

GARDE CÔTIÈRE DU CANADA



Norme de Diffusion du Système Mondial de Localisation Différentiel (DGPS) pour la Navigation Maritime

Révision 23 septembre 2003



TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION

1.1 OBJET.....	5
1.2 PORTÉE	5

2. FORMAT DU SIGNAL.....7

2.1 GÉNÉRALITÉS	7
2.2 TYPES DE MESSAGE	7
2.2.1 EN-TÊTE DE MESSAGE	7
2.2.2 MESSAGE DE TYPE 3.....	7
2.2.3 MESSAGE DE TYPE 5.....	9
2.2.4 MESSAGE DE TYPE 7.....	9
2.2.5 MESSAGE DE TYPE 9.....	12
2.2.6 MESSAGE DE TYPE 16.....	13
2.2.7 HORAIRE DE DIFFUSION DES MESSAGES	14

3. PERFORMANCE DU SYSTÈME16

3.1 PRÉCISION.....	16
3.2 DISPONIBILITÉ	16
3.3 CONCEPTION DE LA STATION DE DIFFUSION DGPS	17
3.4 COUVERTURE DE DIFFUSION DGPS	19

4. FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME.....20

4.1 INTÉGRITÉ DU SYSTÈME.....	20
4.2 MODE DE DÉFAILLANCE/PAR DÉFAUT DU SYSTÈME DGPS	21

5. CAPACITÉ DU MATÉRIEL UTILISATEUR.....23

6. INFORMATION SUR LE DGPS.....25

7. SÉLECTION DES STATIONS DGPS.....26

GLOSSAIRE.....27

1. INTRODUCTION



1.1 OBJET

La norme de diffusion du système mondial de localisation différentiel (DGPS) de la Garde côtière canadienne est un document de référence qui spécifie le format, le contenu d'information, les paramètres de modulation, la zone de couverture et l'utilisation du signal qui est diffusé par un réseau de radiophares maritimes qu'exploite la Garde côtière canadienne. Ce réseau doit principalement desservir les régions côtières, les grandes voies navigables canadiennes, les zones des services de gestion du trafic maritime et les ports. Sa couverture chevauchera aussi celle du DGPS des États-Unis dans les eaux contiguës.

La présente norme spécifie aussi la performance du système, que peut procurer l'utilisation de matériel DGPS approprié. Les éléments de performance et de fonctionnement essentiels au matériel utilisateur sont également examinés.

1.2 PORTÉE

Le service de navigation DGPS du Canada complète le système mondial de localisation (GPS) Navstar en fournissant des facteurs de correction de pseudo-distance localisée et de l'information auxiliaire, diffusés à l'aide d'un réseau de radiophares maritimes MF implantés à des emplacements stratégiques. Ce service offrira au navigateur une précision horizontale de 10 mètres ou mieux 95% du temps dans toutes les zones de couverture.

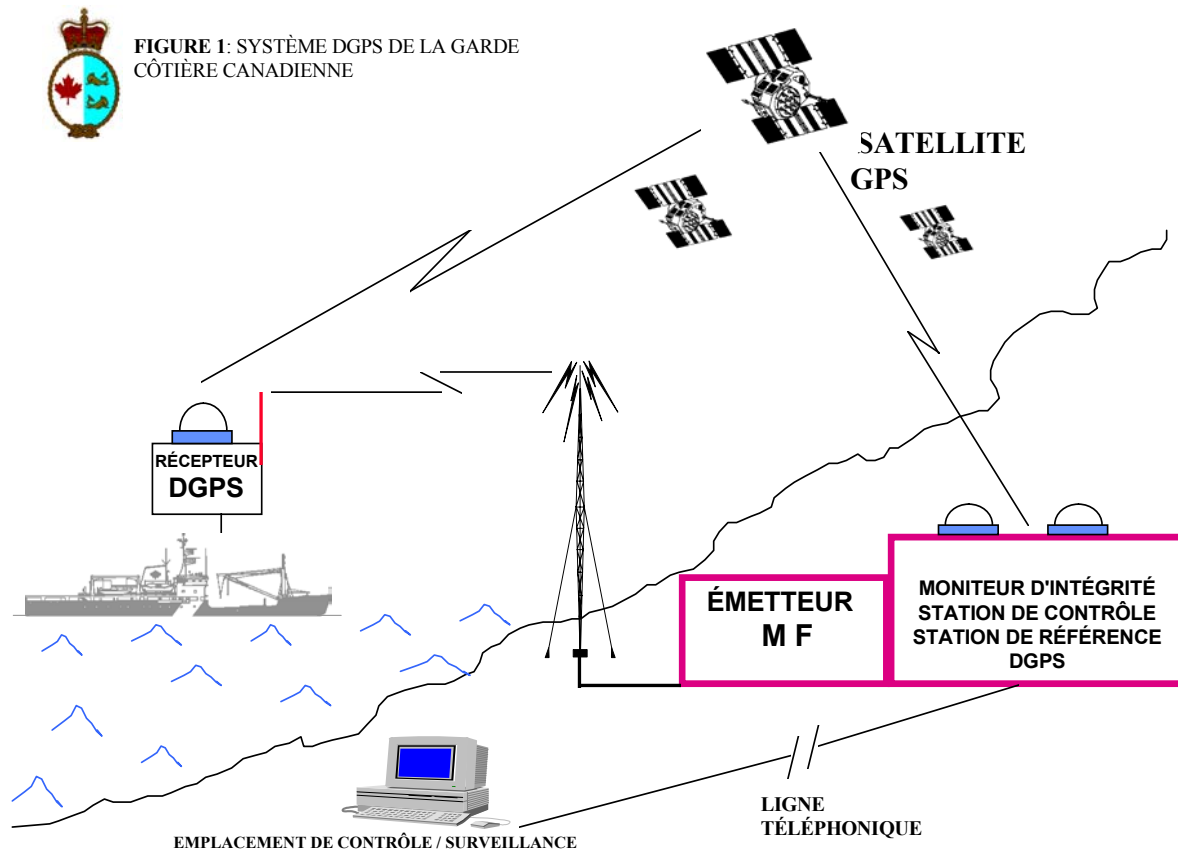
Le matériel utilisateur reçoit l'état du système et les mises à jour des données de façon continue. La station de référence DGPS utilise un niveau de référence du NAD 83 pour la position relevée de son antenne. Par conséquent, le matériel utilisateur doit afficher le repère sur le niveau de référence du NAD 83 lorsqu'il fonctionne dans le mode différentiel. Non seulement le service de navigation du DGPS améliore-t-il la précision du système de positionnement standard (SPS), mais il offre aussi les fonctions d'intégrité, de surveillance et de rapport en temps réel (pour obtenir plus de renseignements sur le SPS, voir le document de référence, «Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification», 5 novembre 1993, publié par le département de la Défense des États-Unis).

Les émissions DGPS seront diffusées dans la bande 285-325 kHz, attribuée à la radionavigation maritime (radiophares). Les radiophares maritimes seront exclusivement utilisés pour diffuser des signaux DGPS sur la porteuse principale au moyen de la modulation à déplacement minimum (MSK). Il n'est pas prévu d'émettre une tonalité d'identification de radiophare. Le signal modulé contiendra l'information DGPS et l'identité de la station DGPS émettrice.

