

ORGANISATION HYDROGRAPHIQUE INTERNATIONALE



MANUEL D'HYDROGRAPHIE

Publication C-13

**Edition 1.0.0
May 2005
(A jour de février 2011)**

PUBLIÉ PAR LE

BUREAU HYDROGRAPHIQUE INTERNATIONAL

MONACO

Avis de droit d'auteur

© Copyright Organisation hydrographique internationale 2012

Cet ouvrage est protégé par le droit d'auteur. A l'exception de tout usage autorisé dans le cadre de la Convention de Berne pour la protection des œuvres littéraires et artistiques (1886) et à l'exception des circonstances décrites ci-dessous, aucune partie de cet ouvrage ne peut être traduite, reproduite sous quelque forme que ce soit, adaptée, communiquée ou exploitée à des fins commerciales sans autorisation écrite préalable du Bureau hydrographique international (BHI). Le droit d'auteur de certaines parties de cette publication peut être détenu par un tiers et l'autorisation de traduction et/ou de reproduction de ces parties doit être obtenue auprès de leur propriétaire.

Ce document, dans son intégralité ou en partie, peut être traduit, reproduit ou diffusé pour information générale sur la base du seul recouvrement des coûts. Aucune reproduction ne peut être vendue ou diffusée à des fins commerciales sans autorisation écrite préalable du BHI ou de tout autre détenteur du droit d'auteur.

Au cas où ce document, dans son intégralité ou en partie, serait reproduit, traduit ou diffusé selon les dispositions décrites ci-dessus les mentions suivantes devront être incluses :

“Le matériel provenant de la publication de l'OHI [référence de l'extrait : titre, édition] est reproduit avec la permission du Bureau hydrographique international (BHI) (Autorisation N°/...), agissant au nom de l'Organisation hydrographique internationale (OHI), qui n'est pas responsable de l'exactitude du matériel reproduit : en cas de doute le texte authentique de l'OHI prévaut. L'inclusion de matériel provenant de l'OHI ne sera pas interprétée comme équivalant à une approbation de ce produit par l'OHI.”

“Ce [document/publication] est une traduction du [document/publication] [nom] de l'OHI. L'OHI n'a pas vérifié cette traduction et en conséquence décline toute responsabilité quant à sa fidélité. En cas de doute la version source de [nom] en [langue] doit être consultée.”

Le logo de l'OHI ou tout autre signe identificateur de l'OHI ne seront pas utilisés dans tout produit dérivé sans autorisation écrite préalable du BHI.

ORGANISATION HYDROGRAPHIQUE INTERNATIONALE



MANUEL D'HYDROGRAPHIE

Publication C-13

**Edition 1.0.0
May 2005
(A jour de février 2011)**

Publié par le
Bureau Hydrographique International
4, Quai Antoine 1er
B.P. 445 - MC 98011 MONACO Cedex
Principauté de Monaco
Télécopie: (377) 93 10 81 40
Mél : info@iho.int
Web: www.iho.int

PAGE LAISSÉE INTENTIONNELLEMENT EN BLANC

PREFACE

L'objectif général du **Manuel d'hydrographie de l'OHI** est de fournir des connaissances sur les concepts liés à l'hydrographie et servir de guide pour l'organisation et l'exécution des levés hydrographiques. Le manuel est considéré comme étant un guide professionnel pour les hydrographes et un outil pour les professeurs et les étudiants dans les cours ou les programmes hydrographiques.

La préparation de ce manuel débuta après qu'une majorité des états membres de l'OHI se soit prononcée en faveur d'un projet ayant pour objet de produire un manuel hydrographique (1999). Le BHI proposa alors l'établissement d'un groupe de travail qui se réunit pour la première fois dans les bureaux du BHI du 20 au 22 juin 2001, où il se mit d'accord sur une table des matières, identifia des chefs de file responsables des sujets spécifiques ainsi que de la compilation des contributions d'experts et définit un plan de travail. En 2004, une deuxième réunion eut lieu pour examiner les résultats et définir une version provisoire du manuel. Après avoir recueilli les commentaires des Etats membres, une version définitive fut établie et le manuel d'hydrographie de l'OHI publié.

Le manuel est considéré comme étant une production de valeur qui contribue à la mission de l'OHI dont les objectifs sont rappelés ci-après:

- coordination des activités des Services hydrographiques nationaux;
- recherche de la plus grande uniformité possible dans les cartes et documents nautiques;
- adoption de méthodes fiables et efficaces pour la réalisation et l'utilisation des levés hydrographiques;
- contribution au développement des sciences hydrographiques et des techniques mises en œuvre en océanographie descriptive.

Si de nombreux Services hydrographiques (SH) firent de grands efforts pour produire et tenir à jour leur propre manuel d'hydrographie, et ce, depuis leur création, il faut reconnaître que le manque de temps et de ressources humaines en empêcha beaucoup d'autres de se lancer dans une telle activité, ce qui eut pour effet de les conduire à s'entendre pour coopérer et coordonner leurs efforts en vue d'établir le Manuel d'hydrographie de l'OHI. Un manuel utile à tout le monde, insistant sur les aspects spécifiques de l'hydrographie mais n'abordant les autres thèmes qu'en termes généraux, car ils sont déjà traités de manière très détaillée dans les ouvrages spécialisés.

Le contenu de ce manuel est divisé en sept chapitres :

- le chapitre 1 traite des principes des levés hydrographiques, instructions techniques comprises ;
- le chapitre 2 traite de la localisation ;
- le chapitre 3 traite de la détermination des profondeurs, y compris les principes et les techniques utilisées ;
- le chapitre 4 fournit des informations sur la classification des fonds marins et la détection des reliefs caractéristiques ;
- le chapitre 5 traite des niveaux de la mer et des courants ;
- le chapitre 6 est consacré aux levés bathy-topographiques ;
- le chapitre 7 fournit, de façon structurée, une description détaillée des pratiques hydrographiques.

Il est complété par des annexes contenant des listes d'acronymes, des références bibliographiques ainsi que toute autre information pertinente.

