

RECOMMANDATION UIT-R M.589-3* **

Caractéristiques techniques des méthodes de transmission de données et de protection contre les brouillages pour les services de radionavigation fonctionnant dans les bandes de fréquences comprises entre 70 et 130 kHz

(1982-1986-1992-2001)

Domaine d'application

La présente Recommandation contient les caractéristiques techniques des méthodes de transmission de données et de protection contre les brouillages pour les services de radionavigation fonctionnant dans les bandes de fréquences comprises entre 70 et 130 kHz. Elle encourage en particulier l'échange d'information et la coordination des caractéristiques techniques entre administrations pour les systèmes de radionavigation dans la bande 90-110 kHz. Elle indique aussi le critère de protection pour la transmission de données utilisant les systèmes Loran-C et Chayka, et les caractéristiques techniques associées.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, dans les trois Régions de l'UIT, des systèmes de radionavigation sont en service ou en cours de mise en oeuvre;
- b) que divers services, dont ceux de radionavigation, fonctionnent dans des bandes de fréquences comprises entre 70 et 130 kHz;
- c) que les caractéristiques de fonctionnement de ces systèmes de radionavigation sont bien établies et suffisamment documentées par les fournisseurs de services correspondants;
- d) que la radionavigation étant un service de sécurité, toutes les mesures pratiques compatibles avec le Règlement des radiocommunications (RR) doivent être prises pour que les systèmes de radionavigation soient à l'abri de brouillages préjudiciables;
- e) que les utilisateurs de systèmes de radionavigation à impulsions en phase fonctionnant dans la bande 90-110 kHz ne reçoivent aucune protection à l'extérieur de cette bande, mais peuvent tirer des renseignements utiles de leurs signaux à l'extérieur de la largeur de bande occupée,
- f) que, dans la bande 90-110 kHz, divers systèmes de radionavigation à impulsions en phase peuvent fonctionner dans des zones adjacentes, sur la même fréquence assignée et à l'intérieur de la même largeur de bande occupée;
- g) que les systèmes Loran-C et Chayka se caractérisent par des ondes de sol qui suivent les contours de la Terre dont les distances dépassent celles que peuvent atteindre les systèmes de fréquence moyenne de puissance comparable et par des ondes ionosphériques qui peuvent être reçues à des distances sensiblement plus grandes;

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de l'Organisation maritime internationale (OMI), de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), de l'Association internationale de signalisation maritime (AISM) et de la Commission d'études 7 des radiocommunications.

** La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2008, conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

- h) que le système Loran-C ou Chayka est un système de radionavigation indépendant susceptible de compléter le système mondial de navigation par satellite (GNSS, *global navigation satellite system*);
- j) que des éléments du GNSS sont en service ou en cours de mise en oeuvre et que la précision n'est peut-être pas suffisante pour un certain type de navigation spécialisé ou pour le capteur de position dans les systèmes de cartes électroniques;
- k) que les applications de sécurité ont besoin de disposer de données relatives à l'intégrité pour les relevés de position établis à partir du GNSS;
- l) que la précision et l'intégrité du GNSS peuvent être sensiblement améliorées par la transmission de corrections différentielles ou d'autres données;
- m) que la modulation appropriée des transmissions Loran-C et Chayka permet à ces systèmes de transmettre des corrections différentielles GNSS, des messages d'intégrité et d'autres données sans perturber la fonction de navigation du système Loran-C ou Chayka;
- n) que la transmission des corrections différentielles GNSS, des messages d'intégrité et d'autres données peut tirer profit des caractéristiques de transmission à grande portée du système Loran-C ou Chayka;
- o) qu'une modulation appropriée des transmissions des systèmes Loran-C et Chayka améliore l'efficacité d'utilisation de la largeur de bande disponible;
- p) qu'un certain nombre d'administrations utilisent actuellement un système Loran-C ou Chayka pour assurer la couverture des eaux côtières et des zones terrestres, permettant ainsi de mettre en oeuvre de façon efficace et économique une norme mondiale pour la transmission des corrections différentielles GNSS, des messages d'intégrité et d'autres données;
- q) que d'autres méthodes de transmission de données utilisant les signaux Loran-C ou Chayka peuvent être mises en oeuvre,