La figure 1 illustre le principe du service de navigation DGPS. Une station DGPS type comprend des stations de contrôle (CS), des stations de référence (RS), les moniteurs d'intégrité (IM) qui lui



sont associés pour vérifier l'état et l'intégrité de la diffusion et l'émetteur de radiophare MF servant à diffuser l'information DGPS aux utilisateurs. Une station de contrôle et de surveillance (CM), située à un site d'exploitation de la Garde côtière où du personnel est présent 24 heures par jour, maintient continuellement des communications bidirectionnelles par lignes téléphoniques vers les stations DGPS. La station CM surveille l'état du système.





2. FORMAT DU SIGNAL

2.1 GÉNÉRALITÉS

Les données de diffusion sont constituées d'un sous-ensemble sélectionné des types de message contenus dans la publication «Recommended Standards for Differential Navstar GPS Service» du Comité spécial no 104 de la RTCM, datée du 3 janvier 1994 et désignée dans la présente norme par «RTCM SC104 (version 2.1.)». Tous les types de message sélectionnés seront diffusés dans le format de ce document, sauf indication contraire ou modification par une version ultérieure.

2.2 TYPES DE MESSAGE

Les messages des types 3, 5, 6, 7, 9 et 16 de la RTCM SC104 (version 2.1.) seront diffusés dans le service de navigation DGPS. S'il y a lieu, les messages du type 15 (paramètres atmosphériques), actuellement indéfini, pourront aussi être inclus à une date ultérieure. La performance énoncée du système ne s'applique qu'au matériel utilisateur intégrant tous les types de message susmentionnés. La RTCM SC104 (version 2.1.) exige que le fournisseur de services spécifie plus précisément le contenu de plusieurs types de messages. Une description plus précise est fournie pour les messages des types 3, 5, 7, 9 et 16, avec une description complète de l'utilisation de l'en-tête des messages lorsque l'exploitation s'effectue dans le service de navigation DGPS. Les messages du type 6 sont des messages de remplissage employés seulement lorsque la station de référence n'a aucun autre message à diffuser. Sauf indication contraire, tous les types de message s'appliquent de la façon recommandée dans la RTCM SC104 (version 2.1.). Dans le but de fournir à l'utilisateur un service DGPS nord-américain ininterrompu, des arrangements seront négociés avec les autorités des États-Unis relativement à un service réciproque visant l'information de certains types de messages (p. ex. les messages des types 7 et 16), particulièrement lorsque les stations de référence DGPS adjacentes relèvent de la compétence des États-Unis.

2.2.1 EN-TÊTE DE MESSAGE.

Le champ de conformité de station («Station Health Field») (bits 22-24) apparaît dans l'en-tête de deux mots de tous les messages, y compris les messages de type 9 (9-1 et 9-3). Le tableau 1 donne la signification pertinente des bits de ce champ. Les améliorations de précision de l'UDRE (erreur de distance différentielle de l'utilisateur) ajoutent une valeur substantielle au système. Pour les messages de type 9-3, le facteur d'échelle de l'UDRE est déterminé par le satellite pour lequel la valeur UDRE est la plus élevée. Dans les cas d'état non conforme ou non surveillé, le facteur d'échelle de l'UDRE est égal à l'unité (1).

TABLEAU 1. CHAMP DE CONFORMITÉ DE STATION DE L'EN-TÊTE DES MESSAGES



CODE	INDICATION
111	DIFFUSION INCORRECTE
110	DIFFUSION NON SURVEILLÉE
101	FACTEUR D'ÉCHELLE DE L'UDRE = 0,10
100	FACTEUR D'ÉCHELLE DE L'UDRE = 0,20
011	FACTEUR D'ÉCHELLE DE L'UDRE = 0,30
010	FACTEUR D'ÉCHELLE DE L'UDRE = 0,50
001	FACTEUR D'ÉCHELLE DE L'UDRE = 0,75
000	FACTEUR D'ÉCHELLE DE L'UDRE = 1,00

2.2.2 MESSAGES DE TYPE 3.

Un message de type 3 contient des renseignements sur l'identité et la position relevée de la station de référence active dans la station DGPS. Deux stations de référence se trouveront à chaque station DGPS («double» redondance). À tout moment, l'une sera en ondes et l'autre servira de «relève instantanée». Lors du changement de la station de référence, les coordonnées de position diffusées dans les messages de type 3 changeront pour refléter la position relevée et l'identité de l'autre station de référence. Les messages de type 3 comprennent les coordonnées du NAD 83, car ce système est le seul en Amérique du Nord qui puisse tirer profit de la résolution en centimètres indiquée dans les messages.

2.2.3 MESSAGES DE TYPE 5

Les messages de ce type informent le matériel utilisateur qu'un satellite jugé non conforme d'après le message de navigation en vigueur est cependant utilisable pour la navigation DGPS. Pour indiquer cette condition, la station de référence sélectionne la fonction de validation de conformité («Health Enable Function») dans les messages de type 5. Par exemple, un satellite dont l'horloge dérive lentement peut ne pas convenir au GPS, mais être à même de s'utiliser pour le DGPS une fois les corrections apportées par la station de référence. Le matériel utilisateur ne doit pas avoir recours à un satellite non conforme, à moins qu'un message du type 5 permettant le recours à un tel satellite n'ait été reçu au cours des trente minutes précédentes. Si le dernier message de type 5 reçu n'indique pas qu'un satellite non conforme peut être utilisé, on cessera de le faire si tel était le cas auparavant (p. ex. en raison d'un message antérieur de type 5).



2.2.4 MESSAGES DE TYPE 7

Un message de type 7 contient de l'information sur la station de diffusion DGPS et sur les deux ou trois stations DGPS adjacentes. Lorsque les stations adjacents relèvent de la juridiction des États-Unis, des arrangements appropriés seront conclus dans le but de fournir l'information réciproque. Le matériel utilisateur doit mettre à jour le registre interne dès la réception d'information nouvelle. Le contenu du registre interne doit être stocké dans une mémoire non volatile. Lorsqu'une diffusion devient non conforme ou non surveillée dans une zone de couverture DGPS, le message de type 7 indique la condition existante. À la réception du message de type 7 suivant, le matériel utilisateur doit immédiatement mettre à jour son registre interne. En outre, lorsqu'une station devient non conforme ou non surveillée, le matériel utilisateur est immédiatement avisé au moyen de l'indicateur de conformité de la station, contenu dans le deuxième mot de l'en-tête de message universel. L'utilisateur doit pouvoir examiner le contenu du message de type 7 en vigueur afin d'obtenir de l'information sur les zones de couverture dans lesquelles il pourrait bientôt pénétrer.

2.2.5 MESSAGES DE TYPE 9

En raison des avantages que constituent une plus grande immunité au bruit impulsif, un retard inférieur et le déclenchement opportun des alarmes, les messages de type 9 ont été sélectionnés pour les corrections de pseudo-distance de diffusion, au lieu des messages de type 1. Il existe deux méthodes de transmission des messages de type 9.