La responsabilité de la tenue à jour de ce manuel incombe à l'OHI, en fonction des contributions des États membres et des autres organisations qui sont invités à fournir au Bureau Hydrographique International les informations pertinentes. Si nécessaire, le BHI demandera l'avis du Comité International de la FIG/OHI/ACI sur les normes de compétence des hydrographes et des spécialistes en cartographie marine sur la meilleure façon d'introduire de nouvelles informations et/ou d'organiser les chapitres en conséquence.

Le BHI conservera la version numérique de ce manuel sur la page Web de l'OHI et imprimera des copies papier sur demande. Avec l'assistance des lecteurs et des États membres, il s'efforcera de tenir cette publication régulièrement à jour.

Le BHI est tout particulièrement reconnaissant à l'Amiral RITCHIE du Royaume-Uni pour ses encouragements et son soutien à la rédaction de l'introduction de ce manuel.

Le BHI souhaiterait enfin remercier les principaux auteurs ci-après pour leurs efforts dans la préparation du texte final, tout en ayant conscience qu'ils ont été eux-mêmes assistés par bien d'autres qu'il n'est pas possible de nommer ici :

CV Muhammad ZAFARYAB (Pakistan), CF Lamberto LAMBERTI (Italie), LV Antonio DI LIETO (Italie), CC Paul LAWRENCE (RU), CC Fernando FREITAS (Portugal), CC Peter JOHNSON (Australie), CF Jerry MILLS (EU), M. Stephan GILL (EU), M. Federico MAYER (Argentine), M. Hector SALGADO (Argentine), CC Bob WILSON et David WYATT (RU).

TABLE DES MATIERES

PRÉFACE	i
INTRODUCTION	1
Brève histoire de l'hydrographie.....	1
Importance de l'hydrographie	2
Les champs de compétence associés à l'hydrographe	3
CHAPITRE 1 “PRINCIPES DES LEVÉS HYDROGRAPHIQUES”	7
1. Introduction	7
2. Levés hydrographiques	8
2.1 Spécifications des levés	8
2.2 Planification des levés	9
2.3 Acquisition des données	13
2.4 Traitement des données	14
2.5 Analyse des données	15
2.6 Qualification des données	16
2.7 Qualification des données - Présentation	17
2.7.1 Diagramme des sources	17
2.7.2 Zones de confiance (ZOC).....	17
2.8 Production des données	21
2.9 Traitement des données à des fins cartographiques	22
2.9.1 Processus de compilation.....	24
2.9.2 Représentation	26
Annexe A – Acronymes	30
Références	31
Adresses Internet	32
Bibliographie	33
CHAPITRE 2 “POSITIONNEMENT”	35
1. Introduction	35
2. Principes de positionnement	35
2.1 La terre	35
2.1.1 L'ellipsoïde.....	36
2.1.2 La sphère locale.....	37
2.1.3 Le géoïde	38
2.2 Système de référence	38
2.2.1 Système de référence horizontale	39
2.2.2 Types de systèmes de référence.....	40
2.2.3 Transformation des systèmes géodésiques de référence.....	41
2.2.4 Systèmes de référence verticale.....	43
2.3 Systèmes de coordonnées	44
2.4 Principes de la cartographie	45
2.5 Projections	46
2.5.1 Projections perspectives (ou géométriques)	46
2.5.2 Projections coniques	47
2.5.3 Projections cylindriques	47
2.5.4 Représentations.....	48
2.5.5 Projection Mercator transverse universelle	49
3. Méthodes de contrôle horizontal	50
3.1 Introduction.....	50
3.2 Méthode classiques.....	50

3.2.1	Triangulation	50
3.2.2	Trilatération	54
3.3	Méthodes mixtes	55
3.3.1	Chemins	56
3.3.2	Cheminement ouvert non orienté (iso-déterminé)	57
3.3.3	Cheminement ouvert orienté (mesures surabondantes)	58
3.3.4	Cheminement fermé non orienté	60
3.4	Principes de la photogrammétrie	61
3.4.1	Aérophotogrammétrie (photogrammétrie aérienne)	62
3.5	Visibilité réciproque des points géodésiques	65
4.	Méthodes de contrôle vertical	67
4.1	Nivellement géométrique (méthode par niveau à bulle)	67
4.1.1	Principes et spécifications	67
4.1.2	Contrôle de la qualité des mesures	68
4.1.3	Les sources d'erreurs	68
4.1.4	Calculs et compensations	69
4.2	Nivellement trigonométrique (ou géodésique)	70
4.2.1	Principes et spécifications	70
4.2.2	Correction de sphéricité	71
4.2.3	Correction de réfraction	71
4.2.4	Correction de hauteur	72
4.2.5	Sources d'erreurs	73
4.2.6	Calculs et compensation	74
4.3	Altimétrie par GPS (méthode de contrôle vertical par GNSS)	74
5.	Instruments utilisés pour les contrôles de précision horizontale et verticale	75
5.1	Récepteur GNSS (GPS)	75
5.2	Appareils électroniques de mesure de distance	75
5.2.1	Mesure électronique de la distance par phase	76
5.2.2	Mesure électronique de la distance par ondes pulsées	78
5.2.3	Précision et portée des DME	79
5.2.4	Les stations totales	80
5.3	Instruments optiques	80
5.3.1	Sextants de marine et cercles hydrographiques (cercles à réflexion)	80
5.3.2	Théodolites	81
5.3.3	Instruments de nivellement (niveaux et mires)	83
6.	Méthodes et techniques de positionnement	84
6.1	GNSS (GPS)	84
6.1.1	Description du système de positionnement global (GPS)	84
6.1.2	Principes de positionnement	86
6.1.3	Performances du système et sources d'erreurs	87
6.1.4	Techniques de poursuite et d'acquisition du signal GPS	88
6.1.5	Le GPS différentiel (DGPS)	90
6.1.6	Le mode de positionnement cinématique temps réel (RTK)	91
6.1.7	Traitement des données	93
6.2	Positionnement par mesures électromagnétiques	94
6.2.1	Précision dans la détermination de la position	95
6.2.2	Lignes de position (LOP)	96
6.2.3	Lignes de position circulaires (C LOPs)	96
6.2.4	Lignes de position hyperboliques (H LOPs)	97
6.2.5	Méthodes de détermination des LOP par ondes électromagnétiques (EW LOPs)	97
6.2.6	Mesures des différences de phase	97
6.2.7	Mesure des différences de temps	98
6.3	Systèmes acoustiques	99
6.3.1	Techniques de positionnement acoustique	100