recommande

- 1 qu'il y ait échange d'information entre les autorités qui exploitent des systèmes de radionavigation dans la bande 90-110 kHz et celles exploitant d'autres systèmes dans la bande 70-130 kHz utilisant des émissions de fréquences stables;
- 2 que les administrations qui exploitent des systèmes de radionavigation dans la bande 90-110 kHz dans des zones adjacentes coordonnent les caractéristiques techniques de leurs divers systèmes en conformité avec le RR;
- 3 que, dans la bande 90-110 kHz attribuée, le critère de protection pour les systèmes de radionavigation à impulsions (par exemple Loran-C et Chayka) soit exprimé en rapports, émission utile/émission brouilleuse, conformément à l'Annexe 1;
- 4 que la détermination des niveaux du signal Loran-C devrait être conforme aux instructions contenues dans l'Annexe 1;
- 5 que toute méthode de transmission de données utilisant des signaux Loran-C et Chayka devrait préserver l'utilité des services de radionavigation existants;
- 6 qu'un service de données utilisant la modulation d'impulsions en position à 3 états des signaux Loran-C ou Chayka devrait être conçu conformément aux caractéristiques techniques indiquées dans l'Annexe 2.

Annexe 1

Critère de protection Loran-C/Chayka et détermination du niveau du signal

1 Critère de protection

1.1 La Fig. 1 donne le critère de protection du Loran-C/onde entretenue en fonction du décalage de fréquence.

1.2 Le brouillage quasi synchrone à la fréquence f s'exprime comme suit:

$$\left| f - \frac{n}{2 GRI} \right| < f_b$$

où:

GRI : intervalles de répétition de groupe

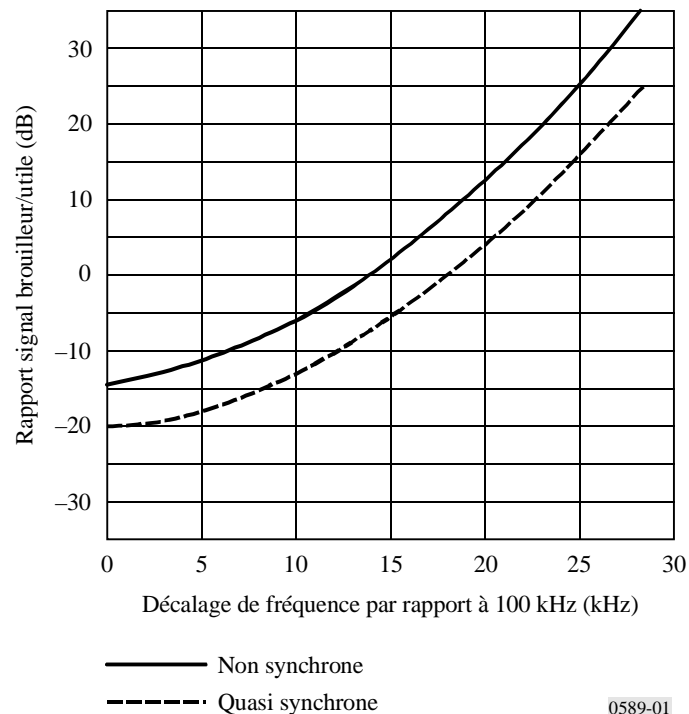
n : nombre entier

f_b : largeur de bande de réponse du récepteur (liée au temps de réponse).

En mode poursuite, les récepteurs Loran-C du type courant ont une réponse à -3 dB de 0,01 Hz pour les récepteurs maritimes et de 0,1 Hz pour les récepteurs aéronautiques. En revanche, en mode recherche ou acquisition de signal, la réponse peut être d'une fréquence beaucoup plus élevée. La valeur $f_b = 1,0$ Hz est par conséquent recommandée.

