre le numéro établi directement à partir des bits de données et celui du symbole. Chaque ensemble de 4 bits (MAQ-16), de 5 bits (MAQ-32) ou de 6 bits (MAQ-64) est mis en correspondance directement avec un symbole MAQ. Par exemple, le groupe de quatre bits 0111 correspondrait au symbole 7 dans la constellation MAQ-16, tandis que le groupe à 6 bits 100011 correspondrait au symbole 35 dans la constellation MAQ-64. Là encore, dans chaque cas le bit le plus à gauche est le bit le plus ancien, c'est-à-dire pris à l'entrelacement avant les autres bits, tandis que le bit le plus à droite est le bit le plus récent.

Le mappage des bits par rapport aux symboles pour les constellations MAQ a été choisi de manière à réduire au minimum le nombre d'erreurs sur les bits, lorsque ces dernières concernent des points de signalisation adjacents dans la constellation.

#### 1.2.2.1.4 Constellation MAQ-16

Les points de la constellation, dans le cas de la MAQ-16, sont indiqués dans la Fig. 2 et décrits en fonction de leurs composantes en phase et en quadrature dans le Tableau 5. Il ressort de la Figure que la constellation MAQ-16 comprend deux anneaux MDP, c'est-à-dire les symboles internes MDP-4 et les symboles externes MDP-12.

FIGURE 2  
Constellation de la signalisation MAQ-16

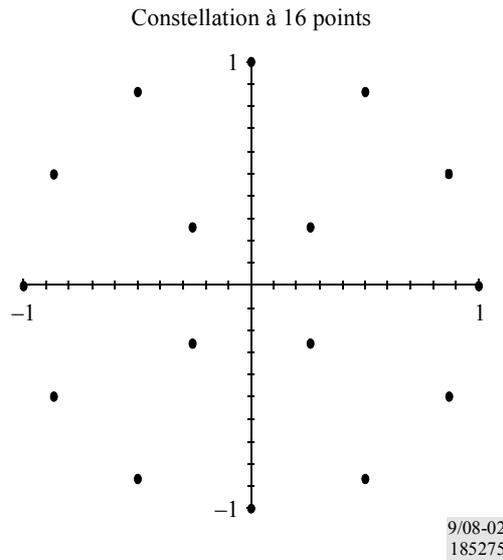


TABLEAU 5

Composantes en phase et en quadrature de chaque symbole MAQ-16

Numéro du symbole	En phase	Quadrature
0	0,866025	0,500000
1	0,500000	0,866025
2	1,000000	0,000000
3	0,258819	0,258819
4	-0,500000	0,866025
5	0,000000	1,000000
6	-0,866025	0,500000
7	-0,258819	0,258819
8	0,500000	-0,866025
9	0,000000	-1,000000
10	0,866025	-0,500000
11	0,258819	-0,258819
12	-0,866025	-0,500000
13	-0,500000	-0,866025
14	-1,000000	0,000000
15	-0,258819	-0,258819

### 1.2.2.1.5 Constellation MAQ-32

Les points de la constellation, qui sont utilisés pour la MAQ-32, sont indiqués dans la Fig. 3 et décrits suivant leurs composantes en phase et en quadrature dans le Tableau 6. Cette constellation comprend un anneau externe de 16 symboles et un carré interne de 16 symboles également.

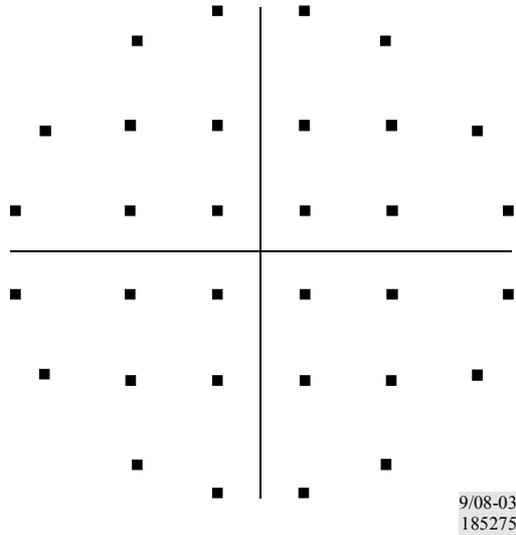


TABLEAU 6

Composantes en phase et en quadrature de chaque symbole MAQ-32

Numéro du symbole	En phase	En quadrature	Numéro du symbole	En phase	En quadrature
0	0,866380	0,499386	16	0,866380	-0,499386
1	0,984849	0,173415	17	0,984849	-0,173415
2	0,499386	0,866380	18	0,499386	-0,866380
3	0,173415	0,984849	19	0,173415	-0,984849
4	0,520246	0,520246	20	0,520246	-0,520246
5	0,520246	0,173415	21	0,520246	-0,173415
6	0,173415	0,520246	22	0,173415	-0,520246
7	0,173415	0,173415	23	0,173415	-0,173415
8	-0,866380	0,499386	24	-0,866380	-0,499386
9	-0,984849	0,173415	25	-0,984849	-0,173415
10	-0,499386	0,866380	26	-0,499386	-0,866380
11	-0,173415	0,984849	27	-0,173415	-0,984849
12	-0,520246	0,520246	28	-0,520246	-0,520246
13	-0,520246	0,173415	29	-0,520246	-0,173415
14	-0,173415	0,520246	30	-0,173415	-0,520246
15	-0,173415	0,173415	31	-0,173415	-0,173415

### 1.2.2.1.6 Constellation MAQ-64

Les points de la constellation qui sont utilisés pour la modulation MAQ-64 sont illustrés à la Fig. 4 et décrits suivant leurs composantes en phase et en quadrature dans le Tableau 7. Cette constellation est une variante de la constellation standard à  $8 \times 8$  carrés, qui donne un meilleur rapport valeur de crête/valeur moyenne sans sacrifier les très bonnes propriétés du code pseudo-Gray de la constellation à carrés.