2.2.5.1 MESSAGES DE TYPE 9-3

La première méthode de diffusion des corrections de pseudo-distance (PRC) se fonde sur les «messages de type 9 de trois satellites», appelés messages de «type 9-3». Selon cette méthode, tous les satellites pour lesquels des corrections sont diffusées sont assignés soit à des messages de type 9 de trois satellites, soit à un message restant d'un ou de deux satellites. La vitesse de transmission peut être de 100 ou de 200 bit/s. Par exemple, les corrections de pseudo-distance de huit satellites sont fournies par trois messages de type 9, deux avec trois satellites et un avec deux satellites. Les corrections sont diffusées en nombre égal pour chacun des satellites. Afin d'optimiser l'utilisation du facteur d'échelle de l'UDRE dans l'en-tête de message, les satellites sont regroupés en messages d'après leurs valeurs UDRE. À la vitesse de transmission de 200 bit/s, cela correspond à une réduction minimale de quarante pourcent des pertes de messages, par comparaison avec les messages de type 1 diffusés dans des conditions de bruit élevé au même débit binaire. La figure 2 illustre le retard relatif des différents types de messages de PRC. À noter que, les corrections pouvant s'appliquer dès que la parité a été confirmée pour les mots contenant une correction donnée, les retards indiqués sur la figure 3 représentent des valeurs maximales. La précision de la PRC est essentiellement fonction du retard correspondant à la correction de vitesse en distance (RRC), étant donné qu'il s'agit de la seule composante PRC pour laquelle l'erreur est fonction du temps. L'erreur de l'expression $PRC(t_0)$ est fixe au moment de la mesure, et toute erreur résultant de sa propagation est fonction de la précision de RRC. La figure 3 illustre un avantage supplémentaire du message de type 9 : la correspondance des PRC. Lorsque le retard obtenu pour certains satellites s'approche du maximum, celui des autres est très faible, de telle sorte qu'un facteur d'immunité est intégré aux fortes accélérations de pseudo-distance pour un ou plusieurs satellites. Le potentiel de pondération des pseudo-distances en fonction du retard est évident et devrait être avantageux pour l'utilisateur.

Cette méthode de transmission d'un message de type 9 à 100 bit/s et à 200 bit/s servira respectivement pour les zones de couverture standard et améliorée/multiple.

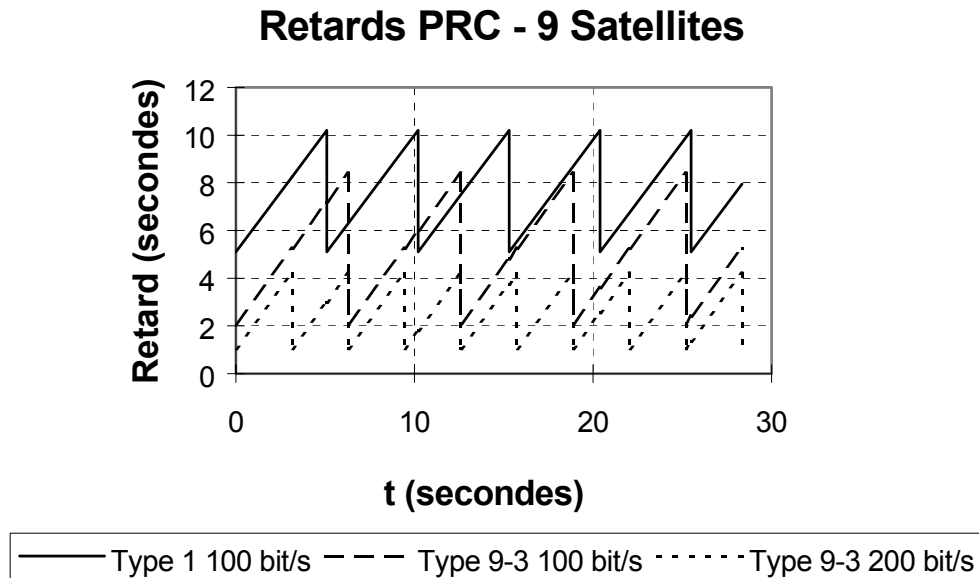


Figure 2 Retards PRC pour les corrections de types 1 et 9-3

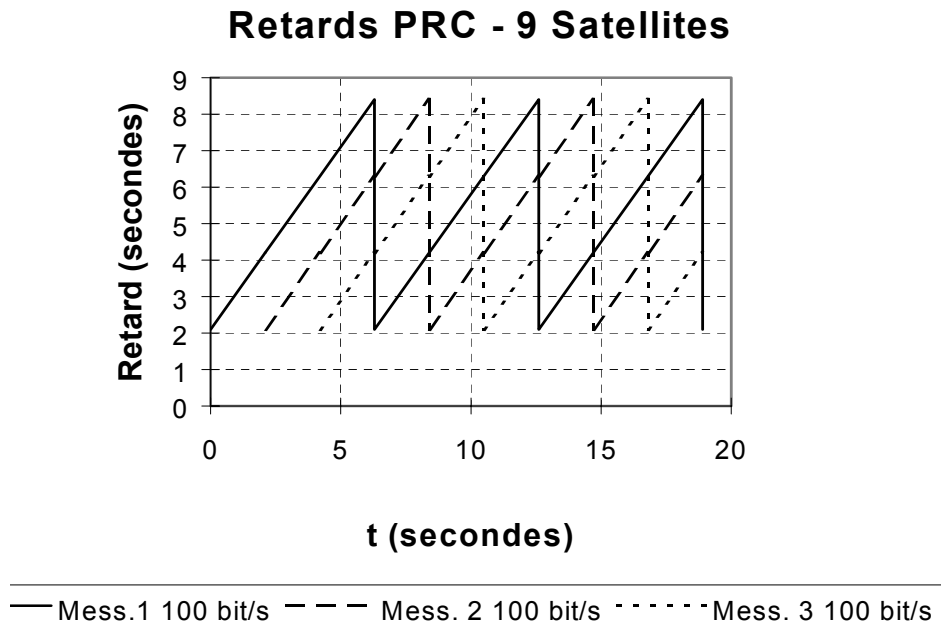


Figure 3. Retards PRC pour trois messages 9-3



2.2.5.2 MESSAGES DE TYPE 9-1

La deuxième méthode de diffusion des corrections de pseudo-distance consiste à diffuser un message particulier de type 9 pour chaque satellite à la vitesse de transmission de 50 bit/s. Un tel message est appelé «message de type 9 de satellite unique» et est désigné dans le présent document par «message de type 9-1». Cette technique procure un niveau élevé d'immunité au bruit impulsif, ce qui étend la portée efficace de diffusion. Elle sera utilisée seulement si les États-Unis abandonnent en permanence la disponibilité sélective (SA). En raison de la longueur des messages de PRC, il serait impossible d'utiliser pour le moment les basses vitesses de transmission, p. ex. 50 bit/s, ce qui pourrait empêcher de satisfaire à l'exigence de temps d'alarme. Le retard supplémentaire ne poserait pas de problème à cause de l'absence de SA. Les corrections sont diffusées en nombre égal pour tous les satellites, quelles que soient leurs vitesses ou leurs accélérations en pseudo-distance.

Le tableau 2 présente un résumé des méthodes susmentionnées de transmission de messages de type 9.

Tableau 2. Paramètres de diffusion de messages PRC

MÉTHODE	TYPE DE MESSAGE	DÉBIT DONNÉES	VITESSE TRANS.
1a	TYPE 9-3	200 bit/s	200 bit/s
1b	TYPE 9-3	100 bit/s	100 bit/s
2 ¹	TYPE 9-1	50 bit/s	50 bit/s

¹Utilisation autorisée maintenant les États-Unis abandonnent la SA en permanence.



Comme chaque message de type 9 renferme les corrections les plus récentes possible, les corrections contenues dans chacun des messages de type 9 sont calculées à des moments différents (c.-à-d. aussi près que possible du moment de diffusion). Le matériel utilisateur peut mélanger des corrections dont le calcul diffère d'un maximum de 30 secondes, de sorte que la station de référence doit utiliser une source de fréquence extrêmement stable, d'une précision de 1×10^{-11} (variance Allan de 30 secondes). L'utilisation d'une fréquence de référence extrêmement stable et d'une horloge à commande précise offre l'avantage supplémentaire de permettre les corrections pour chaque satellite, dès leur réception et tant qu'est confirmée la parité des deux mots pouvant contenir une correction donnée. Cette fonction doit être intégrée aux messages de type 9 de tout le matériel utilisateur. Règle générale, l'horloge de la station de référence se situe en deçà de 100 ns par rapport au temps GPS. La stabilité de l'horloge est beaucoup plus importante que la précision absolue du temps, car les PRC sont produites relativement les unes aux autres pour une station de référence donnée.

