

CARTES INTERNATIONALES REFERENCES GEODESIQUES

1. La représentation de la Terre sur une carte plane

1. De la Terre au géoïde

La surface terrestre est différente d'une sphère : on constate des écarts de plusieurs centaines de mètres (aplatissement aux pôles, relief terrestre et fosses marines).

Pour définir une référence, on utilise la pesanteur (ou accélération terrestre $g = 9,81 \text{ m/s}^2$) mesurée à la surface terrestre. Les points d'égale pesanteur constituent une surface qui coïncide avec le niveau moyen des océans : le géoïde.

2. Du géoïde à l'ellipsoïde

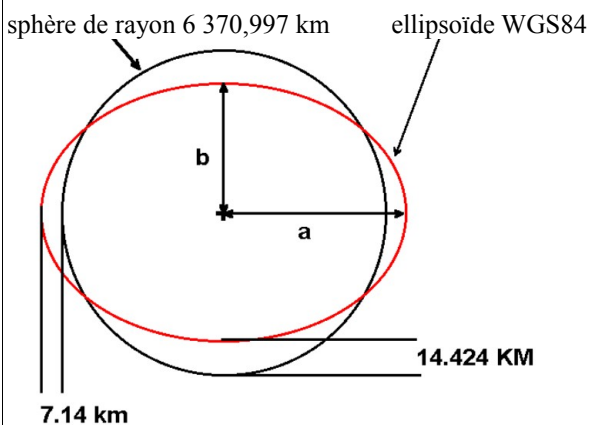
Le géoïde n'est pas une surface géométrique simple : elle diffère d'un ellipsoïde de plusieurs dizaines de mètres (creux et bosses).

Pour permettre une projection mathématique de la surface en 3 dimensions sur une carte en 2 dimensions, on choisit un ellipsoïde : surface obtenue en faisant tourner une ellipse autour d'un de ses axes.

3. Ellipsoïde et système géodésique (datum)

Un ellipsoïde est caractérisé par :

- son demi-grand axe ;
- son aplatissement ;
- son point de tangence avec le géoïde (point fondamental).



Ellipsoïde du système géodésique WGS84

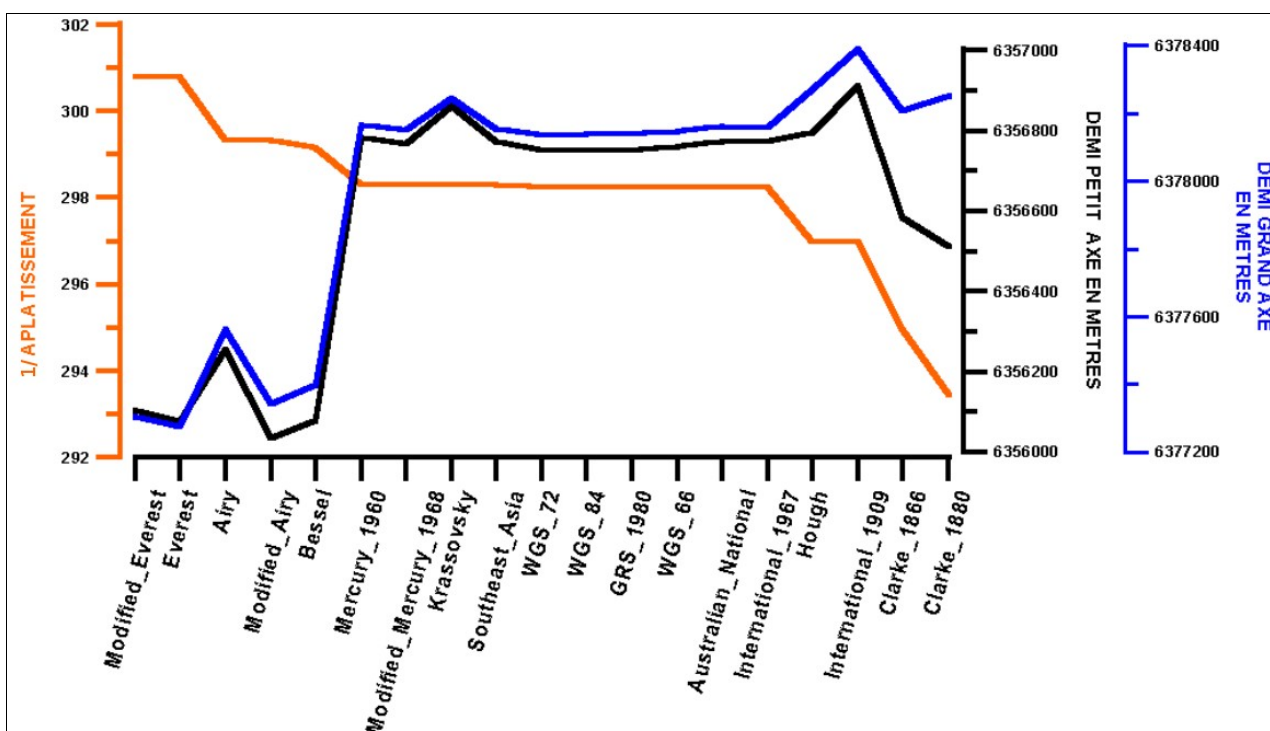
demi-grand axe	$a = 6\,378,137 \text{ km}$
demi-petit axe	$b = 6\,356,752 \text{ km}$
aplatissement	$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,25}$