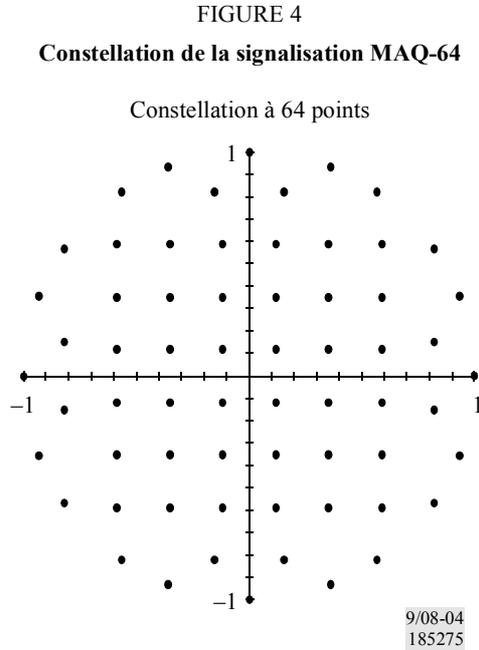


TABLEAU 7

Composantes en phase et en quadrature de chaque symbole MAQ-64

Numéro du symbole	En phase	En quadrature	Numéro du symbole	En phase	En quadrature
0	1,000000	0,000000	32	0,000000	1,000000
1	0,822878	0,568218	33	-0,822878	0,568218
2	0,821137	0,152996	34	-0,821137	0,152996
3	0,932897	0,360142	35	-0,932897	0,360142
4	0,000000	-1,000000	36	-1,000000	0,000000
5	0,822878	-0,568218	37	-0,822878	-0,568218
6	0,821137	-0,152996	38	-0,821137	-0,152996
7	0,932897	-0,360142	39	-0,932897	-0,360142
8	0,568218	0,822878	40	-0,568218	0,822878
9	0,588429	0,588429	41	-0,588429	0,588429
10	0,588429	0,117686	42	-0,588429	0,117686
11	0,588429	0,353057	43	-0,588429	0,353057
12	0,568218	-0,822878	44	-0,568218	-0,822878
13	0,588429	-0,588429	45	-0,588429	-0,588429

TABLEAU 7 (suite)

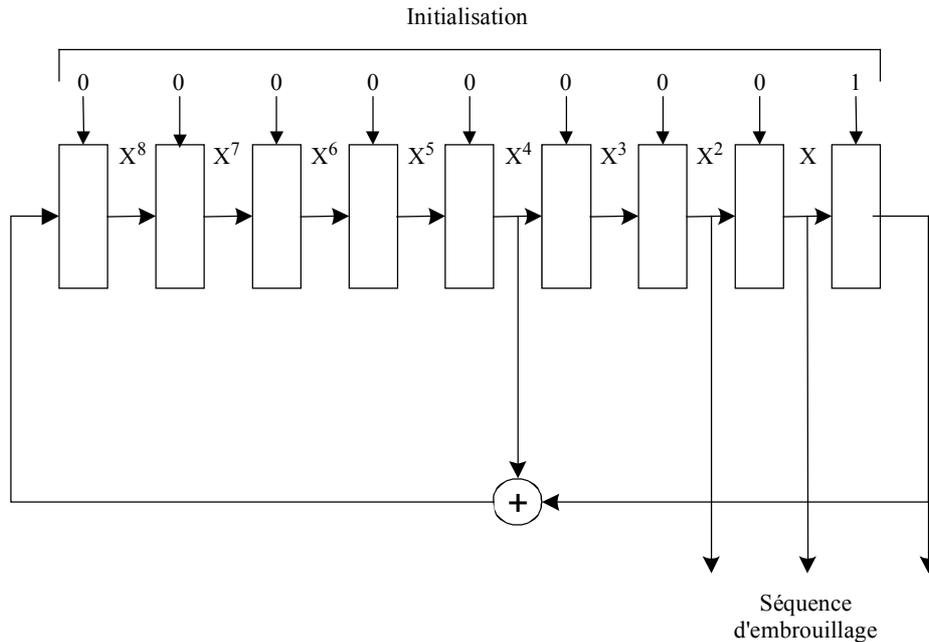
Numéro du symbole	En phase	En quadrature	Numéro du symbole	En phase	En quadrature
14	0,588429	-0,117686	46	-0,588429	-0,117686
15	0,588429	-0,353057	47	-0,588429	-0,353057
16	0,152996	0,821137	48	-0,152996	0,821137
17	0,117686	0,588429	49	-0,117686	0,588429
18	0,117686	0,117686	50	-0,117686	0,117686
19	0,117686	0,353057	51	-0,117686	0,353057
20	0,152996	-0,821137	52	-0,152996	-0,821137
21	0,117686	-0,588429	53	-0,117686	-0,588429
22	0,117686	-0,117686	54	-0,117686	-0,117686
23	0,117686	-0,353057	55	-0,117686	-0,353057
24	0,360142	0,932897	56	-0,360142	0,932897
25	0,353057	0,588429	57	-0,353057	0,588429
26	0,353057	0,117686	58	-0,353057	0,117686
27	0,353057	0,353057	59	-0,353057	0,353057
28	0,360142	-0,932897	60	-0,360142	-0,932897
29	0,353057	-0,588429	61	-0,353057	-0,588429
30	0,353057	-0,117686	62	-0,353057	-0,117686
31	0,353057	-0,353057	63	-0,353057	-0,353057

### 1.2.3 Embrouillage des données

Les symboles de données correspondant à la constellation des symboles MDP-8 (3 200 et 4 800 bit/s) sont embrouillés par une adjonction en modulo 8 avec une séquence d'embrouillage. Les symboles de données pour les constellations MAQ-16, MAQ-32 et MAQ-64 sont embrouillés moyennant une opération OU exclusif (XOR). Séquentiellement, les bits de données formant chaque symbole (4 pour la MAQ-16, 5 pour la MAQ-32 et 6 pour la MAQ-64) sont ainsi "XORé" avec un nombre de bits égal par rapport à la séquence d'embrouillage. Dans tous les cas, le polynôme générateur de la séquence d'embrouillage est  $X^9 + X^4 + 1$ , et le générateur est initialisé à 1 au début de chaque trame de données. Le générateur de la séquence d'embrouillage est illustré à la Fig. 5.

FIGURE 5

**Générateur de séquence d'embrouillage: illustration pour les symboles MDP-8**



9/08-05  
185275

Pour les symboles MDP-8 (3 200 et 4 800 bit/s), l'embrouillage est réalisé à partir de la somme en modulo 8 de la valeur numérique du triplet binaire composé des trois derniers bits (les plus à droite) dans le registre de décalage et le numéro du symbole (valeur transcodée). Par exemple, si les trois derniers bits dans le registre de décalage de la séquence d'embrouillage étaient 010, ce qui a une valeur numérique égale à 2, et que le numéro du symbole avant l'embrouillage était 6, le symbole transmis serait le symbole 0 étant donné que  $(6 + 2) \text{ en modulo } 8 = 0$ . Pour les symboles MAQ-16, l'embrouillage se réalise en "XORant" le numéro des 4 bits correspondant aux 4 derniers (les plus à droite) dans le registre de décalage avec le numéro des symboles. Par exemple, si les 4 derniers bits dans le registre de décalage de la séquence d'embrouillage étaient 0101 et que le numéro du symbole MAQ-16 avant l'embrouillage était 3 (c'est-à-dire 0011), c'est le symbole 6 (0110) qui serait transmis. Pour les symboles MAQ-32, l'embrouillage se réalise en "XORant" le nombre des 5 bits constitués par les 5 derniers (les plus à droite) dans le registre de décalage avec le numéro du symbole. Pour les symboles MAQ-64, l'embrouillage se réalise en "XORant" le numéro des 6 bits constitués par les 6 derniers bits (les plus à droite) dans le registre de décalage avec le numéro des symboles.