Plus courts et caractérisés par une plus grande fréquence des préambules, les messages de type 9 procurent une performance considérablement améliorée d'immunité au bruit impulsif, par comparaison avec les messages de type 1. La fréquence supérieure des préambules permet une resynchronisation beaucoup plus rapide, surtout durant les périodes de bruit élevé. Comme il a été indiqué précédemment, même dans les conditions de faible bruit, les messages de type 9-3 donnent des retards inférieurs aux messages de type 1, ce qui les rend avantageux aux bas débits de données ainsi que dans les environnements à bruit élevé. Cette caractéristique est particulièrement utile du fait que l'augmentation de l'erreur de position résultant d'un retard est non linéaire.

Si un satellite devient soudainement non conforme alors qu'il est utilisé par une station de référence donnée, PRC(t_0) et RRC prennent les valeurs prédéterminées spécifiées dans la RTCM SC104 (version 2.1) pour désigner cette condition.

2.2.6 MESSAGES DE TYPE 16

Les messages de type 16 seront utilisés pour compléter au moment nécessaire les avis aux navigateurs maritimes afin de fournir de l'information sur l'état du service DGPS local non fournie dans les autres types de messages. De plus, les messages de type 16 peuvent procurer de l'information limitée sur les pannes de service dans les zones de couverture adjacentes ou sur les interruptions planifiées pour des travaux de maintenance à n'importe quel emplacement de diffusion. Afin de maintenir la charge de la liaison de données à son minimum, les messages de type 16 contiendront seulement l'information du système qui est cruciale pour la sécurité de la navigation. Aucune diffusion d'un message de type 16 ne dépassera 4,8 secondes. À 200 bit/s, cette durée correspond à 32 mots, soit un maximum de 90 caractères une fois qu'il a été tenu compte de l'en-tête du message. Les messages de type 16 ne sont pas destinés à remplacer les avis aux navigateurs maritimes, même s'ils ont trait à l'information DGPS. Les messages de type 16 serviront à avertir l'utilisateur d'une interruption de service pour laquelle une diffusion dans une zone de couverture



adjacente peut indiquer l'état non conforme, non surveillé ou non disponible. Cette information serait utile au navigateur maritime qui projette de traverser une zone touchée ou dont le matériel, dans les conditions existantes, est incapable d'effectuer une sélection automatique à partir du registre des radiophares. Le message de type 7 peut, à des fins de planification, donner des détails supplémentaires sur une interruption de service.

La capacité d'information des navigateurs quant aux zones de couverture adjacentes dans le message de type 16 n'est pas encore mise en œuvre. Elle sera parfaitement opérationnelle lorsque la capacité intégrale du réseau sera mise en œuvre (voir également section 4.2).

2.2.7 HORAIRE DE DIFFUSION DES MESSAGES

Le flot des données courantes comprend principalement des messages de type 3, 7 et 9, et la diffusion des messages de type 5, 6 et 16 ne s'effectue qu'à titre exceptionnel. Avec la venue des récepteurs de poursuite continue, les messages de type 2 ne sont plus nécessaires et leur utilisation ne ferait qu'augmenter le retard des diffusions. Pour chaque nouvelle transmission de données (IOD), il y aura un retard de 90 secondes avant que les corrections de pseudo-distance de diffusion soient calculées pour la nouvelle IOD. Ce retard devrait s'avérer plus qu'adéquat pour un récepteur DGPS à poursuite continue, étant donné qu'il permettra de lire instantanément les messages de navigation à mesure qu'ils seront diffusés par chaque satellite. Tout blocage à court terme d'un satellite à l'IOD, par exemple au moment du passage sous un pont, sera compensé par le retard de 90 secondes. Cette méthode de traitement des nouvelles IOD exige que le matériel utilisateur stocke à la fois la nouvelle et l'ancienne IOD pour la période visée. Les messages de types 3, 5, 7, 15 et 16 ne seront pas diffusés à moins de 90 secondes l'un de l'autre, quelles que soient les circonstances.

- a) Message de type 3 - Un message de type 3 sera diffusé à la quinzième et à la quarante-cinquième minutes de chaque heure.
- b) Message de type 5 - Si un satellite non conforme est jugé utilisable pour le DGPS, un message de type 5 sera diffusé cinq minutes après l'heure et toutes les quinze minutes par la suite. Si un satellite non conforme jugé utilisable est par la suite considéré inutilisable, la station de référence arrêtera de diffuser des corrections pour le satellite en question.
- c) Message de type 7 - Un message de type 7 ordinaire sera diffusé à des intervalles de dix minutes débutant sept minutes après l'heure. Des messages de type 7 spéciaux seront diffusés dès que possible, sous réserve des autres contraintes liées à l'horaire de diffusion, dans le cas de changements d'état d'un radiophare dans le registre. Cela aidera le matériel utilisateur à choisir le radiophare approprié.
- d) Message de type 9 - Un message de type 9 sera utilisé pour diffuser les corrections visant seulement les satellites situés à un angle de site de 7,5 degrés ou plus. La couverture GPS officielle repose sur des angles de site de dix degrés ou plus. Les satellites situés à des angles de site inférieurs à 7,5 degrés sont touchés négativement par la décorrélation



spatiale, par les trajets multiples et par le temps de traitement minimal entre l'acquisition et l'utilisation effective. Le niveau de 7,5 degrés est identique à celui recommandé par le Comité spécial 159 de la RTCA. Des corrections seront diffusées pour tous les satellites visibles au-dessus de l'angle de masquage. Les utilisateurs du système de localisation qui sont intéressés à obtenir le plus haut degré de précision possible doivent avoir recours à un angle de masquage supérieur de manière à éviter les effets atmosphériques plus grands associés aux satellites à basse altitude. Lorsqu'une station de référence perd un satellite, elle diffuse une indication vers le matériel utilisateur afin que les corrections relatives à ce satellite ne soient plus appliquées au système de navigation (voir détails au paragraphe 4.1).

- e) Message de type 16 - Les messages de ce type seront diffusés selon les besoins, mais dans des limites très strictes. L'intervalle entre les messages successifs de type 16 sera d'au moins trois minutes.



3. PERFORMANCE DU SYSTÈME

3.1 PRÉCISION

La précision des positions du service DGPS doit être d'au moins 10 mètres (95 % du temps) dans toutes les zones de couverture spécifiées (pour la constellation totale des 24 satellites GPS et une valeur HDOP < 2,3). Comme la position relevée de l'antenne de la station de référence DGPS est établie en fonction du système de coordonnées NAD 83, la position déterminée de façon différentielle par l'utilisateur est convertie par procédé inhérent au système de coordonnées NAD 83. Lorsqu'il utilise les cartes NAD 83 à l'intérieur de la zone de desserte, le matériel utilisateur n'a à effectuer aucune conversion de niveau de référence par rapport au WGS-84.

3.2 DISPONIBILITÉ

Une émission DGPS est définie comme étant satisfaisante quand :

- a) elle est conforme²;
- b) la limite de dépassement de temps de la PRC pour au moins quatre satellites n'a pas été atteinte;
- c) le numéro d'identification de la station DGPS correspond au registre du radiophare.