6.3.2	Principes de mesure	103
6.3.3	Précision et sources d'erreurs	105
6.4	Techniques optiques	106
6.4.1	Levé à la cordelle (sondage avec corde graduée)	106
6.4.2	Positionnement par cercle hydrographique (relèvements inverses)	107
6.4.3	Positionnement par profil guidé et traversiers	107
6.4.4	Positionnement par azimuts/distances (systèmes mixtes optique et électromagnétique)	107
Références		108
Bibliographie		110
CHAPITRE 3 "DETERMINATION DE LA PROFONDEUR"		113
1.	Introduction	113
2.	Les capteurs acoustiques	114
2.1	Ondes sonores et caractéristiques physiques de l'eau de mer	114
2.1.1	Champs sonores	114
2.1.2	Equation du sonar	115
2.1.3	Température de l'eau	119
2.1.4	Salinité	119
2.1.5	Pression	119
2.1.6	Densité	119
2.2	Salinité, température et mesure de la célérité	120
2.2.1	Instrumentation	120
2.2.2	Méthode opératoire	120
2.2.3	Enregistrement et traitement des données	121
2.2.4	Calcul de la célérité	121
2.3	Propagation du son dans l'eau de mer	121
2.3.1	Atténuation	121
2.3.2	Réfraction et réflexion	122
2.4	Paramètres acoustiques	123
2.4.1	Fréquence	123
2.4.2	Largeur de bande	123
2.4.3	Durée d'impulsion	124
3.	Les centrales d'attitude	125
3.1	Principes opératoires	125
3.1.1	Les senseurs inertiels	125
3.1.2	Centrales inertielles avec GPS intégré	126
3.2	Mesure de roulis, de tangage et de pilonnement	126
3.3	Cap suivi	126
3.4	Précision des mesures	127
4.	Les transducteurs	127
4.1	Classification des transducteurs selon leurs modes de fonctionnement	127
4.1.1	Transducteurs magnétostrictifs	127
4.1.2	Transducteurs piézoélectriques	128
4.1.3	Transducteurs électrostrictifs	128
4.2	Largeur du faisceau (lobes)	128
4.3	Classification des sondeurs selon leurs types de faisceaux	134
4.3.1	Sondeurs monofaisceaux	134
4.3.2	Sondeurs multifaisceaux	135
4.4	Classification selon le type d'installation	135
4.4.1	Sondeurs de coque	135
4.4.2	Sondeurs remorqués	135
4.4.3	Sondeurs hors-bord	135
4.5	Couverture du fond	137

5.	Systèmes acoustiques	138
5.1	Sondeurs monofaisceaux	138
5.1.1	Principes de fonctionnement	138
5.1.2	Installation et étalonnage	142
5.1.3	Mise en œuvre du sondeur monofaisceau et enregistrement des données....	143
5.1.4	Sources d'erreurs et techniques de contrôle de qualité.....	143
5.2	Systèmes à balayage	152
5.2.1	Sondeurs multifaisceaux (SMF)	152
5.2.2	Sonars interférométriques.....	165
6.	Systèmes non acoustiques.....	166
6.1	Sondeurs laser aéroportés	166
6.1.1	Principe de fonctionnement	166
6.1.2	Capacités et limitations.....	168
6.2	Systèmes électromagnétiques aéroportés	168
6.2.1	Principe de fonctionnement	168
6.2.2	Capacités et limites.....	169
6.3	Télé-détection.....	169
6.3.1	La photobathymétrie	169
6.3.2	Topographie sous-marine par altimétrie satellitale.....	170
6.4	Instruments mécaniques.....	170
6.4.1	Plombs de sonde et perches graduées.....	171
6.4.2	Drague-rail.....	171
6.4.3	Drague à fil.....	172
	Références	173
	Bibliographie	175

Annexe A	Coordonnées et systèmes de référence	179
-----------------	---	------------

CHAPITRE 4 « DÉTECTION DES RELÈVEMENTS DE FOND ET CLASSIFICATION DES FONDS »

	DES FONDS »	183
1.	Introduction	183
2.	Détection des relèvements de fond	183
2.1	Contexte.....	183
2.2	Normes	183
2.2.2	OHI S-44 – Normes minimales pour les levés hydrographiques.....	183
2.2.3	OHI S-57 – Normes de transfert aux cartographes des données hydrographiques	184
2.2.4	Détection des structures dangereuses	185
2.2.5	Les besoins militaires	186
2.2.6	Signalisation des dangers pour la navigation.....	186
2.3	Méthodes de détection des relèvements de fond.....	186
2.3.1	Généralités	186
2.3.2	Le sonar latéral (ou sondeur latéral)	187
2.3.3	Considérations théoriques.....	188
2.3.4	Contraintes opérationnelles	190
2.3.5	Distorsions des enregistrements du sondeur latéral.....	192
2.3.6	Détection des hauts-fonds.....	194
2.3.7	Calcul de la vitesse de progression.....	195
2.3.8	Erreurs de tenue de route	197
2.3.9	Mise en œuvre du sonar latéral.....	197
2.3.10	Erreurs de positionnement des contacts établis par sonar latéral.....	201
2.3.11	Mesures effectuées sur le sonogramme	201
2.3.12	Sondeurs multifaisceaux (SMF)	203
2.3.13	Conditions d'utilisation des sondeurs multifaisceaux	203