Une fois que chaque symbole de données a été embrouillé, le générateur est itéré (décalé) le nombre de fois nécessaire pour produire tous les nouveaux bits qui devront servir à embrouiller le symbole suivant (c'est-à-dire 3 itérations pour la MDP-8, 4 pour la MAQ-16, 5 pour la MAQ-32 et 6 pour la MAQ-64). Etant donné que le générateur est itéré après que les bits ont été utilisés, le premier symbole de données de chaque trame de données devrait être embrouillé par le nombre de bits appropriés provenant de la valeur d'initialisation de 00000001.

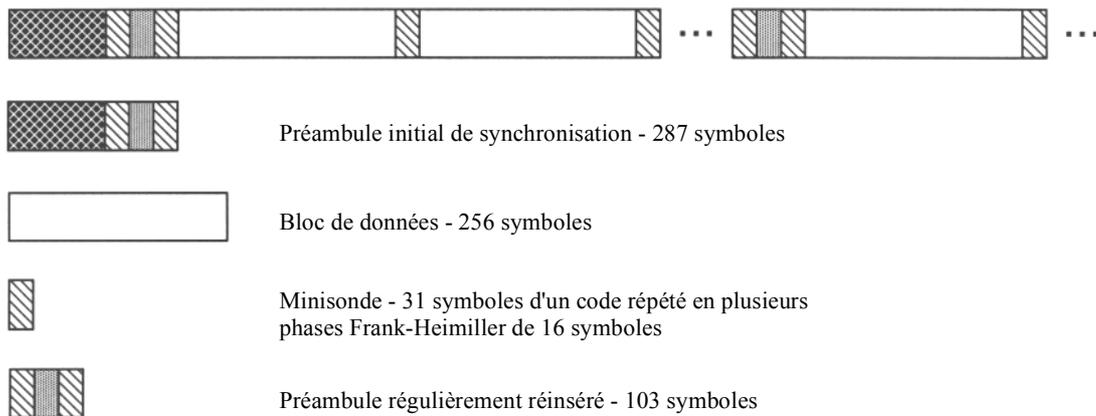
La longueur de la séquence d'embrouillage est de 511 bits. Pour un bloc de données de 256 symboles avec 6 bits par symbole, cela signifie que la séquence d'embrouillage sera répétée un peu plus de trois fois, bien qu'en termes de symboles il n'y aura pas répétition.

### 1.3 Structure des trames

La structure des trames qui est retenue pour les signaux visés dans la présente Annexe est illustrée à la Fig. 6. Un préambule initial de 287 symboles est suivi par 72 trames de symboles de données et de symboles connus en alternance. Chaque trame de données dispose d'un bloc comprenant 256 symboles de données, suivi d'une minisonde de 31 symboles de données connus. Après les 72 trames de données, un sous-ensemble de 72 symboles du préambule initial est réinséré pour faciliter l'acquisition tardive, la suppression de l'effet Doppler et l'adaptation en synchronisation. La longueur totale des données connues dans le segment en question est de 103 symboles exactement, soit les 72 symboles du préambule réinséré, plus les 31 symboles du segment précédent de la minisonde qui suit le dernier bloc de données, long de 256 symboles.

FIGURE 6

Structure des trames pour tous les signaux



9/08-06  
185275

#### 1.3.1 Préambule de synchronisation et préambule réinséré

Le préambule de synchronisation sert à la synchronisation initiale rapide, tandis que le préambule réinséré vise à faciliter l'acquisition (de données) d'une émission en cours.

##### 1.3.1.1 Préambule de synchronisation

Le préambule de synchronisation se compose de deux parties: la première compte au moins N blocs de 184 MDP-8, à utiliser exclusivement pour des CAG de radio et de modem. La valeur de N est configurable entre 0 et 7 (quand N = 0 la première section en question n'est pas du tout envoyée). Ces 184 symboles sont formés en utilisant le conjugué complexe des 184 premiers symboles de la séquence indiquée ci-dessous, correspondant à la seconde section.

La seconde section compte 287 symboles. Les 184 premiers sont destinés exclusivement à la synchronisation et à la suppression de l'effet Doppler, tandis que les 103 derniers, qui sont communs au préambule réinséré, transportent également des informations concernant le débit binaire et la longueur d'entrelacement. Exprimée sous forme de séquence de symboles MDP-8, utilisant les numéros de symbole du Tableau 1, la seconde section du préambule de synchronisation se présente comme suit:

1, 5, 1, 3, 6, 1, 3, 1, 1, 6, 3, 7, 7, 3, 5, 4, 3, 6, 6, 4, 5, 4, 0, 2, 2, 2, 6, 0, 7, 5, 7, 4, 0, 7, 5, 7, 1, 6, 1, 0, 5, 2, 2, 6, 2, 3, 6, 0, 0, 5, 1, 4, 2, 2, 2, 3, 4, 0, 6, 2, 7, 4, 3, 3, 7, 2, 0, 2, 6, 4, 4, 1, 7, 6, 2, 0, 6, 2, 3, 6, 7, 4, 3, 6, 1, 3, 7, 4, 6, 5, 7, 2, 0, 1, 1, 1, 4, 4, 0, 0, 5, 7, 7, 4, 7, 3, 5, 4, 1, 6, 5, 6, 6, 4, 6, 3, 4, 3, 0, 7, 1, 3, 4, 7, 0, 1, 4, 3, 3, 3, 5, 1, 1, 1, 4, 6, 1, 0, 6, 0, 1, 3, 1, 4, 1, 7, 7, 6, 3, 0, 0, 7, 2, 7, 2, 0, 2, 6, 1, 1, 1, 2, 7, 7, 5, 3, 3, 6, 0, 5, 3, 3, 1, 0, 7, 1, 1, 0, 3, 0, 4, 0, 7, 3,  0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2,  (D0, D0, D0 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0) Modulo 8 (D1, D1, D1 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0) Modulo 8 (D2, D2, D2 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0) Modulo 8  6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.
--

où les symboles de données  $D_0$ ,  $D_1$  et  $D_2$  prennent un des 30 ensembles de valeurs donnés au Tableau 8 pour indiquer le débit binaire et la longueur d'entrelacement. Les opérations en modulo indiquent que chacune des valeurs  $D$  est utilisée pour décaler la phase d'un code Barker de 13 bits de long (0101001100000) en procédant à l'adjonction en modulo 8 de la valeur  $D$  à chacune des 13 valeurs en phase du code Barker (0 ou 4). Grâce à cette opération, il est possible de coder 6 bits d'information moyennant une modulation MDPQ des codes Barker à 13 bits (chip). Etant donné que les trois séquences de code Barker n'occupent que 39 symboles, les minisondes à 31 symboles sont chacune portées à 32 symboles pour fournir les deux symboles supplémentaires qui sont nécessaires pour renforcer les codes Barker à 13 symboles jusqu'à un total de 41 symboles.

