

# L'introduction du GPS centimétrique au port autonome de dunkerque



Photo J.L. Burnod – BDL communication

Marc Henaut – ingénieur ENSAIS – (société IDS)

L'arrivée du GPS centimétrique à fréquence élevée à l'occasion de l'opération d'acquisition d'un sondeur multifaisceaux pour résoudre notamment le problème de la correction d'attitude et le positionnement de vedettes de sondage bathymétrique, a fait découvrir la nécessité de reprendre à la base l'ensemble des applications topographiques dans un processus de qualité référentielle.

Au delà de cette première application originale d'utilisation du GPS centimétrique pour positionner une vedette de sondage dans l'espace dix fois par seconde, il est important de construire une base géodésique solide ouverte sur l'avenir, car les applications sont nombreuses.

Hors du champ des utilisations classiques du GPS centimétrique, il y a maintenant la possibilité de positionner exactement des grands ouvrages isolés dont le positionnement relatif était douteux, et par conséquent inutilisable, en matière de surveillance de ses déformations. Il y a aussi de nombreuses applications sur les engins mobiles de grandes dimensions : positionner une roue-pelle dans l'espace ne sera plus une chose incertaine, conduire un grand navire relativement au fond d'un chenal deviendra contrôlable au centimètre près. Une autre révolution sera de connaître exactement la hauteur des plans d'eau en se dispensant des marégraphes et de la fameuse formule du SHOM dont on subodore qu'elle ignore certaines particularités locales.

Enfin la refonte du système géodésique local va être une excellente occasion de fédérer les usages et éliminer certaines "traditions" topographiques, égaliser la précision des repères, enrichir les procédures qualités des travaux topographiques et de recolement après travaux.

Le Port de Dunherque conscient de la difficulté de cette réforme, souhaite vivement recueillir l'avis des adhérents de l'AFT.

Jean-Pierre Grassien  
Port Autonome de Dunkerque

Le Port Autonome de Dunkerque travaille actuellement à l'évolution de son système de positionnement pour ses levés bathymétriques. La mise en place d'un système GPS centimétrique est engagée.

L'utilisation du GPS centimétrique exige une réflexion quand à son intégration dans les canevas locaux et la compatibilité de sa composante verticale avec les références altimétriques utilisées.

Le remplacement par l'IGN du canevas géodésique actuel (NTF) est en cours. A terme, le RGF93 va devenir le système légal. Il permet entre autres d'harmoniser les bases de données SIG et d'optimiser l'utilisation du GPS.

Le Port Autonome de Dunkerque, a confié à la société IDS l'étude une refonte du canevas portuaire permettant l'utilisation du GPS centimétrique harmonisant les usages en matière de topographie, de bathymétrie et de maintenance d'ouvrage et prévoyant le passage au RGF93.

## L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME GÉODÉSIQUE DE RÉFÉRENCE EN FRANCE

Les coordonnées obtenues par les mesures GPS sont exprimées dans un système de référence tridimensionnel et géocentrique. En France, la précision de la NTF (Nouvelle Triangulation Française) n'est plus adaptée aux nouvelles techniques de positionnement par GPS. C'est pourquoi le C.N.I.G. (Conseil National de l'Information Géographique) a recommandé la mise en place d'un nouveau réseau géodésique : le RGF (Réseau Géodésique Français).

### • Rappels sur la NTF

#### Description

La NTF (Nouvelle Triangulation Française) est le système légal actuellement employé en France. Achevée en

1991, la NTF est hiérarchisée en quatre ordres principaux auxquels s'ajoute un cinquième ordre complémentaire. La précision de ce système planimétrique, inhérente aux techniques utilisées depuis les années 1950, est estimée à 1.10-5 (soit 1 cm par km).

Les coordonnées planes sont exprimées en Lambert I, II, III, IV, basée sur une projection conique conforme tangente avec facteur d'échelle. La division en quatre zones minimise l'importance de l'altération linéaire.