On distingue des systèmes géodésiques :

- locaux, dont le point fondamental est situé dans la région du monde à représenter ;
- globaux, sans région du monde privilégiée.

Les locaux visent à utiliser un ellipsoïde épousant localement le géoïde : autour du point fondamental, les différences de position (latitude, longitude, altitude) sont minimales mais plus loin, les erreurs atteignent plusieurs dizaines de mètres. Exemples : ED50 (Europe), IGN47 (la Réunion), Great Britain.

Les globaux ont remplacé les locaux avec l'avènement des systèmes de positionnement mondiaux (GPS, GLONASS, GALILEO) : ils ne privilégient aucune région du monde mais visent à obtenir des erreurs de positionnement minimales partout. Exemples : WGS72, WGS84.



Ellipsoïdes des principaux systèmes géodésiques

Les écarts de positions entre systèmes géodésiques locaux et globaux varient selon le lieu sur la Terre : entre ED50 et WGS84 il sont d'environ 150 m en Europe et 1000 m au Japon

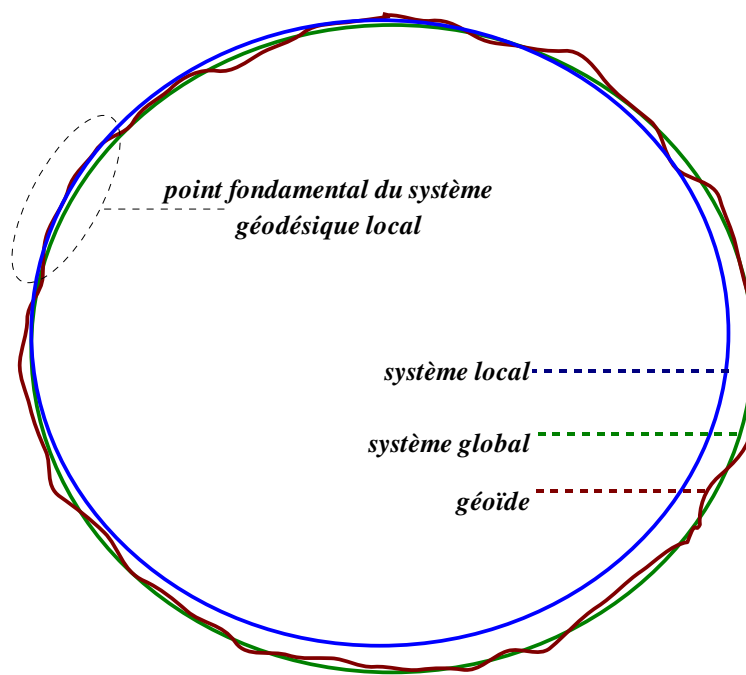
La transformation des positions d'un système géodésique vers un autre résulte de formules mathématiques compliquées et les récepteurs GPS en donnent des résultats plus ou moins approchés selon leur qualité.