2.3.14	Magnétomètre.....	204
2.3.15	Autres méthodes de détection des objets posés sur le fond	205
2.3.16	Détermination du brassage d'un objet	205
2.3.17	Mesure du brassage par sondeur.....	205
2.3.18	Utilisation des plongeurs	206
2.3.19	Autres méthodes de détection.....	206
2.3.20	Dragages hydrographiques	206
2.4	Tenue des cahiers d'observations et constitution des divers dossiers.....	208
2.4.1	Explorations au sondeur latéral.....	208
2.4.2	Dossiers d'épaves	208
2.4.3	Exploration au sonar de coque.....	210
3.	Classification des fonds.....	211
3.1	Historique.....	211
3.1.2	Modèles de classification des fonds	212
3.1.3	Prélèvements de fond	213
3.1.4	Nature du fond.....	213
3.1.5	Classification des échantillons.....	213
3.1.6	Méthodes d'échantillonnage du fond	214
3.1.7	Cahiers d'enregistrement des natures de fond	216
3.2	Classification des senseurs.....	216
3.3	Aspects théoriques de la classification au moyen des différents senseurs.....	217
3.3.1	Introduction au recueil et à l'interprétation des informations de rétrodiffusion	217
3.3.2	Traitement du signal de retour (rétrodiffusion)	217
3.3.3	Référencement de la fonction imagerie du SMF	218
3.3.4	Mosaïquage.....	218
3.3.5	Remarques sur la classification	219
3.3.6	Le système RoxAnn	220
3.3.7	Classification utilisant le sondeur multifaisceaux	221
3.3.8	Modélisation texturale	221
3.3.9	Spectres de puissance	221
3.3.10	Matrices de cooccurrence des niveaux de gris (GLCM)	222
3.3.11	Fonction de densité de probabilité maximale d'amplitude du signal rétrodiffusé	222
3.3.12	Expression de la force d'un signal rétrodiffusé en fonction de l'angle de rasance	223
3.3.13	Interprétation acoustique du signal rétrodiffusé	224
3.3.14	Modèles de classification militaire	225
	Références	230
	CHAPITRE 5 "MARÉES ET COURANTS"	231
1.	Introduction	231
2.	Marées et hauteurs d'eau	231
2.1	Principes des marées et des hauteurs d'eau	231
2.1.1	Forces astronomiques génératrices de la marée.....	231
2.1.2	Caractéristiques de la marée	235
2.1.3	Variations du niveau de la mer non liées aux marées.....	243
2.1.4	Marée et niveaux de référence.....	244
2.1.5	Analyse harmonique et prédiction de la marée.....	245
2.2	Place des marées dans les levés hydrographiques	251
2.2.1	Budget d'erreurs	251
2.2.2	Spécifications relatives à la marée et aux niveaux de réduction des sondes.....	251
2.2.3	Détermination préalable des zones de marée et des niveaux	

	de réduction des sondes	253
2.2.4	Mise en oeuvre et contrôle des observatoires de référence	255
2.2.5	Installation, mise en oeuvre et démontage des observatoires secondaires ...	255
2.2.6	Contrôle de qualité des données marégraphiques, traitement et mise en forme	259
2.2.7	Calcul du zéro hydrographique et récupération d'un zéro historique.....	262
2.2.8	Réduction des sondages bathymétriques	265
2.2.9	Utilisation du GPS cinématique pour le contrôle vertical	267
3.	Courants de marée	268
3.1	Introduction.....	268
3.2	Principes des courants de marée	268
3.3	Mesures des courants	270
3.4	Prédiction des courants de marée.....	272
	Références	274
	CHAPITRE 6 “LEVÉS TOPOGRAPHIQUES”	275
1.	Introduction.....	275
2.	Topographie, représentation de la frange côtière et des amers	276
2.1	Spécifications.....	276
2.2	Méthodes de positionnement et précisions	277
2.2.1	GNSS.....	277
2.2.2	Triangulation	280
2.2.3	Chemins	282
2.2.4	Intersection, relèvements directs et relèvements inverses	290
2.2.5	Algorithmes usuels	293
2.2.6	Le nivellement et ses erreurs	298
2.3	Levés côtiers et portuaires	299
2.3.1	Application des méthodes topographiques directes.....	299
2.3.2	Densité des points topographiés	300
2.3.3	Techniques utilisées.....	300
2.3.4	Représentation du relief.....	301
3.	Télédétection.....	302
3.1	La photogrammétrie.....	303
3.1.1	Principes et applications de la photographie aérienne	303
3.1.2	Éléments de réalisation d'une couverture photographie aérienne	305
3.1.3	Établissement du plan de vol	306
3.1.4	Restitution.....	308
3.1.5	Aérottriangulation.....	309
3.1.6	Contrôle au sol.....	311
3.1.7	Généralités sur le stéréorestituteur – Traitement numérique	312
3.1.8	Photo-interprétation	314
3.2	Télédétection non photogrammétrique d'images.....	314
3.2.1	Satellites et capteurs de télédétection des ressources terrestres	315
3.2.2	Principaux systèmes de télédétection	318
3.2.3	Structure et support de l'image.....	323
3.2.4	Principes généraux d'interprétation et de traitement	324
3.2.5	Prétraitement de l'image et données complémentaires	326
3.2.6	Traitement d'image	328
3.2.7	Altimétrie.....	335
3.2.8	Applications cartographiques	338
	Acronymes	342
	Références	343
	Adresses Internet	346

