



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Garde côtière

Coast Guard



INTRODUCTION AU GPS ET DGPS



Édition 2000

Canada

Les questions qu'un navigateur maritime se pose le plus souvent sont les suivantes :

- ☛ Quelle est ma position actuelle ?
- ☛ Quel cap dois-je maintenir pour me rendre de ma position actuelle jusqu'à ma destination ?
- ☛ Quelle est la distance de ma position actuelle jusqu'à ma destination ?
- ☛ Quel est le cap que je suis en train de suivre ?
- ☛ Quelle est ma vitesse de fond ?
- ☛ Combien de temps me prendra-t-il pour arriver à destination à ma vitesse actuelle ?

Le navigateur peut compter sur les tracés traditionnels et sa maîtrise des mathématiques pour répondre à ces questions. Par temps clair, les relèvements visuels d'objets proéminents cartographiés et les repères visuels, associés aux données de vitesse et de distance du loch et de l'écho-sondeur, aident bien le navigateur. Mais c'est dans les conditions de visibilité réduite, lorsque le navigateur a perdu tout contact visuel avec la terre, qu'il lui devient plus difficile de répondre aux questions. Certes, un point estimé simple (DR) n'est pas à négliger comme dépourvu d'intérêt, mais il devient de plus en plus inexact avec le passage du temps.

Les aides électroniques à la navigation ont permis au navigateur de trouver une réponse à ses questions. Le radiophare Consol, le système de navigation Decca, le radiogoniomètre, les systèmes Loran-A, Loran-C, l'Omega, ainsi que le système Satnav et le radar ont tous contribué à assurer la sécurité des navires et la tranquillité d'esprit du navigateur. La plupart de ces aides à la navigation, à l'exception du radar, sont graduellement retirées du service ou devraient l'être. Heureusement qu'il existe à présent une aide à la navigation, le système de positionnement global (GPS), qui est supérieure à presque tous égards aux systèmes précédents.

Le système de positionnement global (GPS)

Le système de positionnement global ou GPS, est un système de radionavigation spatial qui permet aux utilisateurs équipés de récepteurs convenables de déterminer sur terre, sur mer ou dans les airs, leur position, leur vitesse et l'heure à n'importe quel moment du jour ou de la nuit et ce, quelles que soient les conditions météorologiques. Le système offre un niveau de précision équivalent ou supérieur à tout autre système de navigation actuel.

Le GPS a été conçu par le ministère de la Défense des États-Unis qui en assure également l'exploitation et l'entretien. À l'origine, il était destiné à répondre aux besoins des militaires, mais la *Presidential Decision Directive* du 28 mars 1996 s'achevait par la déclaration suivante :

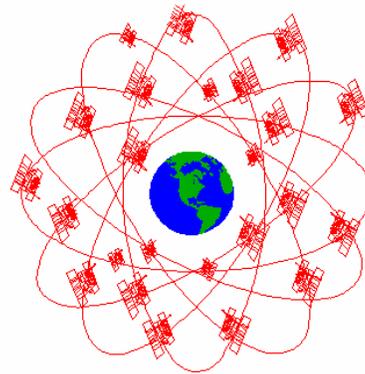
[Traduction]

Nous continuerons de fournir en permanence le service de positionnement standard GPS à des fins pacifiques d'utilisation civile, commerciale et scientifique à l'échelle mondiale et sans imposer de redevances directes aux utilisateurs.

Le système de positionnement global comporte trois éléments : le segment spatial, le segment contrôle et le segment utilisateur.

Le segment spatial

Ce segment se compose de 24 satellites opérationnels répartis sur six orbites circulaires à 10 900 milles marins au-dessus de la terre. De ces 24 satellites, 21 sont des satellites de navigation (SV) et 3 des satellites de secours. Les orbites sont inclinées à 55° par rapport au plan de l'équateur et leur période est d'environ 12 heures. Cette configuration permet à un récepteur à la surface ou au-dessus de la terre recevoir les signaux de cinq à huit satellites, 24 heures par jour. Les satellites transmettent continuellement leurs données de position et l'heure, qui sont reçues et traitées par les récepteurs GPS afin de déterminer la position tridimensionnelle de l'utilisateur (latitude, longitude, altitude), sa vitesse et l'heure.



Le segment contrôle

Ce segment se compose d'une station de contrôle principale située à Colorado Springs, de cinq stations de poursuite et de trois antennes terriennes réparties autour de la terre. Les stations de poursuite surveillent tous les satellites GPS en vue et recueillent les

données contenues dans leurs messages. Ces stations éloignées sont capables de poursuivre et de surveiller la position de chacun des satellites du GPS.

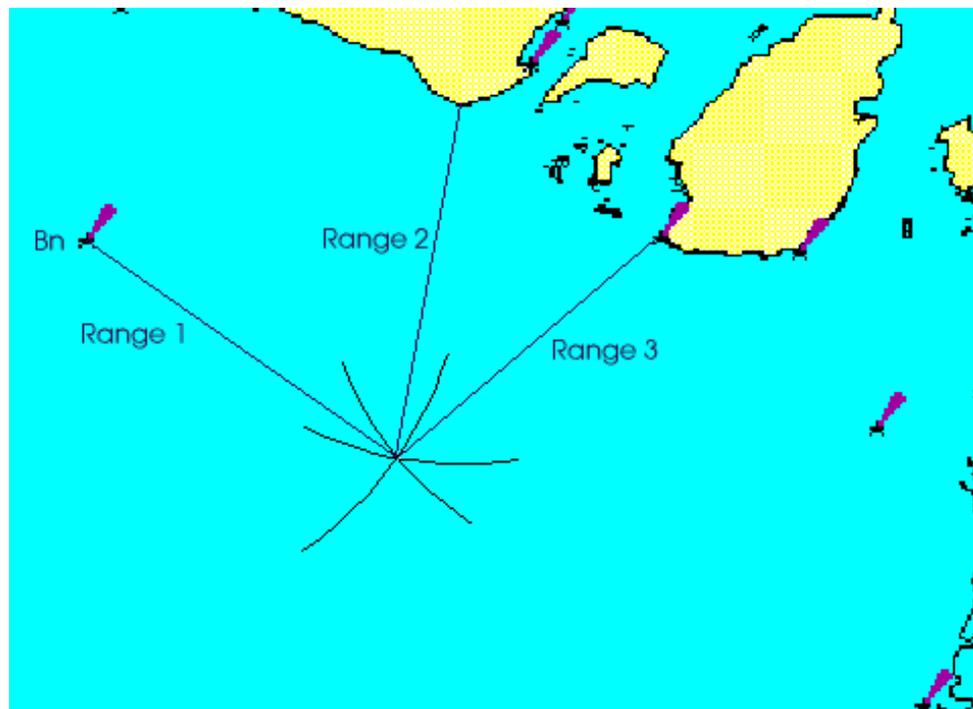
Les stations de poursuite transmettent les données obtenues des satellites à la station de contrôle principale qui calcule alors les orbites très précises des satellites. Ces données sont ensuite formatées en des messages de navigation actualisés pour chaque satellite. Les données actualisées sont ensuite transmises sur une liaison montante à chacun des satellites à partir des antennes terriennes. Ces antennes servent également à transmettre et à recevoir les signaux de commande et de surveillance des satellites.

Le segment utilisateur

Ce segment comprend les récepteurs, processeurs et antennes qui permettent aux opérateurs se trouvant en mer, sur terre et dans les airs, de recevoir les transmissions des satellites GPS et de calculer avec précision leur position, altitude, vitesse et heure.