L'utilisateur est principalement intéressé à recevoir un signal DGPS satisfaisant avec un minimum d'interruptions. Appelé «disponibilité utilisateur», ce paramètre est fonction de trois facteurs :

- a) la fiabilité de la station DGPS;
- b) l'effet du bruit atmosphérique empêchant le matériel utilisateur de recevoir des émissions DGPS autrement conformes;
- c) le fait qu'un utilisateur se trouve dans une zone de couverture standard/améliorée ou dans une zone de couverture multiple.

Le premier volet de la disponibilité utilisateur réside dans la fiabilité de tout le matériel des stations de diffusion DGPS (voir figure 2). Appelée fiabilité de diffusion, elle est établie à au moins 99,7 % (voir des détails sur cette expression dans la section DÉFINITIONS A.2). Un utilisateur peut considérer cette fiabilité comme la probabilité qu'un message DGPS diffusé procure des corrections

² Une émission DGPS est jugée conforme si elle satisfait aux exigences suivantes :

- a) la limite de protection est respectée;
- b) l'émission est surveillée.
- c) Le RS reçoit une RSID correct
- d) L'erreur en position est moins que la tolérance admissible



DGPS conformes, à une puissance spécifiée, lorsqu'un utilisateur sélectionne le message en question.

Le second volet de la disponibilité utilisateur est appelé disponibilité de diffusion. Étant donné que le bruit atmosphérique varie selon le temps et la région, une modélisation permet de déterminer la disponibilité des signaux à différents emplacements de stations de diffusion DGPS au moyen des facteurs de bruit du CCIR. Ce processus sert aussi à évaluer la puissance apparente rayonnée nécessaire pour chaque émetteur de radiophare et la région de couverture dans laquelle cette disponibilité est assurée (voir la définition de la couverture au paragraphe 3.4).

Le troisième volet permet d'offrir fournit la disponibilité optimale étant donné que le service pourra être assuré par une autre station DGPS en cas de panne totale d'une station DGPS.

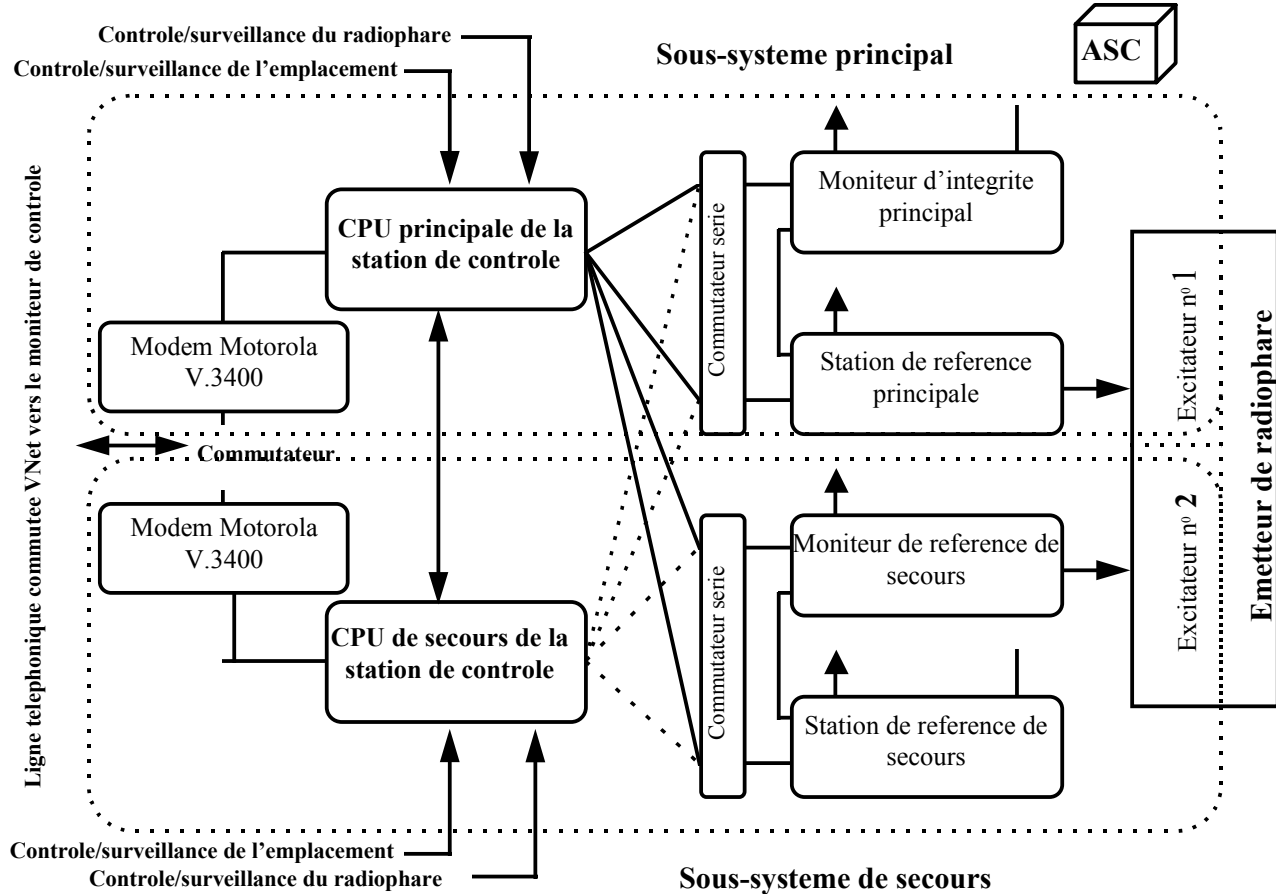
Il sera nécessaire de recueillir à long terme des données DGPS empiriques et d'analyser l'expérience opérationnelle pour établir avec précision le facteur de disponibilité utilisateur.

3.3 CONCEPTION DE LA STATION DE DIFFUSION DGPS

La redondance du matériel permet d'atteindre une fiabilité de 99,7 % (voir figure 4). La figure 4 illustre une configuration de station de diffusion DGPS représentative qui permet d'atteindre cet objectif.



Figure 4. Schema fonctionnel d'une station DGPS



La station de référence (RS) et le moniteur d'intégrité (IM) fonctionnent en autonomie. Lorsque la RS ou l'IM tombe en panne, le matériel redondant doit passer en ligne par l'intermédiaire de la station de contrôle (CS) ou à la suite d'instructions du moniteur de contrôle. Dans ce dernier cas, la transmission des signaux DGPS prend plus de temps à se rétablir du fait qu'elle exige les instructions d'un opérateur.



3.4 COUVERTURE DE DIFFUSION DGPS

Le rendement de la couverture DGPS peut être affecté par des bruits atmosphériques et d'origine humaine qui sont captés dans la bande passante du récepteur de radiophare. L'expérience a démontré que le niveau de bruit dans les eaux territoriales est considérablement plus élevé qu'en mer. Ainsi, deux niveaux de couverture sont publiés:

Couverture en mer: La zone de desserte de radiodiffusion DGPS en mer sera définie comme la zone en dedans de laquelle le signal radio DGPS présente une force de signal d'au moins 75 uV/m ou définie comme zone offrant une disponibilité du signal d'au moins 99% en conditions d'une moyenne annuelle de bruit, la plus exigeante des conditions l'emportant.