FIGURE 1

Critère de protection Loran-C/onde entretenue



0589-01

1.3 La Fig. 2 donne le critère de protection du Loran-C/MDF en fonction du décalage de fréquence.

2 Détermination du niveau du signal

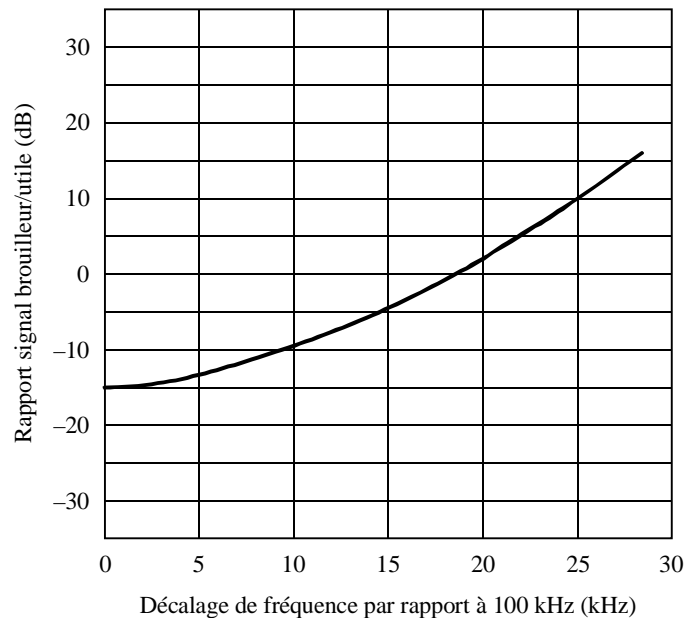
Afin de pouvoir établir à partir des Fig. 1 et 2 le champ maximal acceptable d'un signal brouilleur déterminé à une fréquence connue, il faut connaître l'intensité du signal Loran-C prévu, qui varie beaucoup à l'intérieur de la zone de couverture d'une chaîne Loran-C donnée. Il est toutefois possible de déterminer un niveau minimal à la limite de la zone de couverture.

La zone de couverture Loran-C est spécifiée par l'administration qui exploite les stations d'une chaîne. Cette zone de couverture de la chaîne est déterminée d'après l'intensité du signal Loran-C par rapport au niveau de bruit ambiant prévu. Le rapport S/N à la limite de la zone de couverture est en général -10 dB. C'est pourquoi le rapport S/N dans la zone de couverture définie est supérieur à cette valeur. Les niveaux de bruit ambiant utilisés pour calculer les limites sont tirés de la Recommandation UIT-R P.372 – Bruit radioélectrique. Le champ du signal Loran-C mesuré à la limite de cette zone de couverture représente alors le minimum prévu. Ainsi, si le niveau de bruit prévu est de 55 dB(μ V/m), on trouvera vraisemblablement un niveau de signal Loran-C de 45 dB(μ V/m) ou plus sur l'ensemble de la zone de couverture, et l'on pourra utiliser dans ces conditions la valeur de 45 dB(μ V/m) comme valeur du signal utile pour l'application des Fig. 1 et 2.

Une étude portant sur des chaînes exploitées aux Etats-Unis d'Amérique signale que, dans des zones de couvertures définies, les niveaux du signal Loran-C peuvent avoir une valeur aussi faible que 43 dB(μ V/m). Compte tenu de cette valeur et d'un signal de brouillage en onde continue quasi synchrone entre 90 et 110 kHz, la valeur maximale du rapport signal brouilleur/signal utile déterminée d'après la Fig. 1 est -20 dB. On peut être obligé de prévoir au récepteur Loran-C un champ brouilleur inférieur à 23 dB(μ V/m) pour éviter les brouillages.

FIGURE 2

Critère de protection Loran-C/MDF



Annexe 2

Caractéristiques techniques d'un service de données à modulation d'impulsions en position à 3 états utilisant les transmissions Loran-C et Chayka dans la bande de fréquences 90-110 kHz

1 Structure

La structure donnée dans le Tableau 1 est utilisée pour la spécification du signal.