#### Le système d'altitude associé

Le système NTF étant bidimensionnel, c'est l'altitude normale NGF qui lui est associée en tant que composante verticale. Ces altitudes sont exprimées dans le système NGF-IGN69 (Nivellement Général de la France 1969). Le réseau IGN69 est rapporté au zéro du marégraphe de Marseille.

#### Inadéquation de la NTF avec les techniques actuelles et futures de positionnement

La NTF a été réalisée par des campagnes de géodésie classique. L'évolution des AEMD<sup>1</sup> et surtout du système GPS est difficilement compatible avec la précision de la NTF. La NTF présente des problèmes d'échelle et d'orientation dus aux méthodes de calcul.

De plus, le GPS fournit des coordonnées dans un système géocentrique, mondial et tridimensionnel, alors que la NTF fournit des coordonnées bidimensionnelles planes ou géographiques, auxquelles on ajoute une altitude. C'est pourquoi le CNIG a recommandé la mise en place d'un nouveau réseau géodésique français : le RGF.

#### • Le système RGF93

Le système RGF93 (Réseau Géodésique Français) est associé au réseau RGF. Il est géocentrique et tridimensionnel, de précision centimétrique. C'est la réalisation nationale du système européen ETRS89 basé sur le réseau EUREF. Les coordonnées RGF93 sont donc bien des coordonnées ETRS89. Elles sont aussi équivalentes à des coordonnées WGS84 pour des applications d'une précision de quelques centimètres.

Le RGF93 est associé à l'ellipsoïde GRS 1980 ( $a = 6378137$  m ;  $f = 1/298.257222101$ )

Les coordonnées sont exprimées soit :

- sous forme tridimensionnelle géographique (ou cartésienne)
- en projection Lambert-93 accompagnées de l'altitude NGF

Les écarts entre le système NTF et le système RGF93 peuvent atteindre cinq mètres.

#### Le RGF

Le RGF comprend trois niveaux hiérarchiques :

##### - Le RRF

Le RRF (Réseau de Référence Français) est constitué de 23 sites répartis sur l'ensemble de la France Métropolitaine. Ses coordonnées ont été déterminées avec les méthodes les plus précises, et la précision relative entre deux sites du RRF est centimétrique ( $10^{-7}$ ). Ils font partie du réseau EUREF.

##### - Le RBF

Deuxième niveau hiérarchique du RGF, le RBF (Réseau de Base Français) est constitué d'un millier de sites

géodésiques nouveaux uniformément répartis tous les 25 km.

##### - Le RDF

Le RDF (Réseau de Détail Français) comprend l'ensemble des 79000 points de la NTF. Les coordonnées RGF93 de ces points sont obtenues par transformation des coordonnées NTF.

La précision des points en coordonnées NTF est moins bonne, cette imprécision est conservée lors du passage en RGF par transformation.

#### La projection Lambert-93

Pour exprimer des coordonnées planes, la projection Lambert-93 a été choisie. Bien que de type « Lambert », ses paramètres n'ont rien de commun avec le « Lambert » associé au système NTF.

C'est une projection conique conforme sécante, unique pour tout le territoire métropolitain. Elle est définie par les paramètres ci-dessous :

- parallèles d'échelle conservée :  
 $\varphi_1 = 44^\circ$  N et  $\varphi_2 = 49^\circ$  N
- méridien central :  $\lambda_0 = 3^\circ$  E Greenwich
- latitude origine :  $\varphi_0 = 46^\circ 30'$  N
- coordonnées de l'origine :  
E = 700 000 m  
N = 6 600 000 m

L'avantage de cette projection unique est évident dans l'univers numérique des SIG (Systèmes d'Information Géographique). Cependant l'altération linéaire est importante ; ses valeurs atteignent 2 mètres par kilomètre à Dunkerque (orientation Nord - Sud). Ces altérations impressionnantes peuvent être facilement prises en compte dans les procédures de calculs topométriques de réduction de distance.