TABLEAU 8

Valeurs des symboles MDP-8  $D_0$ ,  $D_1$  et  $D_2$  en fonction d'un débit binaire et d'une longueur d'entrelacement donnés

Débit binaire (bit/s)	Longueur d'entrelacement en trames (blocs de données de 256 symboles)					
	1	3	9	18	36	72
3 200	0,0,4	0,2,6	0,2,4	2,0,6	2,0,4	2,2,6
4 800	0,6,2	0,4,0	0,4,2	2,6,0	2,6,2	2,4,0
6 400	0,6,4	0,4,6	0,4,4	2,6,6	2,6,4	2,4,6
8 000	6,0,2	6,2,0	6,2,2	4,0,0	4,0,2	4,2,0
9 600	6,0,4	6,2,6	6,2,4	4,0,6	4,0,4	4,2,6
12 800	6,6,2*	Pas applicable				

\* Pour le débit 12 800 bit/s un entrelacement à 1 trame signifie l'absence d'entrelacement.

Le mappage choisi pour créer le Tableau 8 utilise 3 bits pour spécifier le débit binaire et la longueur d'entrelacement. Les 3 bits correspondant au débit binaire sont les 3 bits de plus fort poids (MSB) des symboles à 3 dibits et les bits correspondant à la longueur d'entrelacement sont les bits de plus faible poids (LSB). La phase du code Barker est déterminée à partir des mots correspondant aux 3 dibits résultant et au moyen du Tableau 3, tableau de transcodage des dibits. Les mappages pour le débit binaire et la longueur d'entrelacement à 3 bits sont indiqués au Tableau 9. On observera que le transcodage a pour effet de placer les 3 bits correspondant à la longueur d'entrelacement en quadrature avec les 3 bits du débit binaire.

TABLEAU 9

Schémas de bits pour déterminer le débit binaire et la longueur d'entrelacement

Données	Mappage des 3 bits	Longueur d'entrelacement	Mappage des 3 bits	Appellation
3 200	001	1 trame	001	Ultra bref (US)
4 800	010	3 trames	010	Très bref (VS)
6 400	011	9 trames	011	Bref (S)
8 000	100	18 trames	100	Moyen (M)
9 600	101	36 trames	101	Long (L)
12 800	110	72 trames	110	Très long (VL)

Etant donné que le code Barker est déséquilibré en ce qui concerne le nombre de 0 et le nombre de 1, ces schémas à 3 bits ont été choisis pour éviter les schémas 000 ou 111, afin de réduire le déséquilibre dans les trois symboles combinés. Plus précisément, une des trois répétitions du code Barker qui apparaît sur chacune des composantes en quadrature est toujours décalée en phase de 180 degrés par rapport aux deux autres, ce qui donne un déséquilibre net dans chaque composante en quadrature des 39 symboles, déséquilibre qui est toujours de 17 pour 22, et jamais de 12 pour 27.

### 1.3.1.2 Préambule réinséré

Le préambule réinséré est identique aux 72 derniers symboles du préambule de synchronisation. De fait, les 103 derniers symboles sont communs au préambule de synchronisation et au bloc contigu composé du préambule réinséré et de la mini-sonde qui vient immédiatement avant. Les 103 symboles des données connues (y compris les 31 symboles de la mini-sonde de la trame de données précédente) se présentent ainsi:

0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4,  
2,  
(D<sub>0</sub>, D<sub>0</sub>, D<sub>0</sub> + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)  
Modulo 8  
(D<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>1</sub> + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)  
Modulo 8  
(D<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0)  
Modulo 8  
6,  
4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.

où les symboles des données D<sub>0</sub>, D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub> prennent là aussi un des 30 ensembles de valeurs tirés du Tableau 8 pour indiquer le débit binaire et la longueur d'entrelacement décrits dans la section Préambule de synchronisation ci-dessus. Il est à noter que les 31 premiers de ces symboles constituent la mini-sonde mentionnée précédemment, qui vient après le dernier des 72 blocs de données.

### 1.3.2 Mini-sondes

Des mini-sondes de 31 symboles de longueur sont insérées après chaque bloc de données de 256 symboles et à la fin de chaque préambule (dont on considère qu'ils font partie). Au moyen du mappage des symboles MDP-8, on base chaque mini-sonde sur la séquence Frank-Heimiller répétée; la séquence qui est utilisée, exprimée en nombre de symboles MDP-8, se présente comme suit:

0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4.

Cette mini-sonde sera désignée par le signe "+". La version inversée en phase est la suivante:

4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.

Et les mini-sondes utilisant cette séquence seront désignées par le signe "-", étant donné que la phase de chaque symbole a effectué une rotation de 180° par rapport au signe "+".

Pour chaque ensemble des 72 blocs de données, il existe au total 73 mini-sondes. Pour des raisons de facilité, chaque mini-sonde est numérotée séquentiellement, la mini-sonde 0 correspondant aux 31 derniers symboles du préambule (réinséré) précédent, la mini-sonde numéro 1 venant après le premier bloc de données après un préambule (réinséré). La mini-sonde 72 vient après le 72ème bloc de données, et constitue en outre les 31 premiers symboles du préambule réinséré suivant dont la longueur est de 103 symboles. Les mini-sondes 0 et 72, qui font partie du préambule de réinsertion, ont respectivement le signe - et le signe +. Les informations concernant le débit

binaire et la longueur d'entrelacement, qui sont codés dans le préambule de synchronisation et dans le préambule réinséré, sont également codées dans les mini-sondes 1 à 72. Ces 72 mini-sondes sont groupées en quatre ensembles de 18 mini-sondes consécutives (1 à 18, 19 à 36, 37 à 54 et 55 à 72). On observera que le bloc de données à 256 symboles qui vient immédiatement après la 18ème mini-sonde, dans chacun des trois premiers ensembles, est également le premier bloc de données d'un bloc d'entrelacement avec des longueurs de trames de 1, 3, 9 et 18. Le bloc d'entrelacement de longueur 36 commence après le second ensemble, et un préambule réinséré débute après le quatrième ensemble. Cette structure permet d'entreprendre de démoduler les données aussitôt qu'est connue la frontière d'entrelacement.