TABLEAU 1

Structure pour la spécification du signal

1	Couche physique	Spécification du signal Loran-C et du signal Chayka	Comme cela est documenté par les fournisseurs de services correspondants
2	Couche modulation/démodulation	Description de la modulation d'impulsions en position à 3 états	§ 2 de la présente Annexe
3	Couche correction d'erreur directe (CED)	Description de l'algorithme de CED	§ 3 de la présente Annexe
4	Couche codage du message	Description de l'algorithme de codage du message	§ 4 de la présente Annexe

2 Couche modulation/démodulation

Ces définitions donnent la modulation du signal Loran-C ou Chayka qui permet d'assurer la transmission de données. Elles concernent notamment le type de modulation de faible niveau, la stratégie de modulation visant à minimiser le risque d'une utilisation moindre du système Loran-C ou Chayka pour le positionnement et la relation entre les séquences de modulation et d'autres représentations de données.

2.1 Modulation d'impulsions

2.1.1 Structure temporelle

Il convient d'appliquer une modulation d'impulsions en position à 3 états entre l'impulsion trois (3) et l'impulsion huit (8) de chaque groupe d'impulsions. La modulation devrait se composer d'un décalage de temps de une (1) μ s de la transmission de l'impulsion, par rapport à une impulsion non modulée. Les trois états possibles de la modulation sont indiqués dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Etats de la modulation

Etat de l'impulsion	Temps de transmission, moins temps de l'impulsion de référence (µs)	Indication
Impulsion anticipée	-1	-
Impulsion non décalée	0	0
Impulsion différée	+1	+

2.1.2 Equilibre entre les impulsions de la modulation

Dans un groupe d'impulsions, il faut que le nombre d'impulsions anticipées soit égal au nombre d'impulsions différées. La modulation de six (6) impulsions dans un groupe d'impulsions permet d'obtenir 141 séquences équilibrées possibles (voir le Tableau 3). Dans ce Tableau, 128 séquences doivent désigner des données valides, une (1) séquence doit signifier aucune transmission de données et les 12 autres séquences ne doivent pas être utilisées.

TABLEAU 3

Combinaison des séquences de modulation

Combinaison des séquences de modulation			Exemple	Nombre de combinaisons
6 × zéro (0)	0 × plus (+)	0 × moins (-)	0 0 0 0 0 0	1
4 × zéro	1 × plus	1 × moins	0 0 + 0 - 0	30
2 × zéro	2 × plus	2 × moins	0 + - + 0 -	90
0 × zéro	3 × plus	3 × moins	+ + - - - +	20
Total =				141

2.1.3 Précision de la structure temporelle

La précision de la structure temporelle du signal modulé devrait être conforme à celle qui est exigée pour le signal non modulé.

2.2 Séquences de modulation**2.2.1 Traduction séquence/données**

Chacune des 128 séquences de modulation valides devrait correspondre de manière univoque à un bloc de données binaires de 7 bits comme indiqué dans le Tableau 4.

2.2.2 Séquence aucune transmission de données

Il conviendrait d'utiliser la séquence «000000» pour indiquer qu'aucune donnée n'est transmise.

2.3 Structure du message

Un (1) message de modulation d'impulsions en position à 3 états devrait se composer de trente (30) groupes d'impulsions consécutives.

2.4 Neutralisation

Un groupe d'impulsions neutralisées doit être considéré comme ayant été transmis pour les besoins de la modulation.

3 Couche CED

Un code systématique de Reed-Solomon (RS) (30,10) à 2^7 bits devrait être appliqué à tous les messages. Tous les messages devraient se composer de 30 symboles, chacun d'eux représentant un élément de 7 bits. Sur ces symboles, 10 correspondent aux données et 20 à la parité RS.