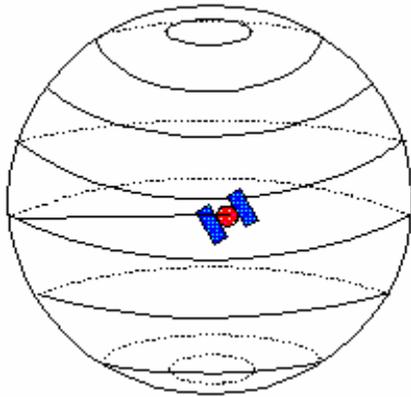
Fonctionnement

À bord d'un bâtiment équipé de radar, le navigateur peut obtenir une position précise en mesurant sa distance par rapport à trois objets proéminents cartographiés. Si trois cercles ayant un rayon égal à la distance mesurée par rapport à l'objet sont ensuite dessinés sur la carte, la position du bâtiment se trouve à l'intersection de ces trois cercles.



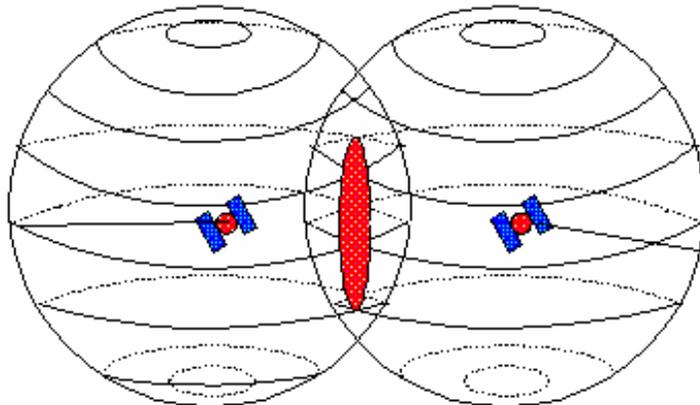
La distance par rapport aux trois objets s'obtient en mesurant le temps d'aller-retour d'une impulsion radar vers l'objet, et de l'objet vers le bâtiment. Si la vitesse de transmission de l'impulsion radar est connue, il est alors possible de convertir ce temps en distance, et la distance à la cible radar équivaut à la moitié de la distance parcourue par l'impulsion radar.

Le GPS permet au navigateur de se positionner d'une manière qui présente des similitudes avec le principe de fonctionnement du radar. Dans le GPS, les transmissions proviennent du satellite et contiennent des données qui permettent au récepteur de calculer sa distance par rapport au satellite. Cette mesure de distance situe alors le récepteur à la surface d'une sphère dont le centre est le satellite et qui a un rayon égal à la distance du satellite. Si les émissions de plusieurs satellites sont reçues et traitées, le récepteur peut alors être placé à l'intersection de trois sphères, ce qui donne un positionnement tridimensionnel en latitude, longitude et altitude.

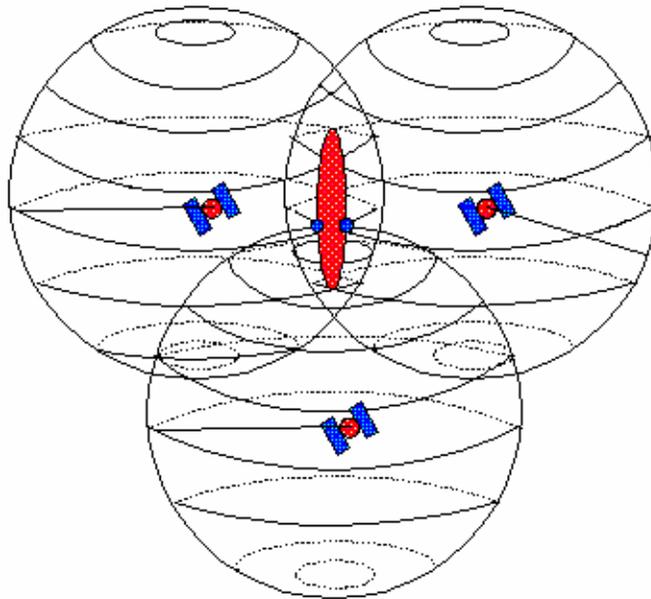


Un satellite

Deux satellites



Trois satellites



Il existe d'autres différences considérables entre le positionnement par radar et par GPS, mais ces différences ne servent qu'à illustrer la simplicité inhérente du GPS.

Tout comme le radar, l'intervalle entre l'émission et la réception de l'impulsion, est mesurée à sa réception pour établir la distance. Le temps absolu de transmission n'est pas requis, seuls le sont les intervalles entre les impulsions émises et reçues. Dans le système de positionnement global, l'émission est générée par le satellite et arrive au récepteur avec un certain retard correspondant à la distance entre le récepteur et le satellite. À la différence des objets proéminents cartographiés, les satellites sont des cibles en déplacement. Pour que le récepteur puisse déterminer sa position avec précision, on doit connaître le moment exact de la transmission du signal et la position du satellite sur son orbite à ce moment.

Quelle heure est-il ?

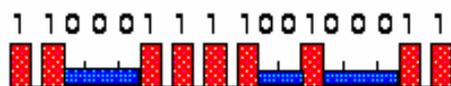
Le satellite transmet des données qui décrivent sa position en orbite à un moment précis. Le récepteur détecte cette transmission et compare le temps d'arrivée, affiché par l'horloge du récepteur, avec le temps d'émission déterminé par l'horloge du satellite. Si l'horloge du récepteur était parfaitement synchronisée avec celui du satellite et, par conséquent, le retard entre la transmission et la réception mesuré avec précision, il aurait alors suffi de trois de telles mesures, à partir de trois satellites différents, pour connaître la latitude, la longitude et l'altitude précises. Pour obtenir ce niveau de synchronisation entre l'horloge du récepteur et celui du satellite, il faut beaucoup plus que les oscillateurs à cristaux à quartz, relativement bon marché, dont sont munis les récepteurs GPS.

Les satellites GPS transportent quatre horloges extrêmement précises : deux horloges atomiques au césium et deux horloges atomiques au rubidium. Conformément aux caractéristiques de conception exigées pour ces horloges, elles devraient offrir une précision de une seconde sur une durée de 30 000 ans, mais elles ont largement dépassé cette norme et leur précision est plus proche de une seconde sur une durée de 150 000 ans. Pour assurer cette précision en continu, les paramètres de correction des horloges sont transmis aux satellites quotidiennement.

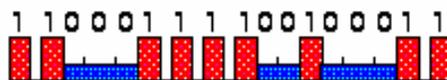
Le manque de synchronisation entre les horloges stables et hautement précises des satellites et l'horloge du récepteur fausse le décalage de temps mesuré par le récepteur, qui se répercute de façon erronée sur les distances mesurées ainsi que sur la latitude, la longitude et l'altitude finales. La distance incorrecte, mesurée par le récepteur, est désignée pseudo-distance. Toutes les pseudo-distances mesurées par le récepteur sont entachées d'erreurs dans une proportion identique, en raison de la même erreur de justesse de l'horloge. Heureusement que cette erreur de justesse de l'horloge peut être facilement déterminée par la mesure des pseudo-distances sur quatre satellites, au lieu de trois. L'erreur de justesse de l'horloge étant connue et admise, la latitude, la longitude et l'altitude peuvent être déterminées jusqu'à un degré de précision plus élevé, et l'horloge du récepteur GPS devient un dispositif beaucoup plus fiable.

Identification

Tous les satellites GPS émettent sur la même fréquence. Il existe en fait deux fréquences, mais une seule est utilisée dans les récepteurs qui équipent les petits bâtiments. Il s'agit de la fréquence L1 (1 575 MHz). Cette fréquence véhicule le message de navigation et les signaux du code du système de positionnement standard (SPS). Tous les satellites émettant sur la même fréquence, et le récepteur poursuivant cinq ou plusieurs satellites au-dessus de l'horizon, le récepteur doit disposer d'un moyen lui permettant d'identifier l'unique source de chaque signal qu'il reçoit. Les émissions de chaque satellite sont en fait différenciées les unes des autres au moyen d'un code de bruit pseudo-aléatoire (PRN). Chaque satellite possède un PRN différent et les satellites GPS sont souvent identifiés par leur numéro PRN.