Chaque séquence de 18 mini-sondes comporte sept signes -, un signe +, puis six valeurs de signe qui sont fonction du débit binaire et de la longueur d'entrelacement, trois valeurs de signe qui indiquent celui des quatre ensembles de 18 mini-sondes dont il s'agit, et enfin un signe +. Pour le quatrième ensemble, ce signe + final (mini-sonde 72) est également la mini-sonde initiale du préambule réinséré suivant (qui utilise la phase +).

Visuellement, cette séquence de 18 mini-sondes se présente comme suit: ----- + S<sub>0</sub> S<sub>1</sub> S<sub>2</sub> S<sub>3</sub> S<sub>4</sub> S<sub>5</sub> S<sub>6</sub> S<sub>7</sub> S<sub>8</sub> +, où les six premières valeurs de signe S<sub>i</sub> sont définies dans le Tableau 10. On observera que ces schémas à 6 bits (+ est un 0) correspondent à la concaténation des mappages à 3 bits du Tableau 9 pour le débit binaire (S<sub>0</sub> S<sub>1</sub> S<sub>2</sub>) et la longueur d'entrelacement (S<sub>3</sub> S<sub>4</sub> S<sub>5</sub>). Les trois valeurs de signe S<sub>i</sub> qui spécifient l'ensemble des mini-sondes (compte) sont définies au Tableau 11.

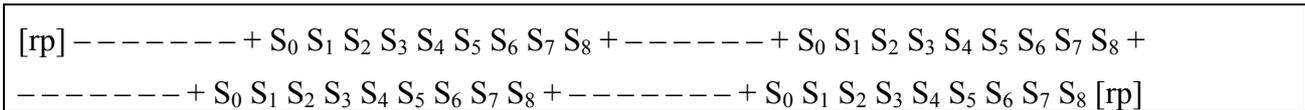
TABLEAU 10  
**Valeurs (signe) de S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> et S<sub>5</sub> en fonction du débit binaire et de la longueur d'entrelacement**

Débit binaire (bit/s)	Longueur d'entrelacement en trames (blocs de données de 256 symboles)					
	1	3	9	18	36	72
3 200	++-+-	++-+-	++-+-	++-+-	++-+-	++-+-
4 800	+-+++-	+-+++-	+-+++-	+-+++-	+-+++-	+-+++-
6 400	+---+-	+---+-	+---+-	+---+-	+---+-	+---+-
8 000	-++++-	-++++-	-++++-	-++++-	-++++-	-++++-
9 600	-+-++-	-+-++-	-+-++-	-+-++-	-+-++-	-+-++-
12 800	---++-	Pas applicable				

TABLEAU 11  
**Valeurs (signe) de S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub> et S<sub>8</sub> en fonction de l'ensemble des mini-sondes**

Ensemble de mini-sondes			
1 à 18	19 à 36	37 à 54	55 à 72
+-	+-	+-	+-

Les huit premières mini-sondes de chaque ensemble (-----+) localisent d'une manière bien particulière le point de départ des neuf valeurs  $S_i$  suivantes, ce qui est possible étant donné que les séquences  $S_i$  utilisées comprennent tout au plus des sous-séquences de phase de quatre + ou -; inversement, il est impossible qu'une séquence de sept mini-sondes pourvues de la même phase, suivie d'une mini-sonde pourvue d'une inversion de phase, puisse se produire ailleurs qu'au début de l'une des 18 séquences de mini-sondes. Lorsque ce schéma fixe de 8 mini-sondes est localisé, l'ambiguïté sur la phase à 0 ou 180 degrés est alors levée de sorte que les 9 mini-sondes suivantes peuvent être convenablement adaptées au débit binaire, à la longueur d'entrelacement et au compte des ensembles de mini-sondes. La séquence entière de mini-sondes se présente comme suit:



où [rp] représente les 103 symboles du préambule réinséré (y compris les mini-sondes 72 et 0).

#### 1.4 Codage et entrelacement

L'entrelacement est un entrelacement de blocs. Chaque bloc de données d'entrée est de son côté codé suivant une technique de codage de blocs, la taille d'un bloc à coder étant égale à celle de l'entrelacement. Les bits de données d'entrée sont ensuite transmis par blocs successifs de bits qui durent toute la longueur de l'entrelacement choisie. Le Tableau 12 indique le nombre de bits de données d'entrée par bloc en fonction du débit binaire ainsi que de la longueur de l'entrelacement. On observera qu'un "bloc de données d'entrée" ne doit pas être confondu avec le bloc de données de 256 symboles qui fait partie d'une trame de données dans le format du signal. Les bits provenant d'un bloc de données d'entrée seront mappés, moyennant les opérations de codage et d'entrelacement, avec le nombre de trames de données, et partant avec les blocs de données à 256 symboles, qui définissent la longueur d'entrelacement.

TABLEAU 12

**Taille des blocs de données d'entrée en bits en fonction du débit binaire et de la longueur d'entrelacement**

<b>Débit binaire (bit/s)</b>	<b>Longueur d'entrelacement en trames</b>					
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>72</b>
	<b>Nombre de bits de données d'entrée par bloc</b>					
3 200	384	1 152	3 456	6 912	13 824	27 648
4 800	576	1 728	5 184	10 368	20 736	41 472
6 400	768	2 304	6 912	13 824	27 648	55 296
8 000	960	2 880	8 640	17 280	34 560	69 120
9 600	1 152	3 456	10 368	20 736	41 472	82 944

### 1.4.1 Alignement des limites des blocs

Chaque bloc de code est entrelacé à l'intérieur d'un seul et même bloc d'entrelacement de la même taille. Les limites de ces blocs sont alignées de telle sorte que le début de la première trame de données suivant chaque préambule réinséré coïncide avec une limite de l'entrelacement; ainsi, pour une longueur de l'entrelacement de trois trames, les trois premières trames de données suivant un préambule réinséré contiendront la totalité des bits codés correspondant à un seul et même bloc de données d'entrée. Le premier symbole de données provenant de la première trame de données dans chaque ensemble d'entrelacements aura pour MSB le premier bit pris à l'entrelacement.