Couverture terrestre: La zone de desserte de radiodiffusion DGPS terrestre sera définie comme la zone en dedans de laquelle le signal radio DGPS présente une force de signal d'au moins 100 uV/m ou définie comme zone offrant une disponibilité du signal d'au moins 99% en conditions d'une moyenne annuelle de bruit, la plus exigeante des conditions l'emportant.

Les niveaux des signaux DGPS peuvent être réduits par endroits à l'intérieur d'une zone de couverture publiée en raison d'obstacles naturels comme les fjords ou artificiels comme les ponts. Dans la mesure où le récepteur continue à capter et à décoder les données de correction DGPS dans le signal de niveau réduit, la qualité de la sortie en position du récepteur de l'utilisateur n'en souffrira pas.

Tous les radiophares Canadiens diffusent avec un débit de 200 bits par seconde, peu importe s'ils fournissent une couverture terrestre ou en mer.

Une redondance de couverture radio provenant de stations Canadiennes et Américaines est disponible en plusieurs endroits.

Les particularités des couvertures DGPS au Canada sont indiquées dans les Aides radio à la navigation maritime de Pêches et Océans Canada (publications 5470 et 5471 du MPO).



4. FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

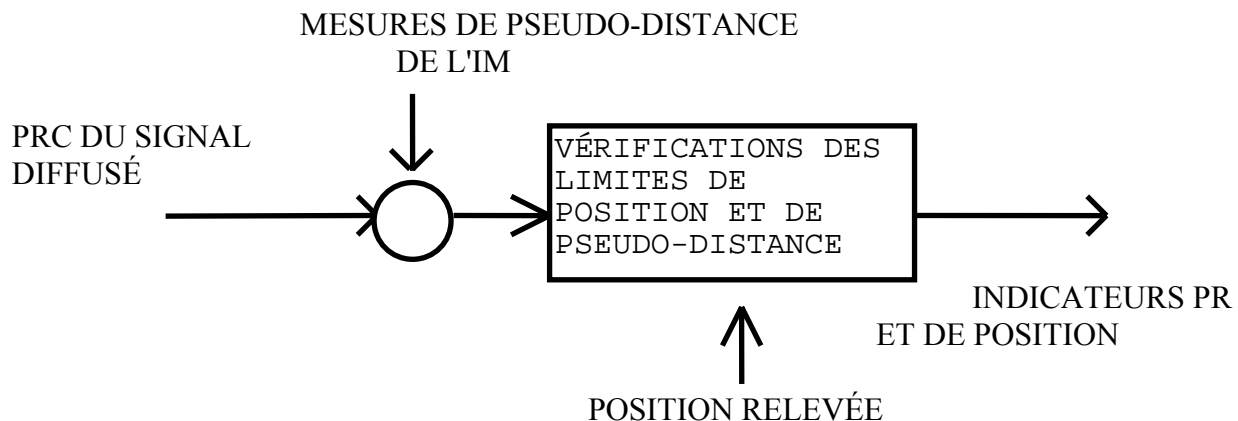
4.1 INTÉGRITÉ DU SYSTÈME

L'intégrité du système dépend de la capacité :

- a) de la station DGPS de produire des diffusions satisfaisantes;
- b) du système d'aviser l'utilisateur de toute condition hors tolérance ou non conforme des corrections du DGPS;
- c) du matériel utilisateur de traiter les alarmes du DGPS.

La station de référence est complétée par un moniteur d'intégrité (IM) co-implanté. L'IM vérifie la précision des PRC de diffusion au niveau des pseudo-distances et des positions. La figure 5 présente le processus utilisé par l'IM. Essentiellement, en connaissant sa propre position relevée (antenne GPS), un IM est capable d'évaluer si les PRC de diffusion et les positions DGPS établies respectent certaines limites spécifiées; si tel n'est pas le cas, il avise la station de contrôle et de surveillance (CM), dotée de personnel 24 heures par jour, ainsi que l'utilisateur. Afin d'augmenter l'intégrité du système, la station DGPS envoie à la station CM un message ordinaire d'état de la station toutes les demi-heure) ainsi que chacun des messages d'alarme.

Figure 5 - Fonctionnement du moniteur d'intégrité





Le moniteur d'intégrité vérifie l'exactitude des pseudo-distances et des positions et prend, le cas échéant, les mesures pertinentes décrites ci-dessous.

- a) Quand le résidu de pseudo-distance est élevé, une alarme de pseudo-distance est diffusée en réglant le champ PRC(t_0) à la valeur binaire 1000 0000 0000 0000 et le champ RRC, à la valeur 1000 0000. Si le matériel utilisateur détecte l'un ou l'autre de ces réglages, il doit immédiatement arrêter d'appliquer de l'information obtenue par PRC pour le satellite en question, jusqu'à ce que la condition d'alarme ait pris fin. La durée maximale de cette diffusion sera de 30 secondes.
- b) Dans le cas de la vérification de la position, une limite de protection correspondant à la solution surdéterminée doit être réglée dans l'IM pour avertir l'utilisateur que l'exactitude ne respecte pas les tolérances établies. L'IM utilise les valeurs UDRE de diffusion pour pondérer les pseudo-distances dans le calcul de la solution surdéterminée. La position connue de l'IM n'est pas incluse dans la solution surdéterminée qu'il calcule. Quand la valeur établie est dépassée après un intervalle défini, la diffusion devient incorrecte. L'intervalle entre le dépassement de la limite de protection et l'avertissement par alarme diffusée du matériel utilisateur sera inférieur à 10 secondes. Cet intervalle comprend la longueur maximale possible du message et l'en-tête du message suivant. C'est l'utilisation exclusive de messages de type 9 à titre de messages PRC qui permet d'obtenir des intervalles d'alarme aussi courts.

4.2 MODE DE DÉFAILLANCE/PAR DÉFAUT DU SYSTÈME DGPS

Un système est considéré défectueux lorsque l'une ou l'autre des conditions suivantes s'applique :

- a) diffusion incorrecte;
- b) absence de corrections de pseudo-distance dans la transmission du message;
- c) diffusion non surveillée (p. ex., défaillance du moniteur d'intégrité);
- d) absence de transmission de message.

S'il se produit l'une ou l'autre des conditions de défaillance mentionnées ci-dessus, les mesures qui s'imposent seront prises par l'opérateur afin d'alerter les navigateurs.

Si un radiophare a été reconnu «non conforme» ou «non surveillé» pendant un intervalle prolongé, cette situation sera diffusée à l'utilisateur sous forme d'un message de type 16 automatique.

Un message de type 6, de la RTCM sera diffusé lorsque la station de référence n'a aucun autre message à diffuser, c.-à-d. aucune correction de pseudo-distance.



Le registre d'une station défectueuse sera automatiquement mis à jour dès la reconnaissance d'une indication d'état «non conforme» ou «non surveillé». La mise à jour des registres des stations adjacentes sera possible à la mise en œuvre complète du réseau.

Les défaillances de modulateurs de stations de référence peuvent entraîner la diffusion de uns et de zéros en alternance, la diffusion d'une tonalité de porteuse unique ou la production d'aucune sortie.

Si on prévoit qu'une condition hors tolérance (p. ex. station ne diffusant pas) se prolongera pendant plus de deux heures ou aussi longtemps que le conseillera le surintendant aux aides maritimes, un avis aux navigateurs ou un avis à la navigation devraient être émis au besoin.