Le risque en navigation est d'utiliser des systèmes géodésiques différents sur la carte

et le moyen de positionnement : un GPS en WGS84 et une carte en IGN51 (Guadeloupe) entraîneront une erreur de 500 m sur la position du navire.

Les conséquences peuvent s'aggraver si un navire suit une route entre deux points à l'aide de son pilote automatique (rail de relevé hydrographique, pose de câble, supply en positionnement dynamique) : le changement de système géodésique par le chef de quart sur le moyen de positionnement pourrait entraîner une manoeuvre du navire. Le pilote automatique se voit brutalement décalé de sa route et manoeuvre alors qu'un navire en route de collision, un appareil en remorque ou un plongeur sont menacés.

Pour éviter ce piège, l'ECDIS peut intégrer dans la préparation de traversée le système géodésique dans lequel chaque point a été mesuré.



4. De l'ellipsoïde à la carte plane

La projection d'une surface en 3 dimensions sur une carte en 2 dimensions peut suivre différentes lois géométriques. Chacune confère à la carte marine des avantages parmi les suivants :

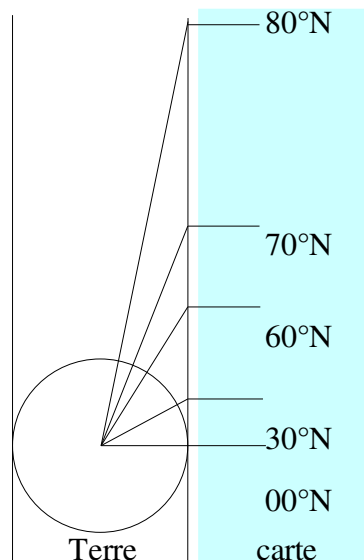
- carte conforme (conserve les angles) ;
- carte équidistante (conserve les distances) ;
- carte équivalente (conserve les surfaces) ;
- carte loxodromique où la loxodromie est une droite ;
- carte orthodromique où l'orthodromie est une droite.

La projection cylindrique de Mercator (1569)

C'est la plus utilisée pour les cartes marines des routes commerciales courantes. La carte de Mercator est conforme et loxodromique. Mais elle ne conserve pas les distances : il faut utiliser l'échelle des latitudes pour mesurer les miles.

Cette projection est utilisée pour les cartes entre les latitudes 70° Nord et Sud. Au-delà, la dilatation des latitudes est trop forte : la latitude croissante est donnée par la formule :

$$\Lambda(\varphi) = \frac{180}{\pi} \cdot \ln(\tan(\frac{\varphi}{2} + 45^\circ))$$

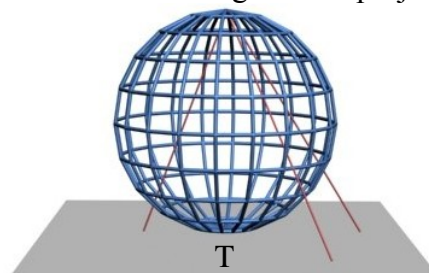


Les projections azimutales stéréographiques

Un hémisphère terrestre est tangent au plan de la carte au point T et les points de cet hémisphère sont projetés sur la carte depuis l'antipode V du point T. On distingue les projections stéréographiques :

- méridienne : T et V sont sur l'équateur ;
- polaire : T et V sont les pôles ;
- oblique : T et V sont quelconques.

La projection stéréographique polaire représente la loxodromie par une spirale autour du pôle. Elle sert aux cartes marines des pôles, aux cartes du ciel et aux cartes météo.