### 1.4.2 Codage des blocs

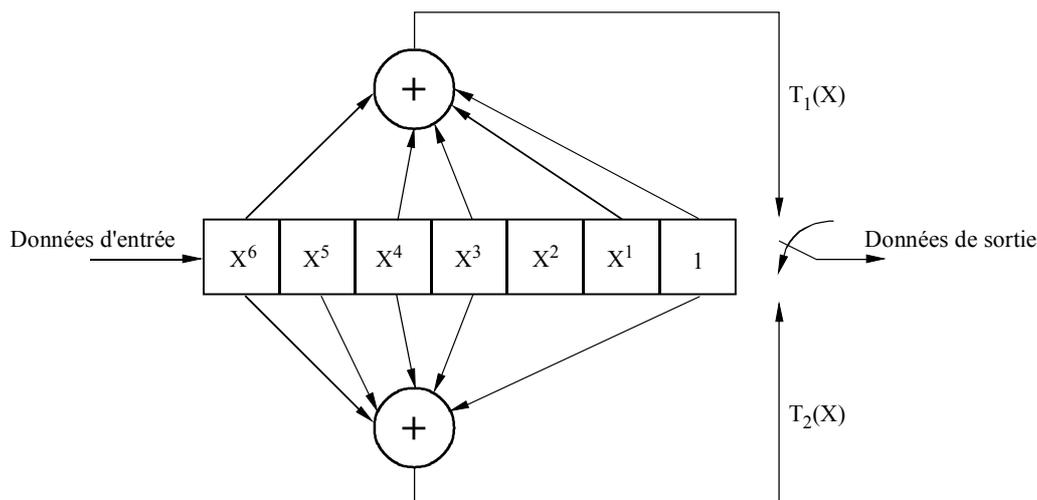
On utilise la technique itérative du full-tail-biting ou de la ponction (puncturing) avec un code convolutif de 1/2 pour produire un code de blocs de 3/4 dont la longueur est égale à celle de l'entrelacement.

### 1.4.3 Code convolutif 1/2

Avant la ponction, on utilise un code convolutif de 1/2 et une longueur contrainte de 7. La Fig. 7 est une représentation schématique du codeur. Les deux polynômes du générateur utilisés sont:

FIGURE 7

Codeur convolutif de 1/2 pour une longueur de contrainte de 7



$$T_1 = X^6 + X^4 + X^3 + X + 1$$

$$T_2 = X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + 1$$

9/08-07  
175567

Les deux noeuds de sommation dans la figure représentent une addition en modulo 2. Pour chaque entrée de bit dans le codeur, on prend deux bits du codeur, le premier étant le bit de sortie supérieur,  $T_1(x)$ .

#### 1.4.3.1 Codage itératif (Full-tail-biting)

Pour commencer à coder chaque bloc de données d'entrée, on précharge le codeur en y transférant les six premiers bits de données d'entrée sans prendre aucun des bits de sortie. Ces six bits d'entrée sont provisoirement sauvegardés de sorte qu'on puisse les utiliser pour "vider" le codeur. Les deux premiers bits de sortie codés sont pris après que le septième bit a été transféré, et sont définis comme étant les deux premiers bits du code de blocs résultant. Après que le dernier bit de données

d'entrée a été codé, les six premiers bits de données "sauvegardés" sont codés. Il est à noter que le registre de décalage du codeur ne devrait pas être modifié avant que ces bits sauvegardés soient codés, c'est-à-dire qu'il devrait être rempli avec les sept derniers bits de données d'entrée. Les six bits de données "sauvegardés" sont codés moyennant leur transfert dans le codeur l'un après l'autre, en commençant par le plus récent des six. Le codage se poursuit alors moyennant la prise des deux bits de sortie codés résultant au fur et à mesure que chacun des six bits sauvegardés est transféré. Ces bits codés sont les bits finals du code de blocs (ponctionné) qui est obtenu. Avant l'opération de ponction, le code de blocs en question comprendra exactement deux fois plus de bits que les bits d'information des données d'entrée. Le passage du code 1/2 au code 3/4 nécessaire, par une ponction, se fait avant l'envoi des bits à l'entrelacement.

#### 1.4.3.2 Ponction au code 3/4

Pour obtenir un code 1/2 à partir du code 3/4 utilisé, il faut ponctionner les données de sortie du codeur en ne transmettant pas un bit sur trois. Cette opération s'effectue à l'aide du gabarit suivant 1 1 1 0 0 1 appliqué aux bits de sortie du codeur. Dans cette notation le 1 indique que le bit est conservé alors que le 0 indique que le bit n'est pas transmis. Pour une séquence générée du codeur de:

$$T_1(k), T_2(k), T_1(k+1), T_2(k+1), T_1(k+2), T_2(k+2) \dots$$

la séquence transmise serait:

$$T_1(k), T_2(k), T_1(k+1), T_1(k+2) \dots$$

Si suivant les dispositions de la section 1.4.2  $T_1(0)$  et  $T_2(0)$  sont définis comme étant les deux premiers bits du code de blocs généré, la valeur de  $k$  dans les séquences ci-dessus est alors un multiple entier de 3. Le code de blocs est ponctionné de cette manière avant d'être transmis à l'entrelacement.

#### 1.4.4 Structure de l'entrelacement de blocs

L'entrelacement de blocs utilisé est conçu pour séparer les bits adjacents du code de blocs ponctionné dans toute la mesure possible pendant la durée d'entrelacement, les séparations les plus importantes concernant les bits qui au départ étaient les plus proches les uns des autres. La structure de l'entrelacement doit être souple étant donné qu'il existe 30 combinaisons différentes de débit binaire et de longueur d'entrelacement.

##### 1.4.4.1 Taille de l'entrelacement en bits

L'entrelacement est un dispositif à une seule dimension, numéroté de 0 à sa taille en bits -1. La taille du dispositif dépend à la fois du débit binaire et de la longueur d'entrelacement retenus, comme il est indiqué au Tableau 13.

TABLEAU 13

**Taille de l'entrelacement en bits en fonction du débit binaire et de la longueur d'entrelacement**

Débit binaire (bit/s)	Longueur d'entrelacement en trames					
	1	3	9	18	36	72
	Taille de l'entrelacement en bits					
3 200	512	1 536	4 608	9 216	18 432	36 864
4 800	768	2 304	6 912	13 824	27 648	55 296
6 400	1 024	3 072	9 216	18 432	36 864	73 728
8 000	1 280	3 840	11 520	23 040	46 080	92 160
9 600	1 536	4 608	13 824	27 648	55 296	110 592

**1.4.4.2 Charge de l'entrelacement**

Les bits du code de blocs ponctionné sont chargés dans le dispositif de l'entrelacement en commençant par l'emplacement 0. L'emplacement pour charger chaque bit successif s'obtient à partir de l'emplacement précédent incrémenté de la "valeur d'incrément de l'entrelacement" mentionnée au Tableau 14, avec comme modulo la "taille de l'entrelacement en bits".