3.1 Polynôme primitif

Les symboles devraient être des éléments du champ de Galois GF(128), obtenus à partir du polynôme primitif:

$$p(x) = x^7 + x^3 + 1$$

TABLEAU 4
Traduction séquence/données

Décimale	Hexa-décimale	Séquence	Décimale	Hexa-décimale	Séquence	Décimale	Hexa-décimale	Séquence
0	0	--00++	43	2B	00-+++	86	56	++-00-
1	1	--0+0+	44	2C	00-++-	87	57	++0--0
2	2	--0++0	45	2D	00+++	88	58	++0-0-
3	3	--+00+	46	2E	00++-	89	59	++00--
4	4	--+0+0	47	2F	00++-	90	5A	-0000+
5	5	---+00	48	30	0+-0+	91	5B	-000+0
6	6	-0-0++	49	31	0+--0	92	5C	-00+00
7	7	-0+0+	50	32	0+-0+	93	5D	-0+000
8	8	-0-++0	51	33	0+-0+	94	5E	--0000
9	9	-00-++	52	34	0+--0	95	5F	0-000+
10	A	-00-++	53	35	0+--0-	96	60	0-00+0
11	B	-00++-	54	36	0+0-++	97	61	0-0+00
12	C	-0+-0+	55	37	0+0+-	98	62	0-+000
13	D	-0-++0	56	38	0+0+-	99	63	00-00+
14	E	-0+0+	57	39	0+--0	100	64	00-0+0
15	F	-0+0+-	58	3A	0+--0-	101	65	00-+00
16	10	-0+++0	59	3B	0+0--	102	66	000-0+
17	11	-0++0-	60	3C	+-00+	103	67	000-+0
18	12	--+00+	61	3D	+-0+0	104	68	0000-+
19	13	--+0+0	62	3E	+++00	105	69	0000+-
20	14	--+000	63	3F	+0-0+	106	6A	000+0-
21	15	+0-0+	64	40	+0-+0	107	6B	000+0-
22	16	+0-+0	65	41	+00-+	108	6C	00+-00
23	17	+00-+	66	42	+00+-	109	6D	00+0-0
24	18	+00+-	67	43	+0+0-	110	6E	00+00-
25	19	+0+0-	68	44	+0+0-	111	6F	0+-000
26	1A	+0+0-	69	45	+++00	112	70	0+0-00
27	1B	+++00	70	46	++0-0	113	71	0+00-0
28	1C	+++0-0	71	47	++00-	114	72	0+000-

TABLEAU 4 (*fin*)

29	1D	++00-	72	48	+0-0+	115	73	+0000
30	1E	0--0++	73	49	+0--0	116	74	+0-000
31	1F	0--0+	74	4A	+0-0+	117	75	+00-00
32	20	0--++0	75	4B	+0-0+	118	76	+000-0
33	21	0-0-++	76	4C	+0-+0	119	77	++-+-
34	22	0-0-++	77	4D	+0-+0-	120	78	++-+-
35	23	0-0-++	78	4E	+00--	121	79	++-+-
36	24	0-+0+	79	4F	+00-+	122	7A	++-+-
37	25	0-++0	80	50	+00+-	123	7B	++-+-
38	26	0-+0+	81	51	+0+-0	124	7C	++-+-
39	27	0-+0+	82	52	+0+0-	125	7D	++-+-
40	28	0-++0	83	53	+0+0-	126	7E	++-+-
41	29	0-++0-	84	54	++-00	127	7F	+0000-
42	2A	00-++	85	55	++-00			

Dans la relation entre les éléments GF(128) et les données binaires, il convient de tenir compte de la valeur de la puissance de α en tant que valeur binaire à 7 bits convertie en valeur décimale. Le symbole «0» devrait correspondre à une valeur à 7 bits de 127.

3.2 Polynôme générateur

La parité CED devrait être définie par le polynôme générateur suivant:

$$g(x) = \prod_{i=1}^{20} (x - \alpha^i)$$

La relation entre la représentation en symbole et celle en polynôme est indiquée au Tableau 5.