Séquence provenant du satellite



Séquence provenant du récepteur

Chaque satellite Navstar émet deux trains d'impulsion dont le récepteur crée des répliques en temps réel. Une boucle automatique de contrôle de code dans le récepteur étale ces trains d'impulsion pour les faire correspondre avec le train d'impulsion identique qui est diffusé par le satellite. Quand la correspondance est établie, le récepteur peut déterminer le temps de parcours du signal plus ou moins l'erreur d'horloge. Cette

procédure est reprise pour au moins trois autres satellites afin d'obtenir les mesures de temps nécessaires pour déterminer les trois coordonnées de position de l'utilisateur.

Le degré de précision du GPS

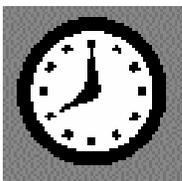
Le GPS offre deux niveaux de service : un service de positionnement standard (SPS), accessible à tout utilisateur, et un système de positionnement précis (PPS) dont l'accès est réservé principalement aux militaires américains. Le SPS offre une précision de l'ordre de 20 mètres dans le plan horizontal, 95 p.cent du temps.

Le GPS est-il une aide à la navigation parfaite ?

Il l'est presque, mais pas tout à fait. La précision du système lorsque son signal est émis sur la fréquence L1 atteint 20 mètres. Il existe d'autres sources d'erreurs qui peuvent introduire des inexactitudes dans la position finale, allant de un mètre à des centaines de mètres. Ces sources d'erreurs sont les suivantes :

- ☛ Les erreurs non corrigées de l'horloge du satellite
- ☛ Les erreurs de données des paramètres orbitaux
- ☛ Les retards ionosphériques et troposphériques
- ☛ Les erreurs de multitrajets
- ☛ Les erreurs géométriques
- ☛ Les erreurs de sélection du système de référence géodésique

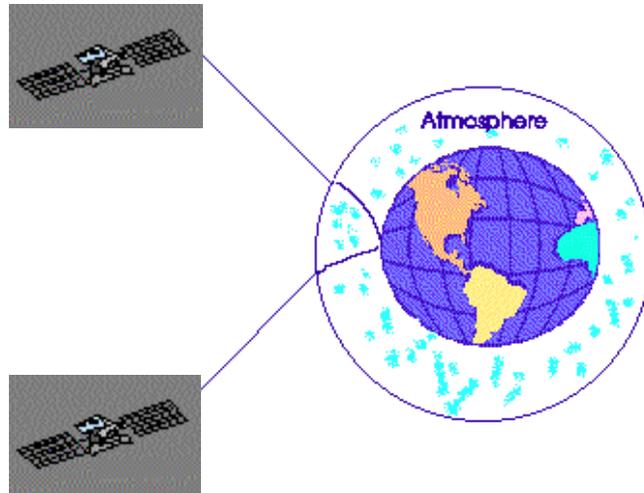
Erreurs issues du satellite



Quoique les horloges des satellites soient extrêmement précises et stables, et malgré la vérification régulière de leur précision, de légères erreurs temporelles restent toujours possible. Ces erreurs, couplées à de faibles erreurs dans le message de position diffusé du satellite, peuvent entraîner des erreurs de distance d'environ trois mètres.

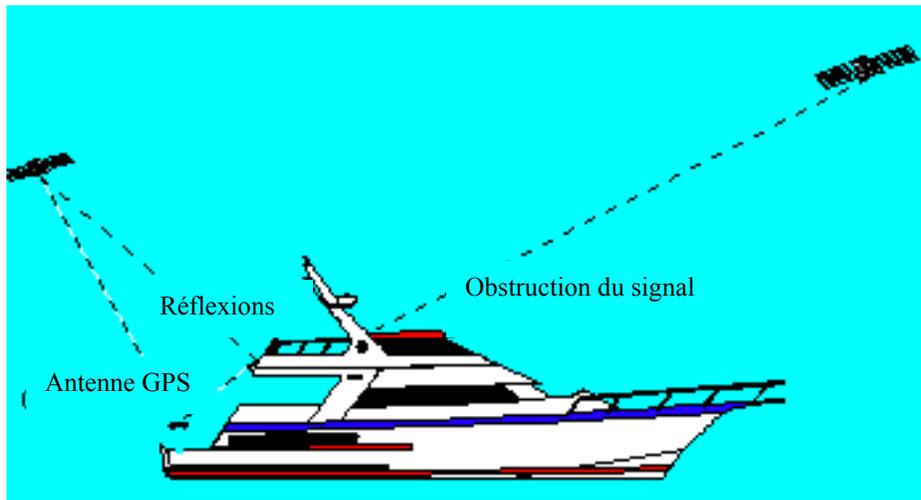
Erreurs de trajet du signal

La mesure de distance d'un satellite repose sur l'hypothèse fondamentale que la vitesse d'émission du signal du satellite est constante. Ce fait n'est vrai que dans l'espace libre car cette vitesse change avec le déplacement du signal à travers des particules électriquement chargées de l'ionosphère terrestre, et ensuite à travers la vapeur d'eau de la troposphère. Ce changement peut entraîner des erreurs dans la distance mesurée par rapport au satellite de l'ordre de 10 à 12 mètres.



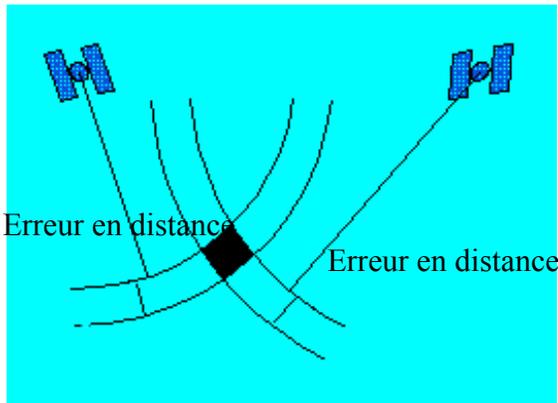
Erreurs de multitrajets

La vraie distance du satellite est la distance oblique, c'est-à-dire la distance en ligne directe. S'il existe des obstacles à proximité de la source d'émission du signal, à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment, le signal peut atteindre l'antenne qu'après une ou plusieurs réflexions.



Erreurs géométriques

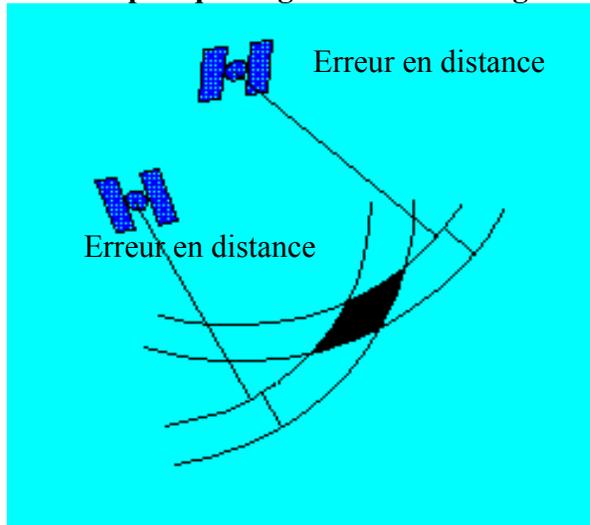
Il existe des erreurs qui se produisent dans le GPS et d'autres systèmes de positionnement lorsque l'angle d'incidence entre les lignes de position est très faible. Une erreur minime dans les données mesurées peut créer une importante région d'incertitude à un faible angle d'incidence. À l'inverse, la même erreur dans les lignes de position qui se coupent à 90° produit une faible région d'incertitude. Dans le GPS, les satellites se trouvant presque sur le même relèvement placeront le récepteur sur les surfaces de sphère qui se coupent à angle étroit. Les erreurs de distance accumulées conduiront à un déplacement important de la position.