5. CAPACITÉ DU MATÉRIEL UTILISATEUR

Afin d'assurer l'intégrité du système de bout en bout, le matériel utilisateur doit au moins offrir la capacité suivante :

- a) recevoir et traiter tous les types de messages diffusés par la station DGPS, conformément à la description de la section 2;
- b) recevoir et traiter les différents messages, émis à 200, 100 et 50 bit/s;
- c) recevoir et traiter les divers messages provenant des conditions d'alarme et hors tolérances détectées à l'emplacement de la station de diffusion, conformément à la description ci-dessus;
- d) aviser l'utilisateur en cas d'alarme de niveau de pseudo-distance s'il existe à ce moment une constellation inadéquate à l'emplacement de l'utilisateur;
- e) aviser l'utilisateur lorsque la limite de protection est dépassée (voir les détails au paragraphe 4.1);
- f) sélectionner automatiquement le radiophare approprié avec priorité accordé à la proximité en premier et à la force du signal en deuxième;
- g) utiliser un récepteur à neuf canaux parallèles pour la réception DGPS (recommandation pour la navigation dans les voies navigables restreintes); dans les autres cas, un récepteur d'au moins cinq canaux doit être utilisé pour la navigation normale;
- h) combiner les valeurs UDRE et les facteurs d'erreur localisée, comme le bruit du récepteur utilisateur, le brouillage, les trajets multiples, le HDOP et le retard de PRC, afin d'atteindre un niveau de confiance relativement à la position affichée de l'utilisateur;
- i) détecter l'absence de messages RTCM contenant des corrections de pseudo-distance dans le flot de données et, le cas échéant, effectuer l'accord sur un radiophare maritime différent, avant la «limite de dépassement de temps de PRC». La diffusion de uns et de zéros en alternance ne doit occasionner aucune acquisition erronée, car la diffusion touchée serait indiquée comme non conforme dans le message de type 7;
- j) afficher un message textuel, fondé sur le contenu de l'en-tête de n'importe quel message diffusé de type DGPS concernant la condition non conforme ou non surveillée existant à la station de référence. En outre, une condition non conforme ou non surveillée doit déclencher une alarme visuelle;
- k) les messages de type 16 doivent être traités de la façon décrite en j);
- l) si un radiophare maritime est utilisé au-delà de 260 milles marins, le matériel utilisateur doit afficher cette condition afin d'indiquer que d'autres éléments d'erreur non considérés sont présents. La section 7 décrit l'utilisation du signal de diffusion au-delà de la portée spécifiée;



- m) conserver la capacité de traiter les messages de type 9-1 diffusés à 50 bit/s en cas d'abandon permanent de la SA;
- n) conserver la capacité de traiter les messages de type 1 en cas d'abandon permanent de la SA;
- o) éliminer toutes les corrections de pseudo-distance de la diffusion précédente avant d'appliquer les corrections de pseudo-distance tirées de la nouvelle diffusion;
- p) cesser immédiatement l'application de toute information découlant de PRC d'un satellite jusqu'à la fin de la condition d'alarme, quand tout message d'alarme de pseudo-distance est reçu de la station DGPS. Cela est réalisé en réglant le champ PRC(t_0) à la valeur binaire 1000 0000 0000 0000 et le champ RRC, à la valeur 1000 0000;
- q) aviser l'utilisation des alarmes de positions générées par la station DGPS en raison d'un manque de pseudo-distances conformes dû à un nombre insuffisant de satellites ou de la défaillance des fonctions de pondération de pseudo-distance ou de surveillance. Ces conditions sont indiquées par l'en-tête du message, qui permet de diffuser une alarme sans rompre la synchronisation de trame;
- r) aviser l'utilisateur d'une condition d'alarme sans surveillance (p. ex. la défaillance d'un IM). Cela est indiqué par l'en-tête du message et persiste d'ordinaire seulement quelques minutes. Pendant ce temps, l'IM redondant effectue l'évaluation initiale du message diffusé avant que l'état du système revienne à la condition surveillée. Comme les stations de référence active et de relève maintiennent des bases de temps synchronisées à 15 ns près l'une de l'autre, l'IM peut être à même de vérifier l'état de diffusion de la nouvelle station de référence en quelques secondes. Si les deux IM sont défectueux, la condition de non-surveillance persiste pour des périodes de temps prolongées;
- s) cesser l'utilisation de la correction de pseudo-distance si elle existe depuis plus de 30 secondes, étant donné que cette PRC ne devrait pas être appliquée à la solution de navigation de l'utilisateur. Quand des messages de type 9-3 sont diffusés à 200 bit/s, l'utilisateur doit manquer neuf mises à jour consécutives avant que la limite de dépassement de temps ne soit atteinte pour une pseudo-distance donnée;
- t) quitter le mode différentiel de navigation et passer au mode GPS s'il n'y a pas assez de satellites avec des corrections de pseudo-distance valides.



6. INFORMATION SUR LE DGPS

Le présent document ainsi que d'autres renseignements généraux concernant le système DGPS canadien peuvent être obtenus à l'adresse suivante :

Garde côtière canadienne
Direction générale des services à la navigation maritime
344, rue Slater
Ottawa (Ontario)
K1A 0N7

Des renseignements importants concernant le fonctionnement quotidien du DGPS et touchant les utilisateurs seront communiqués par les voies de communications appropriées de la Garde côtière, comme les «AVIS AUX NAVIGATEURS MARITIMES» et/ou les «AVIS AUX NAVIRES», selon le cas.

On peut se procurer le document «Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service» (version 2.1) du Comité spécial no 104 de la RTCM en téléphonant au (703) 684-4481 ou en écrivant à l'adresse suivante :

Radio Technical Commission for Maritime Services
1800 Diagonal Road
Suite 600
Alexandria, Virginia
22314-2840
USA
Fax. 1-703-8364229



7. SÉLECTION DES STATIONS DGPS

Le retard de la correction de pseudo-distance augmente et, par conséquent, l'exactitude de la position décroît quand le signal DGPS est faible ou moins fiable. Cela se produit normalement quand un navire se trouve à l'extérieur de la zone de couverture DGPS annoncée. Un autre facteur qui contribue à l'imprécision et qui est due à la décorrélation spatiale, devient plus prononcé quand on utilise une diffusion en provenance d'une station DGPS située à plus de 260 milles marins du navire. L'utilisateur doit tenir compte de ces facteurs quand il a recours à une diffusion de station DGPS.

Il ne faut en aucun cas utiliser une diffusion non conforme.

Le matériel utilisateur sera exposé à trois scénarios de sélection de station DGPS dans les eaux canadiennes :

- a) l'utilisateur se trouve dans la zone de couverture annoncée d'une station DGPS désignée par la GC;
- b) l'utilisateur se trouve dans la zone de couverture annoncée de deux ou plusieurs stations DGPS désignées par la GC;
- c) l'utilisateur se trouve à l'extérieur de la zone de couverture annoncée de toute station DGPS.

Selon le premier scénario, le matériel utilisateur doit utiliser la diffusion de la station DGPS désignée et surveiller continuellement sa conformité et divers paramètres. Si la diffusion devient non conforme, il faut suivre les lignes directrices énoncées ci-dessous.

Le deuxième scénario se produit dans une zone de couverture multiple. À un nombre limité d'emplacements où plusieurs diffusions sont disponibles, la diffusion la plus rapprochée n'est pas nécessairement celle où la puissance reçue est la plus élevée. La ou les stations DGPS de rechange désignées seront choisies quand une diffusion devient non conforme ou non surveillée. Si ces stations deviennent également non conformes, il faut tenter de vérifier l'état de la ou des stations DGPS désignées «défectueuses» avant de rechercher une diffusion satisfaisante d'une station DGPS non désignée, conformément aux lignes directrices énoncées ci-dessous.