Bibliographie	348
Annexe A Algorithmes pour la projection UTM	350
Annexe B Exemples d'équipements disponibles dans le commerce	361
CHAPITRE 7 "LEVÉS HYDROGRAPHIQUES"	365
1. Introduction	365
2. Planification d'un levé hydrographique	365
2.1 Programmation des levés hydrographiques	365
2.2 Instruction des demandes de travaux	366
2.3 Planification détaillée du levé	367
2.4 Réseau géodésique	367
2.5 Niveaux de référence et observation de la marée	368
2.6 Courants de marée	368
2.7 Sondages et densité de profils	368
2.8 Exploration au sonar latéral	369
2.9 Nature du fond	370
2.10 Trait de côte et topographie	370
2.11 Observations complémentaires	370
2.12 Organisation des équipes	371
2.13 Compilation et vérification des données	371
2.14 Transmission des résultats à l'établissement hydrographique	371
2.15 Établissement du programme d'activités	372
2.16 Durée des travaux et estimation des coûts	372
2.17 Liaisons avec les autorités extérieures	372
3. La reconnaissance du levé	373
3.1 Reconnaissance générale	373
3.2 Reconnaissance géodésique	373
3.3 Reconnaissance de la marée	373
4. Acquisition des données	374
4.1 Réseaux géodésiques et étalonnage	374
4.1.1 Introduction	374
4.1.2 Contrôle du positionnement horizontal à terre	375
4.1.3 Contrôle du positionnement à la mer	375
4.1.4 Reconnaissance préalable	377
4.1.5 Étalonnage des systèmes de positionnement	378
4.1.6 Méthodes de positionnement et instrumentation	379
4.2 Mesures d'altitude (contrôle vertical) et étalonnage	400
4.2.1 Description générale	400
4.2.2 Modélisation de la marée pour les levés en mode RTK	401
4.3 Observations environnementales	404
4.4 Préparation du plan de sondage	404
4.5 Profils de vérification	408
4.6 Profils réguliers	408
4.7 Recherches et profils supplémentaires	410
4.8 Observations diverses et complémentaires	411
5. Détermination du trait de côte	412
5.1 Généralités sur le trait de côte	412
5.2 Détails à rechercher sur la côte	413
5.3 Détails intéressant les navigateurs	413
5.4 Topographie	414
5.5 Détermination de la laisse de basse mer	414
5.6 Hauteurs des détails topographiques	415
5.7 L'estran	415
5.8 Calque de superposition du trait de côte	415

5.9	Utilisation des préparations photographiques aériennes	415
5.10	Méthode de topographie à pied pour la détermination du trait de côte.....	416
5.11	Tracé du trait de côte	417
5.12	Rapport sur la détermination du trait de côte.....	418
6.	Traitement des données.....	418
6.1	Bathymétrie.....	418
6.2	Classification des fonds.....	420
6.3	Détection des structures sous-marines	420
6.4	Observations diverses et complémentaires	421
6.5	Conformité avec la programmation.....	422
7.	Rédaction finale.....	422
7.1	Le rapport particulier	422
7.2	Expression des besoins	422
7.3	Format et densité des données	423
7.4	Supports d'enregistrements.....	423
	Acronymes utilisés au chapitre 7	424
	Références	425
	Bibliographie	427
	Appendice 1 – Check-List de planification et estimation de la durée d'un levé	429
	Appendice 2 – Tableau 1 – Systèmes de positionnement horizontal et critères de sélection	433
	Appendice 3 – Tableau 2 – Classification, selon la largeur de bande, des systèmes de radiolocalisation utilisés lors des levés hydrographiques	435
	Tableau 3 – Champs d'application des systèmes de radiolocalisation utilisés lors des levés hydrographiques.....	435
	Appendice 4 - Schémas de principe et d'interconnexions des systèmes	437
	Appendice 5 - Modèle de rapport particulier	447

INTRODUCTION

BREVE HISTOIRE DE L'HYDROGRAPHIE

La carte de navigation la plus ancienne connue à ce jour est la Carte Pisane, nommée ainsi car elle fut achetée en 1829 à la famille Pisan par la Bibliothèque Nationale de Paris. Elle avait été dessinée sur parchemin vers la fin du 13^e siècle, probablement à Gênes où une école de cartographie marine avait été établie. Il y avait une école semblable à Venise, tandis qu'une troisième école existait sur l'île de Majorque. Des cartes, appelées « Portulans », ont été produites par chacune de ces écoles et elles étaient très semblables en style et en contenu. Le plus remarquable est que ces cartes contenaient un réseau de lignes loxodromiques interconnectées provenant des roses des vents représentant 32 directions du vent, dont chacune pouvait être utilisée avec un diviseur multiple pour établir le cap d'un bateau. Le littoral méditerranéen entier était représenté et les noms côtiers étaient portés sur la terre afin de laisser les parties maritimes dégagées pour tracer les routes à suivre. Il y avait quelques symboles tels qu'une croix pour indiquer une roche submergée mais aucune sonde pour indiquer la profondeur.

Au 15^e siècle, les portulans portugais et espagnols permirent aux marins méditerranéens de naviguer au sud de l'Angleterre et en Finlande pour transporter des cargaisons de laine.

Pendant des générations, les marins du Nord naviguaient d'une zone importante à l'autre en utilisant des indications écrites et des profondeurs transmises par leurs ancêtres, selon une méthode de pilotage appelée à cette époque « *caping the ship* ». Avec le développement de l'imprimerie, Pierre Garcie, de Rouen, fut le premier à publier une information sur la manière de suivre un cap dans son « Routier de la Mer » au moyen de simples vues côtières illustrées au moyen du procédé de gravure sur bois.

Cornelius Anthonisz, un dessinateur d'Amsterdam, se rendit compte que les blocs de gravure sur bois pouvaient être utilisés pour imprimer des cartes sur papier. Sa première carte, intitulée « *Karte van Ostland* » fut produite pour la mer du Nord et la Baltique en reprenant les lignes et les objets d'autres portulans et en utilisant la projection de Ptolémée qui avait été récemment redécouverte à Constantinople.

Anthonisz avait montré le chemin, mais c'est Lucas Janszoon Waghenaer, d'Enkhuizen en Hollande, qui, quarante ans plus tard, imprima des cartes papier en utilisant le procédé de gravure sur cuivre. Pendant plusieurs années, il avait beaucoup voyagé en tant que pilote et rassemblé des informations hydrographiques, et quand il revint à terre à l'âge de 49 ans, il recruta d'autres marins pour l'aider avec leurs propres informations à compiler ses cartes. En 1584 Waghenaer publia son grand atlas « *Spieghel der Zeevaerdt* » (Miroir de la Mer) contenant 45 cartes couvrant les côtes européennes de la Norvège au Détroit de Gibraltar. Il introduisit beaucoup de nouveaux éléments tels que des vues de côtes, des symboles pour les bouées, les phares, les clochers, etc. et des sondes réduites à la mi-marée. Il réduisit les échelles de distances entre les ports afin de pouvoir consacrer plus de place à la représentation de leurs approches à une plus grande échelle.