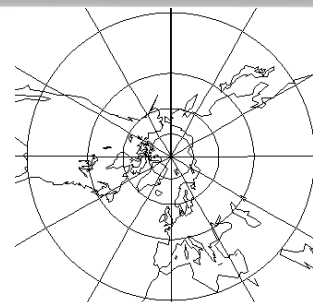


Les projections azimutales gnomoniques

Ici le point V est au centre de la Terre.

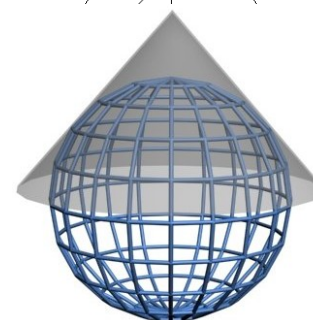
On distingue les projections gnomoniques :

- méridienne : T est sur l'équateur (cartes de Hilleret) ;
- polaire : T et V sont les pôles (cartes de Gernez) ;
- oblique : T et V sont quelconques.



La projection azimutale orthographique

Ici le point V est à l'infini : c'est l'image obtenue avec une photographie de la terre prise depuis l'espace.



La projection conique de Lambert

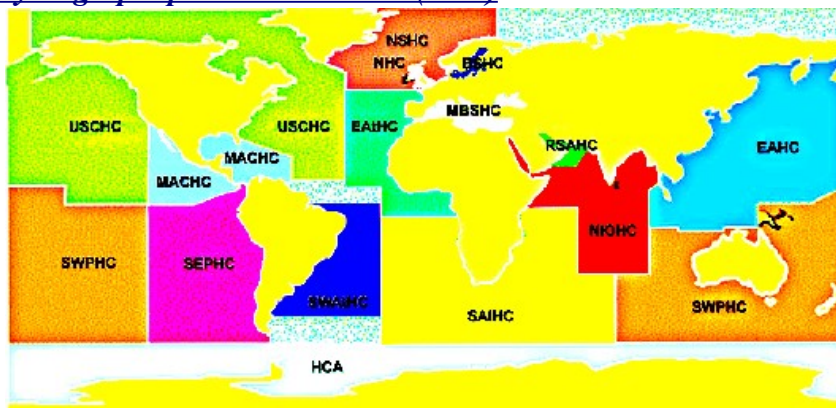
Au voisinage du parallèle de tangence, les déformations sont minimales. La carte est rendue conforme par le calcul. Projection parfois utilisée sur Syledis et Toran.

2. Création d'une carte marine

1. L'Organisation Hydrographique Internationale (OHI)

L'OHI est installée au BHI (bureau hydrographique international) à Monaco.

Les relevés hydrographiques et la publication des cartes sont partagés en zones confiées à des pays membres aidés de pays associés ou observateurs.

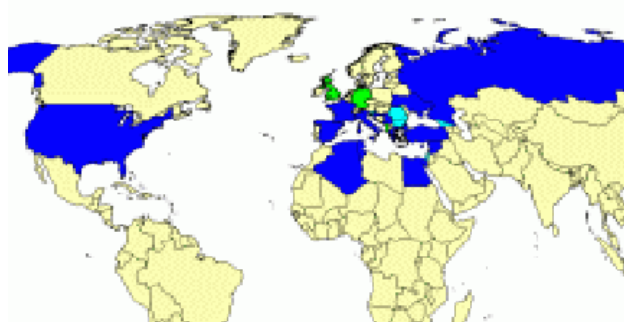


Exemple : Méditerranée et Mer Noire

■ Membres : Algérie, Croatie, Chypre, Égypte, France, Grèce, Italie, Monaco, Maroc, Roumanie, Russie, Serbie, Monténégro, Slovénie, Espagne, Syrie, Tunisie, Turquie, Ukraine.

■ Associés : Bulgarie, Géorgie, Israël, Malte, Palestine, UK, USA.