Selon le troisième scénario, où il n'y a pas de stations DGPS désignées, le matériel utilisateur doit utiliser une diffusion satisfaisante de la station DGPS la plus proche, sous réserve des conditions énoncées dans les lignes directrices ci-dessous.

Il faut, lors de la recherche d'une diffusion satisfaisante, suivre les lignes directrices suivantes :

- 1) rechercher et utiliser une diffusion satisfaisante de la station DGPS non désignée la plus proche;



- 2) une diffusion satisfaisante provenant d'une station DGPS située à plus de 260 milles marins doit être utilisée avec prudence;
- 3) une diffusion non surveillée de toute station DGPS doit être utilisée avec prudence, et seulement après l'échec des procédures décrites en 1) et 2).



GLOSSAIRE

SIGLES

bit/s	bits par seconde
CM	moniteur de contrôle
CS	station de contrôle
dB	décibel
DGPS	système mondial de localisation différentiel
DPS	système mondial de localisation
HDOP	dilution horizontale de la précision
Hz	hertz
IM	moniteur d'intégrité
IOD	transmission de données
kHz	kilohertz
m	mètre
MF	ondes hectométriques
MSK	manipulation par déplacement minimal
NAD 83	North American Datum de 1983
NM	mille marin
ns	nanoseconde
PR	pseudo-distance
PRC	correction de pseudo-distance
RRC	correction de vitesse en distance
RS	station de référence
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
SNR	rapport signal/bruit
SPS	service de positionnement standard
uV/m	microvolt/metre
UDRE	erreur de distance différentielle de l'utilisateur



DÉFINITIONS

Couverture de diffusion : Région à l'intérieur de laquelle un utilisateur peut s'attendre à recevoir le service DGPS fourni par une station particulière. Sa limite est définie par le niveau du signal de diffusion spécifié (e.g. 75 uV/m) ou la disponibilité de diffusion spécifiée (normalement 99 %), le critère le plus exigeant étant celui qui doit s'appliquer. Pour une station DGPS donnée, ceci est appelé la zone de couverture publiée [voir appendice 2].

Débit de données : Nombre de bits d'information par seconde qui sont diffusés.

Disponibilité de diffusion : Pourcentage du temps durant lequel une diffusion DGPS appropriée (c.-à-d. conforme et à la puissance de signal spécifiée) peut fournir, à un emplacement déterminé, un rapport signal/bruit suffisant pour que du matériel utilisateur de bonne qualité puisse détecter et démoduler le signal.

Disponibilité utilisateur : Pourcentage du temps durant lequel un signal DGPS est disponible pour un utilisateur, dans n'importe quelle partie d'une zone de couverture permettant de satisfaire à la spécification de précision en position. Il s'agit d'un produit de la disponibilité de diffusion et de la fiabilité de diffusion.

Fiabilité de diffusion : Fonction du taux de défaillance prévu, c.-à-d. de la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) du DGPS et du matériel émetteur à un emplacement et du temps moyen de réparation, c.-à-d. de la moyenne des temps de travaux de réparation (MTTR). En termes statistiques :

$$\text{Fiabilité} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

La fiabilité de diffusion peut également s'exprimer comme la probabilité qu'une diffusion conforme puisse s'effectuer à une puissance spécifiée lorsqu'un utilisateur la choisit de façon aléatoire.

Intégrité : Aptitude d'un système à avertir rapidement les utilisateurs lorsqu'il ne doit plus être utilisé pour la navigation ainsi qu'à vérifier la validité de diffusion du DGPS.

Limite de protection : Erreur de position de l'utilisateur, mesurée par un IM, qui ne doit pas être dépassée sans diffusion d'une alarme.



Niveau de référence : Système de coordonnées géodésiques propre à une région géographique donnée.

Non conforme : Incapable de fonctionner à l'intérieur des tolérances.

Non surveillé : Non contrôlé par un moniteur d'intégrité (IM).

Précision : La précision absolue est définie comme étant l'erreur maximale prévue de la position géographique telle que calculée par le matériel utilisateur DGPS à l'intérieur d'une limite statistique spécifiée. Dans le cas des systèmes DGPS, la limite est normalement la mesure d'erreur bidimensionnelle nommée 2 drms (deux fois l'erreur-type). Dans le cas du système DGPS canadien, la limite d'erreur est de 95 %, soit la valeur 2 drms minimale pour la distribution d'erreurs à deux variables normale. La précision des positions du service DGPS doit être d'au moins 10 mètres, 95 % du temps, dans toutes les zones de couverture spécifiées (pour la constellation totale des 24 satellites GPS et une valeur HDOP < 2,3).

Retard : Différence entre le moment où le premier bit d'un message donné est diffusé et le moment spécifié dans l'étiquette intégrée à l'en-tête des messages de correction de pseudo-distance. L'étiquette de temps de l'en-tête des messages indique le compte Z le plus rapproché de l'heure de la dernière mesure sur laquelle repose la correction. Le retard est spécifié sous forme de moyenne tenant compte de la différence entre le compte Z et le moment de la mesure, qui peut atteindre 0,6 seconde.

Temps avant alarme : Temps maximal admissible entre l'apparition d'une erreur à l'extérieur de la limite de protection du moniteur d'intégrité et la diffusion de l'alarme.

UDRE : Évaluation à un sigma de l'erreur de correction en pseudo-distance due au bruit ambiant et aux trajets multiples résiduels.

Vitesse de transmission : Nombre total de bits par seconde qui sont diffusés.



DGPS Beacon Information

Pacific

Site	ID of Ref Stations	DGPS Station ID	Position	Frequency [kHz]	BPS
Alert Bay	300, 301	909	50 35 N 126 55 W	309	200
Amphitrite Pt.	302, 303	908	48 55 N 125 33 W	315	200
Richmond	304, 305	907	49 06 N 123 11 W	320	200
Sandspit	306, 307	906	53 14 N 131 49 W	300	200

Central

Site	ID of Ref Stations	DGPS Station ID	Position	Frequency [kHz]	BPS
Warton	310, 311	918	44 45 N 81 07 W	286	200
Cardinal	308, 309	919	44 47 N 75 25 W	306	200



Maritimes

Site	ID of Ref Stations	DGPS Station ID	Position	Frequency [kHz]	BPS
Partridge Island	326, 327	939	45 14 N 66 03 W	295	200
Pt. Escuminiac	332, 333	936	47 04 N 64 48 W	319	200
Fox Island	336, 337	934	45 20 N 61 05 W	307	200
Western Head	334, 335	935	43 59 N 64 40 W	312	200
Hartlen Point	330, 331	937	44 36 N 63 27 W	298	200

Newfoundland

Site	ID of Ref Stations	DGPS Station ID	Position	Frequency [kHz]	BPS
Cape Race	338, 339	940	46 46 N 53 11 W	315	200
Cape Ray	340, 341	942	47 38 N 59 14 W	288	200
Cape Norman	342, 343	944	51 30 N 55 49 W	310	200
Rigolet	344, 345	946	54 15 N 58 30 W	299	200



Laurentian

Site	ID of Ref Stations	DGPS Station ID	Position	Frequency [kHz]	BPS
St.-Jean-sur-Richelieu	312, 313	929	45 19 N 73 19 W	296	200
Lauzon	316, 317	927	46 49 N 71 10 W	309	200
Riviere du Loup	318, 319	926	47 46 N 69 36 W	300	200
Moisie	320, 321	925	50 12 N 66 07 W	313	200