Waghenaer avait réalisé une grande percée dans la production d'une carte papier conçue par un marin pour les marins. Il s'était fait de nombreux disciples en Hollande et pendant plus de cent ans, les cartes hollandaises furent largement diffusées, même pour les eaux britanniques, si bien que le roi Charles II prit la décision de faire hydrographier la totalité des côtes et des ports de Grande-Bretagne.

Pour cette tâche importante, il sélectionna un officier de marine du nom de Greenville Collins à qui il conféra le titre « d'Hydrographe du Roi » et lui fournit un voilier, le *Merlin*. Le travail commença en 1681 et lui prit onze ans.

Il n'y avait aucune carte topographique générale du Royaume à laquelle Collins puisse rattacher ses cartes marines; il n'avait aucune méthode pour trouver la longitude et le quadrant était le seul instrument à sa disposition pour mesurer la latitude. Les sondes, réduites à la basse mer, étaient

positionnées au moyen de relevés au compas sur des marques à terre qui à leur tour étaient positionnées au compas et à la chaîne d'arpenteur. En 1693, les cartes qui en résultaient furent publiées dans un atlas intitulé « Pilote côtier de la Grande Bretagne », lequel contenait 47 cartes, 30 pages de tables de marée, des instructions nautiques et des vues de côte. Gravées avec précision, ces cartes contenaient des profondeurs et des alignements pour les entrées de ports. Ce Pilote convint si bien aux marins britanniques qu'une vingtaine d'éditions supplémentaires furent publiées au cours des cent années suivantes.

Au cours du 16^e siècle, une école d'hydrographie fut formée à Dieppe par plusieurs pilotes expérimentés. En 1661 Jean Baptiste Colbert était devenu *Principal Ministre* de Louis XIV et parmi ses nombreuses tâches, il avait pour mission de relever la Marine française. En plus de l'école de Dieppe, il fonda des centres hydrographiques analogues dans plusieurs autres ports français, ce qui lui permit de compléter les levés hydrographiques de l'ensemble des côtes de France, chaque carte étant rattachée directement à la triangulation nationale établie par la dynastie des Cassini.

Le corps des hydrographes de Colbert travaillait également en Nouvelle France et la masse d'informations en provenance du Québec conduisit à l'établissement à Paris d'un « *Dépôt Général des Cartes et Plans* », reconnu aujourd'hui comme le premier Service hydrographique national. Le Danemark fut le second pays à établir un Service hydrographique, suivi peu après par l'Angleterre en 1795. Plus de vingt autres pays établirent de tels services au cours du 19^e siècle.

Aux environs de 1775, deux hydrographes britanniques, Murdoch Mackenzie et son neveu du même nom contribuèrent étroitement à l'invention du stigmographe (rapporteur à alidade), un instrument avec lequel la position d'un navire pouvait être tracée avec précision par segments capables à partir de deux angles horizontaux mesurés entre trois stations à terre. Cette découverte technique majeure révolutionna les levés en mer au cours du 19^e siècle, période durant laquelle la demande de cartes marines ne cessa d'augmenter aussi bien en temps de paix qu'en temps de guerre.

Déjà avant la Première guerre mondiale, plusieurs directeurs de Services hydrographiques nationaux¹ avaient envisagé d'établir une coopération internationale en vue d'échanger et de standardiser les cartes marines. À la fin de la guerre, les Hydrographes britannique et français organisèrent conjointement une conférence internationale à laquelle participèrent les délégués de 22 pays. De nombreuses résolutions y furent adoptées en matière de standardisation des cartes et la résolution fut prise de créer un Bureau Hydrographique International avec trois directeurs.

S.A.S. le Prince Albert 1^{er} de Monaco, qui avait été tenu informé des comptes rendus de débats de la Conférence, consentit généreusement à fournir un édifice dans la Principauté pour loger le Bureau où il est demeuré depuis.

L'histoire de l'hydrographie durant le 20^e siècle, période au cours de laquelle il y eut beaucoup de développements techniques, peut être lue dans le « Numéro commémoratif du 75^e anniversaire (1^{ère} partie) » de la *Revue hydrographique internationale* de mars 1997.

IMPORTANCE DE L'HYDROGRAPHIE

Il convient tout d'abord de citer la définition de l'hydrographie, telle qu'elle a été adoptée par la 4^{ème} conférence hydrographique internationale extraordinaire (Monaco, 2 – 4 juin 2009) :

« L'hydrographie est la branche des sciences appliquées traitant du mesurage et de la description des éléments physiques des océans, des mers, des zones côtières, des lacs et des fleuves, ainsi que de la prédiction de leur changement dans le temps, essentiellement dans l'intérêt de la sécurité de la navigation et de toutes les autres activités maritimes, incluant le développement économique, la sécurité et la défense, la recherche scientifique et la protection de l'environnement. »

¹ NDT : « *National Hydrographers* » en anglais ou « *Hydrographes* » avec un grand H en français

Par conséquent, le développement d'une politique maritime nationale requiert la capacité confirmée de pouvoir conduire l'ensemble des activités qui permettront d'acquérir des connaissances de base sur la géographie, la géologie et les études géophysiques de la côte et des fonds marins, ainsi que les courants, la marée et certaines propriétés physiques de l'eau de mer. Toutes ces données doivent donc être traitées correctement afin que la nature des fonds marins, leur rapport géographique avec les terres émergées, les caractéristiques et la dynamique de l'océan puissent être représentés avec précision dans toutes les zones de navigation nationale. En bref, l'hydrographie telle qu'elle est définie, est la clé du progrès de toutes les activités maritimes qui présentent normalement une grande importance économique pour les nations.