■ Observateurs : Albanie, Allemagne, Liban.



2. Norme de l'OHI : précision des sondes

Les normes hydrographiques sont établies par l'[Organisation Hydrographique Internationale \(OHI\)](#). Depuis 1998, la 4ème version de la publication spéciale S44 définit les exigences minimales en terme de qualité et de précision des levés hydrographiques selon quatre zones :

- **ordre spécial** : voie recommandée avec seuil de navigation et zone de mouillage ;
- **ordre 1** : chenal d'accès, port, voie recommandée et zone côtière de profondeur < 100 m ;
- **ordre 2** : autres zones que l'ordre spécial et l'ordre 1 de profondeur < 200 m.
- **ordre 3** : zones hauturières et zones non décrites dans les 3 autres ordres.

<i>P représente la profondeur</i>	<i>Ordre spécial</i>	<i>Ordre 1</i>	<i>Ordre 2</i>	<i>Ordre 3</i>
précision horizontale (niveau de confiance 95%)	2 m	5 m + 5% P	20 m + 5% P	150 m + 5% P
précision verticale : $\sqrt{a^2 + (P*b)^2}$ (niveau de confiance 95%)	a = 0,25 m b = 0,0075	a = 0,5 m b = 0,013	a = 1 m b = 0,023	a = 1 m b = 0,023
capacité de détection	objet cubique > 1 m	objet cubique > 2 m si P < 40 m 0,1.P si P > 40 m	objet cubique > 2 m si P < 40 m 0,1.P si P > 40 m	-

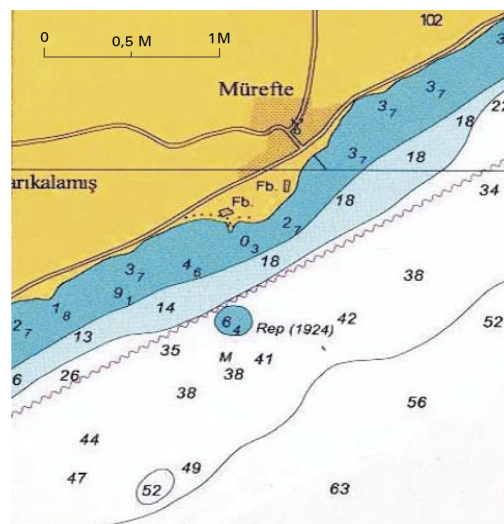
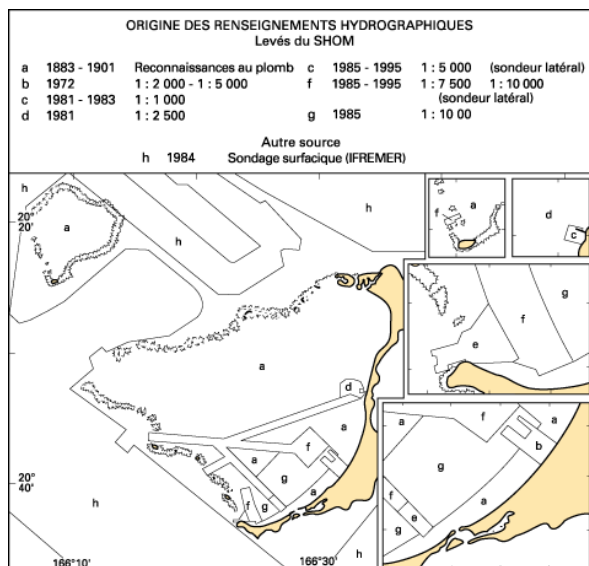
Exemples : zone de mouillage draguée à 10 m précision 2 m horizontal 0,26 m vertical
 chenal d'accès au port dragué à 12 m précision 5,6 m horizontal 0,52 m vertical
 DST sondé à 120 m précision 26 m horizontal 2,94 m vertical

3. Degré de confiance à accorder aux cartes

Les cartes électroniques officielles de navigation vectorielles ne sont que très légèrement plus précises que la carte papier. Il convient donc de s'en méfier encore plus en raison de leur facilité d'emploi avec le GPS.