Si le premier bit du code de blocs ponctionné est B(0), l'emplacement de charge pour B(n) est donné par la formule suivante:

$$\text{Emplacement de charge} = (n * \text{valeur d'incrément de l'entrelacement}) \text{ modulo (taille de l'entrelacement en bits)}$$

Ainsi pour 3 200 bit/s, avec un entrelacement à une seule trame (taille de 512 bits avec un incrément de 97), les huit premiers emplacements de charge de l'entrelacement sont: 0, 97, 194, 291, 388, 485, 582, et 679.

TABLEAU 14

**Valeur d'incrément de l'entrelacement en fonction du débit binaire et de la longueur d'entrelacement**

Débit binaire (bit/s)	Longueur d'entrelacement en trames					
	1	3	9	18	36	72
	Valeur d'incrément de l'entrelacement					
3 200	97	229	805	1 393	3 281	6 985
4 800	145	361	1045	2 089	5 137	10 273
6 400	189	481	1393	3 281	6 985	11 141
8 000	201	601	1741	3 481	8 561	14 441
9 600	229	805	2 089	5 137	10 273	17 329

Ces valeurs d'incrément ont été choisies pour que les cycles combinés de ponction et d'attribution des positions de bits dans chaque symbole, pour la constellation spécifique utilisée, soient les mêmes que s'il n'y avait pas eu d'entrelacement. Cette disposition est importante, étant donné que chaque symbole d'une constellation contient des positions de bits "forts" et de bits "faibles" sauf pour le débit binaire le plus faible. Par position du bit, on entend l'emplacement du bit, depuis le MSB jusqu'au LSB, dans les correspondances établies entre les symboles. Une position de bit fort est une position qui a une distance moyenne importante entre tous les points de la constellation, où le bit est un 0 et où le point le plus proche duquel il se trouve est un 1. Normalement, le MSB est un bit fort et le LSB un bit faible. Une stratégie d'entrelacement qui ne distribuerait pas également ces bits suivant la manière dont ils sont distribués sans entrelacement pourrait nuire au bon fonctionnement du système.

#### **1.4.4.3 Extraction de l'entrelacement**

La séquence d'extraction (fetch) pour tous les débits binaires et toutes les longueurs de l'entrelacement commence avec l'emplacement 0 du dispositif d'entrelacement et incrémente l'emplacement d'extraction de 1. Il s'agit d'une extraction linéaire simple du début à la fin du dispositif d'entrelacement.

### **1.5 Fonctionnalités opérationnelles et protocoles de message**

Le format de ce signal à débit binaire élevé a été conçu pour lui permettre de fonctionner convenablement avec la plupart des protocoles utilisés ou prévus d'être utilisés en ondes décimétriques. Le préambule réinséré facilite l'acquisition (ou la réacquisition) d'une diffusion en cours. La brève longueur du préambule de synchronisation, la large gamme des longueurs d'entrelacement et l'utilisation du codage itératif sont destinées à garantir un fonctionnement efficace avec les protocoles ARQ. Pour améliorer encore le fonctionnement avec ces protocoles, on a inclus dans le modem HF les fonctionnalités opérationnelles suivantes.

#### **1.5.1 Début de la transmission**

Le modem commence une transmission dans les 100 ms qui suivent la réception d'un bloc entier de données d'entrée (suffisamment de bits pour remplir un bloc codé et entrelacé), ou à la réception du dernier bit des données d'entrée, selon la première situation qui se présente. Le deuxième cas ne se produit que lorsque le message est plus bref qu'un bloc d'entrelacement. Par définition, une émission commence avec la manipulation de la radio, opération suivie par la sortie du signal du préambule après l'éventuel délai configuré de prémanipulation.

Le délai entre lequel le modem reçoit le premier bit des données d'entrée et le début de l'émission sera grandement tributaire des moyens de transmission des bits de données d'entrée au modem. Une interface série synchrone au débit binaire utilisateur se caractérisera par le délai le plus long, c'est pourquoi il est recommandé d'utiliser, si le délai en question revêt une importance pour l'application particulière envisagée, une interface asynchrone à grande vitesse (série ou port Ethernet) avec contrôle de débit.

#### **1.5.2 Fin de message**

L'utilisation d'une fin de message (EOM, *end-of-message*) dans le signal émis est une option configurable. Lorsqu'on a choisi d'utiliser un EOM, un schéma EOM de 32 bits est joint après le dernier bit de données d'entrée du message; exprimé en notation exacte décimale, l'EOM est 4B65A5B2, où le bit le plus à gauche est envoyé en premier. Si le dernier bit de l'EOM ne remplit pas un bloc de données d'entrée, les bits restant dans le bloc de données d'entrée sont mis à 0 avant que soit codé et entrelacé le bloc.

Si l'utilisation d'un EOM a été interdite, et que le dernier bit des données d'entrée ne remplit pas un bloc de données d'entrée, les bits restant dans le bloc des données d'entrée sont mis à 0 avant que soit codé et entrelacé le bloc. L'utilisation d'un EOM devrait en principe être interdite seulement lorsqu'un protocole de données ARQ utilise des blocs ARQ qui remplissent complètement (ou presque) le bloc des données d'entrée retenu (bloc d'entrelacement). Sinon, l'utilisation d'un EOM exigerait alors la transmission d'un bloc d'entrelacement additionnel.

### **1.5.3 Terminaison d'une émission**

Le modem devrait terminer une émission uniquement après la transmission de la trame de données finale, comprenant une mini-sonde, associée au bloc d'entrelacement final. Il est à noter qu'une trame de données se compose d'un bloc de données de 256 symboles, suivi d'une mini-sonde. Il faut par ailleurs tenir compte d'un éventuel retard dans le traitement du signal et/ou introduit par un filtre au niveau du modem et de l'émetteur HF (dans la séquence temporelle de commande de la ligne de manipulation) pour être sûr que la mini-sonde finale soit transmise dans son intégralité avant que l'émetteur soit éteint.

### **1.5.4 Fin du traitement des données reçues**

Il existe un certain nombre de cas où le modem HF peut être amené à cesser le traitement du signal reçu pour récupérer des données avant de revenir au mode d'acquisition; c'est inévitable dans la mesure où un modem est dans l'incapacité d'acquiescer une nouvelle transmission pendant qu'il essaie de démoduler des données et de les décoder.

#### **1.5.4.1 Détection de l'EOM**

Le modem HF devrait toujours balayer la totalité des bits décodés à la recherche du message EOM de 32 bits mentionné au § 1.5.2. Après l'avoir détecté, le modem reviendra en mode d'acquisition. Il devrait continuer à émettre des bits décodés à destination de l'utilisateur (ETTD) jusqu'à ce que soit transmis le dernier bit précédant immédiatement le message EOM.