**Satellites largement espacés.
Bon angle d'incidence.**

Un paramètre désigné diminution de la précision d'origine géométrique (GDOP), peut être calculé d'après la géométrie des satellites. Le navigateur maritime est principalement intéressé à connaître les données de latitude et de longitude, l'altitude ne constituant généralement pas un problème, et la diminution de la précision horizontale (HDOP) est de ce fait plus pertinente. (En règle générale, une HDOP de moins de 2.0 affichée sur un récepteur est considérée comme un bon positionnement).

Satellites presque alignés. Mauvais angle d'incidence.



**Erreurs de sélection de
système de référence**

géodésique

Si le système de référence géodésique utilisé par le récepteur du GPS pour calculer la latitude et la longitude diffère du système de référence de la carte en vigueur, des erreurs se produiront lors du tracé sur la carte des positions calculées par le GPS. Les récepteurs GPS peuvent être programmés pour indiquer la latitude et la longitude d'après un certain nombre de systèmes géodésiques de référence. Depuis 1986, le Service hydrographique du Canada a converti certaines de ses cartes au NAD83. Les données figurant sur les cartes indiquent le canevas planimétrique utilisé, et pour les cartes qui ne font pas référence au NAD83, on y précise les corrections à effectuer pour convertir les positions du NAD83 au système de référence géodésique de la carte. Le bloc de titre de la carte contient les éléments de base du canevas planimétrique utilisé pour la carte et donne les corrections nécessaires pour convertir le système de référence géodésique de la carte au NAD83 et vice-versa.

Introduction au GPS différentiel (DGPS)

Qu'est-ce que le GPS différentiel ?

Le GPS différentiel est une méthode d'amélioration considérable de la précision des positions qu'obtiennent les exploitants de petits bâtiments à partir de leurs récepteurs GPS.

Il est possible d'obtenir une précision de position différentiel supérieure à 10 mètres à l'aide du DGPS en n'utilisant que les signaux du service de positionnement standard.

Fonctionnement du DGPS ?

Une station de référence DGPS est installée le long d'une voie navigable côtière dans une position fixe dont on connaît avec précision les coordonnées. Le récepteur GPS de la station mesure les signaux de tous les satellites en vue. Comme la station se trouve à un endroit de coordonnées connues, elle est capable de résoudre l'équation du temps de parcours réel et du temps de parcours théorique de chaque signal des satellites. La station de référence peut alors déterminer n'importe quelle erreur temporelle. La station différentielle transmet les corrections à effectuer à tous les satellites en vue. Le récepteur embarqué ne prend en compte que les corrections applicables aux satellites qu'il utilise pour la solution de navigation.

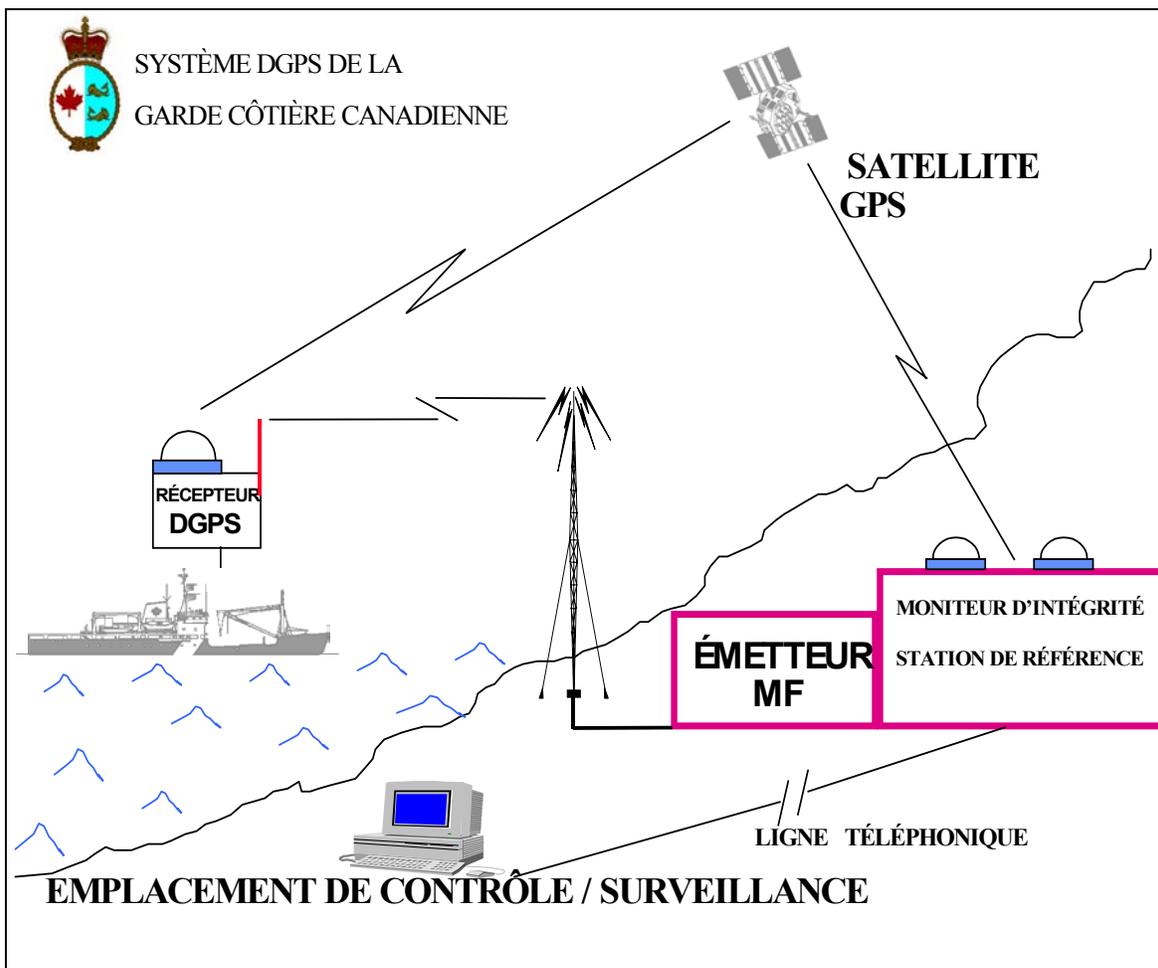
La Garde côtière canadienne a installé un réseau DGPS pour desservir la plupart des eaux du sud du Canada. Ce réseau utilise les émetteurs actuels de radiophare de moyenne fréquence (MF) qui fonctionnent sur une fréquence comprise entre 285 kHz et 325 kHz. Le système comprend un réseau de stations DGPS (de référence et de diffusion) reliées à des moniteurs de contrôle installés aux Centres de communication et de trafic maritimes dans chacune des régions de la Garde côtière. Le système, hautement fiable, est conçu pour fonctionner de façon autonome et pour tolérer des défaillances sans tomber en panne. Le réseau DGPS canadien assure également la surveillance d'intégrité. Dans ce cas, un signal destiné à avertir le navigateur maritime que le service n'est pas fiable sera émis automatiquement toutes les fois que la précision fournie par la station de référence tombe au-dessous des limites établies. Advenant la perte du signal différentiel, un récepteur DGPS peut continuer à fonctionner en mode GPS en utilisant le signal SPS.

Le service DGPS canadien vise à satisfaire aux principaux besoins opérationnels suivants :

- un service de navigation précis dans les eaux canadiennes lorsque le trafic et les conditions des voies navigables le justifient;
- un positionnement précis à l'appui des opérations de la Garde côtière dans les cas où c'est rentable;
- des services de positionnement précis à d'autres agences gouvernementales de la marine lorsque les diffusions de l'emplacement fixe, installé pour les fins susmentionnées, répondront à leurs besoins.