1. Date et technique de sondage

Dates des levés hydrographiques	Moyen de sondage habituel	Largeur de la bande explorée	Moyen de positionnement	Tirant d'eau maximum des navires de l'époque
Avant 1945	Plomb de sonde.	Nulle (sondage ponctuel)	Optique en vue de terre.	De l'ordre de 10 m.
Après 1945	Sondeur vertical à ultrasons (le fond est insonifié en incidence normale).	Égale à la demi-profondeur.	Estime au large. Optique ou radiolocalisation à courte portée près de terre.	Jusqu'en 1960 : 15 m.
1960-1970			Radiolocalisation à moyenne portée au large.	
À partir de 1970	Introduction du sondeur latéral à ultrasons (le fond est insonifié en incidence oblique, voire rasante). L'exploration au sondeur latéral complète le levé au sondeur vertical pour la détection des remontées de fond abruptes.	Exploration totale de la zone sondée. Le sondeur latéral n'est actuellement employé que dans certaines zones « prioritaires ».	Introduction des systèmes mondiaux de positionnement dans les zones océaniques.	Après 1960, augmentation progressive pour atteindre et dépasser 30 m sur quelques navires vers les années 1970-1980.



Carte internationale au 1/75 000 - Rééditée en 2004.

2. Recommandations tirées du petit livre bleu (SHOM 1F)

Hauts fonds

Des hauts-fonds peuvent avoir échappé aux sondages, même dans les zones qui ont fait l'objet de levés conduits selon les règles de l'art. Seuls les levés exécutés à la drague hydrographique, au sondeur latéral ou au sondeur multifaisceaux donnent toutes les garanties de sécurité.

Le sommet d'un haut-fond est difficile à déterminer : ***ne pas passer sans nécessité sur un haut-fond***, même si sa cote cartographiée le permet a priori.

Épaves

La cotation des épaves est difficile et les modifications temporelles de leurs caractéristiques ne vont pas toujours dans le sens d'un danger décroissant avec le temps. Le brassage indiqué sur la carte peut être supérieur à la réalité du moment. Prendre les mêmes précautions qu'avec un haut-fond.

Les navigateurs sont avertis des zones où les fonds évoluent par des nota portés sur les cartes et/ou dans les Instructions Nautiques. Il convient alors de ***choisir un pied de pilote adapté aux circonstances***.

Zone peu fréquentée

Il y a deux raisons d'être prudent :

- l'hydrographie y est a priori sommaire ;
- il n'y a pas eu d'hydrographie « par la quille » avec le passages sans encombre de navires d'un fort tirant d'eau.

Critères de fiabilité de la bathymétrie

- les isobathes sont continues ;
- les sondes sont bien réparties sur l'ensemble de la zone ;
- la topographie est récente et complète.

Au contraire il faut se méfier :

- des isobathes interrompues, des sondes très éparses, des profils de sonde irréguliers ;
- des hauts fonds isolés, des annotations telles que « fonds moindres » ;
- d'une topographie succincte ou incomplète.

Il n'y a pas eu de levé régulier dans les zones où :

- les isobathes sont rares et interrompues ;
- les sondes sont réparties de façon très inégale ;
- la sonde ou la position est suivie de la mention « douteuse ».

Les levés hydrographiques de reconnaissance ont été effectués en simple transit si les sondes sont irrégulièrement disposées le long d'une route de navigation.

Éviter les grands espaces blancs apparaissant sur la carte, il correspondent à une absence d'information mais pas de danger.

Règles de prudence

- même avec un moyen de positionnement précis, donner un large tour aux hauts fonds isolés ;
- appliquer la règle du pouce : tracer, chaque fois que possible, la route de façon à passer à plus d'un pouce des dangers immergés, à l'échelle de la carte utilisée.

Bibliographie

www.shom.fr