Pour traiter de manière appropriée les thèmes tels que :

- le contrôle sûr et efficace du trafic maritime ;
- la gestion intégrée des zones côtières ;
- l'exploration et l'exploitation des ressources des océans ;
- la protection de l'environnement ;
- les activités de sécurité maritime et de défense,

il est nécessaire de créer un Service hydrographique. Celui-ci, grâce au recueil systématique des données sur les côtes et en haute mer, produit et diffuse les informations indispensables à la sécurité de la navigation, à la protection de l'environnement, à la défense nationale et à l'exploitation des ressources.

LES CHAMPS DE COMPÉTENCE ASSOCIÉS À L'HYDROGRAPHIE

Le transport maritime

Plus de 80% du commerce international dans le monde transite par la mer. Le commerce maritime est un élément de base pour l'économie d'une nation. Beaucoup de régions et de ports dans le monde n'ont pas de couverture en cartes marines précises et adéquates or, les cartes marines modernes sont nécessaires pour la sécurité de la navigation dans les eaux d'un pays, le long de ses côtes et les entrées de ses ports. Un manque de cartes marines appropriées empêche le développement du commerce maritime dans les eaux et les ports des nations concernées.

La navigation commerciale exige efficacité et sécurité. Les régions mal cartographiées et le manque d'informations peuvent occasionner des transits plus longs que nécessaire, une moindre optimisation des chargements des navires et une augmentation des coûts. L'économie de temps et d'argent résultant de trajets plus courts en eaux profondes et de la possibilité d'utiliser de plus gros navires ou des frets plus importants permettent de réaliser des économies significatives pour l'industrie nationale et le commerce. Il est aussi très important de noter que le Chapitre V de la Convention SOLAS stipule qu'un navire ne peut être apte à la navigation s'il ne dispose pas à bord de cartes modernes et adaptées à l'itinéraire prévu.

La résolution de ces problèmes n'est pas possible sans cartes de qualité, produites et tenues à jour en continu et diffusées par un Service hydrographique. Ces cartes, produites à partir de levés hydrographiques modernes, sont nécessaires pour permettre aux plus gros bateaux d'aujourd'hui de naviguer dans les eaux sous souveraineté et d'accéder aux ports qui auparavant n'étaient pas sécurisés. Les cartes marines sont ainsi des outils essentiels pour la création de sources de revenus au profit des nations côtières.

Les cartes modernes fournissent aussi l'information nécessaire à la création de systèmes de routages tels que ceux établis par les conventions internationales et qui répondent aux intérêts économiques des Etats côtiers.

Gestion intégrée des zones côtières

La gestion intégrée des zones côtières inclut la construction de nouveaux ports, l'entretien et le développement des ports existants, le dragage pour maintenir les profondeurs indiquées sur les cartes, l'établissement et le contrôle ainsi que l'amélioration des chenaux. Elle comprend aussi la surveillance de l'érosion côtière, la mise en valeur des terres regagnées sur la mer, l'établissement et le contrôle des stations de pompage des déchets industriels, l'extraction des dépôts minéraux, les activités d'aquaculture et enfin le transport et les projets de travaux publics incluant la construction d'infrastructures côtières.

Les levés hydrographiques précis à grandes échelles fournissent les données primaires essentielles aux projets d'aménagement susmentionnés. Les levés doivent être tenus à jour fréquemment en fonction des conclusions des processus de gestion et d'analyse relatifs aux changements rapides auxquels les côtes sont soumises. Les informations collectées par les Services hydrographiques sur les côtes sont des données essentielles pour alimenter les SIG des zones côtières, lesquels sont de plus en plus souvent utilisés pour assurer une meilleure gestion globale et faciliter les prises de décision en cas de problème. En plus des navigateurs, utilisateurs traditionnels des informations et données hydrographiques, on identifie maintenant les agences gouvernementales, les responsables de la gestion des zones côtières, les ingénieurs et les scientifiques.

Exploration et exploitation des ressources marines

Bien que les produits et services ainsi que les bases de données hydrographiques rassemblées par les Services hydrographiques soient essentiellement destinés à assurer la sécurité de la navigation, ils sont aussi utiles et d'une valeur économique considérable pour la bonne gestion et l'exploitation des ressources marines naturelles. De nos jours, il est devenu évident que le manque d'information hydrographique adéquate nuit non seulement au développement du commerce maritime, mais aussi provoque des retards considérables et coûteux dans l'exploration des ressources.

Les zones côtières riches en sédiments peuvent contenir des dépôts minéraux, en particulier des hydrocarbures qui nécessitent des levés adéquats pour bien identifier les gisements. Si l'existence de ces hydrocarbures est confirmée, l'Etat côtier devra mettre en place des procédures de développement pour la production d'hydrocarbures comprenant des recherches et des études morphologiques des fonds marins, la prise en compte des impératifs de sécurité de navigation dans la zone pour le transport des matières dangereuses, la sécurité des plateformes côtières et de leurs systèmes de transmission posés sur le fond ainsi que la détermination de l'emplacement des puits de production et des conduites sous-marines. Les données bathymétriques et de marée ainsi que les observations météorologiques fournies par les Services hydrographiques constituent un élément fondamental dans le développement de l'industrie des hydrocarbures.

L'industrie de la pêche est aussi une source de richesse nationale. Les pêcheurs ont besoin d'informations en matière de navigation, non seulement pour assurer la sécurité de leurs navires mais aussi pour déployer sans risque leurs chaluts et éviter des pertes coûteuses. En complément, des cartes spéciales pour la pêche, compilées et produites par les Services hydrographiques, sont largement utilisées de nos jours dans les activités halieutiques.

Les pêcheurs ont besoin de ces cartes spéciales pour :

- éviter les pertes d'engins de pêche ou de navires résultant de croches sur des hauts-fonds ou obstructions non cartographiés ;
- identifier les zones de pêche ;
- connaître les zones où la pêche est réglementée ou interdite.