Principes de fonctionnement du DPGS au Canada

La figure ci-dessous illustre le principe du service de navigation DGPS. Une station DGPS type comprend une station de contrôle (CS), une station 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. Un moniteur de contrôle (CM), situé à un site d'exploitation de la Garde côtière où du personnel est présent 24 heures par jour, maintient les communications bidirectionnelles par lignes téléphoniques vers les stations DGPS. Les moniteurs de contrôle surveillent l'état du système.



Qu'est-ce que le système géodésique mondial 1984 (WGS 84).

Comme on sait que la terre n'est pas une sphère parfaite, les cartes sont établies d'après un modèle théorique qui représente au mieux la surface terrestre. Le système géodésique mondial 1984 (WGS 84) est le modèle théorique reconnu à l'échelle internationale à laquelle bon nombre de cartes font référence par l'emploi de latitude et de longitude. Le Canada ainsi que les États-Unis et d'autres pays de l'Amérique du Nord ont adopté un système de référence désigné Système de référence géodésique nord-américain 1983 (NAD83). Pour les fins de cartographie, NAD83 est considéré comme l'équivalent du WGS84.

Les positions obtenues par les récepteurs GPS sont normalement indiquées par référence au WGS84. Bon nombre de récepteurs peuvent représenter les positions dans d'autres systèmes ordinaires, y compris le NAD83.

Les corrections provenant du service DGPS sont calculées à la station de référence dans les coordonnées NAD 83. Pour bien traiter ces données, les récepteurs DGPS devraient être réglés sur le WGS 84. Quoique le WGS 84 et le NAD 83 soient essentiellement les mêmes systèmes géodésiques (il n'existe entre eux qu'une différence de quelques centimètres), il est hautement recommandé que tous les récepteurs DGPS soient réglés sur le WGS 84 afin de profiter pleinement de la précision du DGPS. Lorsqu'on utilise des cartes dont le système de référence géodésique est autre que NAD 83, on doit ajuster les positions de latitude et de longitude au système de référence géodésique approprié en utilisant les renseignements qui figurent sur les cartes.

Quels renseignements peut-on obtenir du signal DGPS?

La diffusion de chaque station DGPS contient un certain nombre de groupes particuliers de « messages » qui donnent au navigateur les renseignements dont il a besoin pour utiliser le service différentiel. Pour que le navigateur puisse tirer pleinement profit de toutes les particularités de ce service, un récepteur DGPS devrait être à même de traiter ces données. Consultez votre manuel d'utilisation du récepteur afin de déterminer sa capacité de traiter tous les messages formatés DGPS. (Voir l'ANNEXE B qui traite des spécifications des messages).

Nota : Les récepteurs qui utilisent le Service canadien DGPS doivent pouvoir traiter le message de correction différentiel de type 9.

Le format canadien du message de diffusion DGPS est conforme à la norme de l'*International Radio Technical Commission for Maritime Service* (RTCM) (Norme SC 104, version 2.1)

Quel type de précision peut-on s'attendre à obtenir du DPGS et jusqu'à quel point le service est-il fiable?

La norme des niveaux de service pour le DGPS décrit la performance à laquelle peuvent s'attendre les utilisateurs lorsqu'ils utilisent le système différentiel. Cette norme est définie en termes de probabilité de précision, de disponibilité de diffusion, de disponibilité du signal et d'intégrité.

Le tableau suivant contient une description détaillée des normes de niveau de service pour le DGPS au Canada.

1. PRÉCISION	
Définition :	Erreur maximale prévue dans la position géographique entre les indications du DGPS et votre position réelle à la surface de la terre.
Norme de niveau de service :	La précision de position du service DGPS sera de 10 mètres (95 p.cent du temps) ou plus, dans tous les secteurs de couverture spécifiés, lorsque l'utilisateur dispose de l'équipement convenable. Pour les 5 p.cent du temps qui reste, le service DGPS peut fournir une précision de positionnement en dehors de la limite des 10 mètres.
2. DISPONIBILITÉ DE DIFFUSION	
Définition :	Fonction du taux de défaillance prévu, c'est-à-dire de la moyenne du temps de bon fonctionnement (MTTF) de l'émetteur à un emplacement DGPS et du temps de réparation de la panne, c'est-à-dire de la moyenne des temps de travaux de réparation (MTTR). En termes statistiques : Disponibilité de diffusion = $\frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}}$ ou $\frac{\text{temps de fonctionnement}}{\text{temps fonc.} + \text{temps panne}}$
Norme de niveau de service :	La probabilité que la diffusion DGPS fournisse des corrections DGPS conformes et ce, à une puissance spécifiée lorsqu'un utilisateur la sélectionne; la probabilité sera au moins à 99,8 p.cent du temps.
3. DISPONIBILITÉ DU SIGNAL	
Définition :	Pourcentage de temps pendant lequel une diffusion DGPS appropriée (c.-à-d. conforme, produisant des corrections précises et émise à la puissance de signal spécifiée) peut fournir à un emplacement déterminé, une force de signal suffisante (ou un rapport signal/bruit) pour que l'équipement de bonne qualité d'un utilisateur puisse détecter le signal DGPS.
Norme de niveau de service :	Les zones desservies par une seule station DGPS canadienne offriront une disponibilité de signal d'au moins 99 p.cent. Les zones desservies par de multiples stations offriront une disponibilité de signal d'au moins 99,8 p.cent. Les corrections sont transmises à une vitesse de 200 bits par seconde.
4. SURVEILLANCE D'INTÉGRITÉ	
Définition :	Capacité autonome des stations DGPS de détecter les conditions hors tolérance et d'en avertir l'utilisateur.
Norme de niveau de service :	L'avertissement est fourni dans les 10 secondes aux utilisateurs dotés de récepteurs convenables.

Qu'entend-on par intégrité du système?

Toutes les stations DGPS canadiennes peuvent détecter les conditions hors tolérance ou les défaillances qui peuvent diminuer la performance prévue du service différentiel et d'en avertir automatiquement les navigateurs maritimes. Par exemple, si les corrections de pseudo-distance ou différentielles transmises par une station DGPS entraînent une erreur de position supérieure à 10 mètres, la station DGPS émettra automatiquement un signal d'avertissement pour informer les navigateurs maritimes que le service ne fonctionne pas dans les tolérances prescrites.

L'intégrité du système DGPS dépend des points suivants :

- a) de la capacité de la station DGPS de fournir une diffusion satisfaisante;
- b) de la capacité du système d'avertir l'utilisateur de toute condition hors tolérance ou non conforme des corrections du DGPS;
- c) et plus important encore, de la capacité du récepteur DGPS de traiter l'alarme du DGPS.

La station de référence est équipée d'un moniteur d'intégrité (IM) qui vérifie la précision de la diffusion du DGPS. Essentiellement, en connaissant sa propre position mesurée, le calculateur IM est à même d'évaluer si la diffusion du DGPS respecte certaines limites spécifiées. Si pour une raison quelconque une défaillance est détectée, un signal d'avertissement est émis à l'intention du navigateur maritime dans les 10 secondes et une alarme est produite à la station du moniteur de contrôle (CM) où du personnel est toujours présent. Au titre des fonctions du système IM, la station DGPS envoie à la station CM des messages ordinaires d'état de la station toutes les demi-heures ainsi que chacun des messages d'alarme.

Consulter le manuel de l'utilisateur du DGPS pour vous renseigner sur la capacité des récepteurs de traiter et d'afficher le signal IM.

Autres renseignements dont vous devez vous rappeler lorsque vous utilisez le DGPS pour assurer la navigation de votre bâtiment.