Actuellement, le RRF et le RBF sont en place. L'IGN a commencé à convertir les repères existants pour réaliser le RDF. Sur le territoire du PAD, on dispose déjà de repères connus dans les deux systèmes NTF et RGF93.

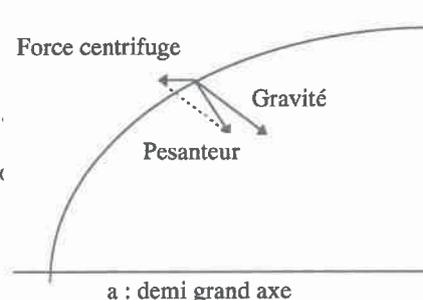
Il est donc indispensable en cas de travaux géodésiques de s'intéresser à cette évolution et surtout de la prévoir.

### LE PROBLÈME DES ALTITUDES PAR GPS

L'utilisation du GPS en géodésie est aujourd'hui une évidence. Néanmoins, sa généralisation n'a pas encore apporté de solutions simples et de mises en œuvre faciles vis à vis de l'intégration de sa composante verticale dans les systèmes altimétriques utilisés. Le système altimétrique légal IGN69 repose sur la notion complexe de géoïde.

#### • Définition du géoïde

En 1687, Newton énonce son principe de la gravitation universelle qui a pour conséquence de remplir une sphère par un solide de révolution

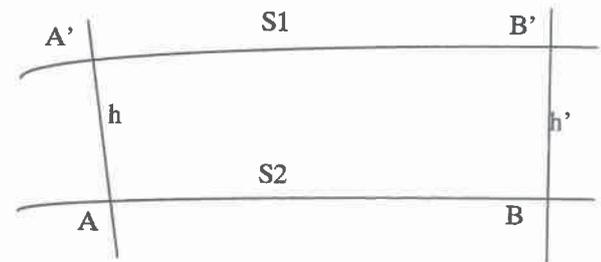


1 - Appareils Électroniques de Mesure de Distances

La composante de la force centrifuge et de la gravité en un point du globe est la pesanteur, dont la direction s'appelle la verticale. Les instruments de mesure sont soumis à la pesanteur, dont la direction (verticale) est irrégulière en raison de l'attraction des masses.

On introduit alors la notion de surfaces équipotentielles de pesanteur, ou surfaces de niveaux, perpendiculaires en tous points aux verticales. Deux surfaces équipotentielles sont telles qu'on passe de l'une à l'autre en effectuant le même travail.

Considérons deux surfaces de niveaux S1 et S2 et le trajet AB'. Le travail effectué pour se déplacer d'une surface à l'autre est indépendant du trajet choisi



$W_{AA'} = g_A \cdot h$	Trajet AA'B'
$W_{BB'} = g_B \cdot h'$	Trajet BB'B'
$g_A$ gravité en A	
$g_B$ gravité en B	
$g_A \cdot h = g_B \cdot h'$	

Les pesanteurs étant différentes, h et h' sont différents. Les surfaces équipotentielles ne sont pas parallèles : il en résulte une différence de niveau entre A' et B' alors que la dénivelée est nulle.

Il ne peut donc y avoir de systèmes d'altitudes cohérents sans mesures gravimétriques, d'où la définition d'une altitude normale :  $AN = W_{AA'}/g_n$  où  $g_n$  est la pesanteur réelle mesurée au lieu considéré, alors que l'ancienne norme, l'altitude orthométrique, abandonnée en 1969, considérait la pesanteur théorique.

C'est la surface de niveau, ou géoïde, qui sert de référence au nivellement : l'altitude d'un point est la distance métrique qui le sépare du géoïde.

Le système IGN69 est donc un système d'altitudes normales, les dénivelées sont corrigées pour atténuer les effets de la gravité. Ces corrections sont d'ailleurs négligeables sur le plan local. Cette surface physique, dénommée géoïde, oblige donc à associer mesures géométriques et mesures gravimétriques.