TABLEAU 5

Relation entre la représentation en symbole et celle en polynôme

Position	Numéro du symbole	A multiplier par
Symbole le moins significatif	S ₁	x ⁰
	S ₂	x ¹

Symbole le plus significatif	S _n	x ⁿ⁻¹

Pour le codage des messages il convient d'appliquer les étapes suivantes:

Etape 1: traduction des données binaires en une représentation sous forme de symboles, à l'aide du polynôme primitif;

Etape 2: traduction de la représentation sous forme de symboles (Etape 1) en un polynôme;

Etape 3: multiplication du polynôme obtenu à l'Etape 2 par x²⁰;

Etape 4: division du polynôme obtenu à l'Etape 3 par le polynôme générateur;

Etape 5: somme du polynôme obtenu à l'Etape 3 et du reste de la division de l'Etape 4;

Etape 6: traduction du polynôme obtenu à l'Etape 5 en représentation sous forme de symboles ou en représentation binaire.

3.3 Ordre de transmission

La première séquence transmise d'un message codé CED devrait correspondre au symbole le moins significatif de ce message.

3.4 Continuité de la modulation

Les messages devraient être transmis d'une manière consécutive sans entrelacement. La séquence transmise dans le premier groupe d'impulsions après la dernière séquence du message doit être la première séquence du message suivant.

4 Couche codage du message

4.1 Structure générique

Tous les types de messages devraient être définis avec la même structure, c'est-à-dire un type de message, un corps de message et un contrôle de redondance cyclique (CRC). Le type de message devrait identifier le type de données contenues dans le corps du message. La structure générique est indiquée au Tableau 6.

TABLEAU 6

Structure générique de la section de données

Champ	Bits utilisés	Numéros de bit
Type de message	4	$I_1 - I_4$
Corps du message	52	$I_5 - I_{56}$
CRC	14	$I_{57} - I_{70}$
Total	70	

4.2 Identification du type de message

Le type de message doit être conforme aux données indiquées dans le Tableau 7.

TABLEAU 7

Interprétation du type de message

Indication		Type de message				Décimale
Type		I ₄	I ₃	I ₂	I ₁	
1	Corrections DGPS	0	0	0	1	1
2	Corrections DGLONASS	0	0	1	0	2
3	Réservé	0	0	1	1	3
4	Réservé	0	1	0	0	4
5	Message de texte	0	1	0	1	5
6	Réservé	0	1	1	0	6
7	Réservé	0	1	1	1	7
8	Réservé	1	0	0	0	8
9	Réservé	1	0	0	1	9
10	Réservé	1	0	1	0	10
11	Réservé	1	0	1	1	11
12	Réservé	1	1	0	0	12
13	Réservé	1	1	0	1	13
14	Réservé	1	1	1	0	14
15	Réservé	1	1	1	1	15
16	Réservé	0	0	0	0	0

DGPS: Système mondial de radiorepérage différentiel (*differential global positioning system*)

DGLONASS: Système mondial de navigation par satellite différentiel (*differential global orbiting navigation satellite system*)

4.4 Définitions

4.4.1 Compte Z modifié

Le Compte Z représente le temps de référence pour les messages de données en mode différentiel. Il commence à 0, au début de chaque heure du temps du système GPS ou GLONASS et va jusqu'à une valeur maximale de 3 599,4 s, avec une résolution de 0,6 s. Il est utilisé pour calculer le temps GPS ou GLONASS des corrections, de la même manière que sont effectués les autres calculs de temps dans les récepteurs des utilisateurs.

4.4.2 Facteur de proportionnalité

On peut utiliser deux états du facteur de proportionnalité, définis dans le Tableau 9, pour les PRC. Le facteur de proportionnalité à deux niveaux a pour but de maintenir un degré de précision élevé pendant la plupart du temps et de permettre d'accroître la gamme des corrections dans les rares cas où cela est nécessaire.

TABLEAU 9
Facteur de proportionnalité

Code	Numéro	Indication
0	(0)	Le facteur de proportionnalité pour la PRC est de 0,02 m et pour la RRC, il est de 0,002 m/s
1	(1)	Le facteur de proportionnalité pour la PRC est de 0,32 m et pour la RRC, il est de 0,032 m/s

4.4.3 Erreur de mesure de distance en mode différentiel dépendant de l'utilisateur (UDRE, *user differential range error*)

Estimation de l'erreur quadratique moyenne dans la correction de pseudo-portée en mode différentiel qui dépend de facteurs tels que le rapport S/N du satellite, les effets de propagation par trajets multiples et le lissage des données. Le Tableau 10 définit le format pour le champ de l'erreur UDRE.