Pour tirer pleinement profit du service DGPS, il est important que tous les utilisateurs du DGPS tiennent compte de ce qui suit :

- Le respect des consignes des fabricants relatives à l'installation, au fonctionnement et à la maintenance du récepteur DGPS. Lorsqu'on utilise un récepteur GPS/DGPS pour la première fois, il faut s'assurer de suivre les instructions d'initialisation contenues dans le manuel de l'utilisateur avant d'utiliser le récepteur pour les fins de navigation.
- Le service DGPS ne se résume pas uniquement à des données de correction de satellite. Consulter votre manuel utilisateur pour déterminer la capacité de votre récepteur de traiter ces groupes de messages spéciaux. (Une explication de ces groupes de messages est fournie dans la référence technique à l'annexe B).

- L'antenne doit être installée à un endroit où elle n'est pas obstruée par les structures du bâtiment; elle doit être en bonne visibilité de l'horizon et non sujette aux multitrajets.

Ne jamais placer une antenne GPS en ligne directe du faisceau d'émission de l'antenne d'un radar.

- Il est très important que la plupart des antennes GPS/DGPS soient mises à la masse. Si cette opération est mal effectuée, elle peut compromettre la performance d'un récepteur GPS/DGPS. Pour les bâtiments à structure métallique, une antenne peut être mise à la masse en la reliant à un boulon de mise à la masse (s'assurer que la surface de contact de mise à la masse n'est pas peinte). Pour les bâtiments fabriqués en fibres de verre ou en bois, l'antenne peut être mise à la masse à un bâti-moteur. Pour les bâtiments en fibres de verre ou en bois qui naviguent en eau de mer, l'antenne devrait être apposée à une plaque de mise d'apposition à l'extérieur de la coque ou à un boulon de quille sur un voilier. Le brouillage électrique, causé par les câbles de bougie de moteur, l'alternateur et d'autres dispositifs électriques, peuvent nuire sérieusement à la sensibilité d'un récepteur GPS/DGPS. Consulter votre distributeur local de pièces électroniques de marine pour obtenir de plus amples renseignements sur la suppression de bruit électronique.

On n'insistera jamais trop sur l'importance de mise à la masse d'une antenne de récepteur. C'est la principale raison à l'origine d'une mauvaise performance de tout l'équipement de navigation électronique embarqué pour les bâtiments non métalliques.

- Des capteurs externes tels que pilote automatique, écho-sondeur, compas, instruments de mesure du vent, dispositifs d'amplification des antennes TV de véhicules de plaisance, etc. peuvent également nuire au fonctionnement des récepteurs GPS et DGPS.
- Une fréquence VHF particulière (harmonique)¹ peut perturber directement la fréquence de fonctionnement du GPS. Pour réduire l'interférence d'un émetteur VHF, il faut séparer l'antenne GPS/DGPS de celle du VHF autant que possible.
- Les lignes de transport d'électricité, les montagnes, les ponts, les immeubles ainsi que d'autres structures érigées par l'homme peuvent sérieusement nuire au signal GPS ou DGPS ou les bloquer.

¹L'harmonique est un multiple d'une fréquence d'émission particulière qui peut nuire à une autre fréquence dans certaines circonstances.

- Si l'unité d'affichage n'est pas imperméable à l'eau, il doit être installé dans un endroit sec du bâtiment protégé contre la pluie ou les embruns. Un récepteur hydrorésistant n'est pas nécessairement imperméable à l'eau. Le récepteur devrait être également protégé contre la vibration excessive due aux déplacements du bâtiment.
- Dans le cas de certaines applications où la précision du service différentiel est essentielle, on recommande l'utilisation de récepteurs DGPS de haute qualité. Les récepteurs de moindre qualité sont susceptibles de réduire la performance du service DGPS.
- Lorsqu'on navigue au DGPS, on doit veiller à choisir la meilleure station DGPS dans la couverture de sa position. Certains récepteurs peuvent se verrouiller automatiquement sur le meilleur signal DGPS utilisable tout en continuant de suivre toutes les autres stations dans les limites de leur portée. Le choix d'une station DGPS au récepteur peut se faire en mode automatique ou en mode manuel. En cas de doute au sujet de la station à utiliser au cours d'un voyage, consulter le manuel de l'utilisateur du récepteur DGPS afin de choisir la fenêtre d'affichage qui convient pour le choix de stations.

Lorsqu'un récepteur GPS/DGPS fonctionne en mode manuel, il est important de noter que la station DGPS la plus proche est généralement considérée la meilleure pour les fins de réception des corrections. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que la montagne, le brouillage électronique provoqué par l'homme, les orages, etc. peuvent perturber le signal ou l'obscurcir.

- Lorsqu'on utilise une station DGPS aux limites de la portée de couverture annoncée, il est possible que des erreurs supplémentaires soient introduites et la précision de la position diminuée. Cette erreur est connue dans le langage technique sous le nom de période de retard ou d'âge de la correction. L'utilisation de la portée étendue du DGPS peut rendre également le signal plus faible et moins fiable. Il faut toujours se montrer prudent lorsqu'on utilise une station DGPS au-delà de sa limite de couverture annoncée.
- Si une station différentielle fonctionne mal pour quelque raison que ce soit et que le signal de surveillance d'intégrité est affiché sur le récepteur DGPS, il faut être sur ses gardes jusqu'à ce que la station recommence à fonctionner normalement ou jusqu'à la réception d'une autre station DGPS.
- On rappelle aux navigateurs que les cartes papier ou électroniques utilisées pour faire le point DGPS peuvent contenir des erreurs qui surpassent de beaucoup la précision du positionnement fourni par le service différentiel.

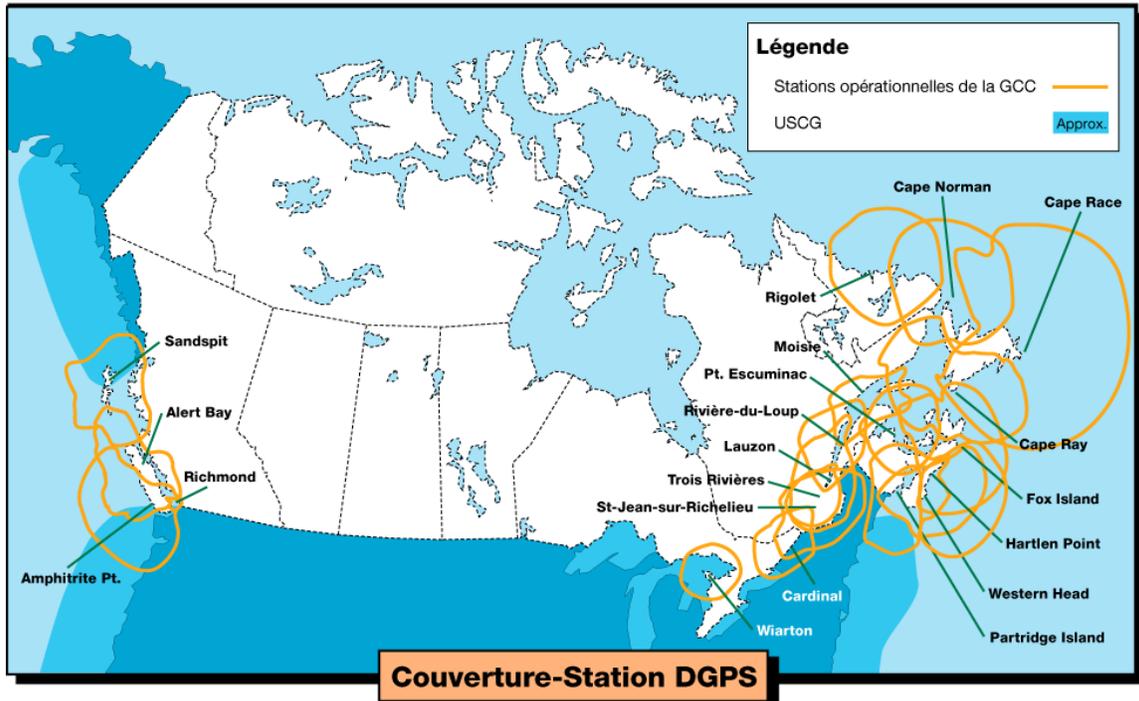
Remise à zéro de l'horlogerie du GPS en août 1999.