Pour modéliser le géoïde, il n'est donc pas suffisant de s'intéresser aux différences d'altitudes. Il faut étudier les variations gravimétriques. Localement ces variations n'influencent pas les altitudes. Néanmoins, des données gravimétriques peuvent indiquer l'allure générale du

#### • Remarques

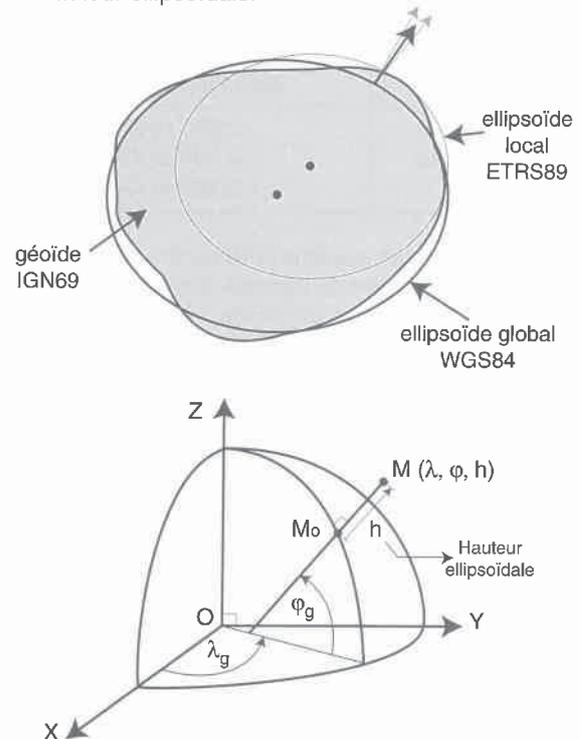
Du fait de ses activités, le Port Autonome de Dunkerque doit travailler dans différents systèmes altimétriques :

Système de référence	Différence par rapport au 0,00 de l'IGN69	Différence par rapport au 0,00 cote marine de Dunkerque
Ancien NGF (Lallemand)	+ 0,60	+ 3,30
IGN69	0,00	+ 2,70
Nivellement Bourdaloue	- 0,33	+ 2,37

géoïde (pente nord-sud), des anomalies ponctuelles et confirmer une modélisation géométrique.

#### • L'arrivée des « Altitudes GPS »

L'utilisation du GPS pour le nivellement pose le problème de transformation des données issues de deux systèmes de référence différents puisque le GPS fournit une hauteur ellipsoïdale.



Le géoïde représente la forme des mers et des océans, supposés calmes et au repos, prolongés sous les continents (c'est une surface équipotentielle). Cette surface ne correspond à aucune définition mathématique puisqu'elle dépend des anomalies de pesanteur qui ne sont pas modélisables. L'ellipsoïde, au contraire, est une surface mathématique qui permet une définition géocentrique et tridimensionnelle pour le positionnement spatial. Il n'existe donc pas de processus purement mathématique pour répondre aux problèmes. Il est nécessaire d'acquérir des données et de modéliser cet écart localement.

L'écart entre le géoïde et l'ellipsoïde varie en France entre 43,5 et 54,5 mètres. Il peut localement varier de plusieurs centimètres par kilomètre, notamment dans les régions montagneuses. Sur la région dunkerquoise, cet écart doit se situer entre 43,45 et 43,75. Pour une utilisation centimétrique du GPS, il convient donc de déterminer précisément la position du géoïde par rapport à l'ellipsoïde de référence utilisé. Plusieurs études ont déjà été réalisées en France et proposent des solutions. Généralement, les propositions sont faites pour le territoire français en entier et par conséquent induisent une précision inadaptée aux besoins présents.

H Dunkerque	- 2,521	+ 0,141
Cote marine Dunkerque	- 2,70	0,00
Cote marine Gravelines	- 2,96	- 0,26

De plus, Dunkerque est le port principal de la zone de marée 1 défini par l'EPSHOM, Gravelines en est le port secondaire. Dans le domaine maritime la cote marine ou zéro hydrographique (zéro des cartes marines) prime sur l'IGN69.