TABLEAU 10
UDRE

Code	Numéro	Erreur en mode différentiel 1σ (m)
00	(0)	≤ 1
01	(1)	> 1 et ≤ 4
10	(2)	> 4 et ≤ 8
11	(3)	La station de référence n'est pas utilisable

4.4.4 Identité du satellite

Format normalisé (1-32, 32 étant indiqué en totalité par des zéros).

4.4.5 Correction de pseudo-portée (PRC, *pseudorange correction*)

La PRC décrit la correction estimée au moment où la mesure est effectuée dans le récepteur de référence. La relation entre la PRC, la RRC et le temps de référence est définie par l'équation suivante:

$$PR_{\text{corrigée}}(t) = PR_{\text{mesurée}}(t) + PRC + RRC (t - t_{\text{référence}})$$

La PRC est donnée comme valeur de complément à 2. La résolution dépend du facteur de proportionnalité.

4.4.6 Correction de variation de distance (RRC, *range-rate correction*)

La RRC décrit l'estimation du taux de variation de la PRC au moment où la mesure est effectuée dans le récepteur de référence. L'utilisation de la RRC est décrite dans l'équation précédente. La résolution dépend du facteur de proportionnalité.

4.4.7 Emission de données (IOD, *issue of data*)

L'IOD diffusée par la station de référence est la valeur dans les messages de navigation du système GPS qui correspond aux données des éphémérides du système GPS utilisées pour calculer les corrections. Il s'agit de données essentielles qui permettent de s'assurer que les calculs de l'équipement de l'utilisateur et les corrections de la station de référence sont basés sur le même ensemble de paramètres d'orbite de diffusion, et d'horloge.

4.4.8 T_b de données de navigation (TOD, *T_b of navigation data*)

Intervalle, pendant la période de 24 h UTC(SU) actuelle, qui inclut les informations d'exploitation transmises dans la trame.

4.4.9 Numéro de séquence

Le numéro du message devrait être le même pour toutes les parties d'un message de texte. Le numéro du message devrait augmenter d'une unité pour les messages de texte ultérieurs, en recommençant à «000» après «111».

4.4.10 Fin de message (fin)

La fin de message indique la dernière partie d'un message de texte. Une valeur de «0» devrait indiquer que d'autres parties sont nécessaires pour compléter le message du texte. Une valeur de «1» devrait indiquer la fin du message de texte.

4.4.11 Caractères de texte

Dans chaque partie d'un message de texte on compte jusqu'à six (6) caractères de huit (8) bits chacun. Les codes compris entre 0 et 127 devraient correspondre aux codes ASCII normalisés. Les caractères cyrilliques devraient être représentés par des codes supérieurs à 127.

4.5 Contrôle de redondance cyclique (CRC, *cyclic redundancy check*)

Le CRC devrait être obtenu à l'aide du polynôme suivant:

$$G(x) = x^{14} + x^{13} + x^7 + x^5 + x^4 + 1$$

Pour calculer le CRC on applique les étapes suivantes:

Etape 1: traduction des données, y compris du champ du type de message en un polynôme selon la convention définie au Tableau 11. Le polynôme qui en résulte ne doit pas contenir de x d'ordre supérieur à x^{55} ;

Etape 2: multiplication du polynôme obtenu dans l'Etape 1 par x^{14} ;

Etape 3: division du polynôme obtenu dans l'Etape 2 par le polynôme générateur;

Etape 4: la traduction du reste de la division obtenu dans l'Etape 3 en une représentation binaire donne le CRC.

TABLEAU 11

Relation entre la représentation binaire et celle en polynôme

Position	Numéro de bit	Multiplié par
Symbole le moins significatif	I_1	x^0
	I_2	x^1

Symbole le plus significatif	I_n	x^{n-1}