Le système de positionnement global (GPS) comptabilise le temps en utilisant un chiffre pour chaque semaine de service et totalise les secondes à l'intérieur de chaque semaine numérique. Il comptabilise les semaines à partir de minuit (0000) la nuit du 5 janvier 1980 ou le matin du 6 janvier 1980 (UTC), et il incrémente son compte de un par semaine depuis lors. La semaine aussi bien que les secondes sont diffusées dans le cadre du message GPS fourni par les satellites, et elles sont utilisées par les récepteurs dans leurs calculs. Le champ de ce message indiquant le numéro de semaine du GPS est limité à 1024, ce qui signifie que, à la fin de la semaine 1023, le champ du numéro de la semaine passe de 1023 à 0. Cela s'est produit à minuit dans la nuit du 21-22 août 1999. Le 22 août 1999, bon nombre de récepteurs GPS indiqueraient le 6 janvier 1980, à moins d'avoir été réparés.

Il reviendra à l'utilisateur de tenir compte de ce changement, car les satellites ne feront que diffuser le nouveau numéro de semaine. L'incidence sur votre appareil GPS dépendra de la marque et du modèle de récepteur que vous possédez. Il est possible que certains récepteurs affichent simplement de l'information de date inexacte, mais que d'autres calculent aussi de l'information de navigation incorrecte ou cessent de donner de l'information de position. S'il n'a pas été tenu compte du changement de date au moment de la conception et de la fabrication de votre récepteur GPS, des problèmes pourraient se poser. Certains appareils exigeront une mise à niveau du logiciel. Les navigateurs sont invités à s'informer auprès de leur fournisseur afin de connaître le comportement de leur récepteur lors du changement de date du GPS.

Que signifie l'expression « décorrélation spatiale »?

La décorrélation spatiale est une autre erreur mineure qui peut contribuer à réduire la performance du système à la limite de la zone de couverture DGPS publiée. À mesure qu'un navigateur s'éloigne d'une station DGPS, la correction calculée à la station côtière devient progressivement inexacte. La correction suppose que la station DGPS et le récepteur de l'utilisateur voient les mêmes distorsions du signal du satellite GPS lorsqu'il traverse l'atmosphère terrestre (ionosphère). La situation diffère si le récepteur se trouve à une grande distance de la station DGPS. On estime que l'erreur introduite en raison de la décorrélation spatiale représente 0,5 mètre d'erreur de positionnement additionnel pour chaque 100 km de distance en éloignement du DGPS.

CARTE DU SERVICE DGPS AU CANADA**Récapitulation**

Les questions que se pose le plus souvent le navigateur de petits bâtiments ont été énoncées au début du présent guide. Nous les reprenons ci-après :

- ☛ Quelle est ma position actuelle?
- ☛ Quel cap dois-je maintenir pour me rendre de ma position actuelle jusqu'à ma destination?
- ☛ Quelle est la distance de ma position actuelle jusqu'à ma destination?
- ☛ Quel est le cap que je suis en train de suivre?
- ☛ Quelle est ma vitesse fond?
- ☛ Combien de temps me prendra-t-il pour arriver à destination à ma vitesse actuelle?

Un récepteur GPS/DGPS fournira les réponses à toutes ces questions.

Quelle est ma position actuelle?

Les sections précédentes renseignent sur la façon dont un récepteur GPS indique au navigateur sa latitude et longitude dans n'importe quelle condition météorologique, 24 heures par jour, jusqu'à une précision de 20 mètres, 95 p.cent du temps. Un récepteur DGPS améliorera la précision de la position jusqu'à 10 mètres, 95 p.cent du temps.

Quel cap dois-je maintenir pour me rendre de ma position actuelle jusqu'à ma destination?

Si la destination est introduite dans le récepteur GPS/DGPS comme un point de passage, le GPS/DGPS déterminera la route à suivre à partir de la position actuelle jusqu'à la destination. La plupart des récepteurs GPS/DGPS peuvent être configurés pour afficher la route "vraie" ou "magnétique" à suivre.

Quelle est la distance de ma position actuelle jusqu'à ma destination?

En plus de déterminer la route à suivre jusqu'à la destination, le GPS/DGPS calculera également la distance jusqu'à la destination.

Quel est mon cap et ma vitesse de fond?

Le GPS/DGPS met à jour constamment la position actuelle et la compare continuellement avec les positions précédentes. Cette comparaison donne une indication du cap suivi depuis le départ et de la vitesse de rapprochement du point de destination, c'est-à-dire de la vitesse fond par rapport à la vitesse dans l'eau.

Combien de temps me prendra-t-il pour arriver à destination à ma vitesse actuelle?

Étant donné que le GPS/DGPS calcule continuellement la vitesse de fond et la distance jusqu'à la destination, il déterminera le temps nécessaire pour atteindre la destination à la vitesse actuelle.

Il ne s'agit en fait que de quelques-unes des fonctions que possèdent la plupart des récepteurs GPS/DGPS. Même les récepteurs GPS portables d'un coût modique, possèdent les fonctions de planification de route, d'affichage de position en plusieurs systèmes de coordonnées, de choix de système géodésique, d'heure en UTC ou de données définies par l'utilisateur, d'indication d'erreur latérale de route, de position bidimensionnelle (2-D) ou tridimensionnelle (3-D) ainsi que la capacité de communiquer avec d'autres instruments tels que les radars, les traceurs et les pilotes automatiques.

Si l'utilisateur demeure conscient des sources d'erreurs possibles, en particulier :

- ☛ le choix du mauvais système géodésique
- ☛ les erreurs de multitrajets et le masquage
- ☛ la mauvaise géométrie des satellites
- ☛ l'erreur inhérente au service différentiel

le récepteur GPS/DGPS constitue alors une aide à la navigation hautement précise et fiable.

L'Internet

L'Internet permet d'avoir accès à de nombreuses et excellentes sources de renseignements sur le GPS et le DGPS. Voici l'adresse du site web de la Garde côtière canadienne :

<http://www.ccg-gcc.gc.ca/dgps/principale.htm>

Ce site donne une description très détaillée du système DGPS canadien.

Un site à l'Université du Colorado :

http://www.colorado.Edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

donne une excellente vue d'ensemble du GPS et du DGPS.