Ce genre d'informations étant soumis à des changements fréquents, une mise à jour périodique est par conséquent nécessaire. Les levés hydrographiques sont essentiels pour l'obtention de données et d'informations à jour ; ils doivent être repris périodiquement.

Les tendances de la pêche moderne s'orientent vers une gestion durable des habitats halieutiques ; à ce titre, la bathymétrie et les autres données océanographiques fournissent une aide importante pour la gestion et le développement des espèces.

La gestion et la protection de l'environnement

La sécurité et la précision de la navigation sont des facteurs essentiels pour la protection de l'environnement. Les pollutions causées par les naufrages et les nappes d'hydrocarbures sont une cause de dégâts majeurs dont les conséquences économiques sont plus catastrophiques qu'on ne l'imagine communément. Dans certains cas, les estimations ont pu atteindre jusqu'à 3 milliards de dollars US pour un seul accident.

La valeur et l'importance de la sécurité de la navigation pour la protection de l'environnement ont été reconnues à l'échelle internationale. A cet égard, il a été noté au chapitre 17 de l'ordre du jour de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, organisée en 1992, que « **l'hydrographie et la cartographie marine sont d'une importance vitale pour la sécurité de la navigation** ».

Sciences de la mer

Les sciences de la mer dépendent largement des informations bathymétriques. Les modèles de marée et de circulation mondiale, les modèles locaux et régionaux pour les études scientifiques diverses, la géologie, la géophysique marine, le déploiement et l'emplacement des instruments scientifiques et beaucoup d'autres aspects des sciences de la mer dépendent des données bathymétriques fournies par les Services hydrographiques.

Infrastructure nationale de données spatiales

A l'ère de l'information, les gouvernements se rendent compte que la bonne qualité et la gestion adéquate des données spatiales constituent un facteur essentiel au développement économique et commercial et à la protection de l'environnement. C'est pour cette raison que beaucoup d'Etats constituent actuellement une infrastructure nationale de données spatiales (NSDI) rassemblant tous les services et bases de données des organismes nationaux qui fournissent des données spatiales, par exemple, les données topographiques, géodésiques, géophysiques, météorologiques, et bathymétriques. Le Service hydrographique est un contributeur important dans le développement d'une infrastructure nationale de données spatiales.

Délimitation des frontières maritimes

De bonnes données hydrographiques sont essentielles pour une délimitation adéquate des frontières maritimes telles que détaillées dans la Convention des Nations Unies sur le Droit de la mer.

Défense nationale

Les Marines nationales sont de grandes utilisatrices de cartes marines et de produits associés, parce qu'elles sont appelées à opérer dans plusieurs régions maritimes à travers le monde et doivent par conséquent détenir une collection importante de cartes. Les risques exceptionnels associés au transport de munitions et d'armements nucléaires obligent ces navires à disposer à bord d'informations nautiques à jour. Les données et les informations nautiques fournies par les Services hydrographiques nationaux comportent une grande variété de produits utilisés dans les opérations navales. Les navires, les sous-marins, la lutte anti-sous-marine, le dragage des mines, les opérations

aéronavales ont tous besoin de produits d'informations nautiques différents les uns des autres. Les données hydrographiques et océanographiques nécessaires pour la préparation de ces produits doivent être disponibles afin d'optimiser l'effort national en matière de défense.

Tourisme

De bonnes cartes marines sont particulièrement nécessaires au développement du tourisme, surtout pour les navires de croisière, et le potentiel économique représenté par l'industrie des navires de croisière revêt une importance énorme pour les pays en voie de développement. Cependant, cette source considérable de revenus ne peut pas être développée convenablement si la sécurité de la navigation n'est pas assurée sur les sites touristiques lointains en raison de l'absence ou du manque de cartes marines adéquates. Le tourisme est l'une des industries du 21^e siècle qui possède le plus grand potentiel de croissance.

Les navires de plaisance

Le monde de la plaisance représente un grand pourcentage de navigateurs. Généralement, les bateaux de plaisance ne sont pas tenus d'avoir des cartes marines à bord et les plaisanciers ne veillent pas toujours à la mise à jour de leurs cartes. Cependant, l'avènement de la carte électronique de navigation permet à l'utilisateur d'un navire de plaisance d'avoir accès à de l'information nautique à jour ainsi qu'à d'autres informations à valeur ajoutée, comme, par exemple, l'emplacement d'une marina, etc. Ce développement peut amener les plaisanciers à devenir de plus grands usagers des données hydrographiques, car de plus en plus de particuliers peuvent s'offrir un bateau de plaisance. Le revenu généré par ce secteur connaît une croissance significative dans certains pays.

Il est à noter qu'il est extrêmement difficile de déterminer les retombées économiques et commerciales d'un programme national d'hydrographie, mais plusieurs études menées par des Etats membres de l'OHI ont démontré que le rapport coûts-avantages était de l'ordre de 1 à 10 pour les grands pays maritimes. Il est également vrai que le volume du commerce maritime est en croissance continue et qu'à l'avenir, l'exploitation et le développement durable des zones maritimes nationales deviendront une préoccupation majeure des gouvernements et de l'industrie.

Il est à noter aussi qu'économiquement parlant, un programme hydrographique national est considéré comme relevant du « bien collectif ». Ceci pour dire que les services requis au nom de l'intérêt public ne peuvent pas être fournis à des niveaux optimaux sous la seule contrainte des forces du marché. Pour chaque Etat membre de l'OHI, la fourniture de services hydrographiques relève de la responsabilité du gouvernement central, comme étant une composante essentielle au développement économique du pays. Le caractère général et économiquement important de cette activité a pu être parfois occulté par l'accent mis sur tel ou tel secteur d'intérêt associé à la fourniture de services hydrographiques et plus récemment par des exigences législatives ou réglementaires. Il n'en reste pas moins que la dimension et l'intérêt économique de l'hydrographie méritent une plus grande attention que celle reçue dans le passé.