#### **1.5.4.2 Réception d'un nombre spécifié de blocs de données**

La durée maximale du message mesurée en nombre de blocs de données d'entrée (blocs d'entrelacement) est un paramètre configurable. Mettre ce paramètre à 0 signifiera qu'un nombre illimité peut être reçu. Une fois que le modem a décodé le nombre de bits correspondant à la durée maximale configurée du message et l'a transmis à l'utilisateur (ETTD), le modem HF devrait revenir en mode d'acquisition et terminer la transmission des bits décodés à destination de l'utilisateur (ETTD). Un protocole ARQ peut choisir de fonctionner avec un nombre de blocs de données d'entrée spécifié, auquel cas la taille du paquet ARQ est fixe, bien qu'elle puisse parfois être adaptée pour faire face à des conditions de propagation changeantes. Dans ce cas, il est prévu que ce paramètre (durée maximale du message) soit envoyé à l'extrémité de réception de la liaison dans le cadre du protocole ARQ. Il sera ensuite envoyé au modem de réception via l'interface de commande à distance, étant donné qu'il n'est pas intégré dans le signal lui-même contrairement aux paramètres du débit binaire et de la longueur d'entrelacement.

## **1.6 Capacités de la qualité de fonctionnement**

Les capacités de la qualité de fonctionnement en mode avec débit binaire élevé sont décrites ci-dessous. Les résultats de tests démontrent que le modem fonctionne de manière fiable sur les circuits à ondes décimétriques pour les dégradations sur les canaux qui ont été évaluées.

### 1.6.1 Caractéristiques du simulateur

Le mode à débit binaire élevé a fait l'objet de tests au moyen d'un simulateur HF en bande de base configurée selon le modèle Watterson conformément aux dispositions de la Recommandation ITU-R F.1487. Comme source de bruit on a utilisé un bruit blanc Gaussien additif (BBGA). La puissance du signal et la puissance du bruit ont été mesurées l'une et l'autre dans une largeur de bande de 3 kHz.

### 1.6.2 Filtres à fréquence radioélectrique

On a utilisé des filtres à réponse impulsionnelle finie (FIR) qui reflètent les conditions de la bande passante. Les filtres sont du type  $N = 63$ , avec les coefficients suivants (à lire de gauche à droite, puis de haut en bas) et leur taux d'échantillonnage est de 16 000 échantillons par seconde:

3,4793306E-04	-4,6615634E-05	3,6863006E-05	6,8983925E-04
1,2186785E-03	7,1322870E-04	-6,2685051E-04	-1,1305640E-03
3,8082659E-04	2,2257954E-03	1,0150929E-03	-3,6258003E-03
-6,9094691E-03	-4,2534569E-03	1,1371180E-03	-1,0868903E-04
-1,1312117E-02	-2,2036370E-02	-1,8856425E-02	-4,9115933E-03
-1,3025356E-03	-2,1579735E-02	-4,8379221E-02	-4,8040411E-02
-1,4815010E-02	9,8565688E-03	-2,0275153E-02	-9,0223589E-02
-1,1587973E-01	-2,2672007E-02	1,6315786E-01	3,1537800E-01
3,1537800E-01	1,6315786E-01	-2,2672007E-02	-1,1587973E-01
-9,0223589E-02	-2,0275153E-02	9,8565688E-03	-1,4815010E-02
-4,8040411E-02	-4,8379221E-02	-2,1579735E-02	-1,3025356E-03
-4,9115933E-03	-1,8856425E-02	-2,2036370E-02	-1,1312117E-02
-1,0868903E-04	1,1371180E-03	-4,2534569E-03	-6,9094691E-03
-3,6258003E-03	1,0150929E-03	2,2257954E-03	3,8082659E-04
-1,1305640E-03	-6,2685051E-04	7,1322870E-04	1,2186785E-03
6,8983925E-04	3,6863006E-05	-4,6615634E-05	3,4793306E-04

### 1.6.3 TEB

On a mesuré le TEB à l'aide de filtres à fréquences radioélectriques, avec le simulateur de canaux HF programmé de façon à simuler les canaux suivants pour un TEB de  $10^{-4}$ :

- le canal BBGA comportant un seul trajet, sans évanouissement. Chaque état a été mesuré pendant 15 minutes;
- le canal de Rice comportant deux trajets indépendants, mais de puissance moyenne égale, avec entre les trajets un retard de 2 ms. Le premier trajet était sans évanouissement. Le second était un trajet à évanouissement de Rayleigh avec une BW d'évanouissement à deux sigmas de 2 Hz. Chaque état a été mesuré pendant 2 heures;

- dans la Recommandation UIT-R F.1487, les "conditions de propagation perturbées aux latitudes moyennes" (mauvaises conditions) correspondent à deux trajets à évanouissement de Rayleigh indépendants, mais de puissance moyenne égale, avec un retard fixe de 2 ms entre eux, et une BW d'évanouissement à deux sigmas de 1 Hz. Chaque état a été mesuré pendant deux heures.

La qualité de fonctionnement mesurée, pendant la période d'entrelacement maximale (entrelacement "très long" à 72 trames), pour chacune des conditions retenues pour un TEB de  $10^{-4}$  codé, est indiquée dans le Tableau 15.

TABLEAU 15  
**Tests d'évaluation de la qualité de fonctionnement en mode  
à débit binaire élevé pour un TEB de  $10^{-4}$**

Débit binaire utilisateur (bit/s)	SNR moyen (dB) pour un TEB ne dépassant pas $10^{-4}$		
	Canal BBGA	Canal de Rice	Canal perturbé
12 800*	27	–	–
9 600	21	30	30
8 000	19	25	26
6 400	16	21	23
4 800	13	17	20
3 200	9	12	14

\* Débit binaire optionnel

#### 1.6.4 Qualité de fonctionnement avec effet Doppler

Pendant les essais consacrés à la qualité de fonctionnement avec effet Doppler le modem a acquis et maintenu une synchronisation pendant au moins 5 minutes avec un signal d'essai dont les caractéristiques étaient les suivantes: 9 600 bit/s, entrelacement très long, décalage de fréquence  $\pm 75$  Hz, étalement du temps de propagation 2 ms, BW d'évanouissement de 1 Hz et SNR moyen de 30 dB.

#### 1.7 Equipement de communication connexe

Les constellations MAQ décrites dans la présente Annexe sont plus sensibles aux écarts dus aux équipements que les constellations MDP mentionnées ailleurs dans la présente Recommandation. Etant donné cette sensibilité, les filtres à fréquences radioélectriques auront une importante incidence sur la qualité de fonctionnement des modems mettant en oeuvre le signal à débit binaire élevé. Par ailleurs, étant donné la nature sensible des constellations MAQ, les effets transitoires à l'allumage, la CAG et l'ALC peuvent entraîner une importante dégradation de la qualité de fonctionnement.