Veillez adresser par écrit vos éventuels commentaires ou questions sur le service DGPS au Canada à :

Garde côtière canadienne
Ministère des Pêches et Océans
200, rue Kent
Ottawa (Ontario)
K1A 0E6

ANNEXE A**Tableau des stations de référence du DGPS au Canada**

Nom de la station	N ^{os} d'ident. des stations de référence	DGPS Ident. station	Position géogr.		Fréquence [kHz]	Bit/s
			Latitude	Longitude		
Sandspit C.-B.	306,307	906	53 14 N 131 49 O		300	200
Alert Bay C.-B.	300, 301	909	50 35 N 126 55 O		309	200
Amphitrite Pt. C.-B.	302, 303	908	48 55 N 125 33 O		315	200
Richmond C.-B.	304, 305	907	49 11 N 123 07 O		320	200
Warton Ont.	310,311	918	44 45 N 81 07 O		286	200
Cardinal Ont.	308, 309	919	44 47 N 75 25 O		306	200
Saint-Jean-sur-Richelieu Qc	312, 313	929	45 19 N 73 19 O		296	200
Trois-Rivières Qc	314,315	928	46 23 N 72 27 O		321	200
Lauzon Qc	316, 317	927	46 49 N 71 10 O		309	200
Rivière-du-Loup Qc	318,319	926	47 46 N 69 36 O		300	200
Moisie Qc	320,321	925	50 12 N 66 07 O		313	200
Point Escuminac N.-B.	332, 333	936	47 04 N 64 48 O		319	200

Tableau des stations de référence du DGPS au Canada (suite)

Nom de la station	N ^{os} d'ident. des stations de référence	DGPS Ident. station	Position géogr. Latitude Longitude	Fréquence [kHz]	Bit/s
Île Partridge N.-B	326,327	939	45 14 N 66 03 O	295	200
Western Head N.-É.	334,335	935	43 59 N 64 40 O	312	200
Fox Island N.-É	336,337	934	45 20 N 61 05 O	307	200
Hartlen Point N.-É	330,331	937	44 35 N 63 27 O	298	200
Cape Ray T.-N.	340,341	942	47 38 N 59 14 O	288	200
Cape Race T.-N.	338, 339	940	46 46N 53 11 O	315	200
Rigolet T.-N.	344,345	946	54 15 N 58 30 O	299	200
Cape Norman T.-N.	342,343	944	51 30 N 55 49 O	310	200

ANNEXE B - RÉFÉRENCES TECHNIQUES

GROUPES DE MESSAGES DGPS

Le Service canadien de diffusion DGPS est conçu pour transmettre des messages de type 3, 5, 6, 7, 9 et 16 (le message de type 15 qui n'est pas défini pour le moment peut être également inclus à une date ultérieure au service DGPS). Une description détaillée de chacun des types de messages est donnée ci-après :

Nota : La Garde côtière canadienne est en train de négocier avec la Garde côtière des États-Unis (USCG) les modalités de prestation d'un service DGPS ininterrompu en Amérique du Nord.

MESSAGE DE TYPE 3

Un message de type 3 contient des renseignements sur l'identité et la position mesurée de la station de référence en service dans la station DGPS. Le message de type 3 contiendra les coordonnées du NAD 83.

MESSAGE DE TYPE 5

Ce type de message informera l'équipement de l'utilisateur qu'un satellite jugé non conforme d'après le message de navigation en vigueur est cependant utilisable pour la navigation DGPS. Par exemple, un satellite dont l'horloge dérive lentement peut ne pas convenir au GPS, mais à une utilisation pour le DGPS, une fois les corrections apportées par la station de référence. L'équipement de l'utilisateur ne devrait pas avoir recours à un satellite non conforme, à moins qu'un message de type 5 permettant le recours à un tel satellite n'ait été reçu au cours des 30 minutes précédentes. Si le dernier message de type 5 reçu n'indique pas qu'un satellite non conforme peut être utilisé, on devrait alors cesser de l'utiliser si tel était le cas auparavant (c.-à-d. en raison d'un message antérieur de type 5).

MESSAGE DE TYPE 6

Le message de type 6 est un élément de remplissage pour la diffusion DGPS, qui n'est utilisé que lorsque la station de référence n'a pas d'autres messages à transmettre.

MESSAGE DE TYPE 7

Un message de type 7 fournit de l'information sur la station de diffusion DGPS et sur les deux ou trois stations DGPS adjacentes. Lorsque les stations adjacentes relèvent de la juridiction des États-Unis, des arrangements appropriés seront conclus dans le but de fournir l'information réciproque. L'équipement de l'utilisateur devrait mettre à jour le registre interne dès la réception d'information nouvelle. 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 prochain message de type 7,

l'équipement de l'utilisateur devrait immédiatement mettre à jour son registre interne. L'utilisateur devrait pouvoir visualiser le contenu du message de type 7 en vigueur afin d'obtenir de l'information sur les zones de couverture qui peuvent être entrées peu de temps après.

MESSAGE 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, le message de type 9 a été choisi pour la diffusion des corrections de pseudo-distance GPS au lieu du message de type 1.

Cette méthode de transmission d'un message de type 9 à 100 bits par seconde (bps également désigné débit en bauds) et 200 bit/s sera également utilisé par la Garde côtière canadienne pour les secteurs de couverture standard et améliorée et les secteurs de couverture multiple respectivement. (Ce type de message est également transmis dans les versions de type 9-3 200 bauds, 9-3 100 bauds and 9-2 50 bauds)

MESSAGE DE TYPE 16

Ce type de message sera utilisé pour compléter au moment nécessaire les avis aux navigateurs maritimes ou les avis à la navigation afin de fournir de l'information sur l'état du service DGPS local que les autres types de messages ne contiennent pas. En outre, le message de type 16 peut fournir de l'information limitée sur les interruptions 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. Le message de type 16 n'est pas destiné à remplacer les avis aux navigateurs maritimes, même s'il a 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 être non conforme, non surveillée ou non disponible. Cette information serait utile au navigateur maritime qui projette de traverser une zone touchée ou dont l'équipement, dans les conditions existantes, est incapable d'effectuer une sélection automatique. Le message de type 7, peut à des fins de planification de routes, donner des détails supplémentaires sur une interruption de service.

ANNEXE C - RÉFÉRENCES TECHNIQUES**GLOSSAIRE****ACRONYMES DE TERMES DGPS D'USAGE COURANT**

bit/s	bits par seconde
CM	moniteur de contrôle
CS	station de contrôle
dB	décibel
DGPS	système de positionnement global différentiel
GPS	système de positionnement global
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	système de référence nord-américain 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	<i>Radio Technical Commission for Maritime Services</i>
SNR	rapport signal/bruit
SPS	service de positionnement standard
uV/m	microvolt
UDRE	erreur de distance différentielle de l'utilisateur

ANNEXE D - RÉFÉRENCES TECHNIQUES

DÉFINITIONS DE TERMES DGPS D'USAGE COURANT

Précision: La précision absolue est définie comme étant l'erreur maximale prévue de la position géographique telle que calculée par l'équipement de l'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 la moyenne quadratique de la distance). Dans le cas du système DGPS canadien, la limite d'erreur est de 95 p.cent, soit la valeur 2 drms minimale pour la distribution normale à deux variables des erreurs. La précision de la position du service DGPS doit être d'au moins 10 mètres, 95 p.cent du temps, dans toutes les zones de couverture spécifiées (pour la constellation totale des 24 satellites GPS et une valeur HDOP < 2,3). (*Accuracy*)

Disponibilité: Pourcentage du temps pendant 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 qu'un utilisateur disposant d'un équipement de bonne qualité puisse détecter et démoduler le signal. (*Availability*)

Couverture de diffusion : Région à l'intérieur de laquelle un utilisateur peut s'attendre à recevoir le service DGPS fourni par une station particulière (consulter la carte, p.19). Sa limite est définie par le niveau du signal de diffusion spécifié de 75 uv/m (Offshore Coverage) ou 100uv/m (Inshore Coverage). (*Broadcast Coverage*)

Disponibilité de diffusion : Fonction du taux de défaillance prévu, c.-à-d. de la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTTF) 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 :

$$Fiabilité = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

ou

$$\frac{\text{temps de fonctionnement}}{\text{temps de fonctionnement} + \text{temps de panne (temps de mission)}}$$

La disponibilité 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.

Débit de données : Nombre de bits d'information par seconde qui sont diffusés. (*Data Rate*)

Système de référence : Système de coordonnées géodésiques propre à une région géographique donnée. (*Datum*)

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. (*Integrity*)

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. (*Latency*)

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

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. (*Time to Alarm*)

Vitesse de transmission : Nombre total de bits par seconde qui sont diffusés. (*Transmission Rate*)

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

Non conforme : Incapable de fonctionner à l'intérieur des tolérances. (*Unhealthy*)

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