Nom	Zéro hydrographique
Dunkerque	- 2,693 m IGN69
Gravelines	- 2,730 m IGN69
Calais	- 3,459 m IGN69

L'intégration d'un système GPS centimétrique dans le processus d'acquisition de données bathymétriques pose évidemment le problème du géoïde mais renvoie aussi à l'utilisation et à la définition des différents systèmes altimétriques utilisés.

### PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT AU PORT AUTONOME DE DUNKERQUE

#### • Contexte

La société I.D.S. assiste le PAD pour l'acquisition de son système GPS. Par extension de ses travaux, elle préconise au PAD pour le développement durable de ses outils un développement géodésique inévitable dans le contexte actuel.

En effet, le PAD fait face aujourd'hui à :

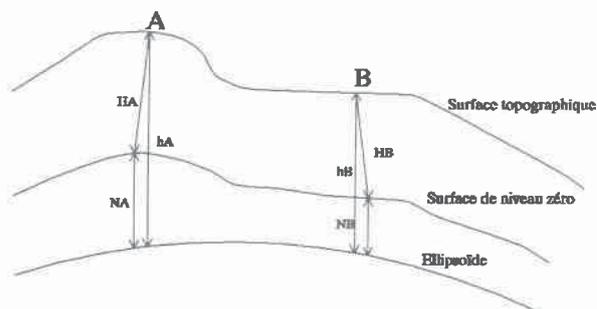
- l'arrivée du GPS pour l'acquisition de données bathymétriques et par extension topographiques.
- l'évolution du système géodésique de référence avec la mise en place progressive du RGF93.
- une nécessaire rénovation de son canevas géodésique pour homogénéiser ses bases de données et ses besoins en informations géographiques.

L'idée générale d'une refonte du canevas portuaire permettant l'utilisation du GPS et prévoyant l'arrivée du RGF93 est donc mise en avant.

Le principal problème est de faire correspondre les hauteurs ellipsoïdales avec les altitudes normales IGN69. De nombreuses études montrent la complexité d'une modélisation du géoïde. Dans le cas présent, on cherche à simplifier le problème. En effet, on a l'avantage de travailler localement et sur un territoire ayant un relief constant et simple. Cela permet de s'affranchir de données gravimétriques indispensables pour un véritable géoïde.

On ramène donc le problème à la recherche de l'ondulation et on abandonne la notion de géoïde au profit de surface de niveau zéro.

La notion d'ondulation est donc ramenée à une composante géométrique. Sa variation est faible sur le territoire du Port Autonome de Dunkerque (30 cm) et implique de travailler avec précision et précaution, car les fautes ou erreurs seront difficilement décelables.



$$\Delta H = \Delta h - \Delta N$$

H : altitude IGN69  
h : hauteurs ellipsoïdales  
N : ondulations

Les valeurs de l'ondulation sont donc déterminées par comparaison des altitudes IGN69 et des hauteurs ellipsoïdales.

#### • Méthodologie proposée

On définit maintenant une méthode pour rationaliser les travaux répondant aux différents besoins du PAD (intégration du GPS, arrivée du RGF93, rénovation du canevas portuaire).

Chaque besoin pourrait être traité séparément mais cela entraînerait une redondance de travaux.

La première démarche est donc d'étudier les références géodésiques disponibles sur le territoire du PAD. La superficie du territoire, la diversité des activités et les constants aménagements ont rendu le référentiel géodésique disparate dans sa répartition, sa précision et ses origines. Il est nécessaire de réaliser un état des lieux de l'existant pour pouvoir asseoir un nouveau référentiel et utiliser les données disponibles.

En complément de l'existant, une définition des besoins en points géodésiques permet de quantifier le nombre de points du futur réseau.

Un certain nombre de points du canevas seront aussi placés géographiquement de telles manières à pouvoir fournir ultérieurement des données pour la surveillance des ouvrages. Ces points n'auront pas forcément un intérêt géodésique fort, *mais un intérêt stratégique certain pour la maintenance préventive.*

Le canevas doit pouvoir répondre aux besoins de tous les services du Port Autonome de Dunkerque. Son adaptation géographique sera donc contraignante.

Pour déterminer les ondulations il faut comparer les altitudes normales et les hauteurs ellipsoïdales d'un canevas dense de points répartis sur tout le territoire du PAD. De la densité du canevas et de la bonne répartition des points va dépendre la précision de la détermination de la surface de niveau zéro.

La répartition des points est soumise à la topographie du terrain. Il est nécessaire d'encadrer au maximum les jonctions terre - mer (quais, darses, etc.) et de disposer de points assez loin dans les terres pour appréhender la surface de niveau zéro à l'approche du littoral.

La combinaison entre les points nécessaires au futur canevas et ceux utiles pour la détermination de la surface zéro doit être judicieuse pour rationaliser les travaux.

Le maximum de points connus en IGN69 sera utilisé. Il sera certainement nécessaire pour des raisons de contrôle ou de densification d'utiliser des points du réseau altimétrique.

L'implantation de nouveaux points sera effectuée avec les précautions d'usage : stabilité, disponibilité de références visuelles, emplacement, etc.

Tous ces points doivent ensuite être observés par GPS. L'IGN recommande de travailler pour les nouveaux chantiers directement en RGF93. Il sera donc nécessaire de s'appuyer sur des points du réseau RGF93.

L'utilisation du GPS centimétrique pour l'acquisition des données bathymétriques nécessite la mise en place d'une station de référence. Celle-ci servira aussi de pivot pour l'utilisation du GPS comme outil topographique. La station de référence s'appuiera pour sa détermination sur les sites du RBF et sur les références du deuxième ordre du canevas Lambert disponibles sur la région dunkerquoise.

On utilisera donc la station de référence comme point central du nouveau canevas. Néanmoins, une hiérarchisation du canevas est probable. Les observations et les points d'appuis évolueront selon cette hiérarchie possible. Selon l'importance du point, le nombre de pivots et la durée des observations seront modifiés.

Les observations GPS fournissent donc les valeurs de comparaison pour déterminer la surface zéro. Tous les écarts obtenus demandent un traitement statistique et mathématique des points pour contrôler la validité du modèle et déterminer sa précision. Bien-sûr, des tests du modèle sont indispensables.

Il est très difficile de savoir le nombre exact de points nécessaire à telle ou telle précision pour le modèle de surface zéro. Il est évident que l'approche va se faire de manière progressive en déterminant un premier modèle et en testant sa validité puis en incrémentant le nombre de points.

Tous les points du canevas seront intégrés dans le calcul en premier. Des points supplémentaires seront observés selon la densité et la répartition du réseau.

L'exploitation des données GPS sera donc double : d'une part en altimétrie, pour valider l'uti-

lisation du GPS dans les trois dimensions et d'autre part en planimétrie pour fournir les coordonnées du nouveau canevas en RGF93.

Toutes les coordonnées seront donc exprimées en RGF93, leur transformation en Lambert sera fournie, soit par le logiciel de post-traitement GPS (certains fournisseurs GPS intègrent déjà le système RGF93 dans leurs modules), soit par une adaptation grâce aux points communs dans les deux systèmes. Les points repris conserveront leurs coordonnées actuelles en Lambert.

Une des finalités est de disposer de paramètres locaux de transformation précis sur le territoire du Port entre les systèmes Lambert et le RGF93. Cela permettra entre autres de convertir les bases de données des différents services le moment venu.

Cette démarche générale comprend des travaux importants à réaliser, notamment au niveau de l'acquisition des données.

Elle devrait permettre de répondre aux attentes en positionnement et d'harmoniser le référentiel. Une amélioration de la précision de l'information géographique est envisageable. L'anticipation sur le RGF93 permettrait une meilleure cohérence des données GPS et un gain de temps sur les changements à venir.

*(article écrit en collaboration avec M. Badaoui, de la société IDS)*

